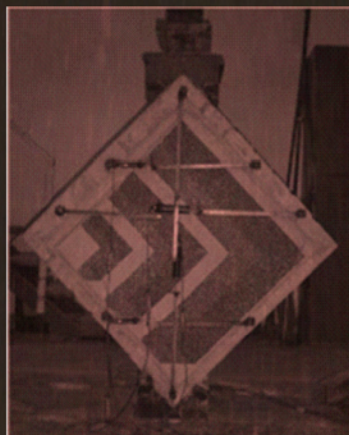
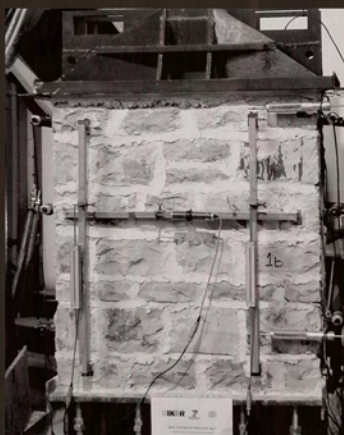


ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ  
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΝΕ-  
ΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΛΙΘΙΝΩΝ  
Ή ΠΛΙΝΘΙΝΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ

ΧΡΥΣΗ-ΕΛΠΙΔΑ ΑΔΑΜΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ



ΑΘΗΝΑ 2011







**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ  
ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ  
ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ  
ΛΙΘΙΝΩΝ Η ΠΛΙΝΘΙΝΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ**

Χρυσή-Ελπίδα Αδάμη

**ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2011**

Χρυσή-Ελπίδα Αδάμη  
Διδάκτωρ Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

**Copyright © Chrissy-Elpida Adami, 2011.**

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

«Η έγκριση της Διδακτορικής Διατριβής από την Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, δεν δηλώνει την αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως», [N. 5343/1932, αρ. 202, παρ.2].



**Συμβουλευτική Επιτροπή :** Ε. Βιντζηλαίου  
Ι. Παπαγιάννη  
Ι. Ψυχάρης

Εγκρίθηκε από την Επταμελή Εξεταστική Επιτροπή την 20<sup>η</sup> Ιανουαρίου 2011.

---

Ε. Βιντζηλαίου,  
Καθηγήτρια ΕΜΠ (Επιβλέπουσα )

---

Ι. Παπαγιάννη,  
Καθηγήτρια ΑΠΘ

---

Ι. Ψυχάρης,  
Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

---

Κ. - Α. Στυλιανίδης,  
Καθηγητής ΑΠΘ

---

Χ. Ιγνατάκης,  
Καθηγητής ΑΠΘ

---

Κ. Τρέζος,  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

---

Χ. Ζέρης,  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιανουάριος 2011





*αφιερώνεται στην υπέροχη οικογένειά μου*





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση αυτής της Διατριβής, η οποία είναι το αποτέλεσμα ενός αδιάκοπου προσωπικού αγώνα, καθώς και της συνδρομής και υποστήριξης πολλών ανθρώπων, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όσους συνέβαλαν σε αυτήν την πολύχρονη, ορισμένες στιγμές σκληρή, αλλά και μοναδική εμπειρία.

Αποτελεί για μένα τιμή και προνόμιο που γνώρισα τον άνθρωπο, την δασκάλα και την επιστήμονα Ελισάβετ Βιντζηλαίου, καθηγήτρια ΕΜΠ, (επιβλέπουσα καθηγήτρια). Επιθυμώ να την ευχαριστήσω από καρδιάς για την παρακίνησή της να ξεκινήσω αυτήν την προσπάθεια σε ένα άγνωστο για εμένα έως τα τότε πεδίο έρευνας, καθώς και για την μύηση μου στο αντικείμενο της αποκατάστασης των μνημείων. Σε αυτήν την διαδρομή με στήριξε πολύπλευρα. Η επίβλεψη, η θετική της στάση, η συνεχής ενθάρρυνση, οι συμβουλές και η καθοδήγησή της ήταν πολύτιμες για την περάτωση της παρούσας Διατριβής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα μέλη της Τριμελούς και Επταμελούς Επιτροπής, που με τίμησαν με την συμμετοχή, την συμβολή και την παρουσία τους, με υποστήριξαν και έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον και εμπιστοσύνη σε αυτήν την ερευνητική εργασία. Μέσα σ' ένα πνεύμα ελευθερίας της πανεπιστημιακής έρευνας και επιστημονικού διαλόγου συνέβαλαν εποικοδομητικά στην ευδοκίμηση αυτής της προσπάθειας. Οφείλω να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την κα Ιωάννα Παπαγιάννη, καθηγήτρια ΑΠΘ για την συμμετοχή της στην Τριμελή και Επταμελή Επιτροπή, την υποστήριξή της, τις καίριες παρατηρήσεις και υποδείξεις σε θέματα υλικών και χημείας, υποδείξεις οι οποίες ήταν καθοριστικές για την σφαιρική προσέγγιση του αντικειμένου, και επομένως, την ποιοτική αναβάθμιση της Διατριβής. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους κ.κ. Ιωάννη Ψυχάρη, αναπληρωτή καθηγητή ΕΜΠ, Αθανάσιο-Κοσμά Στυλιανίδη, καθηγητή ΑΠΘ, Χρήστο Ιγνατάκη, καθηγητή ΑΠΘ, Κ. Τρέζο, επίκουρο καθηγητή ΕΜΠ και Χ. Ζέρη, επίκουρο καθηγητή ΕΜΠ, για την υποστήριξη, την ενδελεχή και κριτική ανάγνωση της παρούσας εργασίας, καθώς και για τα ιδιαίτερω πολύτιμα σχόλιά τους.

Είμαι υποχρεωμένη στην Δρ. Ελένη-Εύα Τουμπακάρη, της οποίας η συμβολή ήταν καθοριστική στην εκπόνηση της παρούσας Διατριβής. Οφείλω να την ευχαριστήσω για την μύησή μου στο πεδίο έρευνας των ενεμάτων, καθώς και για το έργο της, το οποίο αποτέλεσε για μένα σημείο αναφοράς. Επίσης, ευχαριστώ την κα Τουμπακάρη για την συνδρομή της στον σχεδιασμό του Πειραματικού Μέρους της Διατριβής, την παροχή πρακτικής καθοδήγησης, τις συμβουλές της σε θέματα παντός επιστητού, την προθυμία της να με υποστηρίξει, καθώς και τον ενθουσιασμό με τον οποίο αντιμετώπιζε τα μικρά και μεγάλα «επιτεύγματα» της ερευνάς μου κατά τις συζητήσεις μας.

Για την διάθεση των εγκαταστάσεων του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος, καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές του, θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον κο. Μιχαήλ Κωτσοβό, καθηγητή ΕΜΠ και Διευθυντή του Εργαστηρίου ΕΩΣ. Επί πλέον, για την πολύτιμη συνδρομή τους είμαι υποχρεωμένη στους τεχνίτες του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος κ.κ. Παναγιώτη Παπανδρέου, Δημήτρη Πατσέλη και Γεώργιο Τσότρα.

Νιώθω βαθύτατα υποχρεωμένη στους κο Γεώργιο Παπαδημητρίου, Ομότιμο καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μηχανουργών ΕΜΠ και πρώην Διευθυντή του Εργαστηρίου Μεταλλουργίας ΕΜΠ και Δρ. Πέτρο Τσακιρίδη, για την υλοποίηση των δοκιμών μικροδομής και XRD στο Εργαστήριο Μεταλλουργίας, καθώς και για την επεξεργασία και την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Η συνδρομή τους ήταν σημαντική στο Πειραματικό Μέρος της Διατριβής.

Πολλές θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον κο Στέλιο Κόλια, αναπληρωτή καθηγητή ΕΜΠ, για τις πολύτιμες συζητήσεις, την ανιδιοτελή παροχή συμβουλών σε θέματα υλικών και ενανθράκωσης, καθώς και την διάθεση των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού και του προσωπικού της Ένωσης Τσιμεντοβιομηχάνων Ελλάδος κατά τα πρώτα στάδια εκπόνησης της Διατριβής μου.

Είμαι υποχρεωμένη στον κο Σταμάτη Τσίμα, καθηγητή της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ για την μύηση στην χημεία του τσιμέντου και των ανόργανων υλικών γενικότερα, για τις πολύτιμες συμβουλές του σε θέματα υλικών, καθώς και για την διάθεση των εγκαταστάσεων του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, στο οποίο διετέλεσε Διευθυντής. Επίσης, ευχαριστώ τον κο Σωτήρη Τσιβιλί, καθηγητή της

Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ για τις ανεκτίμητες συμβουλές και την παροχή βιβλιογραφίας σχετικά με τον μετακαολίνη. Επί πλέον, για την πολύτιμη συνδρομή τους ευχαριστώ τους Βοηθούς του Εργαστηρίου Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Δρ. Γεώργιο Τζουβαλά και Δρ. Χρήστο Γκαλμπένη.

Θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στον Δρ. Ιωάννη Αναστασόπουλου, του οποίου η συνδρομή στο Αναλυτικό Μέρος της παρούσας εργασίας ήταν κάτι παραπάνω από καταλυτική. Τον ευχαριστώ για την συνεχή διάθεση και υποστήριξη, την προθυμία του να μου εξηγήσει με ευχαρίστηση και ανιδιοτελώς ό,τι σχετικό με το λογισμικό ABACUS και να μου παρέχει τον κώδικα τον οποίο είχε αναπτύξει για εδαφικά υλικά.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συνοδοιπόρους/συνεργάτες/ερευνητές στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ, και ιδιαιτέρως στις Βασιλική Παλιεράκη και Κατιάννα Μανωλεδάκη, για τις ευχάριστες στιγμές που ζήσαμε στο εργαστήριο κατά την διάρκεια της έρευνάς μας, τις πολύτιμες συζητήσεις που είχαμε σχετικά με την εκπόνηση των διδακτορικών διατριβών μας, καθώς και την ηθική υποστήριξη. Ιδιαίτερη μνεία οφείλεται και στους Ελένη Τσίγκανου και Μάρκο Μουτσέλη που κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής και μεταπτυχιακής τους εργασίας αντιστοίχως, συνέδραμαν σε τμήμα των δοκιμών του Πειραματικού Μέρους της Διατριβής, επιδεικνύοντας ιδιαίτερο ζήλο.

Για την ευγενική τους χορηγία σε προϊόντα και στην παροχή των εγκαταστάσεων/εξοπλισμού είμαι υποχρεωμένη στο Ερευνητικό Κέντρο της TITAN A.E., στην TITAN ΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΙΑ Α.Β.Ε.Ε., στον εκπρόσωπο της εταιρείας SIKA Hellas A.B.E.E., κo. Βασιλάτο και στην IMERYS MINERALS Ltd.

Επί πλέον, ευχαριστώ θερμά τους πολύ καλούς μου φίλους και καλές μου φίλες για την ηθική στήριξη και την ενθάρρυνση που μου παρέιχαν, καθώς και την κατανόηση που επέδειξαν, ιδίως, κατά τις πιο κρίσιμες φάσεις εκπόνησης της παρούσας Διατριβής και, ιδιαιτέρως, τις Ευαγγελία Τζακώστα, Βανέσσα-Βασιλική Πρωτονοταρίου και Γεωργία Θανασούλα.

Και βέβαια, ευχαριστώ την υπέροχη οικογένειά μου, τους γονείς μου, Χριστίνα και Νίκο, καθώς και τον αδελφό μου Αδάμ-Θεόδωρο, που

πίστεψαν σε εμένα και με ενθάρρυναν στην πορεία της ζωής μου συνολικά και, ιδίως, στην προσπάθεια περάτωσης αυτής της Διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στα Κοινωνικά Ιδρύματα «ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ Σ. ΩΝΑΣΗΣ» και «Γ. Λεβέντης» των οποίων υπήρξα υπότροφος κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Η χορήγηση των υποτροφιών από τα παραπάνω Κοινωνικά Ιδρύματα αποτελεί για μένα ιδιαίτερη τιμή και ήταν άκρως βοηθητική για την απρόσκοπτη ολοκλήρωση της Διατριβής μου.

*Χρυσή-Ελπίδα Αδάμη  
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ*

*Αθήνα, Ιανουάριος 2011*







# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b>	<b>a</b>
<b>ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ</b>	<b>g</b>
ΣΥΜΒΟΛΑ	g
ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	k
ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	o
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>1</b>
1.1 ΓΕΝΙΚΑ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	1
1.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΣΤΟΧΟΙ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	5
1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>11</b>
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
<b>ΜΕΡΟΣ Ι: ΤΡΙΣΤΡΩΤΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣ</b>	<b>12</b>
2.2 ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ	12
2.3 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΘΛΙΨΗ: ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	17
2.3.1 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΠΡΙΝ ΤΑ ΕΝΕΜΑΤΑ	17
2.3.1.1 Τρόπος Αστοχίας-Μηχανική Συμπεριφορά	17
2.3.1.2 Επιρροή παραμέτρων στις μηχανικές ιδιότητες των τοιχίσκων πριν τα ενέματα	18
2.3.2 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΕΝΕΜΑΤΑ	22
2.3.2.1 Τρόπος αστοχίας- Μηχανική Συμπεριφορά	22
2.3.2.2 Επιρροή παραμέτρων στις μηχανικές ιδιότητες των τοιχίσκων μετά τα ενέματα	24
2.4 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΑ ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΘΛΙΨΗ: ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	30
2.4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	30
2.4.2 ΕΠΙΡΡΟΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	31
2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	33
<b>ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ</b>	<b>35</b>
2.6 ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ	35
2.7 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ ΣΕ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ	37
2.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ	40
2.8.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	41
2.8.1.1 Προσομοιώματα για την Διεπιφανειακή Μεταβατική Ζώνη	41
2.8.1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την μικροδομή της Διεπιφανειακής Μεταβατικής Ζώνης	43
2.8.1.2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ	43
2.8.1.2.2 ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΚΟΝΙΑ	45
2.8.1.2.3 ΛΟΓΟΣ ΥΔΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΚΟΝΙΑ (w/c)	47
2.8.1.3 Συμπεράσματα	48
2.8.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ-ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ/ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ	50
2.8.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ: ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	56
2.8.3.1 Επιρροή της τραχύτητας	56
2.8.3.2 Επιρροή μηχανικών χαρακτηριστικών υπαρχόντων υλικών και υλικών επισκευής	57

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ b

	2.8.3.3 <i>En χρόνω ανάπτυξη της συνάφειας-Επιρροή προσθέτων</i>	59
	2.8.3.4 <i>Επιρροή των συνθηκών συντήρησης</i>	60
	2.8.3.5 <i>Συμπεράσματα</i>	61
2.9	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ</b>	63
	2.9.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	64
	2.9.1.1 <i>Δοκιμές Άμεσου Εφελκυσμού</i>	64
	2.9.1.2 <i>Δοκιμές Έμμεσου Εφελκυσμού</i>	66
	2.9.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	69
	2.9.2.1 <i>Δοκιμές Άμεσης Διάτμησης</i>	69
	2.9.2.2 <i>Δοκιμές Έμμεσης Διάτμησης</i>	71
	2.9.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΛΟΞΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	71
	2.9.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	72
	2.9.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	78
2.10	<b>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ</b>	80
	2.10.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ: ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	81
	2.10.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	85
	2.10.2.1 <i>Τύποι Αστοχίας</i>	88
	2.10.2.2 <i>Καμπύλες διατμητικής τάσης-ολίσθησης, διατμητικής τάσης-ανοίγματος ρωγμής</i>	88
	2.10.2.3 <i>Μέγιστη&amp;παραμένουσα διατμητική αντοχή</i>	89
	2.10.2.4 <i>Παραμορφώσεις-Δυσκαμψία</i>	92
2.11	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	96
	<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	<b>99</b>
3.1	<b>Η ΑΝΑΓΚΗ</b>	99
	<b>ΜΕΡΟΣ Ι: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>104</b>
3.2	<b>Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ</b>	104
	3.2.1 ΕΝΕΜΑΤΑ	105
	3.2.1.1 <i>Μικτό σύστημα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης</i>	107
	3.2.1.2 <i>Σύστημα υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης</i>	107
	3.2.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ	107
3.3	<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ-ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ</b>	108
	3.3.1 ΕΝΕΜΑΤΑ: ΥΛΙΚΑ-ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ	108
	3.3.1.1 <i>Μικτό σύστημα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης</i>	108
	3.3.1.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΟΝΙΩΝ: ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	108
	3.3.1.1.2 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ-ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ	109
	3.3.1.1.3 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ - ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ	111
	3.3.1.1.4 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ - ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ	116
	3.3.1.1.5 ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	116
	3.3.1.2 <i>Σύστημα υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης</i>	116
	3.3.1.2.1 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ	116
	3.3.1.2.2 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ	117
	3.3.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ	118
3.4	<b>ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ</b>	120
	3.4.1 Η ΕΠΙΛΟΓΗ	120

3.4.2	ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	122
3.4.2.1	<i>Δοκίμια Μηχανικών Δοκιμών</i>	122
3.4.2.1.1	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	122
3.4.2.1.2	ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	124
3.4.2.2	<i>Δοκίμια Μικροδομής: Εγκιβωτισμός δειγμάτων-Κατασκευή και στίλβωση λεπτών τομών</i>	124
3.4.3	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ	126
3.4.3.1	<i>Μελέτη της μικροδομής των διεπιφανειών</i>	126
3.4.3.1.1	ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)	126
3.4.3.1.2	ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM)	128
3.4.3.2	<i>Μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών</i>	129
3.4.3.2.1	ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	129
3.4.3.2.2	ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	130
3.5	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ-ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ	132
	<b>ΜΕΡΟΣ II: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>137</b>
3.6	<i>ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ</i>	137
3.7	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ	138
	3.7.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΡΙΜΕΡΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ	139
	3.7.1.1 <i>Συμπεράσματα Ορυκτολογικής Μελέτης</i>	143
	3.7.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ	145
	3.7.2.1 <i>Επιρροή υποβάθρου</i>	145
	3.7.2.2 <i>Συνδετική κονία</i>	146
	3.7.2.3 <i>Ηλικία</i>	148
	3.7.2.4 <i>Συμπεράσματα</i>	149
	3.7.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ	151
3.8	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	154
	3.8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	154
	3.8.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ	154
	3.8.2.1 <i>Δοκιμές Εφελκυσμού</i>	154
	3.8.2.2 <i>Δοκιμές Διατμήσεως</i>	156
	3.8.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	157
	3.8.3.1 <i>Εισαγωγικά</i>	157
	3.8.3.2 <i>Αποτελέσματα Δοκιμών Εφελκυσμού</i>	158
	3.8.3.3 <i>Στατιστική Επεξεργασία Πειραματικών Αποτελεσμάτων Δοκιμών Εφελκυσμού: Συντελεστής Μεταβλητότητας</i>	162
	3.8.3.4 <i>Τύποι Αστοχίας Σύνθετων Δοκιμών</i>	163
	3.8.3.5 <i>Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας: Αποτελέσματα/Παρατηρήσεις</i>	163
	3.8.3.5.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	163
	3.8.3.5.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	166
	3.8.3.5.3 ΗΛΙΚΙΑ	168
	3.8.3.6 <i>Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων /Πιθανές Ερμηνείες</i>	171
	3.8.3.6.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	171
	3.8.3.6.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	176
	3.8.3.6.3 ΗΛΙΚΙΑ	179
	3.8.3.7 <i>Σύγκριση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας</i>	183
	3.8.3.8 <i>Συμπεράσματα</i>	184
	3.8.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ	186
	3.8.4.1 <i>Εισαγωγικά</i>	186
	3.8.4.2 <i>Αποτελέσματα Δοκιμών Διατμήσεως</i>	187
	3.8.4.3 <i>Στατιστική Επεξεργασία Πειραματικών Αποτελεσμάτων Δοκιμών Διατμήσεως: Συντελεστής Μεταβλητότητας</i>	197

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ d

3.8.4.4	Τύποι Αστοχίας Σύνθετων Δοκιμίων	200
3.8.4.5	Τυπικές καμπύλες ( $t-s$ ) και ( $w-s$ )	200
3.8.4.6	Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στα πειραματικά αποτελέσματα: Αποτελέσματα/Παρατηρήσεις	201
3.8.4.6.1	ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	201
3.8.4.6.2	ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	209
3.8.4.6.3	ΗΛΙΚΙΑ	215
3.8.4.6.4	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ, $\sigma_n$	220
3.8.4.7	Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στα πειραματικά αποτελέσματα: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	223
3.8.4.7.1	ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ	224
3.8.4.7.2	ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ	231
3.8.4.7.3	ΗΛΙΚΙΑ	239
3.8.4.7.4	ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ, $\sigma_n$	244
3.8.4.8	Σύγκριση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας	247
3.8.4.9	Συμπεράσματα	250
3.9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	255
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>. ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ</b>		<b>259</b>
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	259
4.2	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	259
4.2.1	ΚΡΙΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	261
4.2.2	ΒΗΜΑ 1ο. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	264
4.2.3	ΒΗΜΑ 2ο. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΣΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΝΕΜΑΤΟΣ (ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ $\sigma_n$ )	265
4.2.4	ΒΗΜΑ 3ο. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΣΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ (ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ $\sigma_n$ )	267
4.2.5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ 1 ΕΩΣ 3	267
4.2.6	ΒΗΜΑ 4ο. ΕΠΙΡΡΟΗ ΗΛΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ	270
4.2.6.1	Σύνθετα δοκίμια ισχυρότερων υποβάθρων και ενεμάτων $\alpha$ ) G1, G2, G4 ή $\beta$ ) HL2, HL3	270
4.2.6.2	Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων G1, G2 και G4 για $\sigma_n=0.6 \text{ MPa}$	271
4.2.6.3	Σύνθετα δοκίμια ενεμάτων HL1 και HL2 για όλους τους τύπους των υποβάθρων	272
4.2.7	ΒΗΜΑ 5ο. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ, $\sigma_n$ , ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ [ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $T_U - t$ ), ( $s_U-t$ ) και ( $w_U-t$ )]	273
4.2.7.1	Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4	273
4.2.7.2	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3	274
4.2.8	ΒΗΜΑ 6ο. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ	275
4.2.8.1	Εμπειρικές σχέσεις	275
4.2.8.1.1	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $\mu_{u,cal}$ - ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ $T_{u,cal}$	275
4.2.8.1.2	ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΤΡΙΒΗ $T_{cal,res}$	278
4.2.8.1.3	ΟΛΙΣΘΗΣΗ $s_{u,cal}$ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΠΙΣΤΡΑΤΕΥΕΤΑΙ Η ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ $T_{u,cal}$	279
4.2.8.1.4	ΑΝΟΙΓΜΑ ΡΩΓΜΗΣ $w_{u,cal}$ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΤΗΝ $T_{u,cal}$	281
4.2.8.2	Καταστατικοί Νόμοι-Ανηγγμένες καμπύλες	282
4.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	284
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>		<b>285</b>
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	285

5.2	<i>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ</i>	286
	5.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ "ΜΟΗΡ-COULOMB"	286
	5.2.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ	291
5.3	<i>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ</i>	297
5.4	<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	304
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ</b>		<b>305</b>
6.1	<i>ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</i>	305
6.2	<i>ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</i>	307
6.3	<i>ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ</i>	310
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>. ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ</b>		<b>313</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b>		<b>A1</b>
A.1	<i>ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ</i>	A3
A.2	<i>ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ/ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ, ΠΛΙΝΘΩΝ /ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ</i>	A15
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b>		<b>B1</b>
B.1	<i>ΕΝΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΩΝ</i>	B3
	B.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	B3
	B.1.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ: ΕΞΙΔΡΩΣΗ-ΑΠΟΜΙΞΗ	B4
B.2	<i>ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ-ΛΟΓΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΑ (w/s)</i>	B4
	B.2.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΡΕΥΣΤΟΤΗΤΑΣ	B5
B.3	<i>ΔΕΛΤΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΡΕΥΣΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</i>	B7
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</b>		<b>Γ1</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ</b>		<b>Δ1</b>
Δ.1	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ</i>	Δ3
Δ.2	<i>ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΥ ΥΦΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΕΝΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ</i>	Δ8
Δ.3	<i>ΔΕΛΤΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ</i>	Δ11
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε</b>		<b>E1</b>
E.1	<i>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ</i>	E3
	E.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ	E3
	E.1.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	E11
E.2	<i>ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ</i>	E13
	E.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	E13
	E.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 1ο. Διαδικασίες-Παρατηρήσεις	E15
	E.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 2ο. Σχεδίαση μέσων καμπυλών ανά τύπο ενέματος (για μια ηλικία και τιμή της ορθής τάσης $\sigma_n$ )	E18
	E.2.3.1 Μέσες καμπύλες για το ένεμα G1	E18
	E.2.3.2 Μέσες καμπύλες για το τριμερές ένεμα G2	E18
	E.2.3.3 Μέσες καμπύλες για το τριμερές ένεμα με την φυσική ποζολάνη, G4	E20
	E.2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 3ο. Σχεδίαση μέσων καμπυλών ανά τύπο υποβάθρου (για μια ηλικία και τιμή της ορθής τάσης $\sigma_n$ )	E20
	E.2.4.1 Υπόβαθρο: Μάρμαρο και τεφρός ασβεστόλιθος	E22
	E.2.4.1.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (τ-s)	E22

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ f

E.2.4.1.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (w-s)	E22
E.2.4.2 Υπόβαθρο: Τραβερίνης	E24
E.2.4.2.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (τ-s)	E24
E.2.4.2.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (w-s)	E26
E.2.4.3 Υπόβαθρο: Ψαμμίτης	E28
E.2.4.3.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (τ-s)	E28
E.2.4.3.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (w-s)	E28
E.2.4.4 Υπόβαθρο: Οπτόπλινθος Α	E30
E.2.4.4.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (τ-s)	E30
E.2.4.4.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (w-s)	E30
E.2.4.5 Υπόβαθρο: Οπτόπλινθος Β	E32
E.2.4.5.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (τ-s)	E32
E.2.4.5.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ (w-s)	E32
E.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ 1 ΕΩΣ 3	E34
E.2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 4ο. Επιρροή ηλικίας στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο [Καμπύλες ( -t), (-t) και (-t)]	E36
E.2.6.1 Σύνθετα δοκίμια ισχυρότερων υποβάθρων και ενεμάτων α) G1 (αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα μετακαολίνη) και G4 (τριμερές ένεμα φυσικής ποζολάνης) και β) υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3	E36
E.2.6.2 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων G1 (αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) και G4 (τριμερές ένεμα με φυσική ποζολάνη) για $\sigma=0.6 \text{ MPa}$	E36
E.2.6.3 Σύνθετα δοκίμια των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου (HL2 και HL3) για όλους τους τύπους των υποβάθρων	E38
E.2.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 5ο. Η επιρροή της επιβαλλόμενης ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο [Καμπύλες ( $\tau_U-t$ ), ( $s_U-t$ ) και ( $w_U-t$ )]	E40
E.2.7.1 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4	E40
E.2.7.2 Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3	E41
E.2.8 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ	E42
E.2.8.1 Συντελεστής τριβής $\mu_{u,cal}$ και διατμητική αντοχή $\tau_{u,cal}$	E42
E.2.8.2 Παραμένουσα διατμητική αντοχή $\tau_{res,cal}$	E43
E.2.8.3 Ολίσθηση $s_{u,cal}$ για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή $\tau_{u,cal}$	E46
E.2.9 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ - ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ	E48
E.2.9.1 Καμπύλες ( $\tau/\tau_U-s/s_U$ )	E48
E.2.9.2 Καμπύλες ( $w/w_U-s/s_U$ )	E55

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> . ΕΙΣΑΓΩΓΗ	i
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> . ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	ii
ΜΕΡΟΣ Ι: ΤΡΙΣΤΡΩΤΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ	ii
ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> . ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	xiii
ΜΕΡΟΣ Ι: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	xiv
ΜΕΡΟΣ ΙΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	xvi
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> . ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ	xix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> . ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	xix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> . ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ	xx
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> . ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	xxi
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	xxii
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	xxv
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	xxvi

## ΣΥΜΒΟΛΑ

<i>ACAD</i>	φυσική υδραυλική άσβεστος Albana Calce Albazzana
<i>AGm</i>	τεφρός ασβεστόλιθος
<i>AS<sub>2</sub></i>	μετακαολίνης
<i>b</i>	οπτόπλινθος
<i>BET</i>	μπετονίτης
<i>C</i>	τσιμέντο
<i>C<sub>2</sub>S</i>	βελίτης
<i>C<sub>3</sub>ACaCO<sub>3</sub>.11H<sub>2</sub>O</i> ή <i>C<sub>4</sub>ACcH<sub>11</sub></i> ή <i>C<sub>4</sub>ACH<sub>11</sub></i>	ενώσεις ένυδρων αργιλικών ασβεστίων
<i>C<sub>3</sub>S</i>	αλίτης
<i>Ca(OH)<sub>2</sub></i>	υδράσβεστος ή πορτλανδίτης
<i>CaCO<sub>3</sub></i>	ανθρακικό ασβέστιο
<i>C-A-H</i> ή <i>CAH</i> ή <i>C<sub>x</sub>AH<sub>y</sub></i>	ενώσεις ένυδρου αργιλικού ασβεστίου
<i>C-A-S-H</i>	ενώσεις ένυδρων αργιλοπυριτικών ασβεστίων
<i>CH</i>	υδράσβεστος ή πορτλανδίτης
<i>CR</i>	φυσική υδραυλική άσβεστος Calx Romana
<i>C-S-H</i> ή <i>CSH</i>	ενώσεις ένυδρου πυριτικού ασβεστίου
<i>cv</i>	συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)
<i>d</i>	απόσταση μεταξύ παραλλήλων επιπέδων (Νόμος Bragg)
<i>d<sub>max</sub></i>	διάμετρος του μέγιστου κόκκου της άμμου σε [mm]
<i>d<sub>r</sub></i>	βάθος διείσδυσης του πυρήνα στο υπόβαθρο
<i>d<sub>s</sub></i>	πάχος υλικού επισκευής/ενίσχυσης
<i>d<sub>voids</sub></i>	εκτιμώμενη διάμετρος των κενών διαμέσου των οποίων θα διέλθει το ένεμα σε [mm]
<i>E</i>	μέτρο ελαστικότητας λίθων
<i>E<sub>ext</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας εξωτερικής παρειάς
<i>E<sub>inf</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας υλικού πλήρωσης
<i>E<sub>inf,c,0</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας υλικού πλήρωσης πριν την εφαρμογή των ενεμάτων
<i>E<sub>inf,c,i</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας υλικού πλήρωσης μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
<i>E<sub>w,0</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας τοιχίσκων πριν την εφαρμογή των ενεμάτων (αντιστοιχεί στο 30% της θλιπτικής αντοχής $f_{wc,0}$ )
<i>E<sub>w,i</sub></i>	μέτρο ελαστικότητας τοιχίσκων μετά την εφαρμογή των ενεμάτων (αντιστοιχεί στο 30% της θλιπτικής αντοχής $f_{wc,i}$ )
<i>E<sub>u</sub></i>	πλασματικό μέτρο ελαστικότητας διεπιφανειακής ζώνης
<i>E<sub>u,cal</sub></i>	υπολογιστική τιμή του πλασματικού μέτρου ελαστικότητας διεπιφανειακής ζώνης
<i>f<sub>b,c</sub></i>	θλιπτική αντοχή δομικών λίθων (λιθοσωμάτων ή οπτόπλινθων)
<i>f<sub>b,t</sub></i>	καμπτική ή εφελκυστική αντοχή δομικών λίθων (λιθοσωμάτων ή οπτόπλινθων)
<i>f<sub>binder,c</sub></i>	θλιπτική αντοχή συνδετικού υλικού, $f_{m,c}$ ή $f_{g,c}$
<i>f<sub>binder,t</sub></i>	καμπτική αντοχή συνδετικού υλικού, $f_{m,t}$ ή $f_{g,t}$
<i>f<sub>bt</sub></i>	εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας
<i>f<sub>g,c</sub></i>	θλιπτική αντοχή ενέματος ενίσχυσης
<i>f<sub>g,t</sub></i>	καμπτική αντοχή ενέματος ενίσχυσης
<i>f<sub>inf,c</sub></i>	θλιπτική αντοχή υλικού πλήρωσης (ενδιάμεσης παρειάς)
<i>f<sub>inf,c,0</sub></i>	θλιπτική αντοχή κυλινδρικών δοκιμίων υλικού πλήρωσης πριν την εφαρμογή των ενεμάτων
<i>f<sub>inf,c,i</sub></i>	θλιπτική αντοχή κυλινδρικών δοκιμίων υλικού πλήρωσης μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
<i>f<sub>m,c</sub></i>	θλιπτική αντοχή κονιάματος δόμησης



ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ h

$f_{m,t}$	καμπτική αντοχή κονιάματος δόμησης
$f_{wc,0}$	θλιπτική αντοχή τοιχίσκων πριν την εφαρμογή των ενεμάτων
$f_{wc,i}$	θλιπτική αντοχή τοιχίσκων μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
$f_{wt,0}$	εφελκυστική αντοχή τοιχίσκων πριν την εφαρμογή των ενεμάτων
$f_{wt,i}$	εφελκυστική αντοχή τοιχίσκων μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
<b>G ή E</b>	τύπος αστοχίας σύνθετων δοκιμίων-αστοχία εντός του αρμού του ενέματος
<b>G1</b>	σύνθεση αναφοράς
<b>G2</b>	τριμερής σύνθεση μετακαολίνη με λόγο L:MK=1:1
<b>G3</b>	τριμερής σύνθεση μετακαολίνη με λόγο L:MK=2:1
<b>G4</b>	τριμερής σύνθεση μηλαϊκής γης με λόγο L:LA=1:2.5
<b>G5</b>	τριμερής σύνθεση μηλαϊκής γης με λόγο L:LA=1:1
<b>HL</b>	σύνθεση φυσικής υδραυλικής ασβέστου NHL5=100%
<b>HL1</b>	σύνθεση φυσικής υδραυλικής ασβέστου ACAD=100%
<b>HL2</b>	σύνθεση φυσικής υδραυλικής ασβέστου με NHL5=90% και P=10%
<b>HL3</b>	σύνθεση φυσικής υδραυλικής ασβέστου CR=100%
<b>IT ή FA</b>	ιπτάμενη τέφρα
<b>ITZ</b>	τύπος αστοχίας σύνθετων δοκιμίων-αστοχία κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου
<b>L</b>	υδράσβεστος
<b>LA</b>	φυσική ποζολάνη lava attica, μηλαϊκή γη
$l_m$	μήκος ελέγχου- όρος αναφερόμενος στην τραχύτητα μιας επιφάνειας
<b>m</b>	μέση τιμή δείγματος
<b>MK</b>	τεχνητή ποζολάνη metastar, μετακαολίνης
<b>n</b>	φαινόμενο πορώδες λίθων
<b>NHL5</b>	φυσική υδραυλική ασβέστος θλιπτικής αντοχής 5 MPa
$n_{inf}$	εκτιμώμενο ποσοστό κενών ενδιάμεσης παρειάς ορισμένου ως ο όγκος του εισαχθέντος ενέματος ανηγμένος προς τον όγκο της ενδιάμεσης στρώσης
<b>NP</b>	φυσική ποζολάνη
$n_{tot}$	εκτιμώμενο ποσοστό κενών τοιχίσκου ορισμένου ως ο όγκος του εισαχθέντος ενέματος ανηγμένος προς τον όγκο του τοιχίσκου
<b>OPC</b>	τσιμέντο πόρτλαντ
<b>P</b>	φυσική ποζολάνη
<b>R.H.</b>	σχετική υγρασία
<b>R<sup>2</sup></b>	συντελεστής προσδιορισμού
<b>Rh. Tr.</b>	φυσική ποζολάνη από τον Ρήνο
$R_{max}$	όρος αναφερόμενος στην τραχύτητα μιας επιφάνειας- μέγιστο ύψος «κοιλιάδας», αναφέρεται στο μήκος $l_c$
$R_v$	όρος αναφερόμενος στην τραχύτητα μιας επιφάνειας- μέγιστο βάθος «κοιλιάδας»-«κορυφής»
$R_y$	όρος αναφερόμενος στην τραχύτητα μιας επιφάνειας- ύψος ολικής τραχύτητας, αναφέρεται στο μήκος $l_m$
<b>S</b>	άμμος
<b>S ή Y</b>	τύπος αστοχίας σύνθετων δοκιμίων-αστοχία στο υπόβαθρο
<b>s</b>	επιβαλλόμενη ολίσθηση
<b>SF</b>	πυριτική άχνη
$S_u$	ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η $\tau_u$
$\bar{S}_u$	ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η $\bar{\tau}_u$ (προσδιοριζόμενη στις μέσες καμπύλες)
$S_{u,cal}$	υπολογιστική τιμή της ολίσθησης
$S_{u,f}$	ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η $\tau_{u,f}$
<b>T</b>	θερμοκρασία
<b>t</b>	τραβερίνης
<b>tanφ</b>	συντελεστής τριβής σε κριτήριο αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb

$t_{ext}$	πάχος εξωτερικής στρώσης
$t_{inf}$	πάχος ενδιάμεσης στρώσης
$w$	άνοιγμα ρωγμής ή εγκάρσια διόγκωση ή διασταλτικότητα
$w/c$	λόγος ύδατος προς συνδετική κονία ή υδατοσιμεντοσυντελεστής
$w/s$	λόγος ύδατος προς συνδετική κονία ή υδατοσιμεντοσυντελεστής
$W_{hor,0}$	άνοιγμα κατακόρυφων ρωγμών στην όψη περί το μέσον του ύψους του τοιχίσκου πριν την εφαρμογή των ενεμάτων (για $f_{wt,0}$ )
$W_{hor,i}$	άνοιγμα κατακόρυφων ρωγμών στην όψη περί το μέσον του ύψους του τοιχίσκου μετά την εφαρμογή των ενεμάτων (για $f_{wt,i}$ )
$W_{tr,0}$	άνοιγμα εγκαρσίων ρωγμών περί το μέσον του ύψους του τοιχίσκου πριν την εφαρμογή των ενεμάτων στην αστοχία
$W_{tr,i}$	άνοιγμα εγκαρσίων ρωγμών περί το μέσον του ύψους του τοιχίσκου μετά την εφαρμογή των ενεμάτων στην αστοχία
$W_{tr,i,0}$	άνοιγμα εγκαρσίων ρωγμών περί το μέσον του ύψους του τοιχίσκου μετά την εφαρμογή των ενεμάτων για $\sigma = f_{wc,0}$
$w_u$	άνοιγμα ρωγμής που αντιστοιχεί στην $t_u$
$\bar{w}_u$	άνοιγμα ρωγμής που αντιστοιχεί στην $\bar{t}_u$ (προσδιοριζόμενη στις μέσες καμπύλες)
$W_{u,cal}$	υπολογιστική τιμή ανοίγματος ρωγμής
$W_{u,f}$	άνοιγμα ρωγμής που αντιστοιχεί στην $t_{u,f}$
$Z$	τύπος αστοχίας σύνθετων δοκιμίων στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου: το μισό του αρμού του ενέματος παραμένει κολλημένο στο ένα πλακίδιο του υποβάθρου, ενώ το υπόλοιπο μισό είναι κολλημένο στο δεύτερο πλακίδιο
<b>APY</b>	αρχικός ρυθμός υδαταπορρόφησης υποβάθρου
<b><math>\beta</math></b>	εμπειρικός συντελεστής για την εκτίμηση του συντελεστή τριβής
<b><math>\gamma</math></b>	εμπειρικός συντελεστής για την εκτίμηση της ολίσθησης
<b><math>\gamma_u</math></b>	πλαστική γωνιακή παραμόρφωση αστοχίας
<b><math>\gamma_{u,cal}</math></b>	υπολογιστική τιμή της πλαστικής γωνιακής παραμόρφωσης αστοχίας
<b><math>\delta</math></b>	εμπειρικός συντελεστής για την εκτίμηση της παραμένουσας διαμητρικής αντοχής
<b><math>\Delta w/c</math></b>	λόγος απώλειας ύδατος προς συνδετική κονία
<b><math>\varepsilon</math></b>	εμπειρικός συντελεστής για την εκτίμηση των ανηγμένων καμπύλων $w/w_u$
<b><math>\varepsilon_u</math></b>	ανηγμένη οριζόντια παραμόρφωση αστοχίας που αντιστοιχεί στην $t_u$
<b><math>\varepsilon_{wtu,0}</math></b>	ανηγμένη κατακόρυφη παραμόρφωση αστοχίας τοιχίσκου που αντιστοιχεί στην εφελκυστική του αντοχή πριν την εφαρμογή των ενεμάτων
<b><math>\varepsilon_{wtu,i}</math></b>	ανηγμένη κατακόρυφη παραμόρφωση αστοχίας τοιχίσκου που αντιστοιχεί στην εφελκυστική του αντοχή μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
<b><math>\varepsilon_{wu,0}</math></b>	ανηγμένη κατακόρυφη παραμόρφωση αστοχίας τοιχίσκου
<b><math>\varepsilon_{wu,i}</math></b>	ανηγμένη κατακόρυφη παραμόρφωση αστοχίας τοιχίσκου μετά την εφαρμογή των ενεμάτων
<b><math>\Theta</math></b>	συνθήκες συντήρησης πηγματος στον υγρό θάλαμο
<b><math>\theta</math></b>	η γωνία μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας X και κρυσταλλικού επιπέδου (Νόμος Bragg)
<b><math>\lambda</math></b>	μήκος κύματος (Νόμος Bragg)
<b><math>\lambda\varepsilon</math></b>	λόγος της θλιπτικής αντοχής των τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα
<b><math>M</math></b>	μάρμαρο Διονύσου
<b><math>\mu_{res}</math></b>	παραμένον συντελεστής τριβής (οριζόμενος για τους τύπους αστοχίας ITZ και Z)
<b><math>\bar{\mu}_{res}</math></b>	παραμένον συντελεστής τριβής (οριζόμενος για τους τύπους αστοχίας ITZ και Z), αναφέρεται στις μέσες καμπύλες
<b><math>\mu_{res,f}</math></b>	παραμένον πλασματικός ή φαινομενικός συντελεστής

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ j

	τριβής (κατά την οριζόντιο, οριζόμενος για τον τύπο αστοχίας S)
$\mu$	συντελεστής τριβής (οριζόμενος για τους τύπους αστοχίας ITZ και Z)
$\bar{\mu}$	συντελεστής τριβής (οριζόμενος για τους τύπους αστοχίας ITZ και Z), αναφέρεται στις μέσες καμπύλες
$\mu_{u,cal}$	υπολογιστικός συντελεστής τριβής (κατά την οριζόντιο)
$\mu_{u,f}$ ή $\mu_{u,fictitious}$	πλασματικός ή φαινομενικός συντελεστής τριβής (κατά την οριζόντιο, οριζόμενος για τον τύπο αστοχίας S)
$\mu_{AA}$	συντελεστής τριβής (κατά το επίπεδο αστοχίας AA, οριζόμενος για τον τύπο αστοχίας S)
<b>N</b>	συνθήκες συντήρησης πηγματος σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου
<b>v</b>	λόγος Poisson
<b>OA</b>	συμπαγείς οπτόπλινθοι βυζαντινού τύπου
<b>OB</b>	συμπαγείς σύγχρονες οπτόπλινθοι
<b><math>\rho</math></b>	φαινόμενη πυκνότητα
$\rho_{db}$	φαινόμενη πυκνότητα υποβάθρων
<b><math>\sigma</math></b>	τυπική απόκλιση δείγματος
$\sigma_n$	επιβαλλόμενη ορθή θλιπτική τάση
$\sigma_{AA}$	επιβαλλόμενη ορθή θλιπτική τάση στο επίπεδο αστοχίας AA (οριζόμενη για την αστοχία τύπου S)
<b>T</b>	τραβερίνης
<b>T</b>	διατμητική αντίσταση
$T_o$	«συνοχή» σε κριτήριο αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb
$T_{res}$	παραμένουσα διατμητική αντοχή συνάφειας της διεπιφάνειας
$\bar{T}_{res}$	παραμένουσα διατμητική αντοχή συνάφειας της διεπιφάνειας (προσδιοριζόμενη στις μέσες καμπύλες)
$T_{res,f}$	παραμένουσα διατμητική αντοχή
$T_u$	διατμητική αντοχή συνάφειας της διεπιφάνειας υποβάθρου/συνδετικού υλικού
$\bar{T}_u$	διατμητική αντοχή (προσδιοριζόμενη στις μέσες καμπύλες)
$T_{u,cal}$	υπολογιστική διατμητική αντοχή
$T_{u,f}$ ή $T_{u,fictitious}$	διατμητική αντοχή σύνθετων δοκιμίων (οριζόμενη για την αστοχία τύπου S)
<b>TA</b>	τεφρός ασβεστόλιθος
$T_{AA}$	διατμητική αντοχή στο επίπεδο αστοχίας AA (οριζόμενη για την αστοχία τύπου S)
<b>YT</b>	συνθήκες υψηλής τράχυνσης
$\varphi_u$	αρχική γωνία τριβής
$\varphi_{res}$	παραμένουσα γωνία τριβής
$\varphi_{u,cal}$	υπολογιστική τιμή της αρχικής γωνίας τριβής
$\varphi_{res,cal}$	υπολογιστική τιμή της παραμένουσας γωνίας τριβής
<b>XT</b>	συνθήκες χαμηλής τράχυνσης
<b><math>\psi</math></b>	ψαμμίτης
$\psi_u$	αρχική γωνία διασταλτικότητας
$\psi_{res}$	παραμένουσα γωνία διασταλτικότητας
$\psi_{u,cal}$	υπολογιστική τιμή της αρχικής γωνίας διασταλτικότητας
$\psi_{res,cal}$	υπολογιστική τιμή της παραμένουσας γωνίας διασταλτικότητας

**ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**

<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> .Κριτική Αναδρομή στην Βιβλιογραφία</b>		
Πίνακας 1.	Συνθέσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά ενεμάτων που εφαρμόστηκαν στους τρίστρωτους τοιχίσκους και παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 και 3	13
Πίνακας 2.	Γεωμετρία, μηχανικές ιδιότητες υλικών και κύρια αποτελέσματα δοκιμών θλίψης σε τρίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων	14
Πίνακας 3.	Γεωμετρία, μηχανικές ιδιότητες υλικών και κύρια αποτελέσματα δοκιμών διαγώνιας θλίψης σε τρίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων	16
Πίνακας 4.	Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών σε υλικά πληρώσεως	23
Πίνακας 5.	Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών θλίψης σε δίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων	25
Πίνακας 6.	Παράγοντες που επηρεάζουν την συνάφεια (Groot 1993)	55
Πίνακας 7.	Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού σε σύνθετα δοκίμια συνδετικών υλικών και λίθων ή πλίνθων (βάσει του Πίνακα του Παραρτήματος Α: Μέρος ΙΙ-2)	82
Πίνακας 8.	Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης σε σύνθετα δοκίμια συνδετικών υλικών και λίθων ή πλίνθων (βάσει του Πίνακα του Παραρτήματος Α: Μέρος ΙΙ-2)	86
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> .Πειραματικό Μέρος</b>		
Πίνακας 9.	Χημικές και φυσικές ιδιότητες κονιών	108
Πίνακας 10.	Συνθέσεις ενεμάτων μικτού συστήματος τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης	109
Πίνακας 11.	Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ενεμάτων (συντήρηση σε υγρό θάλαμο)	111
Πίνακας 12.	Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ενεμάτων (συντήρηση σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου )	111
Πίνακας 13.	Συνθέσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου	117
Πίνακας 14.	Κύρια φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων	118
Πίνακας 15.	Συνδυασμοί ενεμάτων/υποβάθρων για τις δοκιμές εφελκυσμού (3 ή 6 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων)	134
Πίνακας 16.	Συνδυασμοί τριμερών ενεμάτων/υποβάθρων για τις δοκιμές διάτμησης (3 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων)	134
Πίνακας 17.	Συνδυασμοί ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου/υποβάθρων για τις δοκιμές διάτμησης (2 ή 3 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων)	134
Πίνακας 18.	Πειραματικό Πρόγραμμα (Πλήθος δοκιμών: 725)	136
Πίνακας 19.	Κύρια ορυκτολογικά συστατικά ενεμάτων για τις ηλικίες των 7, 28, 60 και 90 ημερών	139
Πίνακας 20.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 28 ημερών (33 δοκιμές)	158
Πίνακας 21.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 60 ημερών (30 δοκιμές)	159
Πίνακας 22.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 90 ημερών	160

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ I

	(30 δοκιμές)	
Πίνακας 23.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 180 ημερών (18 δοκιμές)	161
Πίνακας 24.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από μάρμαρο Διονύσου (18 δοκιμές)	187
Πίνακας 25.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τεφρό ασβεστόλιθο (18 δοκιμές)	187
Πίνακας 26.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-28 ημέρες (30 δοκιμές)	189
Πίνακας 27.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-90 ημέρες (30 δοκιμές)	190
Πίνακας 28.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-60 και 180 ημέρες (12 δοκιμές)	191
Πίνακας 29.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-28 ημέρες (9 δοκιμές)	191
Πίνακας 30.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-90 και ημέρες (24 δοκιμές)	192
Πίνακας 31.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα (39 δοκιμές)	193
Πίνακας 32.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Β και ενέματα υδραυλικής ασβέστου (18 δοκιμές)	194
Πίνακας 33.	Διεπιφάνειες υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας: Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης (μέσες τιμές συνήθως δύο ή τριών δοκιμών ανά συνδυασμό παραμέτρων)	195
Πίνακας 34.	Σύνθετα δοκίμια υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας: Αποτελέσματα πειραμάτων διάτμησης (μέσες τιμές ανά συνδυασμό παραμέτρων)	196
Πίνακας 35.	Συντελεστής μεταβλητότητας πειραματικών στοιχείων δοκιμών διατμήσεως	198
Πίνακας 36.	Ύψη ζωνών ενανθράκωσης ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια της διάτμησης	209
Πίνακας 37.	Σύνθετα δοκίμια οπτοπλίνθουΑ/τριμερών ενεμάτων: Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα-28 ημέρες (39 δοκιμές)	246
Πίνακας 38.	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου: Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα-28 ημέρες (39 δοκιμές)	246
Πίνακας 39.	Ενδεικτικές τιμές της διατμητικής αντοχής συνάφειας από την βιβλιογραφία	248
Πίνακας 40.	Υπολογιστικές τιμές της «συνοχής» και της $\tan\phi$ για τις διεπιφάνειες τραβερτίνη/ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (90 ημέρες)	249
	<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> .Δοκιμές Διατμήσεως-Καταστατικοί Νόμοι</b>	
Πίνακας 41.	Τιμές των $\bar{T}_U$ , $\bar{s}_U$ , $\bar{W}_U$ και $\bar{T}_{res}$	266
Πίνακας 42.	Τιμές συντελεστή β	276
Πίνακας 43.	Πειραματικές τιμές του λόγου $T_{res}/T_U$	283
	<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> .Αναλυτικό Μέρος</b>	
Πίνακας 44.	Προσομοίωμα 1: Ελαστικές ιδιότητες υποβάθρων	287
Πίνακας 45.	Προσομοίωμα 1: Πειραματικές τιμές παρα-	288

	μέτρων (μέσες τιμές)	
Πίνακας 46.	Προσομοίωμα 1: Υπολογιστικές τιμές παραμέτρων	288
Πίνακας 47.	Προσομοίωμα 2: Πειραματικές και υπολογιστικές τιμές της διατμητικής αντίστασης των στοιχείων gap	293
Πίνακας 48.	Προσομοίωμα 2: Πειραματικές και υπολογιστικές τιμές της διατμητικής αντίστασης που παραλαμβάνουν τα μη γραμμικά ελατήρια	293
Πίνακας 49.	Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb: Προτεινόμενες τιμές για την συνοχή διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων.	296
Πίνακας 50.	Προσομοίωση τοιχίσκων των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006): Ελαστικές και ανελαστικές ιδιότητες των στρώσεων πριν και μετά τα ενέματα	299
Πίνακας 51.	Προσομοίωση τοιχίσκων των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006): Ιδιότητες στοιχείων διεπιφάνειας πριν και μετά τα ενέματα	300
<b>Παράρτημα Β</b>		
Πίνακας Β-1.	Συνθέσεις υδραυλικών ενεμάτων-Αποτελέσματα δοκιμών ρευστότητας	Β5
<b>Παράρτημα Γ</b>		
Πίνακας Γ-1.	Αποτελέσματα δοκιμών ενεμάτων στην στερεά κατάσταση	Γ20
<b>Παράρτημα Δ</b>		
Πίνακας Δ-1.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 28 ημερών (33 δοκιμές)	Δ4
Πίνακας Δ-2.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 60 ημερών (30 δοκιμές)	Δ5
Πίνακας Δ-3.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 90 ημερών (30 δοκιμές)	Δ6
Πίνακας Δ-4.	Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 180 ημερών (18 δοκιμές)	Δ7
Πίνακας Δ-5.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G1 (C=80%, L=20%) /μαρμάρου	Δ9
Πίνακας Δ-6.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G2(C=30%, MK/L=1/1)/μαρμάρου	Δ9
Πίνακας Δ-7.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G4(C=30%, L/LA=1/2.5)/μαρμάρου	Δ9
Πίνακας Δ-8.	Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G4(C=30%. L/LA=1/2.5)/τραβερίνη	Δ10
<b>Παράρτημα Ε</b>		
Πίνακας Ε-1.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από μάρμαρο Διονύσου (18 δοκιμές)	Ε4
Πίνακας Ε-2.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τεφρό ασβεστόλιθο (18 δοκιμές)	Ε5
Πίνακας Ε-3.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερίνη-28 ημέρες (30 δοκιμές)	Ε6
Πίνακας Ε-4.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερίνη-90 ημέρες (30 δοκιμές)	Ε7
Πίνακας Ε-5.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερίνη-60 και 180 ημέρες (12 δοκιμές)	Ε8
Πίνακας Ε-6.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια	Ε8

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ n

	με υπόβαθρο από ψαμμίτη-28 ημέρες (9 δοκιμές)	
Πίνακας E-7.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-90 και 180 ημέρες (24 δοκιμές)	E9
Πίνακας E-8.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα (39 δοκιμές)	E10
Πίνακας E-9.	Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Β και ενέματα υδραυλικής ασβέστου (18 δοκιμές)	E11
Πίνακας E-10.	Τιμές των $\bar{\tau}_U$ , $\bar{s}_U$ , $\bar{w}_U$ και $\bar{\tau}_{res}$	E14
Πίνακας E-11.	Τιμές συντελεστή β	E43
Πίνακας E-12.	Τιμές συντελεστή δ	E44

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> . Εισαγωγή</b>			
Εικόνα	1.	Τρίστρωτες τοιχοποιίες (Vintzileou 2009)	1
Εικόνα	2.	Τρίστρωτες τοιχοποιίες (αρχείο Χ.-Ε. Αδάμη)	2
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> . Κριτική Αναδρομή στην Βιβλιογραφία</b>			
Εικόνα	3.	Δοκίμια για την μέτρηση της θλιπτικής αντοχής και της αντοχής σε διάτμηση τρίστρωτης τοιχοποιίας (Vintzileou et al. 2007)	12
Εικόνα	4.	Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τρίστρωτου τοιχίσκου: ρηγματώσεις πριν την εφαρμογή των ενεμάτων: α) (Toumbakari 2002) και β) (Vintzileou et al. 2008)	17
Εικόνα	5.	Φάσεις 1 και 2: Σχηματική απεικόνιση αναπτυσσομένων τάσεων και παραμορφώσεων στις εξωτερικές και στην ενδιάμεση στρώση τρίστρωτης τοιχοποιίας υποβαλλόμενης σε θλίψη (Vintzileou 2007)	18
Εικόνα	6.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής της ενδιάμεσης παρειάς στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων (Egermann 1991)	20
Εικόνα	7.	Εύρος τιμών του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν τα ενέματα	21
Εικόνα	8.	Θλιπτική αντοχή τοιχίσκων πριν τα ενέματα συναρτήσει του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων	21
Εικόνα	9.	Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τρίστρωτου τοιχίσκου: ρηγματώσεις α) πριν και β) μετά την εφαρμογή των ενεμάτων (Toumbakari 2002).	22
Εικόνα	10.	Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τρίστρωτου τοιχίσκου πριν (ανοιχτό γκρι) και μετά τα ενέματα (σκούρο γκρι) (Vintzileou et al 2008).	22
Εικόνα	11.	Θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν ( $f_{w,0}$ ) και μετά τα ενέματα ( $f_{w,i}$ )	24
Εικόνα	12.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,c}$ ) στην θλιπτική αντοχή τρίστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).	25
Εικόνα	13.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,c}$ ) στην θλιπτική αντοχή δίστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).	25
Εικόνα	14.	Θλιπτική ( $f_{g,c}$ ) και καμπτική αντοχή ( $f_{g,t}$ ) ενεμάτων συναρτήσει του λόγου ( $f_{g,t}/f_{g,c}$ ).	25
Εικόνα	15.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,t}$ ) στην θλιπτική αντοχή τρίστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).	26
Εικόνα	16.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής ενεμάτων με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά ( $f_{g,t}$ ) στην θλιπτική αντοχή του υλικού πλήρωσης ( $f_{inf,c,i}$ ).	26
Εικόνα	17.	Λόγος του μέτρου ελαστικότητας πριν και μετά τα ενέματα ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ ) προς την α) θλιπτική και β) καμπτική αντοχή των ενεμάτων	27
Εικόνα	18.	Λόγος της θλιπτικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{w,i}/f_{w,0}$ ) προς τον λόγο ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ )	28
Εικόνα	19.	Εύρος τιμών του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα	28
Εικόνα	20.	Ο λόγος ( $\varepsilon_{w,i}/\varepsilon_{w,0}$ ) συναρτήσει της θλιπτικής	28



ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ p

		αντοχής των ενεμάτων	
Εικόνα	21.	Ο λόγος ( $\varepsilon_{w,i}/\varepsilon_{w,0}$ ) συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004)	29
Εικόνα	22.	Τυπική μορφή αστοχίας τρίστρωτων τοιχίσκων έναντι διαγώνιας θλίψης: ρηγματώσεις πριν (ανοιχτό γκρι) και μετά (σκούρο γκρι) την εφαρμογή των ενεμάτων α) (Toumbakari 2002) β) (Vintzileou et al. 2008).	31
Εικόνα	23.	Λόγος της εφελκυστικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{wt,i}/f_{wt,0}$ ) προς τον λόγο ( $f_{w,i}/f_{w,0}$ )	31
Εικόνα	24.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων: α) στην εφελκυστική αντοχή των τοιχίσκων και β) στον λόγο της εφελκυστικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{wt,i}/f_{wt,0}$ ).	32
Εικόνα	25.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων στον λόγο των: α) ανηγμένων κατακόρυφων παραμορφώσεων πριν και μετά τα ενέματα ( $\varepsilon_{wt,i}/\varepsilon_{wt,0}$ ) και β) το άνοιγμα των ρωγμών στο μέσον των τοιχίσκων ( $w_{hor,i}/w_{hor,0}$ ).	33
Εικόνα	26.	Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Ollivier-Grandet 1982)	41
Εικόνα	27.	Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Zimbelmann 1985)	41
Εικόνα	28.	Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Monteiro 1986)	41
Εικόνα	29.	Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Barners et al. 1978, 1979) όπως παρουσιάζεται από τον (Maso 1980)	41
Εικόνα	30.	Επιρροή της περιεχόμενης υγρασίας οπτόπλινθων στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας α) [(Sinha 1967) παράθεση (Hendry 1998)], β) (Venu Madhava Rao et al. 1996)	52
Εικόνα	31.	Ποιοτική σχέση μεταξύ APY και αντοχής συνάφειας	52
Εικόνα	32.	Επιρροή του APY στην αντοχή συνάφειας (Groot et al. 1999)	52
Εικόνα	33.	Απώλεια ύδατος κονιάματος συναρτήσει του APY βάσει των (Sugo et al. 2001)	53
Εικόνα	34.	Μεταβολή της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας συναρτήσει της εξάπλωσης και ικανότητας συγκράτησης ύδατος (Pavia et al. 2009)	54
Εικόνα	35.	Σχηματική απεικόνιση α) του μέγιστου ύψους «κορυφής»-«κοιλιάδας» ( $R_{max}$ ) και β) του ύψους της ολικής τραχύτητας ( $R_v$ ) και του μέγιστου βάθους «κοιλιάδας» ( $R_v$ ) σε μια επιφάνεια	56
Εικόνα	36.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του υλικού επισκευής στην διαμητική αντοχή συνάφειας [βάσει των (Ray et al. 2005)]	57
Εικόνα	37.	Εν χρόνω ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων, στην σύσταση των οποίων περιέχεται ή μη ιπτάμενη τέφρα (Li et al. 2003)	59
Εικόνα	38.	Εν χρόνω ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας διεπιφανειών πλίνθων και κονιαμάτων με ή χωρίς την προσθήκη ποζολανών (Shrive et al. 2004)	60
Εικόνα	39.	Επιρροή των συνθηκών συντήρησης στην αντοχή συνάφειας [βάσει των (Delatte et al. 2000)]	61
Εικόνα	40.	Επιρροή των συνθηκών συντήρησης στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας (Isberner 1969)	61

Εικόνα	41.	Πειραματικές διατάξεις δοκιμών μονοαξονικού εφελκυσμού μέσω α) ειδικών αρπαγών (Kolias et al. 1978), β1) βλήτρων ή β2) ράβδων (Almeida et al. 2002)	64
Εικόνα	42.	Πειραματικές διατάξεις δοκιμών μονοαξονικού εφελκυσμού μέσω μεταλλικών πλακών που επικολλώνται στα δοκίμια (Almeida et al. 2002)	65
Εικόνα	43.	Πειραματική διάταξη δοκιμής αποκόλλησης	65
Εικόνα	44.	Πειραματικές διατάξεις δοκιμών κάμψης α) τριών και β) τεσσάρων (Gregoire et al. 2004), (Amde et al. 2008) σημείων	66
Εικόνα	45.	Ορθές τάσεις στην διατομή της διεπιφάνειας στο μέσον του δοκιμίου της Εικόνας 44	66
Εικόνα	46.	Πειραματική διάταξη δοκιμής καμπτικής ροπής (ASTM C 1072)	67
Εικόνα	47.	Πειραματική διάταξη δοκιμής διάρρηξης σε α) πρισματικά και β) κυλινδρικά σύνθετα δοκίμια (Momayez et al. 2004)	67
Εικόνα	48.	Κατανομή των τάσεων κατά μήκος της φορτιζομένης διεπιφάνειας [(Nillson 1961) παράθεση (Geissert et al. 1999)]	67
Εικόνα	49.	Πειραματική διάταξη δοκιμής Cross Couplet κατά ASTM C952-02 (Gregoin et al. 2004)	68
Εικόνα	50.	Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο της Εικόνας 49 (Almeida et al. 2002). Αστοχία δοκιμίων για ασθενή υπόβαθρα (κόκκινο χρώμα)	68
Εικόνα	51.	Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων κατά μήκος του αρμού κονιάματος	68
Εικόνα	52.	Σύνθετο δοκίμιο υποβαλλόμενο σε διάτμηση: σχηματική απεικόνιση μορφών αστοχίας (Austin et al 1999)	69
Εικόνα	53.	Σχηματική απεικόνιση δοκιμής άμεσης διάτμησης (Van der Pluijm 1993)	69
Εικόνα	54.	Σχηματική απεικόνιση δοκιμής άμεσης διάτμησης με συσκευή τύπου shear-box: δοκίμιο α) πλήρως και β)μερικώς εγκιβωτισμένο στην σκάφη	69
Εικόνα	55.	(Α), (Β) Επίπεδα διάτμησης, (Γ) Παραμορφώσεις αρμού, (Δ) Περιοχές συγκέντρωσης τάσεων, (Ε) Επίπεδα αστοχίας	70
Εικόνα	56.	Κύκλοι Mohr, Περιβάλλουσα Mohr-Coulomb	70
Εικόνα	57.	Σχηματική απεικόνιση δοκιμών α) τριπλέτας (Lourenco et al. 2004) και β) διπλέτας	71
Εικόνα	58.	Βελτιωμένη διάταξη διπλέτας (Lourenco et al. 2004)	71
Εικόνα	59.	α) Σχηματική απεικόνιση δοκιμής λοξής θλίψης (Wall et al 1988) σε β) σύνθετο δοκίμιο σκυροδέματος (Momayez et al 2004)	72
Εικόνα	60.	Επιρροή της φορτιζομένης επιφάνειας στην εφελκυστική αντοχή συνάφειας [βάσει των (Appa Rao et al. 2002)]	73
Εικόνα	61.	Επιρροή των διαφόρων τύπων της τραχύτητας στην αντοχή συνάφειας αναλόγως της μεθόδου μέτρησης [βάσει των (Abou-Tair et al. 1996)]	74
Εικόνα	62.	Επιρροή της αύξησης της τραχύτητας από χαμηλή σε μέση στην αντοχή συνάφειας αναλόγως της μεθόδου μέτρησης [βάσει των (Momayez et al. 2005)]	74
Εικόνα	63.	Επιρροή της προσθήκης πυριτικής παιπάλης στην αντοχή συνάφειας για περιπτώσεις χαμηλής (ΧΤ) και υψηλής (ΥΤ) τραχύτητας [βάσει των (Momayez et al. 2005)]	75
Εικόνα	64.	Επιρροή των αρχικών συνθηκών υγρασίας στην αντοχή συνάφειας [βάσει των (Julio et al. 2005)]	76
Εικόνα	65.	Επιρροή της φορτιζομένης επιφάνειας στην	76

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ r

		καμπτική αντοχή διεπιφάνειας (Alexander et al. 1960)	
Εικόνα	66.	Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος επιστρατευομένης εφελκυστικής τάσης διεπιφάνειας συναρτήσει των επιβαλλομένων παραμορφώσεων $u$ (Van der Pluijm 1997)	81
Εικόνα	67.	Επιρροή της υδαταπορρόφησης λίθων (μαύρο) και πλίνθων (κόκκινο) στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	83
Εικόνα	68.	Επιρροή του πορώδους των λίθων (μαύρο) και πλίνθων (κόκκινο) στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	83
Εικόνα	69.	Επιρροή του λόγου $f_{binder,c}/f_{b,c}$ στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	84
Εικόνα	70.	Επιρροή του λόγου $f_{binder,t}/f_{b,t}$ στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	84
Εικόνα	71.	Επιρροή του περιεχόμενου τσιμέντου στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	84
Εικόνα	72.	Επιρροή της $f_{binder,t}$ στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	84
Εικόνα	73.	Τυπικά διαγράμματα επιστρατευομένης διατμητικής τάσης συνάφειας συναρτήσει των επιβαλλομένων ολισθήσεων (Abdou et al. 2006)	88
Εικόνα	74.	Τυπική απόκριση αρμού κονιάματος υπό ανακυκλιζόμενη διατμητική φόρτιση (Atkinson et al. 1989)	89
Εικόνα	75.	Τυπική καμπύλη ανοίγματος ρωγμής-επιβαλλόμενης ολίσθησης (Van der Pluijm et al. 2000)	89
Εικόνα	76.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των λιθοσωμάτων $f_{b,c}$ στην συνοχή (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα)	90
Εικόνα	77.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού $f_{binder,c}$ στην συνοχή (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα)	91
Εικόνα	78.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού $f_{binder,t}$ στην συνοχή	91
Εικόνα	79.	Συνοχή συναρτήσει του λόγου $f_{binder,t}/f_{binder,c}$ (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα)	91
Εικόνα	80.	Συνοχή συναρτήσει της περιεκτικότητας σε τσιμέντο επί του όγκου της συνδετικής κονιάς (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα)	91
Εικόνα	81.	$\tan\phi$ συναρτήσει της $f_{b,c}$	92
Εικόνα	82.	$\tan\phi$ συναρτήσει του $w/s$	92
Εικόνα	83.	$\tan\phi$ συναρτήσει της $f_{binder,c}$	92
Εικόνα	84.	Τυπικές καμπύλες τ-s: Επιρροή της $\sigma_n$ (Bei et al. 2004)	93
Εικόνα	85.	Τυπικές καμπύλες τ-s για υπόβαθρο από οπτόπλινθο: Επιρροή της $\sigma_n$ (Toumbakari 2002)	93
Εικόνα	86.	Επιρροή της προσθήκης πυριτικής παιπάλης στην καμπύλη φορτίου-ολίσθησης (Mitsui et al. 1994)	94
Εικόνα	87.	Επιρροή του $w/c$ στην καμπύλη φορτίου-ολίσθησης (Mitsui et al. 1994)	94

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> . Πειραματικό Μέρος**

Εικόνα	88.	Σχηματική απεικόνιση επίδρασης των ενεμάτων στην επισκευασμένη τοιχοποιία [βάσει της (Toumbakari 2002)]	100
Εικόνα	89.	Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιών (Ερευνητικό Κέντρο της TITAN A.E.)	108
Εικόνα	90.	Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,t}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο)	112
Εικόνα	91.	Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,c}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο)	112
Εικόνα	92.	Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,c}$	112

		συναρτήσει του λόγου $f_{g,t} / f_{g,c}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο)	
Εικόνα	93.	Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,c}$ συναρτήσει του λόγου $f_{g,t} / f_{g,c}$ (συντήρηση σε ασβεστόνερο)	113
Εικόνα	94.	Ένεμα G2: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,t}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο και ασβεστόνερο)	113
Εικόνα	95.	Ένεμα G2: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,c}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο και ασβεστόνερο)	113
Εικόνα	96.	Ενέματα υδραυλικής ασβέστου: Εν-χρόνω εξέλιξη της $f_{g,c}$ συναρτήσει του λόγου $f_{g,t}/f_{g,c}$ (συντήρηση σε υγρό θάλαμο)	117
Εικόνα	97.	Σχηματική απεικόνιση αναπτυσσομένων τάσεων και παραμορφώσεων στην διεπιφάνεια μεταξύ των παρειών της τρίστρωτης τοιχοποιίας	120
Εικόνα	98.	Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές του εφελκυσμού	121
Εικόνα	99.	Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές διάτμησης	121
Εικόνα	100.	Τυπικό σύνθετο δοκίμιο από λίθο για τις δοκιμές του εφελκυσμού	122
Εικόνα	101.	Κοπή τεμαχίων υποβάθρων σε ειδικά κοπτήρια (ΦΑΣΗ 1)	122
Εικόνα	102.	Κοπή τεμαχίων υποβάθρων σε ειδικά κοπτήρια (ΦΑΣΗ 2)	122
Εικόνα	103.	Τυπικό σύνθετο δοκίμιο από πλίνθο για τις δοκιμές του εφελκυσμού	122
Εικόνα	104.	Ξυλότυπος τμήματος Α	122
Εικόνα	105.	Χρήση αεροστάθμης για την κατασκευή δοκιμίων υποβάθρων	123
Εικόνα	106.	Χρήση γωνιάς για την κατασκευή δοκιμίων υποβάθρων	123
Εικόνα	107.	Μηχανική τράχυνση «προσώπου» δοκιμίου υποβάθρου	123
Εικόνα	108.	Καθαρισμός «προσώπου» δοκιμίου υποβάθρου με πεπιεσμένο αέρα	123
Εικόνα	109.	Προετοιμασία σύνθετου δοκιμίου εφελκυσμού	123
Εικόνα	110.	Έγχυση ενέματος στον αρμό του σύνθετου δοκιμίου	123
Εικόνα	111.	Συντήρηση σύνθετων δοκιμίων με νωπή λινάτσα	124
Εικόνα	112.	Συντήρηση σύνθετων δοκιμίων με νωπή λινάτσα και υδατοστεγανή μεμβράνη	124
Εικόνα	113.	Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές διάτμησης	124
Εικόνα	114.	Προετοιμασία σύνθετου δοκιμίου διάτμησης	124
Εικόνα	115.	Σύνθετα δοκίμια για τις παρατηρήσεις της μικροδομής	124
Εικόνα	116.	Συσκευή μεθόδου XRD	126
Εικόνα	117.	Σχηματική Αναπαράσταση της Συμβολής Σύμφωνων Ακτίνων X από Δύο Επίπεδα της Δομής (Νόμος του Bragg)	127
Εικόνα	118.	Δειγματοφορέας	127
Εικόνα	119.	Πειραματική διάταξη για τις δοκιμές άμεσου εφελκυσμού	129
Εικόνα	120.	Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο	129
Εικόνα	121.	Πειραματική διάταξη για τις δοκιμές διατμήσεως	130
Εικόνα	122.	Καταγραφικά παραμορφώσεων	130
Εικόνα	123.	Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο	131
Εικόνα	124.	Ακτινογραφήματα Περίθλασης Ακτίνων X (XRD) ενέματος G1 (7, 60 και 90 ημέρες)	140
Εικόνα	125.	Ακτινογραφήματα Περίθλασης Ακτίνων X (XRD) ενέματος G2 (7, 28 και 90 ημέρες)	140
Εικόνα	126.	Ακτινογραφήματα Περίθλασης Ακτίνων X (XRD)	140

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ t

		ενέματος G4 (7, 28, 60 και 90 ημέρες)	
Εικόνα	127.	Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε οπτόπλινθου A (90 ημέρες)	145
Εικόνα	128.	Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο τραβερίνη (28 ημέρες)	145
Εικόνα	129.	Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο μαρμάρου (90 ημέρες)	145
Εικόνα	130.	Λήψη OEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (28 ημέρες // x100)	145
Εικόνα	131.	Λήψεις SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο τραβερίνη (28 ημέρες)	146
Εικόνα	132.	Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο τραβερίνη (90 ημέρες)	146
Εικόνα	133.	Λήψεις OEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο α) τραβερίνη (28 ημέρες // x63) και β) οπτόπλινθου A (90 ημέρες // x100)	146
Εικόνα	134.	Λήψη SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο τραβερίνη (90 ημέρες)	147
Εικόνα	135.	Λήψεις OEM: Ένεμα G2 σε οπτόπλινθου A (90 ημέρες // x63)	147
Εικόνα	136.	Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο τραβερίνη (90 ημέρες)	147
Εικόνα	137.	Λήψη OEM: Ένεμα G4 σε οπτόπλινθου A (90 ημέρες // x63)	147
Εικόνα	138.	Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου (28 ημέρες)	148
Εικόνα	139.	Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (28 ημέρες)	148
Εικόνα	140.	Λήψη SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (90 ημέρες)	148
Εικόνα	141.	Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (90 ημέρες)	149
Εικόνα	142.	Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίου απόρριψης δοκιμών (1)	155
Εικόνα	143.	Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίων απόρριψης δοκιμών (2α, 2β, 2γ)	155
Εικόνα	144.	Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίου απόρριψης δοκιμών (3)	155
Εικόνα	145.	Τυπική μορφή καμπυλών (τ-s) και (τ-w) διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων (Δοκιμή 2. Ένεμα G2/τραβερίνης, 28 ημέρες, $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ )	156
Εικόνα	146.	α) Τυπική μορφή καμπυλών (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμών που αστόχησαν στο υπόβαθρο. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για την περιγραφή της απόκρισης της διεπιφάνειας (Δοκιμή 2. Ένεμα G2/οπτόπλινθος A, 28 ημέρες, $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ )	156
Εικόνα	147.	α) Αρχικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμών. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για την περιγραφή της απόκρισης της διεπιφάνειας (Δοκιμή 3. Ένεμα G2/τραβερίνης, 28 ημέρες, $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ )	157
Εικόνα	148.	α) Αρχικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμών. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) (Δοκιμή 3. Ένεμα G2/τραβερίνης, 90 ημέρες, $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ )	157
Εικόνα	149.	Τελικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) των σύνθετων δοκιμών της Εικόνας 148	157
Εικόνα	150.	Τύποι Αστοχίας δοκιμών εφελκυσμού: 1) ITZ, 2) Z, 3) G, 4) S	162
Εικόνα	151.	Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι εφελκυσμού των σύνθετων δοκιμών, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου (για όλες τις ηλικίες)	163
Εικόνα	152.	Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμών μαρμάρου /ενέματος G1	163
Εικόνα	153.	Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων	163

		δοκιμών μαρμάρου /ενέματος G2	
Εικόνα	154.	Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμών τραβερίνη /ενέματος G1 ή G4	163
Εικόνα	155.	Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμών τραβερίνη /ενέματος G2	163
Εικόνα	156.	Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμών οπτοπλίνθου Α	164
Εικόνα	157.	Εν χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμών ενέματος α)G1, β)G2 και γ) G4	164
Εικόνα	158.	Διατομή θραύσης σύνθετων δοκιμών τραβερίνη/G1-Απόμιξη ενέματος	165
Εικόνα	159.	Απόμιξη ενέματος G1	165
Εικόνα	160.	Πόροι στον αρμό του ενέματος G2 σε σύνθετα δοκίμια με τραβερίνη	165
Εικόνα	161.	Διατομή θραύσης σύνθετων δοκιμών μαρμάρου/ενέματος G2	165
Εικόνα	162.	Ρωγμές πλαστικής συστολής σε σύνθετα δοκίμια τραβερίνη/G2	165
Εικόνα	163.	Ρηγματώσεις στα σύνθετα δοκίμια τραβερίνη/G4	166
Εικόνα	164.	Ενανθράκωση σε διατομή αρμού τραβερίνη/τριμερούς ενέματος μηλαϊκής γης	166
Εικόνα	165.	Εν χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμών α) μαρμάρου, β)τραβερίνη και γ) οπτοπλίνθου Α	167
Εικόνα	166.	Εν χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας (μαύρο χρώμα) και του βάθους ενανθράκωσης (πράσινο χρώμα) για τα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο α) από μάρμαρο και β) από τραβερίνη	168
Εικόνα	167.	Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι εφελκυσμού των σύνθετων δοκιμών, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για την ηλικία των α) 28 ημερών και β) 90 ημερών	169
Εικόνα	168.	Επιρροή της α) καμπτικής και β) θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	183
Εικόνα	169.	Επιρροή του λόγου α) $f_{binder,c}/f_{b,c}$ και β) $f_{binder,t}/f_{b,t}$ στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας	184
Εικόνα	170.	Συντελεστής μεταβλητότητας $c_v$ [%] των μεγεθών $T_U$ , $S_U$ , $W_U$ και $T_{res}$ για όλες τις δοκιμές διατμήσεως	199
Εικόνα	171.	Συντελεστής μεταβλητότητας $c_v$ [%] των μεγεθών $T_U$ , $S_U$ , $W_U$ και $T_{res}$ ανά ένεμα για υπόβαθρο από α) μάρμαρο, β)τραβερίνη, γ) ψαμίτη και δ) οπτόπλινθο (για τις 28 και 90 ή 180 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa)	200
Εικόνα	172.	Τύποι Αστοχίας δοκιμών διατμήσεως: 1) ITZ, 2) Z και 3) S ή Y	200
Εικόνα	173.	Διατμητική τάση ( $\tau$ ) συναρτήσει της διατμητικής ολίσθησης ( $s$ ) και της εγκάρσιας διόγκωσης ( $w$ ) για σύνθετα δοκίμια ενέματος HL1/τεφρού ασβεστόλιθου (28 ημέρες, $\sigma_n=0.30$ MPa)	200
Εικόνα	174.	Διατμητική τάση ( $\tau$ ) συναρτήσει της διατμητικής ολίσθησης ( $s$ ) και της εγκάρσιας διόγκωσης ( $w$ ) για σύνθετα δοκίμια ενέματος G2/μαρμάρου (90 ημέρες, $\sigma_n=0.30$ MPa)	200
Εικόνα	175.	Εγκάρσια διόγκωση ( $w$ ) συναρτήσει της ολίσθησης για σύνθετα δοκίμια μαρμάρου/ενέματος G2 (28&90 ημέρες, για $\sigma_n=0.30$ MPa)	201
Εικόνα	176.	Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμών, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες ( $\sigma_n=0.3$ MPa): α) ενέματα τσιμέντου-υδρασβεστού-ποζολάνης, β)	201

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ v

		ενέματα υδραυλικής ασβέστου	
Εικόνα	177.	Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης $\tau_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $\tau_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α) G1, β) G2 και γ) G4 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	202
Εικόνα	178.	Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης $\tau_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $\tau_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α) HL1, β) HL2 και γ) HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	203
Εικόνα	179.	Εν χρόνω μεταβολή της $\tau_{res}$ για τα ενέματα α)τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και β) υδραυλικής ασβέστου ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	204
Εικόνα	180.	Εν χρόνω μεταβολή των Α) $s_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $s_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α1) G1, α2) G2, α3) G4 και των Β) $w_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $w_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα β1) G1, β2) G2, β3) G4 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	205
Εικόνα	181.	Εν χρόνω μεταβολή των Α) $s_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $s_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α1) HL1, α2) HL2, α3) HL3 και των Β) $w_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $w_u$ (συνεχής γραμμή) για το ένεμα β1) HL1, β2) HL2, β3) HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	207
Εικόνα	182.	Διατομή θραύσης σύνθετου δοκιμίου α) τραβερίνη/ ενέματος G2 (90 ημέρες, Δ2), β) τραβερίνη/ενέματος G2 (90 ημέρες, Δ3), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL1 (180 ημέρες), δ) οπτοπλίνθου Β/ενέματος HL1 (180 ημέρες), ε) ψαμμίτη/ενέματος HL1 (90 ημέρες)	208
Εικόνα	183.	Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης $\tau_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $\tau_u$ (συνεχής γραμμή) σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου, β) τραβερίνη και γ) οπτοπλίνθου Α ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	210
Εικόνα	184.	Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης $\tau_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $\tau_u$ (συνεχής γραμμή) σύνθετων δοκιμίων α) τεφρού ασβεστόλιθου, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθου Β ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	211
Εικόνα	185.	Εν χρόνω μεταβολή των Α) $s_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $s_u$ (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α1) μαρμάρου, α2) τραβερίνη, α3) οπτοπλίνθου Α και των Β) $w_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $w_u$ (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και β1) μαρμάρου, β2) τραβερίνη, β3) οπτοπλίνθου Α ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	213
Εικόνα	186.	Εν χρόνω μεταβολή των Α) $s_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $s_u$ (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α1) τεφρού ασβεστόλιθου, α2) ψαμμίτη, α3) οπτοπλίνθου Β και των Β) $w_{u,f}$ (διακεκομμένη γραμμή) και $w_u$ (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και β2) ψαμμίτη, β3) οπτοπλίνθου Β ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	214
Εικόνα	187.	Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμίων ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa): α) ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου- ποζολάνης, β) ενέματα υδραυλικής ασβέστου	216
Εικόνα	188.	Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμίων ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa): α) ενέματα υδρασβέστου-	216

		ποζολάνης-τσιμέντου, β) ενέματα υδραυλικής ασβέστου	
Εικόνα	189.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης $\sigma_n$ στην διατμητική τάση των διεπιφανειών ενεμάτων και α) τραβερίνη (90 ημέρες), β) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), γ) ψαμμίτη (90 ημέρες)	221
Εικόνα	190.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης $\sigma_n$ στην $\tau_{u,f}$ των σύνθετων δοκιμίων α) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), β) ψαμμίτη (90 ημέρες)	221
Εικόνα	191.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης $\sigma_n$ στην $\tau_{res}$ των διεπιφανειών τραβερίνη/ενεμάτων (90 ημέρες)	222
Εικόνα	192.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης $\sigma_n$ στην A) ολίσθηση των διεπιφανειών ενεμάτων και α1) τραβερίνη (90 ημέρες), α2) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α3) ψαμμίτη (90 ημέρες) και B) εγκάρσια διόγκωση των διεπιφανειών ενεμάτων και α1) τραβερίνη (90 ημέρες), α2) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α3) ψαμμίτη (90 ημέρες)	222
Εικόνα	193.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης $\sigma_n$ στην A) ολίσθηση $s_{u,f}$ των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων και α1) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α2) ψαμμίτη (90 ημέρες) και B) εγκάρσια διόγκωση $w_{u,f}$ των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων και α1) οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α2) ψαμμίτη (90 ημέρες)	223
Εικόνα	194.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην μέση τιμή της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa)	226
Εικόνα	195.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην μέση τιμή της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa)	226
Εικόνα	196.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην $s_u$ και $s_{u,f}$ α) στις 28 ημέρες και β) στις 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	228
Εικόνα	197.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στον λόγο $\tau_u / \varepsilon_u$ ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	229
Εικόνα	198.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην $w_u$ και $w_{u,f}$ α) στις 28 ημέρες και β) στις 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	229
Εικόνα	199.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην $\tau_u$ και $\tau_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	233
Εικόνα	200.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος στην $\tau_u$ και $\tau_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	234
Εικόνα	201.	Επιρροή του λόγου $f_{g,c}/f_{b,c}$ στην $\tau_u$ και $\tau_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	235
Εικόνα	202.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην $s_u$ και $s_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	236
Εικόνα	203.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος στην $s_u$ και $s_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	236
Εικόνα	204.	Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην $w_u$ και $w_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	237
Εικόνα	205.	Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος	237



ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ x

		στην $w_u$ και $w_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma=0.3$ MPa)	
Εικόνα	206.	Επιρροή του λόγου $f_{g,c}/f_{b,c}$ στην $s_u$ και $s_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	238
Εικόνα	207.	Επιρροή του λόγου $f_{g,c}/f_{b,c}$ στην $w_u$ και $w_{u,f}$ α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	238
Εικόνα	208.	Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης στον συντελεστή τριβής διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερίνη (90 ημέρες) ή οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες)	244
Εικόνα	209.	Επίδραση του λόγου της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης προς την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων στον συντελεστή τριβής διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερίνη (90 ημέρες) ή οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες)	244
Εικόνα	210.	Επίδραση της $\sigma_n$ στον $\mu_{u,f}$ ενεμάτων/οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες)	245
Εικόνα	211.	Επίδραση του λόγου $\sigma_n/f_{g,c}$ στον $\mu_{u,f}$ ενεμάτων/οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες)	245
Εικόνα	212.	Επίπεδο αστοχίας AA για τον τύπο αστοχίας S	245
Εικόνα	213.	Τάσεις στο κεκλιμένο επίπεδο αστοχίας AA. Επίδραση της ορθής τάσης $\sigma_{AA}$ α) στην διαμητική τάση $\tau_{AA}$ σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/οπτοπλίνθου A (28 ή 90 ή 180 ημέρες), β) στην διαμητική τάση $\tau_{AA}$ σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/ψαμμίτη (90 ημέρες) και γ) στον συντελεστή τριβής $\mu_{AA}$	246
Εικόνα	214.	Διεπιφάνειες ενεμάτων/ τραβερίνη: Επίδραση της $\sigma_n$ στον $\mu_u$ και στον $\mu_{res}$ (90 ημέρες)	247
Εικόνα	215.	Διεπιφάνειες ενεμάτων/ τραβερίνη: Επίδραση του λόγου $\sigma_n/f_{g,c}$ στον $\mu_u$ και στον $\mu_{res}$ (90 ημέρες)	247
Εικόνα	216.	Επιρροή στην «συνοχή» της α) θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου, β) της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού και γ) της καμπτικής του συνδετικού υλικού	249
Εικόνα	217.	Επιρροή στην $\tan\phi$ της α) θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου, β) της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού και γ) της καμπτικής του συνδετικού υλικού	250
		<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> . Δοκιμές Διατμήσεως-Καταστατικοί Νόμοι</b>	
Εικόνα	218.	Υπόβαθρο μαρμάρου/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες α) $(\bar{\tau} - \bar{s})$ και β) $(\bar{w} - \bar{s})$ ( $\sigma_n=0.3$ MPa, 90 ημέρες)	268
Εικόνα	219.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες $(\bar{\tau} - \bar{s})$ για $\sigma_n=$ α) 0.3 MPa και β) 0.6 MPa (90 ημέρες)	268
Εικόνα	220.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες $(\bar{w} - \bar{s})$ για $\sigma_n=$ α) 0.3 MPa και β) 0.6 MPa (90 ημέρες)	268
Εικόνα	221.	Υπόβαθρο τεφρού ασβεστόλιθου/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες καμπύλες α) $(\bar{\tau} - \bar{s})$ και β) $(\bar{w} - \bar{s})$ ( $\sigma_n= 0.3$ MPa, 28 ημέρες)	269
Εικόνα	222.	Υπόβαθρο ψαμμίτη/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες καμπύλες $(\bar{\tau} - \bar{s})$ για $\sigma_n=$ α) 0.3 MPa (90 ημέρες) και β) 0.6 MPa (90 ημέρες)	269
Εικόνα	223.	Υπόβαθρο ψαμμίτη/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες	269

		καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για $\sigma_n =$ α) 0.3 MPa (90 ημέρες) και β) 0.6 MPa (90 ημέρες)	
Εικόνα	224.	Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	270
Εικόνα	225.	Εν-χρόνω εξέλιξη της α) $s_U$ και β) $w_U$ σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	271
Εικόνα	226.	Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τραβερίνη ( $\sigma_n=0.6$ MPa)	271
Εικόνα	227.	Εν-χρόνω εξέλιξη της α) $s_U$ και β) $w_U$ σύνθετων δοκιμών τραβερίνη ( $\sigma_n=0.6$ MPa)	271
Εικόνα	228.	Εν-χρόνω εξέλιξη της μέσης διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	272
Εικόνα	229.	Εν-χρόνω εξέλιξη της α) $s_U$ και β) $w_U$ σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	272
Εικόνα	230.	Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη /τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στην διατμητική αντοχή (90 ημέρες)	273
Εικόνα	231.	Δοκίμια τραβερίνη/τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στις α) $s_U$ και β) $w_U$ (90 ημέρες)	273
Εικόνα	232.	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , α) στην διατμητική αντοχή κατά το επίπεδο αστοχίας και β) στον συντελεστή τριβής $\mu_{u,fictitious}$ (90 ημέρες)	274
Εικόνα	233.	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στις α) $s_U$ και β) $w_U$ (90 ημέρες)	274
Εικόνα	234.	Υπολογιστικός συντελεστής τριβής $\mu_{u,cal}$ συναρτήσει του πειραματικού συντελεστή τριβής $\mu_{u,exp}$ για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) μαρμάρου, τραβερίνη, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθου (όλες οι πειραματικές τιμές για τις ηλικίες των 28 και 90, 180 ημερών).	278
Εικόνα	235.	Υπολογιστικός συντελεστής τριβής $\mu_{u,cal}$ συναρτήσει του πειραματικού συντελεστή τριβής $\mu_{u,exp}$ για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) μαρμάρου, τραβερίνη, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθων (μέσες τιμές, 28 και 90 ημέρες)	278
Εικόνα	236.	Υπολογιστική τιμή της ολίσθησης $s_{u,cal}$ προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 7 συναρτήσει της πειραματικής τιμής $s_{u,exp}$ α) για όλες τις τιμές των σύνθετων δοκιμών και β) για τις μέσες τιμές των σύνθετων δοκιμών (28 και 90 ημέρες)	280
Εικόνα	237.	A) $s_{u,exp}$ συναρτήσει του $\mu_{u,exp}$ για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και 1) μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερίνη, 2) ψαμμίτη και οπτοπλίνθων A και B, B) $s_{u,cal}$ προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 8 συναρτήσει της $s_{u,exp}$ για όλα τα σύνθετα δοκίμια (28, 90 και 180 ημέρες)	281
Εικόνα	238.	$w_{u,exp}$ συναρτήσει του $s_{u,exp}$ για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερίνη	281
Εικόνα	239.	Τυπικές ανηγμένες καμπύλες και καμπύλες πρόβλεψης των α) $\frac{T}{T_U} - \frac{s}{s_U}$ και β) $\frac{W}{W_U} - \frac{s}{s_U}$ , για	282

τις διεπιφάνειες ενεμάτων και τραβερτίνη ( $\sigma_n=0.3$  MPa, 28 ημέρες)

**Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> . Αναλυτικό Μέρος**

Εικόνα	240.	Προσομοίωση 1. Παράδειγμα προσομοίωσης δοκιμίου διατμήσεως μετά την επιβολή ολίσθησης	286
Εικόνα	241.	Σχηματική απεικόνιση της γωνίας διασταλτικότητας $\psi_u$ συναρτήσει των διαστάσεων του αρμού και των $s_u, w_u$	287
Εικόνα	242.	Προσομοίωση 1. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου/ενέματος G2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), β) τεφρού ασβεστόλιθου/ενέματος HL2 (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa) και δ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa)	289
Εικόνα	243.	Προσομοίωση 1. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμίων τραβερτίνη/ενέματος Α) G1: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.1$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 3 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa), Β) G2: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa), και Γ) G4: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.1$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 3 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa)	290
Εικόνα	244.	Προσομοίωση 2. Παράδειγμα προσομοίωσης δοκιμίου διατμήσεως μετά την επιβολή ολίσθησης	292
Εικόνα	245.	Προσομοίωση 2. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου/ενέματος G2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), β) τεφρού ασβεστόλιθου/ενέματος HL2 (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa) και δ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa)	294
Εικόνα	246.	Προσομοίωση 2. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) σύνθετων δοκιμίων τραβερτίνη/ενέματος Α) G1: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.1$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 3 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa), Β) G2: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa), και Γ) G4: 1 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.1$ MPa), 2 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa), 3 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.6$ MPa)	295
Εικόνα	247.	Παράδειγμα προσομοίωσης τοιχίσκου	298
Εικόνα	248.	Παράδειγμα προσομοίωσης τοιχίσκου: λεπτομέρεια της διεπιφάνειας μεταξύ εξωτερικής και ενδιάμεσης παρειάς	298
Εικόνα	249.	Τρίστρωτοι τοιχίσκοι πριν τα ενέματα: Πειραματικές καμπύλες των [(Vintzileou et al. 2006): κόκκινο χρώμα], [(Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004): μπλε και μαύρο χρώμα] και καμπύλες προσομοίωσης α) ( $\sigma_{wc}-\varepsilon_v$ ), β) ( $\sigma_{wc}/f_{wc,0}-\varepsilon_v/\varepsilon_{v,0}$ ) και γ) ( $\sigma_{wc}-w_{hor}$ )	301
Εικόνα	250.	Τρίστρωτοι τοιχίσκοι μετά τα ενέματα:	302

Πειραματικές καμπύλες των [(Miltiadou et al. 2006): κόκκινο χρώμα], [(Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004): μπλε και μαύρο χρώμα] και καμπύλες προσομοίωσης α) ( $\sigma_{wc}-\varepsilon_v$ ), β) ( $\sigma_{wc}/f_{wc,i}-\varepsilon_v/\varepsilon_{v,i}$ ) και γ) ( $\sigma_{wc}-W_{hor}$ )

			<b>Παράρτημα Β</b>
Εικόνα	B1.	Δοκιμή ενεσιμότητας	B3
Εικόνα	B2.	Απόμιξη ενέματος	B4
Εικόνα	B3.	Διαστάσεις κώνου Marsh	B6
			<b>Παράρτημα Ε</b>
Εικόνα	E1.	Συντελεστής μεταβλητότητας $c_n$ [%] των μεγεθών $T_U$ , $S_U$ , $W_U$ και $T_{res}$ ανά τύπο ενέματος για υπόβαθρο από α) μάρμαρο, β)τραβερίνη, γ) ψαμμίτη και δ) οπτόπλινθο (για όλες τις ηλικίες και τις $\sigma_n$ )	E12
Εικόνα	E2.	Κριτήριο Α: Παραδείγματα απόρριψης πειραματικών αποτελεσμάτων α) ένεμα G2/υπόβαθρο μαρμάρου και β) ένεμα G2/υπόβαθρο τραβερίνη (28 ημέρες, $\sigma=0.3$ MPa).	E15
Εικόνα	E3.	Κριτήριο Β: Παράδειγμα απόρριψης πειραματικών αποτελεσμάτων α) ένεμα G2/υπόβαθρο τραβερίνη (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa)	E15
Εικόνα	E4.	Διαφορά στις μετακινήσεις σε σύνθετα δοκίμια μαρμάρου/ενέματος G4 (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3$ MPa)	E17
Εικόνα	E5.	Ένεμα G1/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E19
Εικόνα	E6.	Εικόνα E6. Ένεμα G1/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E19
Εικόνα	E7.	Εικόνα E7. Ένεμα G2/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E19
Εικόνα	E8.	Ένεμα G2/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E21
Εικόνα	E9.	Ένεμα G4/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E21
Εικόνα	E10.	Ένεμα G4/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E21
Εικόνα	E11.	Ισχυρά υπόβαθρα/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ή 180 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E23
Εικόνα	E12.	Ισχυρά υπόβαθρα/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ή 180 ημερών ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E23
Εικόνα	E13.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για $\sigma_n=$ α) 0.1MPa, β) 0.3MPa και γ) 0.6MPa (28 ημέρες)	E25
Εικόνα	E14.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για $\sigma_n=$ α) 0.3 MPa και β) 0.6 MPa (90 ημέρες)	E25
Εικόνα	E15.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) για α) 60 και β) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$	E25

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ bb

Εικόνα	E16.	MPa) Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) των 28 ημερών για $\sigma_n= \alpha) 0.1, \beta) 0.3$ και $\gamma) 0.6$ MPa	E27
Εικόνα	E17.	Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) των 90 ημερών για $\sigma_n= \alpha) 0.3$ MPa και $\beta)$ 0.6 MPa	E27
Εικόνα	E18.	Υπόβαθρο ψαμμίτη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T}-\bar{s}$ ) για $\sigma_n= \alpha) 0.3$ MPa (28 ημέρες), $\beta) 0.3$ MPa (90 ημέρες), $\gamma) 0.6$ MPa (90 ημέρες) και $\delta)$ 0.3 MPa (180 ημέρες)	E29
Εικόνα	E19.	Υπόβαθρο ψαμμίτη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) για $\sigma_n= \alpha) 0.3$ MPa (90 ημέρες), $\beta) 0.3$ MPa (28 ημέρες), $\gamma) 0.6$ MPa (90 ημέρες) και $\delta)$ 0.3 MPa (180 ημέρες)	E29
Εικόνα	E20.	Υπόβαθρο οπτόπλινθου /τριμερή ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T}-\bar{s}$ ) για $\alpha) \sigma_n=0.3$ MPa (28 ημέρες), $\beta) \sigma_n=0.3$ MPa (60 ημέρες), $\gamma) \sigma_n=0.3$ MPa (90 ημέρες) και $\delta) 180$ ημέρες (για όλες τις $\sigma_n$ )	E31
Εικόνα	E21.	Υπόβαθρο οπτόπλινθου/ τριμερή ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) για $\alpha) \sigma_n=0.3$ MPa (28 ημέρες), $\beta) \sigma_n= 0.3$ MPa (60 ημέρες), $\gamma) \sigma_n= 0.3$ MPa (90 ημέρες) και $\delta) 180$ ημέρες (για όλες τις $\sigma_n$ )	E31
Εικόνα	E22.	Υπόβαθρο οπτόπλινθου A ή B/ενέματα G2, G4 και υδραυλικής ασβέστου: Μέσες καμπύλες ( $\bar{T}-\bar{s}$ ) για $\alpha) \sigma_n=0.3$ MPa (28 ημέρες) και $\beta) \sigma_n=0.3$ MPa (180 ημέρες)	E33
Εικόνα	E23.	Υπόβαθρο οπτόπλινθου A ή B/ενέματα G2, G4 και υδραυλικής ασβέστου: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) για $\alpha) \sigma_n=0.3$ MPa (28 ημέρες) και $\beta) \sigma_n=0.3$ MPa (180 ημέρες)	E33
Εικόνα	E24.	Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E37
Εικόνα	E25.	Εν-χρόνω εξέλιξη της $\alpha) s_U$ και $\beta) w_U$ σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E37
Εικόνα	E26.	Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τραβερίνη ( $\sigma_n=0.6$ MPa)	E37
Εικόνα	E27.	Εν-χρόνω εξέλιξη της $\alpha) s_U$ και $\beta) w_U$ σύνθετων δοκιμών τραβερίνη ( $\sigma_n=0.6$ MPa)	E39
Εικόνα	E28.	Εν-χρόνω εξέλιξη της μέσης διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E39
Εικόνα	E29.	Εν-χρόνω εξέλιξη της $\alpha) s_U$ και $\beta) w_U$ σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$ MPa)	E39
Εικόνα	E30.	Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη /τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στην διατμητική αντοχή (90 ημέρες)	E40
Εικόνα	E31.	Δοκίμια τραβερίνη/τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma$ , στις $\alpha) s_U$ και $\beta) w_U$ (90 ημέρες)	E40
Εικόνα	E32.	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , $\alpha)$ στην διατμητική αντοχή κατά το	E41

		επίπεδο αστοχίας και $\beta$ ) στον συντελεστή τριβής $\mu_{u, fictitious}$ (90 ημέρες)	
Εικόνα	E33.	Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης, $\sigma_n$ , στις α) $s_U$ και β) $w_U$ (90 ημέρες)	E41
Εικόνα	E34.	Υπολογιστική τιμή της ολίσθησης $s_{u, cal}$ προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση E9 συναρτήσει της πειραματικής τιμής $s_{u, exp}$ α) για όλες τις τιμές των σύνθετων δοκιμίων και β) για τις μέσες τιμές των σύνθετων δοκιμίων (28 και 90 ημέρες)	E47
Εικόνα	E35.	A) $s_{u, exp}$ συναρτήσει του $\mu_{u, exp}$ για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και 1) μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερτίνη, 2) ψαμμίτη και οπτόπλινθων A και B, B) $s_{u, cal}$ προσδιοριζόμενη βάσει της Εξίσωσης E10 συναρτήσει της $s_{u, exp}$ για όλα τα σύνθετα δοκίμια (28, 90 και 180 ημέρες)	E47
Εικόνα	E36.	Ανηγμένες καμπύλες $\tau/\tau_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια μαρμάρου και α) ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (28 ημέρες) β) τριμερών ενεμάτων (28 ημέρες) και γ) τριμερών ενεμάτων ή ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (90 ή 180 ημέρες)	E49
Εικόνα	E37.	Ανηγμένες καμπύλες $\tau/\tau_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια τραβερτίνη και τριμερών ενεμάτων στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), β) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), δ) 60 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), ε) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), στ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), ζ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ) και η) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E50-E51
Εικόνα	E38.	Ανηγμένες καμπύλες $\tau/\tau_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ) και δ) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E52
Εικόνα	E39.	Ανηγμένες καμπύλες $\tau/\tau_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια πλίνθων και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και β) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E53
Εικόνα	E40.	Ανηγμένες καμπύλες $w/w_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) τεφρού ασβεστόλιθου (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) μαρμάρου (28 ημέρες, $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και γ) μαρμάρου (90 ημέρες, $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E57
Εικόνα	E41.	Ανηγμένες καμπύλες $w/w_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια τραβερτίνη και τριμερών ενεμάτων στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), β) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), δ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και ε) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ )	E58-E59
Εικόνα	E42.	Ανηγμένες καμπύλες $w/w_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ) και δ) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E60
Εικόνα	E43.	Ανηγμένες καμπύλες $w/w_U - s/s_U$ για σύνθετα δοκίμια πλίνθων και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και β) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ )	E61

ΣΥΜΒΟΛΑ/ΕΥΡΕΤΗΡΙΑ ΠΙΝΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ **dd**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ



α)

β)



γ)

δ)



ε)

στ)



ζ)

η)

Η τοιχοποιία αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα δομικά υλικά: η πλειονότητα των μνημειακών και ιστορικών κατασκευών είναι κτίσματα από φέρουσα τοιχοποιία. Αποδεικνύεται έτσι ότι, υπό την προϋπόθεση του κατάλληλου σχεδιασμού και της καλής ποιότητας κατασκευής, τα κτίρια από τοιχοποιία είναι σε θέση να παραλαμβάνουν με ασφάλεια τις επιβαλλόμενες δράσεις (φορτία και περιβαλλοντικές επιδράσεις), εντός των ορίων των δυνατοτήτων τους, βεβαίως.

Με τον όρο «τοιχοποιία», περιγράφεται ένα πλήθος από κατασκευαστικούς τύπους (όπως είναι η δρομική, η μπατική, η τρίστρωτη τοιχοποιία), και από υλικά δόμησης. Η παρούσα εργασία ασχολείται με τις τρίστρωτες τοιχοποιίες, οι οποίες αποτελούν έναν από τους συνηθέστερους σε ιστορικές κατασκευές. Αυτού του τύπου φέρουσες τοιχοποιίες έχουν σχετικά μεγάλο συνολικό πάχος που μπορεί να κυμαίνεται από 60 cm περίπου για τα συνήθη κτίρια, μέχρι 2÷3 ή και περισσότερα μέτρα στην περίπτωση των οχυρωματικών έργων. Συχνά, κατασκευάζονται από δύο παραλλήλους ανεξάρτητους τοίχους (χωρίς δηλαδή διάτονους λίθους), ενώ το μεταξύ τους κενό συμπληρώνεται με ένα χαλαρό υλικό αποτελούμενο από μικρούς λίθους, θραυσμένες οπτόπλινθους και κονίαμα. Στις ιστορικές κατασκευές απαντώνται διάφοροι τύποι τρίστρωτων τοιχοποιιών: με ίδιο ή διαφορετικό πάχος εξωτερικών παρειών, τρόπο κατασκευής των στρώσεων (για παράδειγμα, η εξωτερική παρειά μπορεί να είναι κατασκευασμένη από ημίξεστους λίθους [διαφόρων διαστάσεων] και η εσωτερική από αργολιθοδομή), ενώ οι λίθοι, ορισμένες φορές, είτε συνδυάζονται με οπτόπλινθους σχηματίζοντας διάφορα σχέδια (για παράδειγμα η οπτοπλινθοπερίκλειστη τοιχοποιία), είτε αντικαθίστανται πλήρως από οπτόπλινθους (βλ. Παναγία Κρήνα στην Χίο). Στις Εικόνες 1 και 2 παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από τα αρχεία των (Vintzileou 2009) και (Χ.-Ε. Αδάμη), όπου φαίνεται η ποικιλία των ειδών τρίστρωτων τοιχοποιιών στην όψη και κατά το πάχος.

Είναι, επομένως, προφανές, ότι το μεγάλο πλήθος των παραμέτρων για τα υλικά και τον τρόπο δόμησης των στρώσεων μιας τρίστρωτης

Εικόνα 1. Τρίστρωτες τοιχοποιίες (Vintzileou 2009).



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ 2

τοιχοποιίας, οδηγεί σε μια ποικιλία τύπων τρίστρωτων τοιχοποιιών με μεγάλο εύρος στα μηχανικά χαρακτηριστικά και την απόκρισή τους έναντι διαφόρων δράσεων. Εντούτοις, οι τρίστρωτες τοιχοποιίες παρουσιάζουν κοινά στοιχεία: (1) εξαιτίας του τρόπου δομήσεώς τους, περιέχουν μεγάλο ποσοστό κενών το οποίο είναι ανομοιόμορφως διανεμημένο σε ολόκληρο τον όγκο τους. (2) Επί πλέον, λόγω της απώλειας συνάφειας μεταξύ των στρώσεων με τον χρόνο (οφειλόμενη στις οριζόντιες και κατακόρυφες δράσεις και στην φθορά/γήρανση των υλικών) παύουν να συμπεριφέρονται ως ενιαίες. (3) Τέλος, τείνουν να αστοχούν λόγω αποκόλλησης των παρειών υπό την δράση φορτίων εντός και εκτός του επιπέδου τους. Επομένως, γίνεται σαφές ότι οι τρίστρωτες τοιχοποιίες καθίστανται ιδιαίτερα ευάλωτες έναντι των διαφόρων δράσεων, συμπεριλαμβανομένης και της σεισμικής δράσης. Για την διατήρηση των τρίστρωτων τοιχοποιιών, η ενίσχυσή τους είναι επιβεβλημένη. Μια καλή, από μηχανικής άποψης, τεχνική ενίσχυσης αυτών των τρωτών τοιχοποιιών είναι η ομογενοποίηση μάζας με ενέματα. Αυτή η τεχνική, η οποία εφαρμόζεται ευρέως για την ενίσχυση ιστορικών τοιχοποιιών εδώ και αρκετά χρόνια, είναι ικανή να βελτιώσει την μηχανική συμπεριφορά των τοιχοποιιών χωρίς να αλλοιώνει την εξωτερική όψη και την στατική λειτουργία των μνημείων. Η εφαρμογή, κατά το παρελθόν, συνθέσεων ενεμάτων, οι οποίες αποδείχθηκαν ακατάλληλες για τις ιστορικές τοιχοποιίες και το γεγονός ότι η ομογενοποίηση μάζας με ενέματα είναι μια μη αναστρέψιμη τεχνική οδήγησαν την διεθνή επιστημονική κοινότητα στην θέσπιση αυστηρότερων κριτηρίων για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου, η οποία εξαρτάται (α) από την επιλογή κατάλληλων υλικών επέμβασης και (β) από την ορθή επί τόπου εφαρμογή της μεθόδου.

Για το θέμα της ορθής εφαρμογής των ενεμάτων, σχετικές εργασίες αναφέρονται στην προετοιμασία του εξωτερικού [(Ashurst 1989), (Ashurst 1990), (Van Gemert 1988) παράθεση (Van Risckal 2000)] και του εσωτερικού της τοιχοποιίας πριν την εφαρμογή των ενεμάτων (Tomazevic 1992), (Binda et al. 1993), στην μέθοδο ανάμιξης των ενεμάτων (Miltiadou 1990), (Paillere et al. 1993), (Toumbakari et al. 1999), στην δυνατότητα των τοίχων να ενεθούν (Binda et al. 1993), (Binda et al. 1997), (Binda et al. 2006), στο δίκτυο των οπών διαμέσου των οποίων θα εισαχθεί το ένεμα (Tomazevic 1992), [(Baronio et al. 1992) παράθεση (Van Risckal 2000)], η εφαρμογή των ενεμάτων επί τόπου με συγκεκριμένες συνθήκες (Binda et al. 1993), στην συντήρηση των τοιχοποιιών μετά την εφαρμογή των ενεμάτων (Toumbakari et al.



α)

β)



γ)

δ)



ε)

Εικόνα 2. Τρίστρωτες τοιχοποιίες (αρχείο Χ.-Ε. Αδάμη).

2005) κλπ. Το θέμα της τεχνολογίας για την εφαρμογή των ενεμάτων δεν εμπίπτει στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας και δεν αναλύεται περαιτέρω.

Ως προς την επιλογή των υλικών επέμβασης, σημειώνεται ότι είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την μηχανική αποδοτικότητα της μεθόδου και για την ανθεκτικότητα της επέμβασης σε ιστορικές κατασκευές. Ήδη από την δεκαετία του '80 αναγνωρίστηκε η ανάγκη να μελετώνται τόσο τα επί τόπου υλικά, όσο και τα υλικά επισκευής, προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα αίτια που οδήγησαν σε βλάβες ή φθορές τα πρώτα, καθώς και για να καθοριστούν επιθυμητές ιδιότητες για τα δεύτερα (ICCROM 1982). Οι απαιτήσεις για τον σχεδιασμό των υλικών επισκευής επικεντρώθηκαν σε θέματα φυσικο-χημικής συμβατότητας με τα υπάρχοντα υλικά, καθοριζόμενα κυρίως από την μικροδομή των επί-τόπου υλικών σε σχέση με τα υλικά επισκευής (Moropoulou et al. 2000a), (Moropoulou et al. 2000b). Επί πλέον, ήδη από τότε γίνονταν συστάσεις για την μείωση της περιεκτικότητας των συνθέσεων σε τσιμέντο και την χρήση ασβέστη ή συστημάτων ασβέστη-ποζολάνης στα υλικά επισκευής. Αν και οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών επισκευής αποτελούσαν βασικό κριτήριο σχεδιασμού, οι προτεινόμενες τιμές αντοχής ήταν εμπειρικές και δεν είχαν τεκμηριωθεί θεωρητικώς ή πειραματικώς. Με άλλα λόγια, τα μηχανικά κριτήρια σχεδιασμού των υλικών επισκευής δεν είχαν προκύψει από την μελέτη της επίδρασης των μηχανικών ιδιοτήτων τους στην μηχανική συμπεριφορά της επισκευασμένης τοιχοποιίας. Μόλις κατά την δεκαετία του '90, άρχισε να μελετάται συστηματικά η επιρροή των υλικών επισκευής στην μηχανική συμπεριφορά της επισκευασμένης κατασκευής. Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει την μελέτη των μηχανισμών που ελέγχουν την βελτίωση της συμπεριφοράς της τοιχοποιίας και, βεβαίως, την μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών επισκευής που επηρεάζουν αυτούς τους μηχανισμούς, η οποία μελέτη οδήγησε σε κριτήρια σχεδιασμού των υλικών επισκευής.

Έτσι, σε ό,τι αφορά τις συνθέσεις των ενεμάτων, αυτές πρέπει να ικανοποιούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- (1) Ρεολογικές απαιτήσεις: ενεσιμότητα (υψηλή διεισδυτικότητα σε ρωγμές μικρού εύρους και κενά, ρευστότητα) και σταθερότητα/συνεκτικότητα (χαμηλή εξίδρωση και αποφυγή απόμιξης)
- (2) Φυσικές απαιτήσεις: χαμηλή θερμότητα ενυδάτωσης, περιορισμένη συστολή (για την αποφυγή παρουσίας μικρορηγματώσεων πριν την εφαρμογή των φορτίων), επαρκείς χρόνοι πήξης και υγροσκοπικές

απαιτήσεις (αναφορικά με το ολικό πορώδες, την κατανομή και την μορφή των πόρων κτλ, συνθέσεις με σταθερά αδιάλυτα προϊόντα)

(3) Χημικές απαιτήσεις: σχετίζονται με τις αντιδράσεις που είναι δυνατόν να λάβουν χώρα μεταξύ συστατικών των υλικών επεμβάσεων και της τοιχοποιίας. Οι αντιδράσεις αυτές συνοδεύονται συνήθως με αλλαγές στον όγκο του ενέματος, την δημιουργία ρηγματώσεων και εν τέλει την μείωση της ανθεκτικότητας της επέμβασης ή ακόμα και με αισθητικά προβλήματα (εξανθήσεις ή πεταλίδες). Η τελευταία επίδραση είναι ιδιαίτερα σημαντική στην περίπτωση ύπαρξης τοιχογραφιών και ψηφιδωτών στην επιφάνεια της τοιχοποιίας.

(4) Μηχανικές απαιτήσεις: ορίζονται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε προς ενίσχυση κατασκευής.

Με βάση τις παραπάνω απαιτήσεις αμφισβητήθηκε (και εν συνεχεία αποκλείστηκε) η χρήση των οργανικών συνδετικών υλικών (ρητινενέματα) εξαιτίας, κυρίως, της πρόκλησης φθορών στα υλικά τοιχοποιιών, οι οποίες οφείλονται σε δυσμενή εν χρόνω ανάπτυξη των φυσικο-μηχανικών ιδιοτήτων τους και στην φυσικο-χημική ασυμβατότητα τους με τα υπάρχοντα υλικά (Binda et al. 1989), (Binda et al. 1993). Αντιθέτως, από άποψη φυσικο-χημικής συμβατότητας, τα ενέματα (αερικής ή υδραυλικής) ασβέστου αποτελούν αναμφιβόλως τις πιο συναφείς προς τα υπάρχοντα υλικά συνθέσεις, καθώς η άσβεστος αποτελεί βασικό συστατικό των κονιαμάτων δομήσεως και του υλικού πληρώσεως των τριστρωτων τοιχοποιιών. Ωστόσο, καθώς τα ενέματα εφαρμόζονται στο εσωτερικό των τοιχοποιιών, όπου η παρουσία του ατμοσφαιρικού αέρα και, επομένως, η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ μικρή, η χρήση ενεμάτων με αμιγώς αερική σύνθεση δεν είναι δυνατή. Επί πλέον, οι αερικές κονίες είναι υδατοδιαλυτές και έχουν, γενικώς, χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Συνεπώς, η χρήση των υδραυλικών συνθέσεων αποτελεί, από μηχανικής άποψης, την μόνη εναλλακτική πρόταση για την ενίσχυση τοιχοποιιών. Οι υδραυλικές συνθέσεις διακρίνονται σε αμιγώς τσιμεντικές, σε διμερείς συνθέσεις [τσιμέντο (σε περιεκτικότητα από 50 έως 75% κ.β.)-ασβέστης ή ποζολάνη/βιομηχανικά παραπροϊόντα], σε μικτά συστήματα ή τριμερείς συνθέσεις [τσιμέντο (σε περιεκτικότητα από 10 έως 50% κ.β.)-ασβέστης-ποζολάνη] και σε συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου. Οι δυο τελευταίες ομάδες ενεμάτων, πληρούν τα κριτήρια φυσικο-χημικής συμβατότητας, και μολονότι έχουν μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική αντοχή που κυμαίνεται από 5 έως 13MPa) σε σχέση με τα αμιγώς τσιμεντικά μίγματα, έχει αποδειχθεί ότι

βελτιώνουν την μηχανική συμπεριφορά (σε όρους αντοχής και δυσκαμψίας) των τρίστρωτων τοιχοποιιών. Αντιθέτως, έχει αποδειχθεί ότι η χρήση αμιγώς τσιμεντιτικών συνθέσεων όχι μόνο δεν οδηγεί σε μεγαλύτερη αύξηση των μηχανικών αντοχών, αλλά προκαλεί δυσμενείς μεταβολές των μηχανικών χαρακτηριστικών, όπως η παραμορφωσιμότητα της τοιχοποιίας.

Όπως θα τεκμηριωθεί, λεπτομερώς, στο Κεφάλαιο της Βιβλιογραφικής Αναδρομής, θεμελιώδες μηχανικό κριτήριο για τον σχεδιασμό των ενεμάτων είναι η πρόσφυση (συνάφεια) των υλικών επισκευής με τα υπάρχοντα υλικά. Πράγματι, η διεπιφάνεια υλικού επέμβασης και υπάρχοντος υλικού ενδέχεται να αποτελέσει ισχυρή ή αδύναμη ζώνη (ανάλογα με την επιτυγχανόμενη συνάφεια) και, επομένως, να επηρεάσει την απόκριση της κατασκευής έναντι μονοτονικών και ανακυκλιζόμενων δράσεων. Παρά την μεγάλη σημασία του, ο μηχανισμός ανάπτυξης της συνάφειας σε διεπιφάνειες στο εσωτερικό των τοιχοποιιών δεν έχει μελετηθεί ως τα τώρα επαρκώς, εν αντιθέσει προς άλλες διεπιφάνειες, όπως οι διεπιφάνειες σκυροδεμάτων, για τις οποίες διατίθεται επαρκής έρευνα. Καθίσταται σαφές, ότι ο σχεδιασμός των μιγμάτων ενίσχυσης, καθώς και η πρόβλεψη της μηχανικής συμπεριφοράς της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση πρέπει να στηριχθεί σε ποσοτικοποιημένα στοιχεία βασισμένα στον νόμο της συνάφειας των διεπιφανειών ενεμάτων/υλικών τοιχοποιίας. Η αναγνωρισμένη σπουδαιότητα του αντικειμένου για την χώρα μας και διεθνώς, καθώς και η περιορισμένη σχετική έρευνα διεθνώς, οδήγησε στον σχεδιασμό και την εκπόνηση της παρούσας Διατριβής.

## **1.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

Κατά την έναρξη εκπόνησης της παρούσας εργασίας, στο θέμα της δομητικής αποκατάστασης τρίστρωτων τοιχοποιιών με ενέματα είχε αρχίσει να ξεκαθαρίζει η εικόνα σχετικά με την επίδραση των ενεμάτων στην μηχανική συμπεριφορά των ενισχυμένων τοιχοποιιών. Έτσι, όλες οι πειραματικές διερευνήσεις σε τρίστρωτους τοιχίσκους (πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων) συνέκλιναν στην υπόθεση ότι οι δυο βασικοί μηχανισμοί που ελέγχουν την μηχανική συμπεριφορά αυτών των τοιχοποιιών μετά τα ενέματα, αφορούν, αφενός, την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της ενδιάμεσης -και ασθενέστερης- στρώσης και, αφετέρου, την αποκατάσταση της συνεργασίας μεταξύ των τριών

στρώσεων. Στην αναζήτηση της κύριας ιδιότητας των ενεμάτων που επηρεάζει αυτούς τους δυο μηχανισμούς, σύσσωμη η επιστημονική κοινότητα απέκλεισε ως τέτοια την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων, καθώς είχε βρεθεί ότι ενέματα με μια ποικιλία στα μηχανικά χαρακτηριστικά ήταν σε θέση να επιτυγχάνουν, σε όρους θλιπτικής αντοχής, τον ίδιο βαθμό βελτίωσης με αμιγώς τσιμεντιπικές συνθέσεις (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή- Μέρος I). Αυτή η διαπίστωση οδήγησε σε τεκμηριωμένη μείωση της περιεκτικότητας του τσιμέντου στις συνθέσεις επισκευής, και στην αναζήτηση υλικών με μέτρια και (προσφάτως) χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα μικτά συστήματα τσιμέντου-υδράσβεστου-ποζολάνης και οι συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου, αντιστοίχως.

Όπως ήταν φυσικό, παράλληλα με την διερεύνηση σε δοκίμια τοιχοποιίας, και με στόχο να απαντηθεί το ερώτημα «ποίες είναι οι ιδιότητες των ενεμάτων που επηρεάζουν τους δύο βασικούς μηχανισμούς βελτίωσης των τρίστρωτων τοιχοποιιών μετά τα ενέματα», το ενδιαφέρον των ερευνητών εστιάστηκε, σε μικρότερο όμως βαθμό, στην πειραματική διερεύνηση της ενδιάμεσης στρώσης και της διεπιφάνειας ενεμάτων/υλικών τοιχοποιίας. Η μελέτη της ενδιάμεσης στρώσης ενισχυμένης με διμερείς ή τριμερείς συνθέσεις, και, μόλις προσφάτως, με ενέματα υδραυλικής ασβέστου, έδειξε ότι ο βαθμός ενίσχυσης της ενδιάμεσης στρώσης, αν και εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων, ωστόσο, δεδομένου και του τρόπου αστοχίας της τοιχοποιίας (με την διάνοιξη κατακόρυφων ρωγμών), καθορίζεται από την καμπτική αντοχή των ενεμάτων (Vintzileou 2007). Στο θέμα της αποκατάστασης της συνεργασίας των επιμέρους παρειών, ο αριθμός των διαθέσιμων εργασιών είναι πολύ περιορισμένος [μόλις δύο στο πλήθος, βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II: (Miltiadiou 1990), (Toumbakari 2002)], και αφορά δοκιμές σε σύνθετα δοκίμια διμερών ή τριμερών ενεμάτων και υποβάθρων. Τα αποτελέσματα αυτής της διερεύνησης σε συνδυασμό με την πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των ενεμάτων σε τρίστρωτες τοιχοποιίες, οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η διατμητική αντοχή διεπιφάνειας μεταξύ υπαρχόντων υλικών και ενεμάτων φαίνεται να είναι εκείνη η ιδιότητα που οριοθετεί την συμπεριφορά της ενισχυμένης τοιχοποιίας (Toumbakari 2002).

Παρ' όλα αυτά, όπως είναι φυσικό, οι μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα για τον δεσμό συνάφειας μεταξύ υφιστάμενων υλικών και ενεμάτων δεν καλύπτουν παρά μερικές από τις απόψεις του θέματος. Έτσι, για παράδειγμα, δεν διατίθενται στοιχεία για άλλα υπόβαθρα και συνθέσεις ενεμάτων (όπως για τα χαμηλής θλιπτικής αντοχής ενέματα

της υδραυλικής ασβέστου), οι οποίες εφαρμοζόμενες σε τοιχίσκους λειτούργησαν ικανοποιητικά, ή για την εν χρόνω μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών, στοιχείο το οποίο αναμένεται να είναι σημαντικό, ιδίως, για τις συνθέσεις ενεμάτων με ποζολανικά υλικά. Εξ άλλου, δεν διατίθεται γενικής αποδοχής φυσικό προσομοίωμα, με το οποίο θα αποτιμάται η βελτιωμένη φέρουσα ικανότητα των τοιχοποιιών μετά από την εφαρμογή ενεμάτων. Είναι προφανές ότι, το θέμα αυτό καθίσταται ιδιαίτερος σημαντικό για την χώρα μας, δεδομένου ότι οι ιστορικές κατασκευές υποβάλλονται συχνά σε σεισμικές δράσεις, έναντι των οποίων απαιτείται ενίσχυση των μνημείων ελεγχόμενης αποτελεσματικότητας. Η σπουδαιότητα του μηχανισμού συνάφειας, σε συνδυασμό με το περιορισμένο πλήθος των μελετών που σχετίζονται με το αντικείμενο της συνάφειας στο πεδίο των ιστορικών τοιχοποιιών, επιβάλλει μια συστηματική μελέτη η οποία θα επικεντρώνεται στις συγκολλητικές ιδιότητες των συνθέσεων ενίσχυσης και στην συμπεριφορά των διεπιφανειών μεταξύ υπαρχόντων υλικών και ενεμάτων.

Στο διαπιστούμενο κενό σκοπεύει να συμβάλει η παρούσα Διατριβή. **Τελικός στόχος της εργασίας είναι η διατύπωση τοπικού καταστατικού νόμου που θα περιγράψει την συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων για μεγάλες παραμορφώσεις, ο οποίος θα τροφοδοτήσει, μελλοντικά, αναλυτικά προσομοιώματα στοιχείων τοιχοποιίας, προκειμένου να είναι δυνατή η εκτίμηση της συνεισφοράς των ενεμάτων στην μηχανική συμπεριφορά της τοιχοποιίας και, τελικώς, η αποτίμηση της επέμβασης.**

Με αυτόν τον γενικό στόχο, σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε το πειραματικό και αναλυτικό πρόγραμμα της παρούσας Διατριβής. Στο πλαίσιο αυτού του προγράμματος, περιλαμβάνονται τα ακόλουθα υποέργα, τα οποία και αποτελούν στοιχεία πρωτοτυπίας της Διατριβής:

**(1) Συστηματική διερεύνηση της φύσης του μηχανισμού της συνάφειας για τις διεπιφάνειες ενεμάτων/υποβάθρων.**

Η συστηματική διερεύνηση του μηχανισμού της συνάφειας διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων περιλαμβάνει α) την μελέτη της μικροδομής των διεπιφανειών σε αδιατάρακτα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων, β) μηχανικές δοκιμές και γ) συσχέτιση των αποτελεσμάτων των παρατηρήσεων της μικροδομής και των μηχανικών δοκιμών. Επισημαίνεται ότι στο πλαίσιο της Διατριβής καλύπτεται ένα μεγάλο πλήθος υποβάθρων (λίθων και πλίνθων) που απαντώνται σε ιστορικές κατασκευές, καθώς και συνθέσεων ενίσχυσης

(ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και υδραυλικής ασβέστου), οι οποίες, εφαρμοζόμενες σε τρίστρωτους τοιχίσκους, έχει βρεθεί ότι βελτιώνουν την μηχανική συμπεριφορά των τοίχων. Εξ άλλου, στην διεθνή βιβλιογραφία απουσιάζουν στοιχεία για την εν χρόνω εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών διεπιφανειών ενεμάτων, στοιχεία τα οποία είναι εξαιρετικώς σημαντικά, ιδίως για τις συνθέσεις με ποζολανικά υλικά. Έτσι, η συνάφεια μεταξύ υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας μελετάται για ένα μεγάλο εύρος ηλικιών, με στόχο να καταγραφεί η εξέλιξη του φαινομένου στον χρόνο.

**(2) Διερεύνηση της επιτελεστικότητας, σε όρους αντοχής συνάφειας, ενεμάτων με μέτρια και χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου.**

Οι συνθέσεις αυτές, όπως φάνηκε και από την παραπάνω σύνοψη και τεκμηριώνεται στο πρώτο μέρος της Βιβλιογραφικής Αναδρομής, καθώς εξασφαλίζουν επαρκή θλιπτική αντοχή στην τοιχοποιία, αναμένεται να βελτιώνουν την συνάφεια μεταξύ ενεμάτων και υποβάθρων. Σε αυτό το υπο-έργο, τεκμηριώνεται αυτή η υπόθεση. Μεταξύ άλλων, εδώ, περιλαμβάνεται η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός τριμερών συνθέσεων που στην σύστασή τους περιέχουν τεχνητά υλικά. Ας σημειωθεί ότι, η διερεύνηση της χρήσης τεχνητών υλικών συμβάλλει στην περαιτέρω αξιοποίηση τους, καθώς και στην χρήση εναλλακτικών υλικών ως ποζολάνες, με στόχο την αποφυγή εξάντλησης φυσικών αποθεμάτων.

**(3) Κατάστρωση τοπικού Καταστατικού Νόμου που περιγράφει την συμπεριφορά αυτού του τύπου των διεπιφανειών για μεγάλες παραμορφώσεις και παραμετρική διερεύνηση του προτεινόμενου Νόμου με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων.**

Καθώς, όπως αναφέρθηκε ήδη, ο σχεδιασμός των ενεμάτων ενίσχυσης, καθώς και η πρόβλεψη της απόκρισης της ενισχυμένης με ενέματα τοιχοποιίας, οφείλει να στηρίζεται σε ποσοτικά στοιχεία βασισμένα στον νόμο της συνάφειας των διεπιφανειών ενεμάτων/υλικών τοιχοποιίας, σε αυτό το υπο-έργο περιλαμβάνεται η σύνταξη τοπικών Καταστατικών Νόμων για την περιγραφή της συμπεριφοράς αυτών των διεπιφανειών υπό μεγάλες παραμορφώσεις, καθώς και η κατάστρωση εμπειρικών σχέσεων γενικής πρόβλεψης της αντοχής συνάφειας και των μετακινήσεων στην αστοχία. Επί πλέον, ο προτεινόμενος Νόμος διερευνάται με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων, και εισάγεται σε αναλυτικό προσομοίωμα τοιχοποιίας, όπου

πραγματοποιείται μια πρώτη εκτίμηση της συμβολής των διεπιφανειών των ενεμάτων στην μηχανική συμπεριφορά των τοίχων μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα.

### **1.3 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η παρούσα εργασία αποτελείται από επτά Κεφάλαια (Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>. Εισαγωγή, Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>. Κριτική Αναδρομή στην Βιβλιογραφία, Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>. Πειραματικό Μέρος, Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>. Δοκιμές Διατμήσεως-Καταστατικοί Νόμοι, Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>. Αναλυτικό Μέρος, Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>. Συμβολή της Εργασίας στην Επιστήμη και Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>. Θέματα για Περαιτέρω Έρευνα) και πέντε Παραρτήματα, με το κυρίως σώμα της Διατριβής να διαρθρώνεται σε τέσσερις βασικές Ενότητες.

Η πρώτη Ενότητα (Κεφάλαιο 2) περιλαμβάνει την Κριτική Αναδρομή στην διεθνή βιβλιογραφία σε θέματα: (α) της μηχανικής συμπεριφοράς των τρίστρωτων τοιχοποιιών, πριν και μετά τα ενέματα, από όπου και αναδεικνύεται ο ρόλος της συνάφειας μεταξύ ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας στην απόκριση των τοιχοποιιών μετά την ενίσχυση (ΜΕΡΟΣ I) και (β) του μηχανισμού της συνάφειας (ΜΕΡΟΣ II). Στο ΜΕΡΟΣ II της βιβλιογραφικής αναδρομής, ελλείπει επαρκούς πλήθους πειραματικών διερευνήσεων για τις διεπιφάνειες υδραυλικών ενεμάτων, παρουσιάζονται οι μελέτες που αφορούν τον μηχανισμό της συνάφειας μεταξύ υλικών παρόμοιας φύσης (παλιό/νέο σκυρόδεμα, αδρανή/τσιμεντοπολτός, δομικοί λίθοι/κονιάματα). Εξαιτίας του μεγάλου πλήθους αυτών των διερευνήσεων, καθώς και του ότι πολλές από τις διατιθέμενες εργασίες δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμες για τις διεπιφάνειες των υλικών που εξετάζονται στην παρούσα Διατριβή, η αναδρομή προφανώς περιορίζεται σε εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό της συνάφειας σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας. Καθώς δεν υπάρχει προτυποποίηση των δοκιμών ή των δοκιμίων για την εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών, προκειμένου να αναζητηθεί η πιο κατάλληλη, αξιόπιστη, επαναλήψιμη και ρεαλιστική για τις δικές μας συνθήκες μέθοδος, πραγματοποιείται και μια αναδρομή στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την μέτρηση της αντοχής συνάφειας σύνθετων δοκιμίων και ασκήθηκε κριτική. Τέλος, στην τελευταία παράγραφο του ΜΕΡΟΥΣ II της βιβλιογραφικής αναδρομής, περιγράφεται η μηχανική συμπεριφορά των διεπιφανειών υπό εντάσεις κρίσιμες για τοιχοποιίες.



Η δεύτερη Ενότητα αφορά το Πειραματικό Μέρος της Διατριβής (Κεφάλαιο 3). Αυτή η ενότητα ξεκινά με όλα όσα έδειξε η βιβλιογραφική αναδρομή (Κεφάλαιο 2) και συνεχίζει με τις διαπιστωθείσες, κατά την μελέτη της βιβλιογραφίας, ελλείψεις. Άλλωστε, αυτές οι ελλείψεις οδήγησαν στην ανάγκη να διερευνηθεί συστηματικά, στην ενότητα του Πειραματικού Μέρους, ο μηχανισμός της συνάφειας σε διεπιφάνειες διαφόρων τύπων υποβάθρων και υδραυλικών συνθέσεων. Έτσι, η εν λόγω ενότητα χωρίζεται σε δυο μέρη: α) στο ΜΕΡΟΣ I, στο οποίο παρουσιάζεται η ακολουθούμενη μεθοδολογία, τα κριτήρια επιλογής των εξεταζομένων υλικών (ενέματα και υπόβαθρα) και των σύνθετων δοκιμών, των πειραματικών διατάξεων, καθώς το πλήρες Πειραματικό Πρόγραμμα των δοκιμών και β) στο ΜΕΡΟΣ II, στο οποίο περιλαμβάνεται η παρουσίαση, η αξιολόγηση, η σύγκριση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διερεύνησης με εκείνα της βιβλιογραφίας, καθώς και η ερμηνεία των παρατηρηθεισών συμπεριφορών και τάσεων.

Η τρίτη Ενότητα (Κεφάλαιο 4) σχετίζεται με την αξιοποίηση μέρους των στοιχείων του Πειραματικού Μέρους της δεύτερης Ενότητας. Εδώ, περιλαμβάνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων του Κεφαλαίου 3, με στόχο την σύνταξη τοπικών Καταστατικών Νόμων για την πλήρη περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων υπό μεγάλες παραμορφώσεις, καθώς και την κατάστρωση εμπειρικών σχέσεων για την πρόβλεψη της αντοχής συνάφειας και των αντίστοιχων μετακινήσεων στην αστοχία. Αυτά τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στο Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής (Κεφάλαιο 5).

Η τέταρτη ενότητα, δλδ. το Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής, αφορά την προσομοίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων. Παρατίθενται δύο εναλλακτικοί τρόποι προσομοίωσης με τους οποίους αναπαράγεται η απόκριση των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων, όπως αυτή προέκυψε από τις πειραματικές δοκιμές. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα δοκιμαστικών επιλύσεων ενός προσομοιώματος στοιχείου τρίστρωτης τοιχοποιίας πριν και μετά τα ενέματα, στο οποίο έχει ληφθεί υπόψη η συνεισφορά των διεπιφανειών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

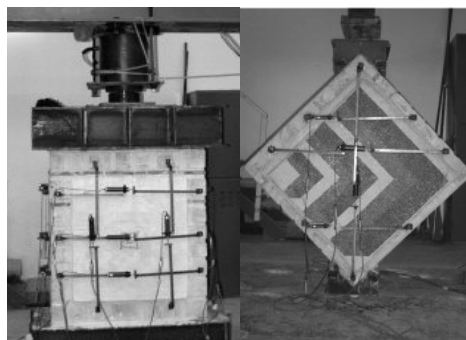
### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι φυσικό, ο σχεδιασμός του πειραματικού έργου που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της Διατριβής, βασίστηκε στην Κριτική Αναδρομή όλης της υφιστάμενης διεθνούς βιβλιογραφίας, η οποία και παρουσιάζεται στο παρόν Κεφάλαιο. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ξεκινά με τα αποτελέσματα των δοκιμών (έναντι θλίψης, και διαγώνιας θλίψης), οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε τρίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την ενίσχυση τους με ενέματα, ώστε να αναδειχθούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της τρίστρωτης τοιχοποιίας μετά την ενίσχυση. Καθώς αυτά τα αποτελέσματα αποδεικνύουν την μείζονα σπουδαιότητα του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ υλικών επέμβασης και κατά χώραν υλικών, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας επικεντρώνεται -εν συνεχεία- στην μελέτη αυτού του μηχανισμού. Όπως θα φανεί στα παρακάτω, η διατιθέμενη βιβλιογραφία γύρω απ' τον μηχανισμό της συνάφειας για τα υλικά του ενδιαφέροντός μας είναι πολύ περιορισμένη. Αντιθέτως, διατίθεται πλούσια βιβλιογραφία για τον ίδιο μηχανισμό για τις περιπτώσεις (α) αδρανών και τσιμεντοπολτού, (β) παλαιών και νέων σκυροδεμάτων και (γ) πλίνθων και κονιαμάτων. Δεδομένης της συγγένειας των διεπιφανειών που έχουν μελετηθεί με αυτές που αποτελούν στόχο της παρούσας Διατριβής, μελετήθηκε η σχετική βιβλιογραφία, ώστε να εντοπισθούν οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν τον μηχανισμό συνάφειας και να υποβοηθηθεί, έτσι, ο σχεδιασμός του πειραματικού προγράμματος.

## ΜΕΡΟΣ Ι: ΤΡΙΣΤΡΩΤΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ

### 2.2 ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

Σε αυτό το μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης συνοψίζονται τα διατιθέμενα βιβλιογραφικά στοιχεία, τα οποία αφορούν την μηχανική συμπεριφορά τρίστρωτων τοιχοποιιών πριν και μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα, με στόχο να αναδειχθούν οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την απόκριση των τοιχοποιιών έναντι των διαφόρων δράσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά την μεγάλη σημασία του ζητήματος, ο όγκος των διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων είναι μάλλον περιορισμένος. Εξ άλλου, το σύνολο των δοκιμών που διατίθενται έχει πραγματοποιηθεί σε τοιχίσκους (πρδ. Εικόνα 3), οι οποίοι υποβλήθηκαν είτε σε θλίψη, είτε σε διαγώνια θλίψη (η οποία προσομοιώνει την διατμητική συμπεριφορά της τοιχοποιίας). Όλες οι δοκιμές είναι μονοτονικές. Όλα τα δοκίμια –αν και διαφορετικών διαστάσεων- είναι χθαμαλά (τα δοκίμια που έχουν χρησιμοποιηθεί για τις δοκιμές θλίψης έχουν λόγο ύψους προς μήκος και μήκους προς πάχος μεταξύ  $1.2 \div 2.0$  και  $1.5 \div 2.5$ , αντιστοίχως και τα δοκίμια της διάτμησης έχουν τετραγωνική όψη). Έτσι, τα σχετικά αποτελέσματα θεωρούνται ότι είναι αντιπροσωπευτικά του υλικού «τοιχοποιία» και όχι θλιβόμενων ή διατεμνόμενων τοίχων. Για την κατασκευή των τοιχίσκων έχουν χρησιμοποιηθεί λιθοσώματα ή οπτόπλινθοι και κονιάματα με μια ποικιλία φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών. Το ίδιο ισχύει και για τα ενέματα: σε όλες τις περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί υδραυλικές συνθέσεις. Το μεγάλο πλήθος των παραμέτρων για την γεωμετρία και τα υλικά δομήσεως των τρίστρωτων τοιχίσκων των σχετικών μελετών αποτυπώνεται ξεκάθαρα στους Πίνακες 1, 2 και 3, όπου παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα δεδομένα (γεωμετρία δοκιμίων, πάχη παρειών και μηχανικές ιδιότητες υλικών κατασκευής), καθώς και τα πειραματικά αποτελέσματα των δημοσιεύσεων που αξιολογούνται εδώ. Στα παρακάτω ακολουθεί ο σχολιασμός του τρόπου αστοχίας και η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων στα μηχανικά χαρακτηριστικά των τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα, για τα δύο είδη φορτίσεων.



Εικόνα 3. Δοκίμια για την μέτρηση της θλιπτικής αντοχής και της αντοχής σε διάτμηση τρίστρωτης τοιχοποιίας (Vintzileou et al. 2007).

**Πίνακας 1.** Συνθέσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά ενεμάτων που εφαρμόστηκαν στους τριστρωτους τοιχίσκους και παρουσιάζονται στους Πίνακες 2 και 3.

Εργασία	Σύνθεση ενέματος (περιεκτικότητα%-κ.β.)					Μηχανικά χαρακτηριστικά ενεμάτων						
	Κωδικός	C	L	Πρόσθετο		7 ημέρες		28 ημέρες		90 ημέρες		
				%	Είδος	f <sub>g,c</sub>	f <sub>g,t</sub>	f <sub>g,c</sub>	f <sub>g,t</sub>	f <sub>g,c</sub>	f <sub>g,t</sub>	
(Bouineau 1985)		90	-	10		BET	7.30					
(Tomazevic et al. 1992) <sup>(1)</sup>	V	67	-	33		5NP+28QD+1.4(c)			15.9	4.2		
(Vintzileou et al. 1995)	F1	75	-	25		SF			30.0	2.5		
	F3	50	27.5	22.5		SF			13.0	1.4		
(Toumbakari 2002)	Cb0	80	20	-							19.5	4.5
	13b-0	30	17.5	52.5		Rh.Tr.					7.8	2.5
	13b-10	30	17.5	52.5		42.5 Rh.Tr.+10 SF					15.9	3.4
(Valluzzi 2003)	I1	-	-	100		HL			5.10	0.82		
	I2	-	-	100		HL			3.20	0.40		
(Miltiadou et al. 2006)	TG	30	25	45		LA					8.16	2.29
	NHLG	-	-	100		NHL-5					4.50	2.52

C: τσιμέντο  
L: υδράσβεστος  
BET: μπετονίτης  
NP, Rh.Tr., LA: φυσική ποζολάνη  
QD: (quartz dust)  
(c): υδρόφοβο πρόσθετο με βάση άλας στεατικού οξέος  
SF: πυριτική άχνη  
HL, NHL-5:υδραυλική άσβεστος

<sup>(1)</sup> Σαν εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων έχουν ληφθεί τα στοιχεία από τα ενέματα (της ίδιας σύνθεσης, αλλά διαφορετικού λόγου νερού προς συνδετική κόνια) της εργασίας των (Tomazevic et al. 1991).



Πίνακας 2. (συνέχεια)

Εργασία	Χαρακτηριστικά τοιχίσκων				Χαρακτηριστικά ενεμάτων				Μηχανικά Χαρακτηριστικά τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα														
	Κωδικός	Γεωμετρία		Πάχη στρώσεων [cm]	Μηχανικές ιδιότητες υλικών				f <sub>g,c</sub> /f <sub>g,t</sub>	n <sub>inf</sub> [%]	n <sub>tot</sub> [%]	f <sub>w,c,0</sub> [MPa]	f <sub>w,c,i</sub> [MPa]	E <sub>w,0</sub> [GPa]	E <sub>w,i</sub> [GPa]	ε <sub>wu,0</sub> [‰]	ε <sub>wu,i</sub> [‰]	W <sub>tr,0</sub> [mm]	W <sub>tr,i</sub> [mm]	W <sub>tr,i</sub> (σ = f <sub>w,c,i</sub> ) [mm]	W <sub>tr,i</sub> (σ = f <sub>w,c,i</sub> ) [mm]		
		f <sub>b,c</sub> [MPa]	f <sub>b,t</sub> [MPa]		f <sub>m,c</sub> [MPa]	f <sub>m,t</sub> [MPa]	f <sub>inf,c</sub> [MPa]																
(Vintzileou et al. 1995)	1 <sup>(4)</sup>	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	30.0/2.5	43.8	8.7	2.10	3.10	7.00	6.25	1.04	0.60	0.231	0.000	0.000	0.000	0.000	
	2	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	-	-	-	1.30	-	2.71	-	-	-	2.270	-	-	-	-	
	3 <sup>(4)</sup>	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	30.0/2.5	61.3	12.2	2.40	4.30	5.00	5.97	1.41	1.10	-	-	-	-	-	-
	4	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	30.0/2.5	34.8	11.1	1.60	-	4.44	-	0.80	-	2.533	-	-	-	-	-
	5	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	30.0/2.5	34.7	12.2	1.70	4.20	5.67	7.78	2.80	1.20	7.590	0.000	0.000	1.025	1.025	
	6	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	13.0/1.4	29.8	10.4	1.35	4.05	5.63	8.44	0.58	1.00	1.810	0.000	0.000	1.325	1.325	
	7	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	30.0/2.5	29.8	10.4	-	3.70	-	15.41	-	0.90	-	-	-	-	1.300	1.300
	8	60x40x120	13/14/13	100		1.70		0.15	13.0/1.4	29.8	10.4	-	3.00	-	3.33	-	0.90	-	-	-	-	0.125	0.125
(Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004)	BC1	60x40x120	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	31.0	17.0	-	5.04	-	2.24	-	2.42	-	-	-	-	1.170	1.170
	BC2	60x40x120	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	15.9/3.4	23.0	12.0	2.41	3.15	0.73	1.56	3.12	2.54	7.070	0.150	0.150	5.040	5.040	
	BC3	60x40x120	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	19.5/4.5	19.0	11.0	2.09	2.91	1.02	1.40	1.85	1.55	2.690	0.860	0.860	2.590	2.590	
	BC4	60x40x120	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	25.0	14.0	2.18	3.00	1.10	1.04	2.34	2.94	2.320	0.380	0.380	4.030	4.030	
	BC5 <sup>(4)</sup>	60x40x120	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	-	-	2.28	3.86	1.20	1.17	2.31	3.14	2.00	0.030	0.030	1.800	1.800	
(Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001, 2004 <sup>(5)</sup> )	SC1	60x40x120	13/14/13	55	5.4	3.40	1.2	1.00	15.9/3.4	50.0	19.0	2.02	3.25	0.72	1.62	1.42	3.55	2.890	0.030	0.030	2.190	2.190	
	SC2	60x40x120	13/14/13	55	5.4	3.40	1.2	1.00	19.5/4.5	46.0	17.0	2.09	3.36	1.14	1.56	1.65	2.33	6.900	0.010	0.010	0.600	0.600	
	SC3 <sup>(4)</sup>	60x40x120	13/14/13	55	5.4	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	-	-	2.65	3.51	1.37	1.19	1.73	2.45	3.630	0.510	0.510	2.330	2.330	
	SC4	60x40x120	13/14/13	55	5.4	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	30.0	11.0	2.71	3.29	1.44	1.01	2.11	3.49	2.840	1.010	1.010	4.980	4.980	
	511	80x50x180	18/14/18	164		1.57			5.1/0.8	54.2	15.2	1.45	2.49	2.39	2.27	3.63	7.26	2.250	0.002	0.002	4.590	4.590	
	611	80x50x180	18/14/18	164		1.57			5.1/0.8	54.2	15.2	1.95	2.49	2.03	3.09	4.57	5.71	9.200	0.002	0.002	8.550	8.550	
	1311	80x50x180	18/14/18	164		1.57			5.1/0.8	41.5	11.6	-	2.54	-	3.99	-	9.91	-	-	-	-	0.060	13.850
	1411R	80x50x180	18/14/18	164		1.57			5.1/0.8	60.6	17.0	-	2.14	-	1.62	-	8.21	-	-	-	-	0.005	9.800
	112	80x50x180	18/14/18	164		1.57			3.2/0.4	54.2	15.2	1.97	2.57	1.45	3.45	6.21	6.25	3.970	0.160	0.160	3.670	3.670	
	812	80x50x180	18/14/18	164		1.57			3.2/0.4	47.8	13.4	1.91	1.82	1.56	2.37	6.22	7.20	5.900	0.040	0.040	4.950	4.950	
(Binda et al. 2006)	1612	80x50x180	18/14/18	164		1.57			3.2/0.4	47.8	13.4	-	2.48	-	1.22	-	10.70	-	-	-	-	0.110	9.450
	NS3	31x51x79	17/17/17	21	1.8	9.2	1.9	4.1				5.8		1.77		3.5							
	SS3	31x51x79	17/17/17	104	5.4	9.2	1.9	4.1				>15.1		2.94		>5.2							
	NK3	31x51x79	17/17/17	21	1.8	9.2	1.9	4.1				6.4		2.09		4.1							
(Miliadou et al. 2006), (Vintzileou et al. 2006)	SK3	31x51x79	17/17/17	104	5.4	9.2	1.9	4.1				>15.1		2.73		>5.9							
	1	100x45x120	19/12/14	25		4.35	1.58	0.15	4.5/2.5	32.8	9.0	1.82	3.00	1.00	1.20	-	1.76	8.200	0.000	0.000	3.200	3.200	
	2	100x45x120	19/12/14	25		4.35	1.58	0.15	8.2/2.3	40.0	10.9	1.74	3.75	1.44	1.55	1.60	2.50	4.800	0.000	0.000	1.300	1.300	
(Oliveira et al. 2006 <sup>(2)</sup> )	3	100x45x120	19/12/14	25		4.35	1.58	0.15	4.5/2.5	36.4	9.9	2.26	3.73	1.50	1.30	2.25	3.39	4.000	0.000	0.000	2.600	2.600	
	1W1	60x30x110	10/10/10	52		2.9		0.29				2.4		1.45		2.5							
	1W2	60x30x110	10/10/10	52		2.9		0.29				1.7		1.46		1.5							
	2W1	60x30x110	10/10/10	52		2.9		0.29				1.4		1.50		3.0							

<sup>(1)</sup> Χαμηλής ποιότητας κονίαμα  
<sup>(2)</sup> Σαν εκτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων έχουν ληφθεί τα στοιχεία από τα ενέματα (της ίδιας σύνθεσης, αλλά διαφορετικού λόγου νερού προς συνδετική κονία) της εργασίας των (Tomazevic et al. 1991).  
<sup>(3)</sup> Οι τιμές έχουν ληφθεί από τα διαγράμματα.  
<sup>(4)</sup> Τοιχίσκοι με εγκάρσια φύλλα  
<sup>(5)</sup> Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που αφορούν την ενίσχυση των τοιχίσκων με 1) ενέματα και 2) ενέματα και αρμολόγημα. Στην δεύτερη περίπτωση, το κονίαμα (υδραυλικής ασβέστου) που χρησιμοποιήθηκε για την επισκευή των τοίχων είχε στις 28 ημέρες, περίπου, την ίδια αντοχή σε έλιξη με το αρχικό κονίαμα (υδραυλικής ασβέστου και πολτού). Συνεπώς, δεν αναφέρονται σημαντικές διαφορές μεταξύ των αντοχών των αρχικών και των επισκευασμένων (με κονιάματα) τοίχων.  
 Διαστάσεις τοιχίσκων σε μορφή: μήκος×πάχος×ύψος  
 Πάχη στρώσεων σε μορφή: t<sub>ext</sub>/t<sub>inf</sub>/t<sub>ext</sub>

Πίνακας 3. Γεωμετρία, μηχανικές ιδιότητες υλικών και κύρια αποτελέσματα δοκιμών διαγώνιας θλίψης σε τριστηρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων.

Εργασία	Χαρακτηριστικά τοιχίσκων										Χαρακτηριστικά ενεμάτων					Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα				
	Κωδικός	Γεωμετρία		Μηχανικές ιδιότητες υλικών						Χαρακτηριστικά ενεμάτων					Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα					
		Διαστάσεις [cm <sup>3</sup> ]	Πάχη στρώσεων [cm]	f <sub>b,c</sub> [MPa]	f <sub>b,t</sub> [MPa]	f <sub>in,c</sub> [MPa]	f <sub>in,t</sub> [MPa]	f <sub>mf,c</sub> [MPa]	f <sub>mf,t</sub> [MPa]	f <sub>g,c</sub> /f <sub>g,t</sub>	η <sub>inf</sub> [%]	η <sub>tot</sub> [%]	f <sub>wt,0</sub> [MPa]	f <sub>wt,i</sub> [MPa]	ε <sub>wtu,0</sub> [‰]	ε <sub>wtu,i</sub> [‰]	W <sub>hor,0</sub> [mm]	W <sub>hor,i</sub> [mm]		
(Vintzileou et al. 1995) (Toumbakari 2002)	9	80x40x80	13/14/13	100	1.70	0.15	30.0/2.5	22.3	7.8	-	0.64	-	-	-	-	-	-			
	10	80x40x80	13/14/13	100	1.70	0.15	30.0/2.5	30.1	10.6	-	0.64	-	-	-	-	-	-			
	BDC1	80x40x80	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	26.0	13.0	0.44	0.60	0.45	1.56	0.17	1.12			
	BDC2	80x40x80	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	15.9/3.4	30.0	15.0	0.34	0.73	0.15	1.07	0.02	0.82			
	BDC3	80x40x80	9/22/9	25	5.9	3.40	1.2	1.00	19.5/4.5	30.0	14.0	0.35	0.75	0.13	1.02	0.02	0.88			
	SDC1	80x40x80	13/14/13	55	5.4	3.40	1.2	1.00	15.9/3.4	46.0	13.0	0.47	0.50	0.68	1.36	0.47	1.10			
(Vintzileou et al. 2007)	4	100x45x100	18/14/13	25	5.4	3.40	1.2	1.00	19.5/4.5	49.0	14.0	0.34	0.68	0.13	1.17	0.05	0.74			
	5	100x45x100	18/14/13	25	5.4	3.40	1.2	1.00	7.8/2.5	46.0	13.0	0.28	0.59	0.12	2.65	0.02	1.84			
	6	100x45x100	18/14/13	25	5.4	3.40	1.2	1.00	4.5/2.5	39.3	10.7	0.10	0.21	2.10	1.00	5.20	0			
	4	100x45x100	18/14/13	25	4.35	1.58	0.15	8.2/2.3	37.1	10.1	0.10	0.33	1.10	0.80	0.20	0	0			
	5	100x45x100	18/14/13	25	4.35	1.58	0.15	8.2/2.3	37.1	10.1	0.10	0.33	1.10	0.80	0.20	0	0			
	6	100x45x100	18/14/13	25	4.35	1.58	0.15	4.5/2.5	37.6	10.3	0.10	0.22	1.00	1.40	1.50	0	0			

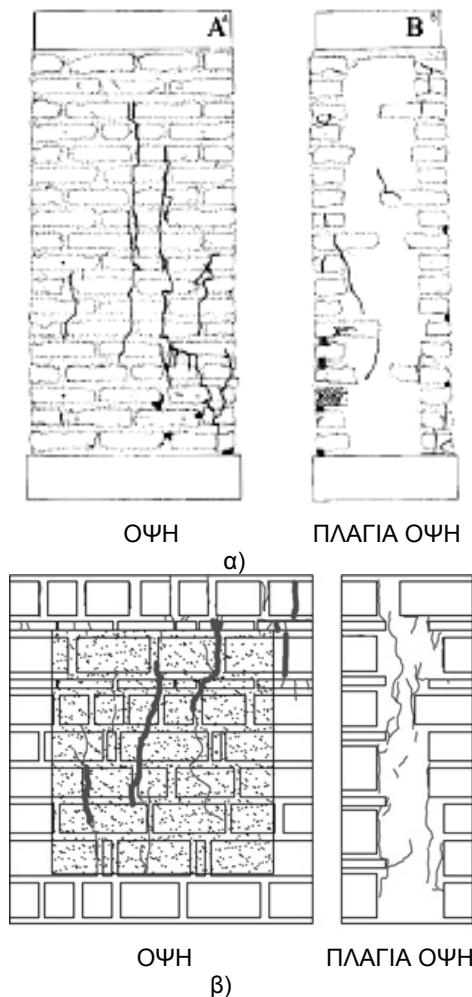
Διαστάσεις τοιχίσκων σε μορφή: μήκοςxπλάτοςxύψος

Πάχη στρώσεων σε μορφή: πάχος εξωτερικής στρώσης (t<sub>ext</sub>)/ πάχος ενδιάμεσης στρώσης (t<sub>int</sub>)/ πάχος εξωτερικής στρώσης (t<sub>ext</sub>)

## 2.3 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΘΛΙΨΗ: ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

### 2.3.1 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΠΡΙΝ ΤΑ ΕΝΕΜΑΤΑ

#### 2.3.1.1 Τρόπος Αστοχίας-Μηχανική Συμπεριφορά



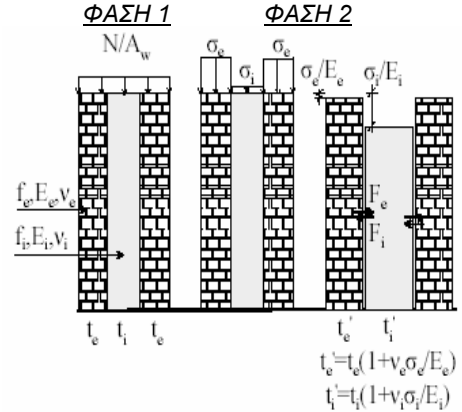
**Εικόνα 4.** Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τρίστρωτου τοιχίσκου: ρηγματώσεις πριν την εφαρμογή των ενεμάτων: α) (Toumbakari 2002) και β) (Vintzileou et al. 2008).

Από τα αποτελέσματα των πειραματικών διερευνήσεων προκύπτει ότι η πλειονότητα των τοιχίσκων πριν τα ενέματα υποβαλλόμενοι σε θλίψη εμφανίζει, πρακτικώς, την ίδια μορφή αστοχίας (πρδ. Εικόνα 4). Πιο συγκεκριμένα, στις όψεις των εξωτερικών στρώσεων των τοιχίσκων σχηματίζονται κατακόρυφες ρωγμές. Αυτές οι ρωγμές διέρχονται από τους αρμούς του κονιάματος, τις διεπιφάνειες κονιάματος/λιθοσώματος ή οπτόπλινθου και, σε ορισμένες περιπτώσεις, από τα λιθοσώματα ή τις οπτόπλινθους, αναλόγως, των σχετικών μηχανικών χαρακτηριστικών των επιμέρους υλικών (δομικοί λίθοι και κονίαμα). Παραλλήλως, στις πλάγιες όψεις εμφανίζονται εγκάρσιες κατακόρυφες ρωγμές. Οι τελευταίες διέρχονται, κυρίως, από τις διεπιφάνειες μεταξύ των στρώσεων και, δευτερευόντως, διαμέσου του υλικού πληρώσεως. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, το εύρος των ρωγμών στις όψεις των τοίχων είναι αρκετά μικρότερο από εκείνο στις πλάγιες όψεις (Vintzileou 2007). Αυτή η παρατήρηση υποδηλώνει ότι με την εμφάνιση των εγκάρσιων κατακόρυφων ρωγμών, η κάθε παρειά συμπεριφέρεται, πρακτικώς, ανεξάρτητα από τις άλλες δυο, με τις εξωτερικές στρώσεις να παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο φορτίο (Egermann 1991), (Binda et al. 2006). Συνεπώς, η λυγηρότητα της κάθε παρειάς είναι σημαντικά μεγαλύτερη από εκείνη του τοιχίσκου. Αυξανόμενου του θλιπτικού φορτίου, η μεγάλη λυγηρότητα των εξωτερικών-ισχυροτέρων-στρώσεων σε συνδυασμό με την επιβολή των οριζοντίων ωθήσεων οφειλόμενων στην διόγκωση της ενδιάμεσης –και ασθενέστερης- στρώσης οδηγεί σε αύξηση της εκτός επιπέδου παραμόρφωσης και, τελικώς, σε αστοχία των εξωτερικών στρώσεων λόγω κάμψης εκτός επιπέδου (Egermann 1991), (Egermann 1993), (Vintzileou et al. 1995), (Vintzileou 2007), με την ενδιάμεση στρώση να εμφανίζει κωνοειδούς ή σφηνοειδούς μορφής επίπεδα διάτμησης (Egermann 1991).

Εξ άλλου, η απόδοση των μηχανισμών αστοχίας φαίνεται να είναι σε



συμφωνία με την περιγραφή της μηχανικής συμπεριφοράς έναντι θλίψης τρίστρωτων τοιχίσκων από οπτόπλινθο, η οποία είχε προκύψει κατόπιν θεωρητικής, αναλυτικής και πειραματικής διερεύνησης (Egermann 1991), (Egermann 1993). Σύμφωνα με αυτή την μελέτη, η μηχανική συμπεριφορά μιας τρίστρωτης τοιχοποιίας έναντι θλίψης μπορεί να περιγραφεί σε, πρακτικώς, δυο στάδια (Εικόνα 5). Στο πρώτο στάδιο (Φάση 1) η συμπεριφορά της τοιχοποιίας θεωρείται ελαστική, με τις εγκάρσιες κατακόρυφες παραμορφώσεις των τοιχίσκων να αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση του θλιπτικού φορτίου. Οι εξωτερικές παρειές της τοιχοποιίας δεν έχουν ρηγματωθεί, η μηχανική συνάφεια μεταξύ των στρώσεων διατηρείται (αποδεικνύεται μέσω θεωρητικών μοντέλων ότι αποτελεί τον κύριο μηχανισμό μεταφοράς φορτίων διαμέσου των παρειών (Binda et al. 1991)) και ταυτόχρονα η ενδιάμεση –και ασθενέστερη- στρώση συμπεριφέρεται, πρακτικώς, ελαστικά. Έτσι, μολονότι η ενδιάμεση στρώση έχει πολύ χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες (θλιπτική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας) από εκείνες των εξωτερικών παρειών, εντούτοις, συμμετέχει έως έναν βαθμό στην παραλαβή του θλιπτικού φορτίου. Η έναρξη του δεύτερου σταδίου (Φάση 2) εξαρτάται από τις συνθήκες στήριξης των εξωτερικών στρώσεων, την γεωμετρία, τον λόγο των ελαστικών σταθερών και την μηχανική συνάφεια μεταξύ των στρώσεων και σηματοδοτείται με την απώλεια της μηχανικής συνάφειας μεταξύ των στρώσεων. Η συμπεριφορά του τοιχίσκου σε αυτό το στάδιο καθορίζεται πλέον από την δυσκαμψία του γεμίματος. Έτσι, με την αύξηση του θλιπτικού φορτίου η ενδιάμεση στρώση, η οποία βρίσκεται υπό τριαξονική ένταση, «διαρρέει». Την ίδια στιγμή οι εγκάρσιες κατακόρυφες παραμορφώσεις αυξάνονται με σαφώς μεγαλύτερους ρυθμούς από εκείνους της Φάσης 1 (πλαστική συμπεριφορά) εξαιτίας της μειωμένης εγκάρσιας αντίστασης της τοιχοποιίας. Η «διαρροή» της ενδιάμεσης στρώσης έχει ως αποτέλεσμα αφενός την περαιτέρω αύξηση της θλιπτικού φορτίου, και αφετέρου την επιβολή οριζόντιων ωθήσεων στις εξωτερικές στρώσεις. Τέλος, στις εξωτερικές παρειές σχηματίζονται ρωγμές κάμψης που είναι είτε παράλληλα είτε κάθετα στους οριζόντιους αρμούς.



Εικόνα 5. Φάσεις 1 και 2: Σχηματική απεικόνιση αναπτυσσομένων τάσεων και παραμορφώσεων στις εξωτερικές και στην ενδιάμεση στρώση τρίστρωτης τοιχοποιίας υποβαλλόμενης σε θλίψη (Vintzileou 2007).

### 2.3.1.2 Επιρροή παραμέτρων στις μηχανικές ιδιότητες των τοιχίσκων πριν τα ενέματα

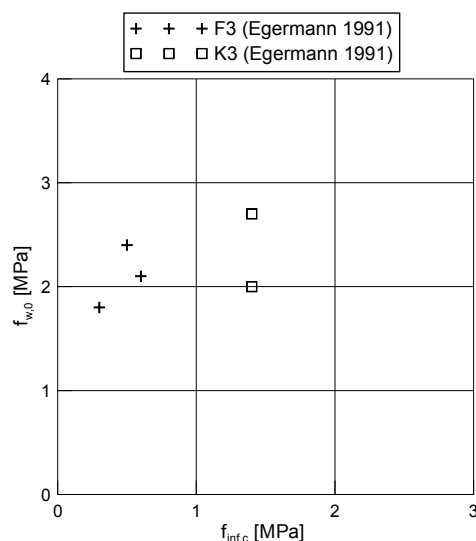
Τα διαθέσιμα αποτελέσματα δοκιμών θλίψης σε τρίστρωτους τοιχίσκους πριν την ενίσχυσή τους με ενέματα συνοψίζονται στον Πίνακα 2. Μολονότι τα αποτελέσματα των εργασιών δεν είναι μεταξύ

τους ευθέως συγκρίσιμα (δοκίμια με διαφορετική γεωμετρία κτλ) και πολλά από τα πειραματικά δεδομένα (μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών) ή/και αποτελέσματα (πρδ. παραμορφώσεις στην αστοχία) δεν παρουσιάζονται στις σχετικές εργασίες, είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων για την επιρροή διαφόρων παραμέτρων (μηχανικά χαρακτηριστικά επιμέρους υλικών, γεωμετρία ενδιάμεσης στρώσης, παρουσία περιόδου) στα μηχανικά χαρακτηριστικά των τοιχίσκων πριν τα ενέματα (θλιπτική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και παραμορφώσεις στην αστοχία). Όπως είναι φυσικό, σε αυτήν την διερεύνηση πρέπει να συνεκτιμηθεί η διασπορά των αποτελεσμάτων (εκφραζόμενη μέσω του συντελεστή μεταβλητότητας) πανομοιότυπων δοκιμίων τοιχίσκων, η οποία αναμένεται να είναι μεγάλη εξαιτίας της διασποράς στις ιδιότητες των επιμέρους υλικών που συνιστούν την τοιχοποιία, και, κυρίως, της πολυπλοκότητας των δοκιμίων (ανομοιογένειες, εκκεντρότητες κτλ)]. Πράγματι, από τα αποτελέσματα του Πίνακα 2, προκύπτει ότι οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας της θλιπτικής αντοχής τρίστρωτων τοιχίσκων σε πανομοιότυπα δοκίμια είναι, συνήθως, της τάξης του 15% [(Egermann 1991): κωδικοί τοιχίσκων (1F3, 2F3, 3F3) και (1K3, 2K3, 3K3)], (Vintzileou et al. 1995), ((Toumbakari 2002): λιθοδομές), (Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004), (Vintzileou et al. 2006), χωρίς να αποκλείεται η εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών (25%) (Tomazevic et al. 1982), [(Egermann 1991): κωδικοί τοιχίσκων (1B3, 2B3, 3B3)], (Oliveira et al. 2006). Μεγάλες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας (από 15% έως 35%) παρατηρούνται για το μέτρο ελαστικότητας (μετρούμενο περίπου στο 30% της θλιπτικής αντοχής) και τις κατακόρυφες παραμορφώσεις στην αστοχία ( $\epsilon_{wu,0}$ ), ενώ ιδιαίτερες μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται για το άνοιγμα τις εγκάρσιας κατακόρυφης ρωγμής (από 40% έως 75%). Καθίσταται, επομένως, φανερό ότι για τα μεγέθη των παραμορφώσεων και του μέτρου ελαστικότητας οποιαδήποτε συμπεράσματα για την επιρροή των παραμέτρων δεν μπορεί να είναι καταληκτικά. Για αυτό άλλωστε, και στα επόμενα, δίδεται έμφαση στην επιρροή των παραμέτρων, κυρίως, στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων.

#### *Θλιπτική αντοχή τοιχίσκων*

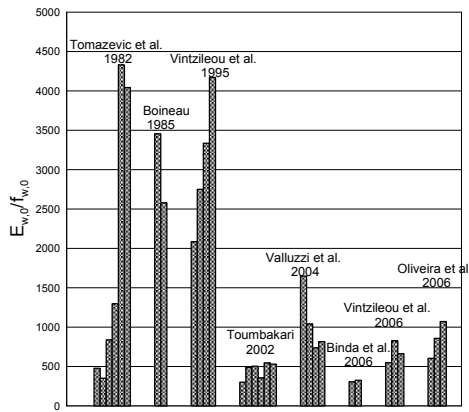
Στις συνήθεις περιπτώσεις ιστορικών τοιχοποιιών, όπου η ενδιάμεση παρειά έχει, γενικώς, χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, η θλιπτική αντοχή των λίθων ή οπτόπλινθων δεν φαίνεται να είναι η καθοριστική παράμετρος για την θλιπτική αντοχή της τρίστρωτης τοιχοποιίας. Πράγματι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, ίδιας γεωμετρίας τοιχίσκοι,

που έχουν κατασκευασθεί με ασβεστολιθικά λιθοσώματα θλιπτικής αντοχής ίσης με 100 MPa (Vintzileou et al. 1995), εμφανίζουν μικρότερη θλιπτική αντοχή σε σχέση με τοιχίσκους που έχουν κατασκευασθεί με ασβεστόλιθους κατώτερης ποιότητας (Toumbakari 2002). Αντιθέτως, η θλιπτική αντοχή του υλικού πληρώσεως και του κονιάματος δόμησης φαίνεται να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας. Έτσι, για παράδειγμα, οι τοιχίσκοι της (Toumbakari 2002) εμφάνισαν γενικότερα υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής σε σχέση με εκείνους των (Vintzileou et al. 1995) εξαιτίας των υψηλότερων μηχανικών χαρακτηριστικών του υλικού πληρώσεως και του κονιάματος. Εξ άλλου, αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από τις θέσεις σχηματισμού των ρηγματώσεων στους τοιχίσκους, όπου στην όψη, κυρίως, οι ρωγμές εμφανίζονται στο κονίαμα και στην πλάγια όψη στην διεπιφάνεια των παρειών ή/και στο υλικό πλήρωσης. Αντίστοιχη είναι η εικόνα για τις οπτοπλινθοδομές. Πράγματι, οι τοιχίσκοι του (Egermann 1991) εμφάνισαν υψηλότερη θλιπτική αντοχή στην περίπτωση που τα μηχανικά χαρακτηριστικά της ενδιάμεσης παρειάς ήταν μεγαλύτερα (Πίνακας 2, Εικόνα 6: τοιχίσκοι με κωδικούς B3, K3). Δεδομένου του τρόπου αστοχίας των τοιχίσκων πριν τα ενέματα (Ενότητα 2.3.1.1), αυτό μπορεί να ερμηνευθεί από το ότι τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά της ενδιάμεσης στρώσης, αφενός οδηγούν σε αύξηση του θλιπτικού φορτίου που αυτή αναλαμβάνει, και αφετέρου έχουν σαν επακόλουθο την μικρότερη παραμόρφωσή της και, συνεπώς, την μικρότερη καταπόνηση των εξωτερικών παρειών σε κάμψη εκτός επιπέδου. Την ίδια επίδραση στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων έχει και η γεωμετρία της ενδιάμεσης –και ασθενέστερης- παρειάς. Έτσι, αν και το αναλαμβανόμενο φορτίο από τους τοιχίσκους αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του πάχους της ενδιάμεσης στρώσης, η θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων μειώνεται (Egermann 1991). Είναι προφανές, ότι σε αυτήν την περίπτωση η αύξηση στην διατομή των τοιχίσκων του ποσοστού του γεμίματος (το οποίο παρουσία θλιπτικού φορτίου, λόγω χαμηλής ποιότητας, διογκώνεται ισχυρώς) οδηγεί επί πλέον σε μείωση της ευεργετικής επίδρασης της περίσφιγξης των εξωτερικών παρειών στην ενδιάμεση στρώση. Εξ άλλου, η επίδραση της εγκάρσιας περιίδεσης στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των δοκιμών των (Vintzileou et al. 1995), εξαιτίας κυρίως των χαμηλότερων μηχανικών χαρακτηριστικών της ενδιάμεσης παρειάς (Πίνακας 2). Αντιθέτως, σχετικά μικρή είναι η επίδραση της περιίδεσης για τα αποτελέσματα της (Toumbakari 2002). Τέλος, στην περίπτωση ενδιάμεσης στρώσης με

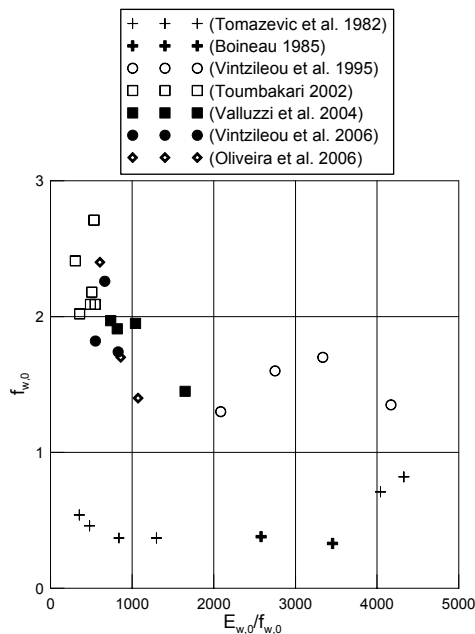


Εικόνα 6. Επιρροή της θλιπτικής αντοχής της ενδιάμεσης παρειάς στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων (Egermann 1991).

υψηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, ούτε η παρουσία διάτονων λίθων («κλειδιά») μεταξύ των εξωτερικών και της ενδιάμεσης παρειάς φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων (Binda et al. 2006).



**Εικόνα 7.** Εύρος τιμών του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν τα ενέματα.



**Εικόνα 8.** Θλιπτική αντοχή τοιχίσκων πριν τα ενέματα συναρτήσει του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων.

*Μέτρο Ελαστικότητας-Παραμορφώσεις στην αστοχία*

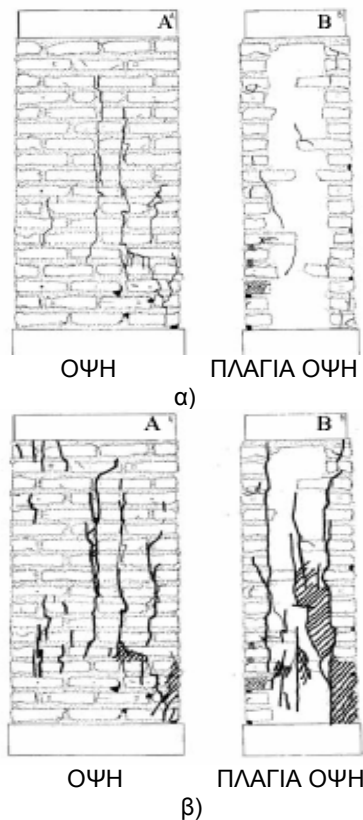
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τα διαθέσιμα αποτελέσματα για το μέτρο ελαστικότητας και τις παραμορφώσεις στην αστοχία (βλ. Πίνακα 2), είναι περιορισμένα σε πλήθος, και όσα διατίθενται παρουσιάζουν σχετικώς μεγάλη διασπορά. Μεγάλη διασπορά εμφανίζεται και για τον λόγο του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων ( $E_{w,0}/f_{w,0}$ ). Πράγματι, παρατηρείται ότι, με εξαίρεση τα αποτελέσματα των (Boineau 1985), (Vintzileou et al. 1995) και κάποιων των (Tomazevic et al. 1982), ο λόγος  $E_{w,0}/f_{w,0}$  που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2, έχει ένα μεγάλο εύρος τιμών που κυμαίνεται από περίπου 300 έως 1650, με τις περισσότερες τιμές να βρίσκονται μεταξύ του εύρους των 500 έως 1500, όπως προβλέπεται από τον Ευρωκώδικα 6 για τις καινούργιες τοιχοποιίες (Εικόνες 7 και 8). Σχετικά με τις τιμές των κατακόρυφων παραμορφώσεων, αυτές κυμαίνονται από 0.6‰ έως 3.0‰ (βλ. Πίνακα 2), ενώ αρκετά μεγαλύτερες τιμές έχουν καταγραφεί από τους (Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004). Εξ άλλου, το μέγεθος των παραμορφώσεων επηρεάζεται, ισχυρώς, από το τοπικό πεδίο των τάσεων. Θεωρείται, επομένως, επισφαλής η όποια εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επιρροή των διαφόρων παραμέτρων (πρδ. της θλιπτικής αντοχής των επιμέρους υλικών της τοιχοποιίας κτλ.) σε αυτά τα χαρακτηριστικά. Πιο ξεκάθαρη φαίνεται να είναι η περίπτωση της εγκάρσιας περιόδου: η επιρροή της στο μέτρο ελαστικότητας φαίνεται να είναι θετική, αλλά σχετικώς μικρή, για τους τοιχίσκους των (Vintzileou et al. 1995) ή αμελητέα για τους τοιχίσκους της (Toumbakari 2002). Η εικόνα δεν είναι ξεκάθαρη ούτε στην περίπτωση των κατακόρυφων παραμορφώσεων στην όψη των τοιχίσκων. Αντιθέτως, η παρουσία της εγκάρσιας περίσφιγξης φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με την μείωση, και, κυρίως, με την καθυστέρηση διάνοιξης των εγκαρσίων κατακόρυφων ρωγμών ανάμεσα στις παρειές για τους τοιχίσκους των (Vintzileou et al. 1995) και (Toumbakari 2002) (βλ. Πίνακα 2).

## 2.3.2 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΕΝΕΜΑΤΑ

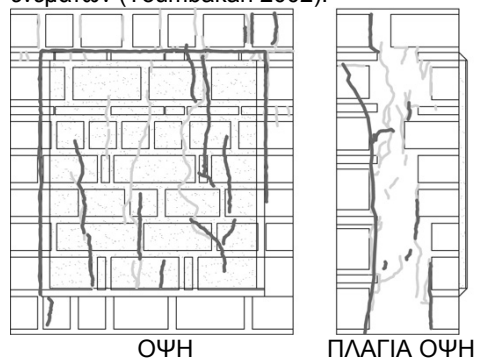
### 2.3.2.1 Τρόπος αστοχίας- Μηχανική Συμπεριφορά

Η συνήθης μορφή αστοχίας έναντι θλίψης των ενισχυμένων με ενέματα τοιχίσκων, είναι παρεμφερής με εκείνη των τοιχίσκων πριν την εφαρμογή των ενεμάτων. Πράγματι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 9 και 10, στις όψεις των τοιχίσκων σχηματίζονται κατακόρυφες ρωγμές διερχόμενες από τους αρμούς κονιάματος και τα λιθοσώματα (ακόμη και στην περίπτωση ισχυρών δομικών λίθων). Στις πλάγιες όψεις οι ρωγμές διέρχονται από την διεπιφάνεια εξωτερικών και εσωτερικών παρειών, αλλά και από την ενδιάμεση στρώση. Όπως αναμένεται, το δίκτυο των ρωγμών στους ενισχυμένους τοιχίσκους είναι πιο πυκνό από εκείνο για τους αρχικούς τοιχίσκους (Τουμβακάρη 2002). Πράγματι, μολονότι σχηματίζονται ρωγμές στις αρχικές θέσεις, περισσότερες είναι οι ρωγμές που εμφανίζονται σε νέες θέσεις, που σημαίνει ότι με την εφαρμογή των ενεμάτων φαίνεται να εξασφαλίζεται επαρκής ενίσχυση στις αρχικώς πληγείσες περιοχές των τοιχίσκων (Miltiadiou et al. 2006) και, επομένως, το θλιπτικό φορτίο μεταφέρεται μέσω εναλλακτικών διόδων. Στην περίπτωση που στους τοιχίσκους έχουν χρησιμοποιηθεί ισχυρά ενέματα (τσιμεντοπικά), η μορφή αστοχίας των τοίχων διαφοροποιείται σε σχέση με την αρχική, καθώς είτε οι στρώσεις των τοίχων δεν αποκολλούνται και οι τοίχοι αστοχούν σαν να ήταν συμπαγείς είτε οι στρώσεις αποκολλούνται, αλλά για φορτίο πολύ κοντά σε εκείνο που αντιστοιχεί στην αστοχία τους λόγω εμφάνισης κατακόρυφων ρωγμών στην όψη των τοίχων (Vintzileou et al. 1995).

Όσον αφορά την μηχανική συμπεριφορά των τριστρωτων τοιχίσκων, αυτή βελτιώνεται με την εφαρμογή των ενεμάτων υψηλής δεισδυτικότητας, καθώς τα κενά και οι ρωγμές των τριστρωτων τοιχίσκων πληρώνονται και οι τριστρωτοι τοιχίσκοι ομογενοποιούνται. Η βελτίωση αυτή, αποδίδεται από τους ερευνητές καταρχήν (1) στην ομογενοποίηση της μάζας της ενδιάμεσης στρώσης, που συνοδεύεται με σημαντική αύξηση των μηχανικών της χαρακτηριστικών. Πράγματι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, πειραματικές διερευνήσεις σε δοκίμια υλικού πληρώσεως δείχνουν ότι η θλιπτική αντοχή της ενδιάμεσης παρειάς μετά τα ενέματα αυξάνεται έως και 20 φορές (Miltiadiou 1990), (Valluzzi 2004), (Kalagri et al. 2007). Επομένως, αυξάνεται η συνεισφορά του υλικού πληρώσεως στην ανάληψη του επιβαλλόμενου



Εικόνα 9. Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τριστρωτου τοιχίσκου: ρηγματώσεις α) πριν και β) μετά την εφαρμογή των ενεμάτων (Τουμβακάρη 2002).



Εικόνα 10. Τυπική μορφή αστοχίας έναντι θλίψης τριστρωτου τοιχίσκου πριν (ανοιχτό γκρι) και μετά τα ενέματα (σκούρο γκρι) (Vintzileou et al 2008).

θλιπτικού φορτίου, με ταυτόχρονη μείωση της θλιπτικής τάσης που καλούνται να παραλάβουν οι εξωτερικές στρώσεις. Επιπλέον, αμβλύνονται και οι όποιες διαφορές παραμορφωσιμότητας μεταξύ των στρώσεων. Αυτό συντελεί στην μείωση των πρόσθετων οριζόντιων ωθήσεων με τις οποίες καταπονούνται σε κάμψη εκτός του επιπέδου τους εξωτερικές στρώσεις λόγω της διόγκωσης της ενδιάμεσης παρειάς.

**Πίνακας 4.** Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών σε υλικά πληρώσεως.

Εργασία	Κωδικός κυλίνδρου	Κωδικός ενέματος	Ιδιότητες ενέματος		Μηχανικές ιδιότητες ενδιάμεσης παρειάς			
			$f_{g,c}$ [MPa]	$f_{g,t}$ [MPa]	πριν τα ενέματα		μετά τα ενέματα	
					$f_{inf,c,0}$	$E_{inf,c,0}$	$f_{inf,c,i}$	$E_{inf,c,i}$
(Miltiadou 1990)	κενά 32%		30.0	2.5	1.71	3.87	13.4	20.5
			30.0	2.5			17.0	15.3
			13.0	1.4			9.5	19.8
	κενά 40%		30.0	2.5	0.48	1.10	8.8	13.7
			30.0	2.5			10.5	10.5
			13.0	1.4			16.3	16.6
(Valluzzi 2004) παράθεση (Vintzileou 2007) (κενά ~40%)	C7-C8		3.23	0.35	(0.15)		0.82	0.34
	C9-C10 (A)		3.23	0.35	(0.15)		0.80	0.25
	C11-C12		5.10	0.80	(0.15)		1.99	1.52
	C13(A)		5.10	0.80	(0.15)		2.15	1.20
	C14-C15		3.21		(0.15)		1.43	1.50
	C17-18		3.65		(0.15)		1.38	1.25
	C27-C28		3.35		(0.15)		1.71	1.75
	C26(A)		3.35		(0.15)		1.39	1.35
(Kalagri et al. 2007)		TER	10.6	3.13	0.15		3.04	1.66
		NHLSP	6.36	3.87	0.15		2.79	1.68
		NHL	6.00	2.70	0.15		3.26	1.56
		CBSP	6.72	1.05	(0.15)		3.25	2.10
		CR	2.88	1.08	(0.15)		2.65	1.93
		CA	2.49	0.65	(0.15)		2.26	1.36
		UBF	2.53	0.98	(0.15)		2.01	0.62

(2) Με την εφαρμογή των ενεμάτων σε μικρότερο, βεβαίως, βαθμό βελτιώνονται και οι μηχανικές ιδιότητες των εξωτερικών στρώσεων. Τέλος, με τα ενέματα (3) ενισχύεται η συνάφεια ανάμεσα στις στρώσεις της τοιχοποιίας, με αποτέλεσμα να καθυστερεί η διάνοιξη των εγκάρσιων κατακόρυφων ρωγμών και να αυξάνεται η θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων. Αυτή η καθυστέρηση διάνοιξης των εγκάρσιων ρωγμών είναι εμφανής σε όλα τα πειραματικά αποτελέσματα των (Vintzileou et al. 1995), (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2003), (Toumbakari et al. 2004) (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004), (Miltiadou et al. 2006). Πράγματι, το άνοιγμα των εγκάρσιων ρωγμών των τοιχίσκων πριν τα ενέματα ( $w_{tr,0}$ ) είναι της τάξης μερικών χιλιοστών, ενώ μετά τα ενέματα το άνοιγμα των ρωγμών για φορτίο ίσο με εκείνο που αντιστοιχεί στην αστοχία των τοιχίσκων χωρίς τα ενέματα ( $w_{tr,i,0}$ ) είναι,

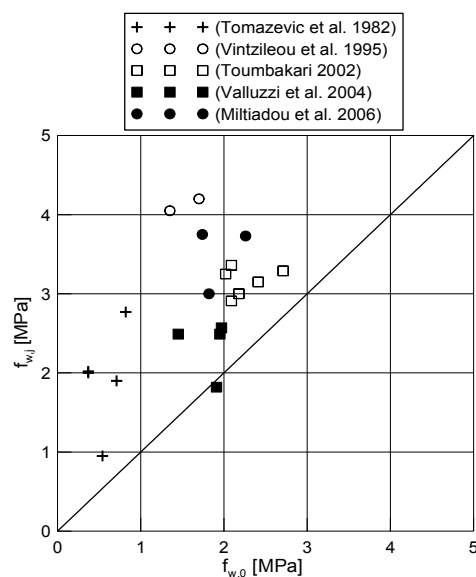
πρακτικώς, μηδενικό (βλ. Πίνακα 2). Το φαινόμενο αυτό αποδίδεται στην συγκολλητική ικανότητα των ενεμάτων και την συνάφειά τους με τους με τα υπάρχοντα υλικά, η οποία όσο είναι ενεργός διατηρεί τις παραμορφώσεις σε χαμηλότερα επίπεδα (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004). Μόλις ξεπεραστεί η αντοχή συνάφειας μεταξύ των στρώσεων, οι παρειές αποκολλώνται (για υψηλότερες στάθμες του επιβαλλόμενου φορτίου) και οι τοιχίσκοι αστοχούν με τους μηχανισμούς που περιγράφηκαν στα παραπάνω.

### 2.3.2.2 Επιρροή παραμέτρων στις μηχανικές ιδιότητες των τοιχίσκων μετά τα ενέματα

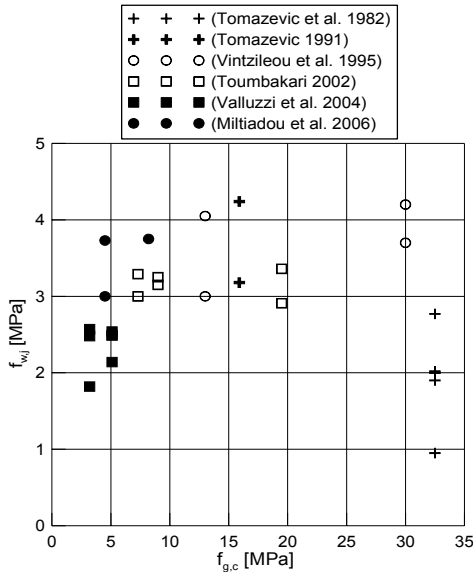
Όλες οι εργασίες, των οποίων τα αποτελέσματα σχολιάζονται στα παρακάτω και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 [(Tomazevic et al. 1982), (Tomazevic 1991), (Vintzileou et al. 1995), (Toumbakari 2002), (Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004), (Miltiadou et al. 2006)], φανερώνουν την θετική επίδραση που έχουν τα ενέματα στις μηχανικές ιδιότητες των ενισχυμένων τοιχίσκων (θλιπτική αντοχή, μέτρο ελαστικότητας και παραμορφωσιμότητα), και αναδεικνύουν, κυρίως, την επίδραση του τύπου του ενέματος σε αυτές τις ιδιότητες. Για αυτό και σε αυτήν την ενότητα περιγράφεται λεπτομερώς η επιρροή των μηχανικών ιδιοτήτων των ενεμάτων, αλλά και άλλων παραμέτρων (όπως η ιστορία φόρτισης κτλ.) που βρέθηκαν να επηρεάζουν την μηχανική συμπεριφορά των ενισχυμένων τοιχίσκων. Όπως είναι φυσικό, η εν λόγω διερεύνηση έχει γίνει σε σχέση με τις αντίστοιχες ιδιότητες των αρχικών τοιχίσκων.

#### Θλιπτική Αντοχή των ενισχυμένων τοιχίσκων

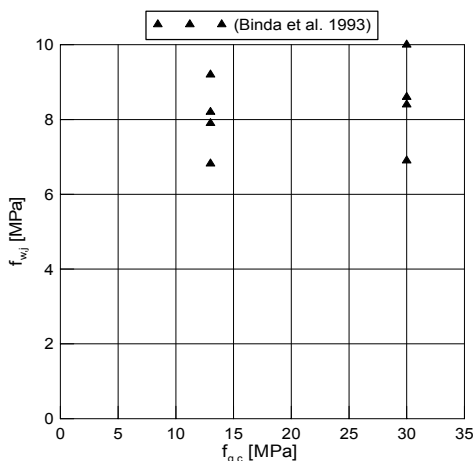
Καταρχάς, η εφαρμογή καταλλήλων ενεμάτων υψηλής διεισδυτικότητας πέρα από την βελτίωση στις τιμές της θλιπτικής αντοχής των τοιχίσκων (Πίνακας 2, Εικόνα 11), περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τις κατασκευαστικές ανομοιογένειες των τοιχίσκων, με αποτέλεσμα οι τελευταίοι να παρουσιάζουν μια πιο ομοιόμορφη συμπεριφορά μετά τα ενέματα. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τις σχετικά, μικρές τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας της θλιπτικής αντοχής των ενισχυμένων τοιχίσκων, που έχουν κατασκευασθεί και ενισχυθεί με τα ίδια υλικά. Πράγματι, σε αυτές τις περιπτώσεις ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι μικρότερος του 15% (Vintzileou et al. 1995), (Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004), (Miltiadou et al. 2006). Ωστόσο, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός, ότι σε πανο-



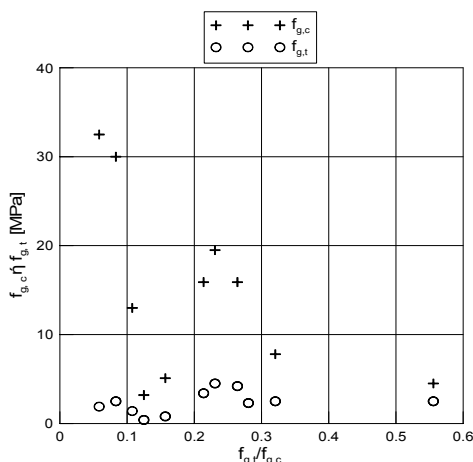
Εικόνα 11. Θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν ( $f_{w,0}$ ) και μετά τα ενέματα ( $f_{w,i}$ ).



**Εικόνα 12.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,c}$ ) στην θλιπτική αντοχή τριώνστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).



**Εικόνα 13.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,c}$ ) στην θλιπτική αντοχή δίστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).



**Εικόνα 14.** Θλιπτική ( $f_{g,c}$ ) και καμπτική αντοχή ( $f_{g,t}$ ) ενεμάτων συναρτησει του λόγου ( $f_{g,t}/f_{g,c}$ ).

μοιότυπους τοιχίσκους, που έχουν επισκευασθεί με ενέματα με μια ποικιλία στα μηχανικά τους χαρακτηριστικά, η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας είναι εξίσου μικρή! Εξ άλλου, η θλιπτική αντοχή των ενεμάτων δεν είναι η κύρια παράμετρος που ελέγχει την συμπεριφορά των τριώνστρωτων τοιχίσκων μετά την ενίσχυση (Vintzileou et al. 1995), (Toumbakari 2002), (Valluzzi et al. 2004), (Miltiadou et al. 2006), καθώς η ίδια ή ενίοτε μεγαλύτερη αύξηση στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων επιτυγχάνεται με ενέματα που έχουν μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά (όπως τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου) σε σχέση με ισχυρότερα ενέματα (Εικόνα 12). Ειδικότερα, για ενέματα με θλιπτική αντοχή μέχρι περίπου 13MPa, η θλιπτική αντοχή των επισκευασμένων τοιχίσκων φαίνεται να αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων (Vintzileou 2007). Αντιθέτως, η εφαρμογή τσιμεντοπικτών ενεμάτων δεν συνεισφέρει περαιτέρω σε αύξηση της θλιπτικής αντοχής των τοιχοποιιών. Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και σε δίστρωτους τοιχίσκους (με διάτονους λίθους) από οπτοπλινθοδομή (Binda et al. 1993), οι οποίοι ενισχύθηκαν με τις συνθέσεις της (Miltiadou 1990) (Πίνακας 5, Εικόνα 13).

**Πίνακας 5.** Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών θλίψης σε δίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την εφαρμογή ενεμάτων.

Κωδικός	Διαστάσεις	$f_{g,c}/f_{g,t}$ [MPa]	Μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα		$\lambda_E$
			$f_{w,c,0}$	$f_{w,c,i}$	
MU4 C1H1	50×25×110	30/2.5	4.10	8.60	2.10
MU4 C1H8	50×25×110	30/2.5	3.70	8.40	2.27
MU4 C1H10	50×25×110	30/2.5	5.90	6.90	1.17
MU4 C1H11	50×25×110	30/2.5	4.10	10.00	2.44
MU4 C1H13	50×25×110	30/2.5	4.60	-	-
MU4 C2H2	50×25×110	13/1.4	4.20	6.82	1.62
MU4C2H3	50×25×110	13/1.4	4.40	7.90	1.79
MU4 C2H5	50×25×110	13/1.4	3.60	8.20	2.29
MU4 C2H15	50×25×110	13/1.4	5.60	9.20	1.64
PV C294C	50×40×70	13/1.4	3.30	5.90	1.79
PV C2100C	50×40×70	13/1.4	3.00	4.80	1.60

MU4 C1H \_ : οπτοπλινθοδομή ενισχυμένη με υδραυλικό ένεμα (Miltiadou 1990)  
 MU4 C2H \_ : οπτοπλινθοδομή ενισχυμένη με υδραυλικό ένεμα (Miltiadou 1990)  
 PV C \_\_\_ C : αργολιθοδομή ενισχυμένη με υδραυλικό ένεμα (Miltiadou 1990)  
 $\lambda_E = f_{w,c,i} / f_{w,c,0}$

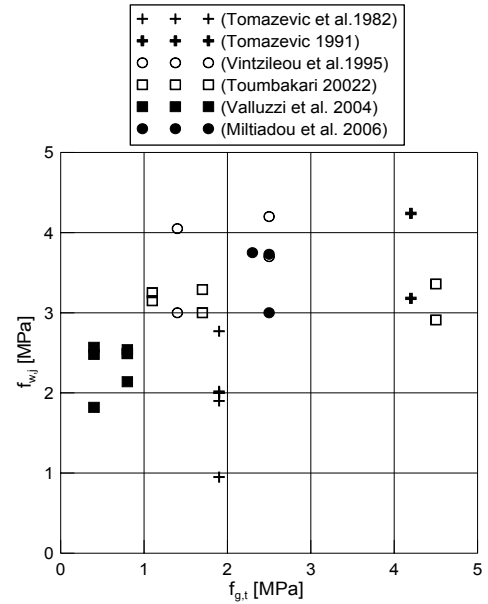
Η παραπάνω διαπίστωση οδήγησε τους (Vintzileou et al. 1995) στο συμπέρασμα ότι η καμπτική αντοχή επηρεάζει περισσότερο, από την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων, την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων μετά την επέμβαση. Σε αυτό φαίνεται να συνηγορεί και το ότι ο λόγος της εφελευστικής προς την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων ( $f_{g,t}/f_{g,c}$ ) που εξετάζονται εδώ, δεν είναι σταθερός (Πίνακας 2, Εικόνα 14). Επί πλέον,



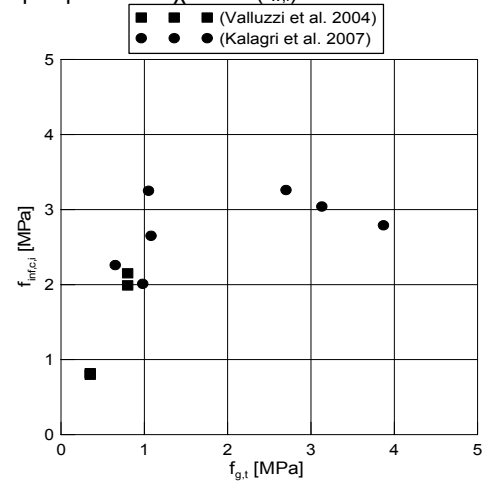
παρατηρείται μια σαφής μείωση του λόγου ( $f_{g,t}/f_{g,c}$ ) με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων (Vintzileou 2007), (Εικόνα 14). Σημειώνεται δε, ότι για την περίπτωση ενεμάτων με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, οι τιμές του λόγου ( $f_{g,t}/f_{g,c}$ ) κυμαίνονται μεταξύ 0.10 έως 0.55. Η μεγαλύτερη εξάρτηση της θλιπτικής αντοχής των τοιχίσκων από την καμπτική αντοχή των ενεμάτων αποτυπώνεται στην Εικόνα 15: παρά τις όποιες διαφορές μεταξύ των δοκιμών (στα υλικά, στην γεωμετρία, στην ποιότητα κατασκευής, διεξαγωγής των πειραμάτων κτλ), η σχέση μεταξύ της θλιπτικής αντοχής των επισκευασμένων τοιχίσκων και της εφελκυστικής (καμπτικής) αντοχής των ενεμάτων μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς γραμμική (Vintzileou 2007). Αντίστοιχη είναι η εικόνα για τα δοκίμια υλικού πλήρωσεως των (Valluzzi et al. 2004), (Kalagri et al. 2007), τα οποία έχουν ενισχυθεί με ενέματα με χαμηλά ή μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 4, Εικόνα 16).

Η πειραματική διερεύνηση α) σε τοιχίσκους έναντι θλίψης (πριν και μετά τα ενέματα) και β) σε σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και υποβάθρων έναντι άμεσου εφελκυσμού και διάτμησης (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου), οδήγησε την (Toumbakari 2002) στο συμπέρασμα ότι ο παράγοντας που φαίνεται να ελέγχει την συμπεριφορά της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση είναι η διατμητική αντοχή συνάφειας μεταξύ της διεπιφάνειας ενέματος και υπαρχόντων υλικών. Πράγματι, δοκιμές διατμήσεως σε δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων έδειξαν ότι ενέματα με μέτρια χαρακτηριστικά (όπως οι τριμερείς συνθέσεις) είναι σε θέση να αναπτύξουν παρόμοια διατμητική αντοχή συνάφειας με εκείνη τσιμεντοπικτών ενεμάτων (βλ. Δεύτερο Μέρος Βιβλιογραφικής Αναδρομής). Εξ άλλου, με τις βελτιωμένες ιδιότητες της διεπιφάνειας εξωτερικών παρειών και υλικού πλήρωσεως, όπως θα φανεί στα παρακάτω, καθυστερείται η διάνοιξη των εγκάρσιων κατακόρυφων ρωγμών, οι οποίες αναλόγως του τύπου του ενέματος ανοίγουν στο ~60-70% της θλιπτικής αντοχής των ενισχυμένων τοιχίσκων (Toumbakari et al. 2003) και τελικώς, οδηγούν την τρίστρωτη τοιχοποιία σε αστοχία (Παράγραφος 2.3.1.1 και 2.3.2.1). Η βελτίωση, σύμφωνα με την συγγραφέα, σχετίζεται με την πύκνωση της μικροδομής των διεπιφανειών, ιδιαίτερος, για τα ενέματα με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα τριμερή ενέματα.

Σημειώνεται ότι καθώς, οι ιδιότητες της συνάφειας εξαρτώνται σε μεγαλύτερο βαθμό από την εφελκυστική αντοχή των ενεμάτων, η παρατήρηση περί μεγαλύτερης συσχέτισης θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας και εφελκυστικής αντοχής ενεμάτων (Vintzileou 2007)



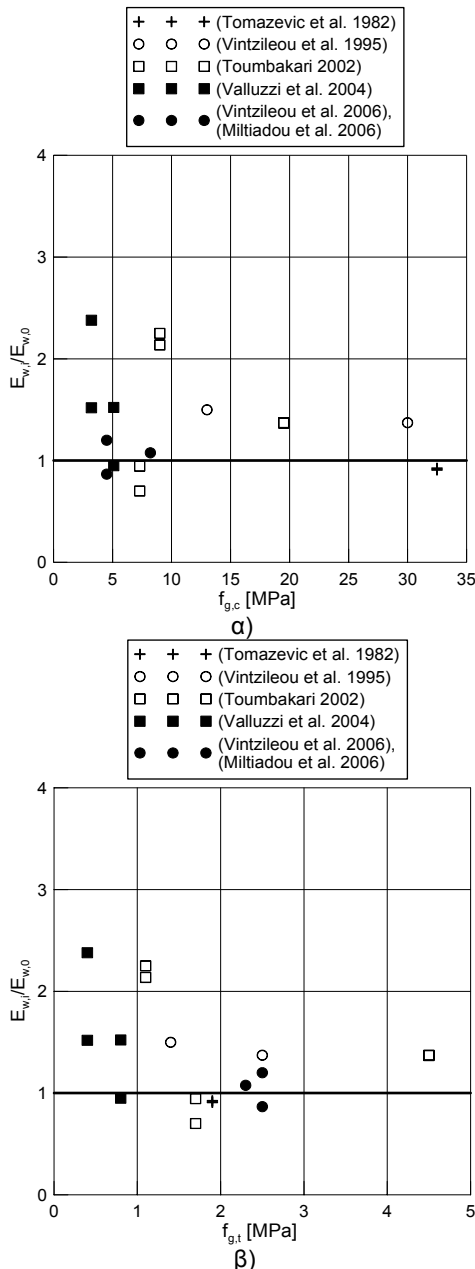
Εικόνα 15. Επιρροή της καμπτικής αντοχής των ενεμάτων ( $f_{g,t}$ ) στην θλιπτική αντοχή τρίστρωτων τοιχίσκων ( $f_{w,i}$ ).



Εικόνα 16. Επιρροή της καμπτικής αντοχής ενεμάτων με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά ( $f_{g,t}$ ) στην θλιπτική αντοχή του υλικού πλήρωσεως ( $f_{inf,c,i}$ ).

συμβαδίζει με τα συμπεράσματα της μελέτης της (Τουμβακάρη 2002). Καθίσταται επομένως σαφές ότι, με την αναγνώριση της επίδρασης των χαρακτηριστικών των ενεμάτων στην συνάφεια, είναι πλέον δυνατός ο σχεδιασμός ενεμάτων με μέτρια ή ακόμη και χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία θα ικανοποιούν απαιτήσεις φυσικό-χημικής συμβατότητας με τα υπάρχοντα υλικά και θα βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες των τρίστρωτων τοιχοποιιών.

Τέλος, όπως και στην περίπτωση των τοιχίσκων χωρίς ενέματα, η επίδραση της εγκάρσιας περιόδου στην θλιπτική αντοχή των δοκιμίων, δεν είναι τόσο σημαντική όσο αναμενόταν. Πράγματι, η αύξηση στην θλιπτική αντοχή των δοκιμίων με εγκάρσια περίοδο είναι μικρότερη από εκείνων χωρίς [βλ. Πίνακα 2, (Vintzileou et al. 1995), (Τουμβακάρη 2002: λιθοδομή)]. Μικρή επίδραση στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων με ισχυρά λιθοσώματα φαίνεται να έχει και η ιστορία φόρτισης. Πράγματι, τοιχίσκοι που δεν έχουν υποβληθεί σε θλίψη πριν την εφαρμογή των ενεμάτων, εμφανίζουν παρόμοια θλιπτική αντοχή με τοιχίσκους οι οποίοι έχουν δοκιμασθεί πριν και μετά τα ενέματα (Vintzileou et al. 1995), (Valluzzi 2000), (Valluzzi et al. 2001), (Valluzzi et al. 2004). Αντιθέτως, στην περίπτωση των ασθενέστερων οπτοπλινθοδομών (Τουμβακάρη 2002), τοιχίσκος που δεν έχει δοκιμασθεί προηγουμένως της ενίσχυσης, εμφανίζει σαφώς υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής (κατά ~60%) από τοιχίσκους που έχουν υποβληθεί και στα δυο σετ δοκιμών (πριν και μετά τα ενέματα). Καθώς ο εν λόγω τοιχίσκος ενισχύθηκε με το ασθενέστερο εκ των ενεμάτων, η σαφώς βελτιωμένη συμπεριφορά του εστιάζεται αποκλειστικά στο γεγονός ότι ο τοιχίσκος δεν είχε προηγουμένως δοκιμασθεί.



**Εικόνα 17.** Λόγος του μέτρου ελαστικότητας πριν και μετά τα ενέματα ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ ) προς την α) θλιπτική και β) καμπτική αντοχή των ενεμάτων.

#### Μέτρο Ελαστικότητας των ενισχυμένων τοιχίσκων

Με την εφαρμογή των ενεμάτων στους τοιχίσκους αυξάνεται το μέτρο ελαστικότητάς τους [μέγιστη αύξηση ~100% χωρίς τα αποτελέσματα των (Tomazevic et al. 1982)]. Ωστόσο, όπως φαίνεται στις Εικόνες 17α και 17β, αυτή η βελτίωση δεν σχετίζεται με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων, καθώς παρόμοια ποσοστά βελτίωσης επιδεικνύουν τόσο ισχυρά ενέματα (τσιμεντοπικά), όσο και ενέματα με μέτρια ή χαμηλά χαρακτηριστικά. Η μεγαλύτερη αύξηση του μέτρου ελαστικότητας εμφανίζεται στην περίπτωση τριμερούς ενέματος με πυριτική άχνη, και αποδίδεται, όπως και στην περίπτωση της θλιπτικής αντοχής των ενισχυμένων τοιχίσκων, στην πύκνωση της μικροδομής του ενέματος λόγω της προσθήκης της πυριτικής άχνης (Τουμαβακάρη 2002),

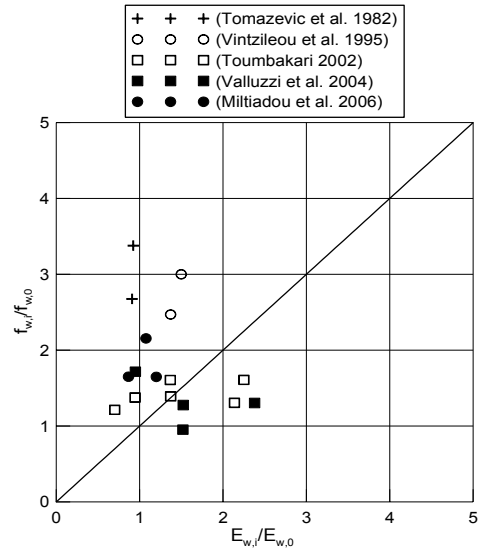
(Toumbakari et al. 2003).

Η βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας δεν φαίνεται να σχετίζεται ούτε με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής των τοιχίσκων (μηδενική τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης και συνδιακύμανσης). Αντιθέτως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 18, όπου έχει σχεδιαστεί ο λόγος της θλιπτικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{w,i}/f_{w,0}$ ) συναρτήσει του λόγου του μέτρου ελαστικότητας πριν και μετά τα ενέματα ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ ), η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των τοιχίσκων είναι εν γένει μικρότερη από εκείνη της θλιπτικής αντοχής τους (Vintzileou 2007). Βεβαίως, πρέπει να σημειωθεί ότι η πραγματική βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας των τοιχίσκων, αν και δεν δίνεται, είναι πολύ μεγαλύτερη. Πράγματι, καθώς οι τοιχίσκοι που έχουν δοκιμασθεί έναντι θλίψης πριν τα ενέματα, έχουν υποστεί ήδη πλαστικές παραμορφώσεις, εμφανίζουν μέτρο ελαστικότητας σαφώς μικρότερο από εκείνο που αντιστοιχεί 30% της θλιπτικής αντοχής τους.

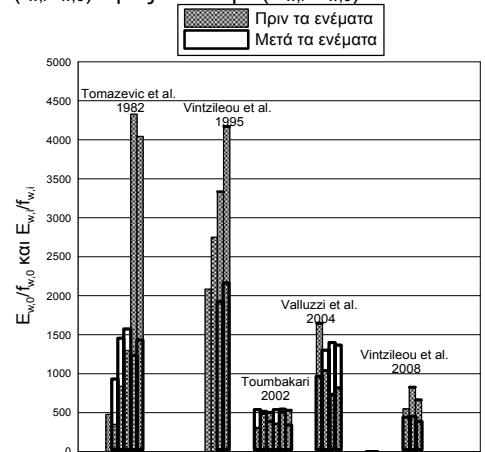
Έτσι, ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των ενισχυμένων τοιχίσκων αναμένεται να είναι μικρότερος από εκείνον για τους αρχικούς τοιχίσκους. Πράγματι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19, ο λόγος  $E_{w,i}/f_{w,i}$  κυμαίνεται μεταξύ 300 και 1600. Εξ άλλου, από την ίδια εικόνα προκύπτει ότι με την εφαρμογή των ενεμάτων δεν είναι δυνατή η αποκατάσταση του αρχικού μέτρου ελαστικότητας τοιχοποιιών αρκετά δύσκαμπτων [βλ. τοιχίσκους των (Tomazevic et al. 1982), (Vintzileou et al. 1995)].

*Παραμορφώσεις στην αστοχία*

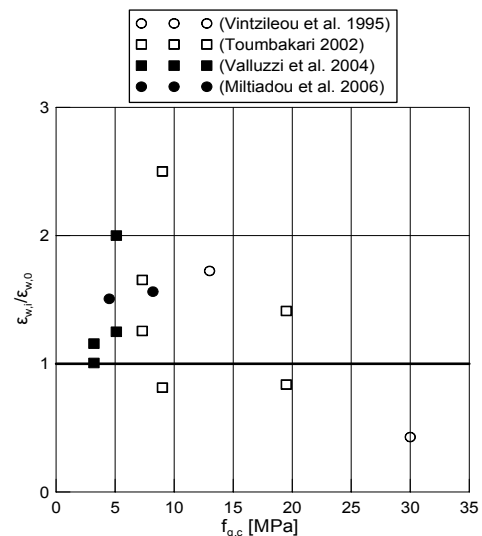
Η παραμορφωσιμότητα των ενισχυμένων τοιχοποιιών είναι η μηχανική ιδιότητα, στην οποία αναδεικνύεται ξεκάθαρα η επίδραση του τύπου του ενέματος. Πιο συγκεκριμένα, για τα αρχικά στάδια της ρηγμάτωσης, από την σύγκριση των τιμών των κατακόρυφων παραμορφώσεων προκύπτει ότι η παραμορφωσιμότητα των τοιχίσκων ακολουθεί εκείνη των ενεμάτων, και επομένως, όσο πιο ισχυρή είναι η μικροδομή ενός ενέματος, τόσο μικρότερες είναι οι παραμορφώσεις των τοιχίσκων (Toumbakari 2002). Επί πλέον, με την εφαρμογή σε τρίστρωτους τοιχίσκους ενεμάτων με σχετικά χαμηλή ή μέτρια θλιπτική αντοχή, παρατηρείται αύξηση της τιμής της επιστρατευόμενης παραμόρφωσης  $\epsilon_{w,u,i}$  που αντιστοιχεί στην θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων  $f_{w,u,i}$  (Εικόνα 20). Το αντίθετο συμβαίνει για τις ισχυρότερες συνθέσεις, όπου η συμπεριφορά των τοιχίσκων γίνεται πιο ψαθυρή (Εικόνα 20, Πίνακας 2: στήλες  $[\epsilon_{w,u,0}]$  και  $[\epsilon_{w,u,i}]$ ). Αυτό φαίνεται πιο έντονα στην περίπτωση οπτοπλινθοδομών (Εικόνα 21). Παρόμοια είναι η εικόνα για τους δι-



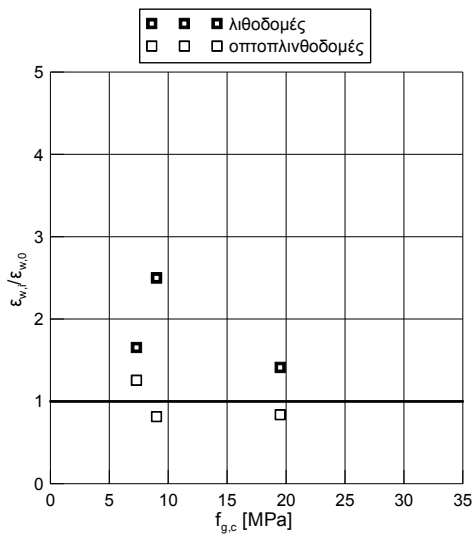
**Εικόνα 18.** Λόγος της θλιπτικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{w,i}/f_{w,0}$ ) προς τον λόγο ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ ).



**Εικόνα 19.** Εύρος τιμών του λόγου του μέτρου ελαστικότητας προς την θλιπτική αντοχή των τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα.



**Εικόνα 20.** Ο λόγος ( $E_{w,i}/E_{w,0}$ ) συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων.



**Εικόνα 21.** Ο λόγος ( $\epsilon_{w,i}/\epsilon_{w,0}$ ) συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004).

στρωτους τοιχίσκους των (Binda et al. 1993), που ενισχύθηκαν με τσιμεντιτικά ενέματα. Έτσι, καθώς με την χρήση τριμερών ενεμάτων ή ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου διασφαλίζεται επαρκής πλαστικότητα στις τοιχοποιίες, αυτές οι συνθέσεις θα πρέπει να προτιμώνται έναντι άλλων ισχυρότερων υλικών επέμβασης.

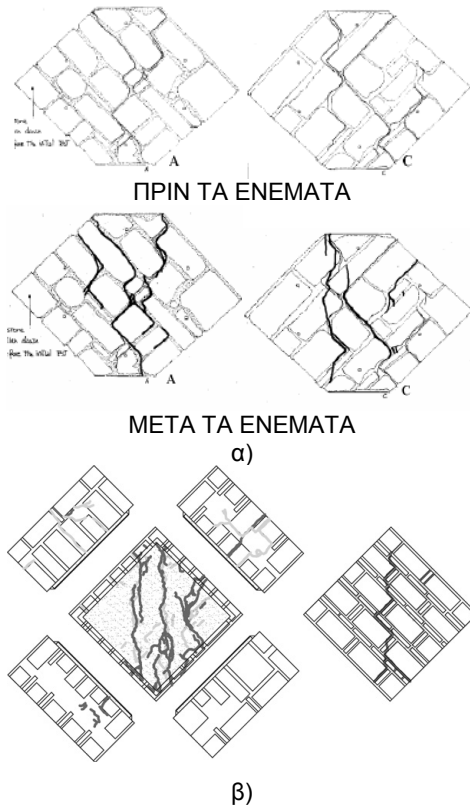
Τέλος, όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 2.3.2.1, η επιρροή των ενεμάτων στις εγκάρσιες παραμορφώσεις των τοιχίσκων είναι ουσιαστική: το άνοιγμα των ρωγμών στις πλάγιες όψεις των τοιχίσκων είναι μια ή και δυο τάξεις μεγέθους μικρότερο από εκείνο πριν την εφαρμογή των ενεμάτων για φορτίο ίσο με  $f_{w,0}$  (βλ. Πίνακα 2) Μολονότι αυτή η μείωση φαίνεται να είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των ισχυρών ενεμάτων (όπως άλλωστε συμβαίνει και για τις παραμορφώσεις του γεμίσματος μετά τα ενέματα (Kalagri et al. 2007), δεν διαπιστώνεται σαφής εξάρτηση από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων.

## **2.4 ΤΡΙΣΤΡΩΤΟΙ ΤΟΙΧΙΣΚΟΙ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΑ ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΠΟΒΑΛΛΟΜΕΝΟΙ ΣΕ ΔΙΑΓΩΝΙΑ ΘΛΙΨΗ: ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

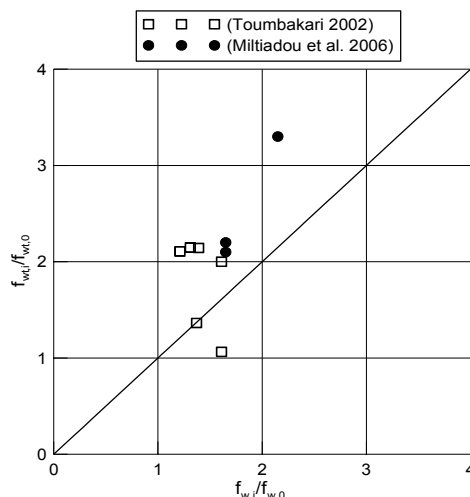
Οι εργασίες που διατίθενται για την μελέτη της συμπεριφοράς τριστρωτων τοιχοποιιών έναντι διαγώνιας θλίψης είναι εξαιρετικά ελάχιστες (βλ. Πίνακα 3). Τα μεγέθη που συνήθως δίδονται από τους ερευνητές, είναι η κύρια εφελκυστική τάση περί το μέσον των τοιχίσκων (όπως έχει προκύψει από την θεωρία της ελαστικότητας), η ανηγμένη κατακόρυφη παραμόρφωση κατά την διεύθυνση του επιβαλλόμενου φορτίου και το άνοιγμα της κατακόρυφης ρωγμής περί το μέσον των τοιχίσκων. Όπως και στις δοκιμές θλίψης, έτσι και στις δοκιμές της διαγώνιας θλίψης, οι τιμές της αντοχής και των παραμορφώσεων παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά, η οποία οφείλεται, επιπροσθέτως αυτήν την φορά, σε πειραματικά σφάλματα που είναι εγγενή με την εν λόγω δοκιμή. Πράγματι, ο συντελεστής μεταβλητότητας της αντοχής σε πανομοιότυπους τοιχίσκους των (Τουμβακάρη 2002), (Vintzileou et al. 2008) βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ 15% και 30%, με τις παραμορφώσεις να παρουσιάζουν ακόμη μεγαλύτερες τιμές (μεταξύ 25 και 45% για τις κατακόρυφες ανηγμένες παραμορφώσεις και έως 110% για το άνοιγμα των κατακόρυφων ρωγμών περί το μέσον των τοιχίσκων). Όπως είναι φυσικό, και δεδομένου του μικρού δείγματος των δοκιμών και των παραμέτρων που έχουν εξετασθεί στις εργασίες, θεωρείται επισφαλής η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επιρροή των διαφόρων παραμέτρων στην μηχανική συμπεριφορά των τοιχίσκων έναντι διαγώνιας διάτμησης. Έτσι, στα επόμενα, σχολιάζονται τα διαθέσιμα αποτελέσματα (τρόπος αστοχίας, αντοχή και παραμορφώσεις) και υποδεικνύεται μόνον η επιρροή των ενεμάτων στην μηχανική συμπεριφορά των ενισχυμένων τοιχίσκων έναντι διαγώνιας θλίψης.

### **2.4.1 ΤΡΟΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Όλοι οι αρχικοί τοιχίσκοι αστόχησαν με την εμφάνιση διατμητικών ρωγμών στις όψεις των εξωτερικών παρειών (Εικόνα 22). Αυτές οι ρωγμές διέρχονται διαμέσου των διεπιφανειών κονιάματος/δομικών λίθων και των αρμών κονιάματος, ενώ δεν αποκλείεται η εμφάνιση ε-



Εικόνα 22. Τυπική μορφή αστοχίας τρίστρωτων τοιχίσκων έναντι διαγώνιας θλίψης: ρηγματώσεις πριν (ανοιχτό γκρι) και μετά (σκούρο γκρι) την εφαρμογή των ενεμάτων α) (Toumbakari 2002) β) (Vintzileou et al. 2008).



Εικόνα 23. Λόγος της εφελκυστικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{wt,i}/f_{wt,0}$ ) προς τον λόγο ( $f_{w,i}/f_{w,0}$ ).

λάσσοнос σημασίας ρωγμών στις εγκάρσιες όψεις των τοιχίσκων (Vintzileou et al. 2006). Με την εμφάνιση των ρωγμών στις όψεις και την επίτευξη του μέγιστου φορτίου, οι τοιχίσκοι χωρίζονται, πρακτικώς, σε δυο ανεξάρτητα τμήματα που το καθένα υποβάλλεται σε απλή θλίψη. Σύμφωνα με την (Toumbakari 2002), και καθώς οι εφελκυστικές παραμορφώσεις (στο μέσον των τοιχίσκων) ακολουθούν την καμπύλη φορτίου-κατακόρυφης ανηγμένης βράχυνσης, η αντοχή των τοιχίσκων καθορίζεται από την αποκόλληση των παρειών και την παραμορφωσιμότητα των εξωτερικών στρώσεων: όσο πιο περιορισμένη είναι, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή των τοιχίσκων. Με την εφαρμογή των ενεμάτων, οι τρίστρωτοι τοιχίσκοι αστοχούν, όπως και πριν τα ενέματα, με την εμφάνιση διαγώνιων ρωγμών κατά την διεύθυνση του επιβαλλόμενου φορτίου. Ρωγμές ανοίγουν στις ίδιες θέσεις με τις αρχικές, ενώ σχηματίζονται νέες ρωγμές διερχόμενες αυτήν την φορά και από δομικούς λίθους (βλ. Εικόνα 22).

## 2.4.2 ΕΠΙΡΡΟΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

### Εφελκυστική αντοχή

Από την θέση σχηματισμού των ρωγμών στις όψεις των τοιχίσκων, προκύπτει ότι η αντοχή των τοιχίσκων έναντι διαγώνιας θλίψης πριν τα ενέματα, φαίνεται να επηρεάζεται από την διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας κονιάματος/δομικών λίθων, καθώς και από τα χαρακτηριστικά της ενδιάμεσης παρειάς. Έτσι, φαίνεται να εξηγείται το ότι μολονότι οι οπτοπλινθοδομές στην διερεύνηση της Τουμπακάρη, οι οποίες είναι κατασκευασμένες με ασθενέστερους δομικούς λίθους και λεπτότερες εξωτερικές παρειές σε σχέση με τις αντίστοιχες λιθοδομές, αναπτύσσουν την ίδια εφελκυστική αντοχή με αυτές τις λιθοδομές [βλ. (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2003)]. Άλλωστε, το ίδιο είχε παρατηρηθεί και για την θλιπτική αντοχή αυτών των τοιχίσκων (βλ. § 3.2.3). Εξ άλλου, στις χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες της ενδιάμεσης στρώσης φαίνεται να αποδίδονται και οι χαμηλότερες τιμές της εφελκυστικής αντοχής των τοιχίσκων της Βιντζηλαίου.

Μετά την εφαρμογή των ενεμάτων, είναι σαφής η αύξηση της εφελκυστικής αντοχής των ενισχυμένων τοιχίσκων. Αυτή η αύξηση, φαίνεται να είναι μεγαλύτερη από εκείνη της θλιπτικής αντοχής των τοιχίσκων (Εικόνα 23).

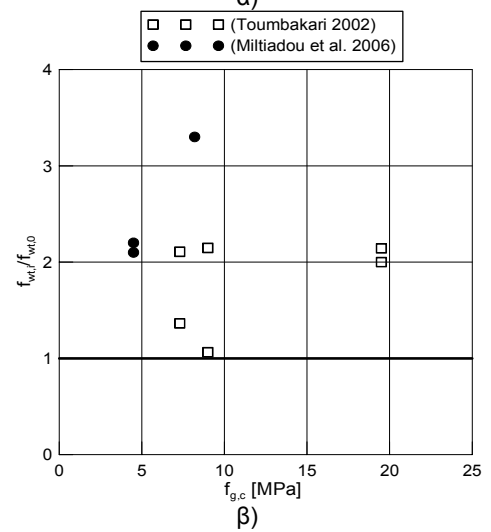
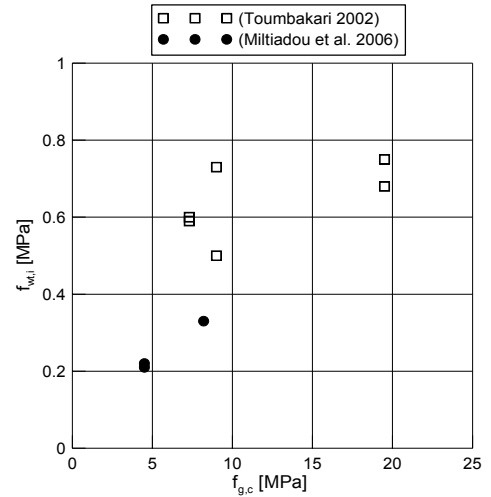
Ας επισημανθεί ότι, η μετρηθείσα αύξηση στις τιμές της  $f_{wt,i}$  δεν είναι ανάλογη της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων, καθώς ενέματα με μέ-

τρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν την ίδια εφελκυστική αντοχή στους ενισχυμένους τοιχίσκους με εκείνη των ισχυρότερων τσιμεντοπικτών ενεμάτων (Εικόνα 24). Ωστόσο, δεν φαίνεται να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων και την συμπεριφορά των ενισχυμένων τοιχίσκων έναντι διαγώνιας θλίψης. Επομένως, και σε αυτήν την περίπτωση, αναμένεται ότι ο κύριος παράγοντας που ελέγχει την συμπεριφορά των τοιχίσκων μετά τα ενέματα είναι η συνάφεια μεταξύ των υλικών επισκευής και των υπάρχοντων υλικών.

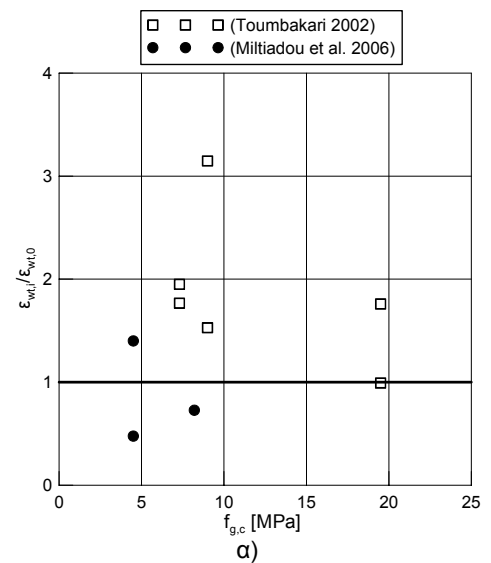
**Παραμορφώσεις**

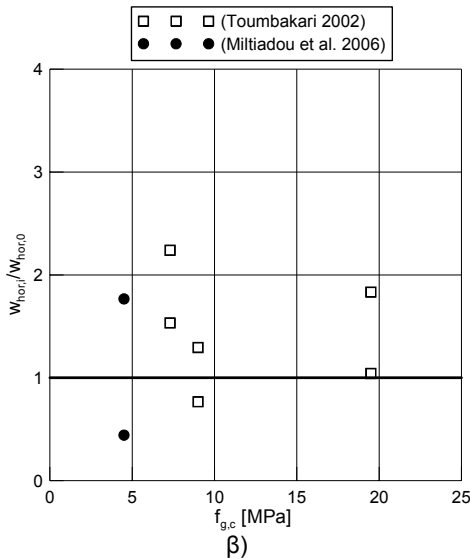
Η μεγαλύτερη αύξηση της εφελκυστικής αντοχής των ενισχυμένων τοιχίσκων σε σχέση με την αύξηση της θλιπτικής τους αντοχής, μπορεί να εξηγηθεί από την παρατήρηση των αντίστοιχων παραμορφώσεων στην αστοχία: οι παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στο φορτίο αστοχίας πριν τα ενέματα είναι πολύ μικρότερες για τους τοιχίσκους που έχουν υποβληθεί σε διαγώνια θλίψη (βλ. Πίνακες 2 και 3). Με άλλα λόγια, οι τελευταίοι έχουν υποστεί μικρότερες πλαστικές παραμορφώσεις, και επομένως μπορούν με την εφαρμογή των ενεμάτων να αναπτύξουν υψηλότερες αντοχές.

Ωστόσο, με την εφαρμογή των ενεμάτων οι τοιχίσκοι γίνονται πιο δύσκαμπτοι. Πράγματι, τόσο οι ανηγμένες κατακόρυφες παραμορφώσεις, όσο και το άνοιγμα της οριζόντιων ρωγμών στο μέσον των τοιχίσκων είναι μηδενικό για φορτίο ίσο με  $f_{wt,0}$  (βλ. Πίνακα 3). Όταν το φορτίο υπερβεί περίπου το 70% της  $f_{wt,i}$ , οι παραμορφώσεις αυξάνουν ταχέως. Στην αστοχία, η απόκριση των ενισχυμένων τοιχίσκων φαίνεται να είναι πιο πλαστική από πριν, καθώς οι ανηγμένες κατακόρυφες παραμορφώσεις που αντιστοιχούν στην εφελκυστική αστοχία των τοιχίσκων μετά τα ενέματα,  $\epsilon_{wtu,i}$ , είναι σαφώς μεγαλύτερες από εκείνες χωρίς τα ενέματα  $\epsilon_{wtu,0}$ . (Εικόνα 25α). Το ίδιο παρατηρείται και για το εύρος των κατακόρυφων ρωγμών (Εικόνα 25β). Όπως συμβαίνει και στους τοιχίσκους που υποβλήθηκαν σε θλίψη, τα ενέματα με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά είναι σε θέση να διασφαλίζουν υψηλότερες τιμές για τις παραμορφώσεις (Εικόνα 25). Επομένως, και από αυτήν την άποψη, τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου υπερτερούν έναντι των ισχυρότερων τσιμεντοπικτών ενεμάτων.



**Εικόνα 24.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων: α) στην εφελκυστική αντοχή των τοιχίσκων και β) στον λόγο της εφελκυστικής αντοχής των τοιχοποιιών πριν και μετά τα ενέματα ( $f_{wt,i}/f_{wt,0}$ ).





**Εικόνα 25.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων στον λόγο των: α) ανηγμένων κατακόρυφων παραμορφώσεων πριν και μετά τα ενέματα ( $\varepsilon_{wt,i} / \varepsilon_{wt,0}$ ) και β) το άνοιγμα των ρωγμών στο μέσον των τοιχίσκων ( $W_{hor,i} / W_{hor,0}$ ).

## 2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν μέρος της βιβλιογραφικής αναδρομής μελετήθηκαν τα διαθέσιμα αποτελέσματα δοκιμών (έναντι θλίψης και διαγώνιας θλίψης) σε τρίστρωτους τοιχίσκους πριν και μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα, περιγράφηκε η μηχανική συμπεριφορά των τοιχίσκων για τα δύο είδη φορτίσεων και αναδείχθηκε η επιρροή των παραμέτρων, και, κυρίως, του τύπου των ενεμάτων, σε αυτήν. Τα κύρια συμπεράσματα της παραπάνω διερεύνησης συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- (1) Η μηχανική συμπεριφορά των τοιχίσκων πριν την εφαρμογή των ενεμάτων εξαρτάται από την γεωμετρία, τον λόγο των ελαστικών σταθερών των υλικών των παρειών και την μηχανική συνάφεια μεταξύ των παρειών.
- (2) Με την εφαρμογή υδραυλικών ενεμάτων αυξάνεται η θλιπτική και, κυρίως, η εφελκυστική αντοχή των τοιχίσκων. Διαπιστώνεται δε, ότι τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, είναι ανταγωνιστικά, σε όρους βελτίωσης της μηχανικής αντοχής της τοιχοποιίας, με τα πιο ισχυρά τσιμεντοπτικά ενέματα.
- (3) Οι ενισχυμένοι τοιχίσκοι εμφανίζονται, σε μικρότερο βαθμό, πιο δύσκαμπτοι από τους αρχικούς τοιχίσκους. Η αύξηση στην δυσκαμψία των ενισχυμένων τοιχίσκων, ωστόσο, δεν είναι ανάλογη της θλιπτικής ή καμπτικής αντοχής των ενεμάτων.
- (4) Η εφαρμογή των ενεμάτων φαίνεται να επηρεάζει, κυρίως, την παραμορφωσιμότητα των ενισχυμένων τοιχίσκων: με τα ενέματα μειώνονται οι εγκάρσιες (εκτός επιπέδου) και αυξάνονται, εν γένει, οι διαμήκεις παραμορφώσεις. Και σε αυτήν την περίπτωση, οι συνθέσεις με μέτρια ή χαμηλά χαρακτηριστικά υπερτερούν έναντι των τσιμεντοπτικών, καθώς εξασφαλίζουν μια πιο πλάστιμη συμπεριφορά των τοιχίσκων. Αντιθέτως, η χρήση των ισχυρότερων τσιμεντενεμάτων καθιστά την συμπεριφορά της τοιχοποιίας πιο ψαθυρή.
- (5) Η βελτίωση της συμπεριφοράς των ενισχυμένων τοιχίσκων, αν και εξαρτάται εν μέρει από τα μηχανικά χαρακτηριστικά της συγκολλητικής κονίας (και κυρίως από την καμπτική της αντοχή), ωστόσο καθορίζεται από την συνάφεια μεταξύ των υπαρχόντων υλικών και των υλικών επέμβασης. Εξ άλλου, στις βελτιωμένες ιδιότητες της διεπιφάνειας εξωτερικών παρειών και υλικού πληρώσεως, αποδίδεται η υπεροχή των τριμερών



συνθέσεων έναντι των τσιμεντενεμάτων.

Επομένως, καθώς ο κυρίαρχος ρόλος των ενεμάτων είναι η συγκόλληση των παρειών μιας τοιχοποιίας, τότε ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των ενεμάτων φαίνεται ότι θα πρέπει να γίνεται με κριτήριο την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της συνάφειας, αλλά και της εφελκυστικής αντοχής των ενεμάτων. Για αυτό, άλλωστε, η επόμενη ενότητα της βιβλιογραφικής αναδρομής ξεκινά με τις υφιστάμενες εργασίες πάνω σε θέματα της συνάφειας διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων.

## ΜΕΡΟΣ II: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

### 2.6 ΓΕΝΙΚΟΤΗΤΕΣ

Στο 1<sup>ο</sup> μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αναδείχθηκε η σημασία του μηχανισμού συνάφειας στην συμπεριφορά τρίστρωτων τοιχίσκων μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα. Παρά την μείζονα σπουδαιότητα του μηχανισμού συνάφειας, εν γένει, και παρά το πλήθος των διατιθέμενων πειραματικών αποτελεσμάτων για διεπιφάνειες άλλες από αυτές που εξετάζει η παρούσα εργασία, η φύση του μηχανισμού, οι παράγοντες ανάπτυξής του και η εν χρόνω συμπεριφορά του δεν έχουν πλήρως εξηγηθεί. Επί πλέον, παραμένουν ανοιχτά θέματα που σχετίζονται με τον ποσοτικό προσδιορισμό των παραμέτρων που επηρεάζουν την συνάφεια, καθώς και με την ανάπτυξη εργαστηριακών δοκιμών που να παρέχουν αξιόπιστες και επαναλήψιμες μετρήσεις συνάφειας. Πρέπει να αναφερθεί, ότι η γραφούσα μελέτησε πρακτικώς το σύνολο της διεθνούς βιβλιογραφίας, η οποία αναφέρεται στον μηχανισμό της συνάφειας διεπιφανειών μεταξύ «λίθινων» υλικών και «πολτών» διαφόρων συνθέσεων. Παρά το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις εργασίες αφορούν το σκυρόδεμα (διεπιφάνειες αδρανών και τσιμεντοπολτού και διεπιφάνειες παλαιών και νέων σκυροδεμάτων), τα βασικά ευρήματα των διατιθέμενων σχετικών εργασιών αναμένεται να ισχύουν και για άλλες διεπιφάνειες μεταξύ υλικών παρόμοιας φύσης (όπως, π.χ. διεπιφάνειες μεταξύ λίθων και κονιαμάτων). Λόγω (α) του μεγάλου πλήθους εργασιών και (β) του ότι πολλές από τις διατιθέμενες εργασίες δεν είναι αμέσως αξιοποιήσιμες για τις διεπιφάνειες μεταξύ των υλικών που εξετάζονται στην παρούσα Διατριβή, κρίθηκε σκόπιμη μια πιο «προσανατολισμένη» βιβλιογραφική αναφορά σε εκείνους μόνον τους παράγοντες που διαπιστώθηκε ότι επηρεάζουν την συνάφεια σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας και ειδικότερα στα χαρακτηριστικά του υποβάθρου (ορυκτολογική σύσταση, τραχύτητα, πορώδες) και της συνδετικής κονίας (σύνθεση και συγκολλητικές ιδιότητες), καθώς και του ρόλου της μετακίνησης του νερού (ως χαρακτηριστικό του υποβάθρου που επηρεάζεται ωστόσο από τον τύπο του συνδετικού υλικού).

Έτσι, η παρούσα ενότητα ξεκινά με τις υφιστάμενες εργασίες πάνω σε θέματα συνάφειας για διεπιφάνειες υδραυλικών ενεμάτων, από όπου διαφαίνεται η μη επαρκής διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας (και

των παραμέτρων που τον επηρεάζουν) για τις εν λόγω διεπιφάνειες. Έπειτα, ακολουθεί η παρουσίαση των βιβλιογραφικών στοιχείων που αφορούν την διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας για υλικά παρόμοιας φύσης. Όπως θα φανεί στα παρακάτω, αυτή η μελέτη περιλαμβάνει τις παρατηρήσεις της μικροδομής και των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης. Για αυτόν τον λόγο, στα επόμενα παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα των ερευνών που έχουν γίνει για διεπιφάνειες σκυροδεμάτων (βλ. Παράρτημα Α: Μέρος Α-1) και οι οποίες εξετάζουν τις προαναφερθείσες παραμέτρους, καθώς και ομαδοποιημένα τα αποτελέσματα των εργασιών που σχετίζονται με διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας ή διεπιφάνειες αδρανών και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων (βλ. Παράρτημα Α: Μέρος Α-2). Ας σημειωθεί ότι, καθώς η τιμή της μετρούμενης αντοχής διεπιφάνειας και η επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων σε αυτήν επηρεάζονται από την πειραματική διάταξη και τον τρόπο δοκιμής, θεωρήθηκε απαραίτητο να περιγραφούν οι διαθέσιμες μέθοδοι μέτρησης της αντοχής διεπιφάνειας. Στο τέλος της παρούσας ενότητας, περιγράφεται η μηχανική συμπεριφορά των διεπιφανειών υπό εντάσεις κρίσιμες για τοιχοποιίες.

## **2.7 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ ΣΕ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ**

Όπως αποδείχθηκε στις ενότητες §2.2 έως 2.5 της παρούσας Διατριβής, ο κύριος παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει την συμπεριφορά των τοιχίσκων μετά τα ενέματα είναι η συνάφεια της διεπιφάνειας μεταξύ ενέματος και υπαρχόντων υλικών: όσο μεγαλύτερη η συνάφεια τόσο καθυστερείται η διάνοιξη των εγκάρσιων ρωγμών μεταξύ των εξωτερικών στρώσεων και του υλικού πλήρωσης και συνεπώς, η αστοχία των τοιχίσκων. Ωστόσο, οι μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα για τον δεσμό συνάφειας μεταξύ υφιστάμενων υλικών και ενεμάτων είναι ελάχιστες, δεν έχουν συστηματικό χαρακτήρα και αφορούν μόνον τα συγκεκριμένα υλικά που έχουν δοκιμασθεί. Επομένως, η συναγωγή γενικών συμπερασμάτων δεν θα ήταν ορθή, από επιστημονικής άποψης. Την συνάφεια μεταξύ υδραυλικών ενεμάτων και διαφόρων τύπων υποβάθρων (λίθινων και από συμπαγείς πλίνθους) έχουν διερευνήσει οι (Miltiadiou 1990), (Miltiadiou 1998), (Toumbakari 2002) και (Toumbakari et al. 2007). Μεταξύ των παραγόντων που φαίνεται να επηρεάζουν την αντοχή συνάφειας είναι το πορώδες και η αρχική υγρασία των υποβάθρων, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων και των ενεμάτων, και η σύνθεση των ενεμάτων (ιδιαίτερως η παρουσία ποζολανικών υλικών).

Αναφορικά με τις τιμές της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας, διεπιφάνειες μεταξύ διαφόρων ξηρών λίθων και ενεμάτων (με πάχος αρμού ενέματος ίσο με 3 mm), τα οποία περιείχαν 50% -κ.β. τσιμέντο, υδράσβεστο και πυριτική άχνη (με θλιπτική αντοχή: <15MPa), ανέπτυξαν εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας, αναλόγως με τον τύπο του υποβάθρου, που κυμαινόταν μεταξύ 0.8-1.6MPa την 28<sup>η</sup> ημέρα (Miltiadiou 1990). Το ένεμα με τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά (σύνθεση: 75% τσιμέντο και 25% ασβέστη), ανέπτυξε υψηλότερες τιμές της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας (μεταξύ 1.1 έως 3MPa στις 28 ημέρες). Μείωση των τιμών της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας παρατηρήθηκε στις περιπτώσεις που, κατά την έγχυση των ενεμάτων, τα λίθινα υπόβαθρα ήταν υδατοκορεσμένα. Ανάλογη ήταν η συμπεριφορά των διεπιφανειών έναντι λοξής θλίψης. Στην πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής, οι διεπιφάνειες σχημάτιζαν γωνίες 45 και 60 μοιρών ως προς την διεύθυνση επιβολής της θλίψης. Για ένα κριτήριο αστοχίας διεπιφανειών ενεμάτων-ασβεστολιθικών υποβάθρων τύπου Mohr-

Coulomb, μετρήθηκαν τιμές συνοχής από 0.7 έως 3MPa και γωνίες τριβής μεταξύ 32° και 41°. Γενικώς, διαπιστώνεται ότι τα ισχυρότερα ενέματα ανέπτυξαν τις μεγαλύτερες τιμές συνοχής, με τις διαφορές ανάμεσα στις τιμές της συνάφειας να είναι μικρότερες για το πιο ασθενές και πορώδες υπόβαθρο.

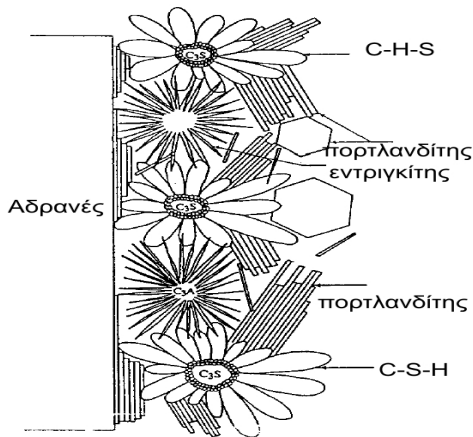
Σε ηλικία 60 ημερών διερευνήθηκε (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) η μηχανική συμπεριφορά της διεπιφανειακής ζώνης ( $\alpha$ ) τριμερών ενεμάτων με διάφορες αναλογίες υδρασβέστου:ποζολάνης και 30%-κ.β. περιεκτικότητα σε τσιμέντο Portland και ( $\beta$ ) ενός τσιμεντένεματος αναφοράς. Για αυτήν την διερεύνηση, ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία που εφαρμοζόταν σε διεπιφάνειες αδρανών, σκυροδεμάτων και συνδετικών υλικών, και περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των εξεταζομένων διεπιφανειών, καθώς και την μελέτη της μικροδομής τους. Ειδικότερα, σύνθετα δοκίμια για δύο τύπους υποβάθρων (ενός ασβεστόλιθου και μιας πορώδους οπτοπλίνθου) υποβλήθησαν σε άμεσο εφελκυσμό και σε διάτμηση, και τα πειραματικά αποτελέσματα συσχετίστηκαν με τον τύπο αστοχίας της διεπιφάνειας και με την μικροδομή της. Στις δοκιμές εφελκυσμού, οι διαφορές στην αναπτυσσόμενη εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας των ενεμάτων με το ασβεστολιθικό υπόβαθρο δεν ήταν μεγαλύτερες από 20% (μεταξύ 1.47 και 1.63 MPa για τις τριμερείς συνθέσεις και 1.76 MPa για το ένεμα αναφοράς). Επομένως, οι τιμές που επιτεύχθηκαν από τα τριμερή ενέματα, τα οποία είχαν μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο (30%), χονδρόκοκκη ποζολάνη (Rheinisch trass) και πυριτική άχνη, ήταν συγκρίσιμες με εκείνες του τσιμεντένεματος. Στην περίπτωση του υποβάθρου από οπτόπλινθο, η αστοχία εμφανίσθηκε στο υπόβαθρο για όλους τους τύπους των ενεμάτων. Επομένως, σύμφωνα με την συγγραφέα δεν αναμένονται σημαντικές διαφορές στην συμπεριφορά των περιοχών των ενισχυμένων τοιχίσκων που υπόκεινται σε εφελκυσμό που να οφείλονται στον τύπο του ενέματος. Μεγάλες αποκλίσεις των τιμών της επιστρατευόμενης αντοχής συνάφειας της διεπιφανειακής ζώνης ενεμάτων και υποβάθρων παρατηρήθηκαν στις δοκιμές διάτμησης. Στα σύνθετα δοκίμια με οπτόπλινθο η απόκλιση μεταξύ της μέγιστης (για το τσιμεντένεμα) και ελάχιστης (για το ασθενέστερο από τα τριμερή ένεμα) αντοχής συνάφειας ήταν ίση με 76% (για  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ) και 136% (για  $\sigma_n=1.0\text{MPa}$ ). Για τα δοκίμια με το λίθινο υπόβαθρο οι αποκλίσεις αυτές προέκυψαν ελαφρώς μικρότερες (ίσες με 52% και 43%, αντιστοίχως). Αναφορικά με την μορφή αστοχίας, τα ασθενέστερα ενέματα (15b-0 και 13b-10) αστόχησαν με την εμφάνιση ρωγμής παράλληλης προς την

διεπιφάνεια και τα ισχυρότερα (Cb-0 και 13b-10), με την εμφάνιση λοξής ρωγμής διερχόμενης από τον αρμό του ενέματος (adhesive και cohesive, αντιστοίχως). Για το τελευταίο ένεμα (13b-10), οι υψηλές τιμές της αντοχής συνάφειας, η μορφή αστοχίας σε συνδυασμό με την μελέτη της μικροδομής υποδεικνύουν ότι οι βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες της σύνθεσης αυτής, οφείλονται πέρα από την πύκνωση της μικροδομής του ενέματος και, κυρίως, στην πύκνωση της μικροδομής της διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου λόγω της ποζολανικής αντίδρασης.

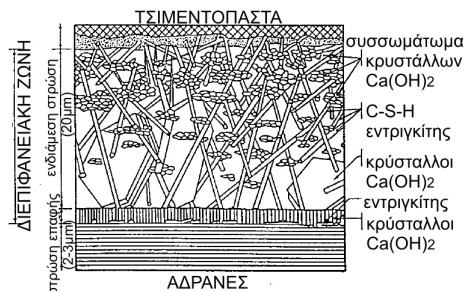
## 2.8 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Είναι γνωστό ότι η συνάφεια μεταξύ διεπιφανειών οφείλεται σε δυο βασικούς μηχανισμούς: 1) στην χημική συνάφεια, που οφείλεται σε χημικές αντιδράσεις μεταξύ των υλικών της διεπιφάνειας και-κυρίως- 2) στην μηχανική συνάφεια που σχετίζεται με την πρόσφυση και την αλληλεμπλοκή των προϊόντων ενυδάτωσης στην διεπιφάνεια και των πόρων των υποστρώματος. Στις δυνάμεις Van der Waals αποδίδεται η κατ' αρχήν ανάπτυξη συνάφειας μεταξύ των προϊόντων ενυδάτωσης και του υποβάθρου (Mehta et al. 2005). Όμως, το μέγεθος της επιστρατευόμενης συνάφειας εξαρτάται από παραμέτρους που σχετίζονται με τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών (υπόβαθρο και υλικό επισκευής), όπως είναι η κατανομή και το μέγεθος των κενών στην διεπιφάνεια, η τραχύτητα της διεπιφάνειας, η σύνθεση και οι συγκολλητικές ιδιότητες του υλικού επισκευής κλπ. Παρά το γεγονός ότι έχει διαπιστωθεί η επίδραση αυτών των παραμέτρων στον μηχανισμό της συνάφειας, δεν έχει καταστεί μέχρι τώρα δυνατόν να αποδοθεί με σαφήνεια η μεταβολή καθεμιάς από αυτές είτε σε χημικά είτε σε μηχανικά αίτια. Έτσι, για παράδειγμα, το εύρος των μετρούμενων τιμών αντοχής συνάφειας για διαφορετικά λίθινα υπόβαθρα ενδέχεται να οφείλεται στις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν ανάμεσα στουςτσιμεντοπολτούς και τα υπόβαθρα ή μπορεί να αποδοθεί στην διαφορετική τραχύτητα και πορώδες του υποβάθρου.

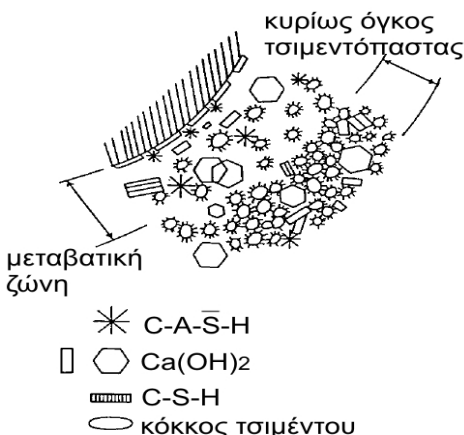
Στα επόμενα, γίνεται λεπτομερέστερη παρουσίαση των στοιχείων της βιβλιογραφίας, τα οποία αφορούν τα δυο επιμέρους είδη του μηχανισμού της συνάφειας και των εξεταζομένων παραμέτρων, όπως επίσης και του τρόπου με τον οποίο τις επηρεάζουν. Για αυτόν τον σκοπό, στα παρακάτω η ανάλυση των στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε τρεις άξονες: στην μελέτη της διεπιφανειακής ζώνης, στην μελέτη ανάπτυξης του μηχανισμού συνάφειας και τέλος, στην μελέτη του μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης.



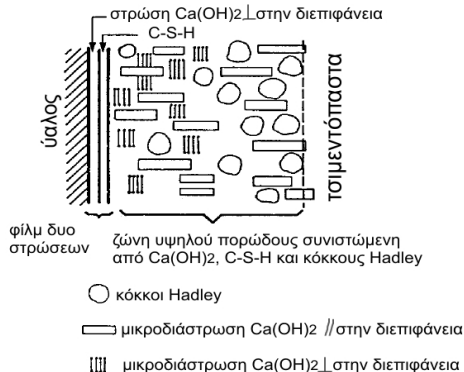
Εικόνα 26. Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Ollivier-Grandet 1982).



Εικόνα 27. Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Zimbelmann 1985).



Εικόνα 28. Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Monteiro 1986).



Εικόνα 29. Προσομοίωμα διεπιφανειακής ζώνης κατά (Barners et al. 1978, 1979) όπως παρουσιάζεται από τον (Maso 1980).

## 2.8.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

### 2.8.1.1 Προσομοιώματα για την Διεπιφανειακή Μεταβατική Ζώνη

Στην διεθνή βιβλιογραφία διατίθενται διάφορα προσομοιώματα που περιγράφουν την μικροδομή και την ορυκτολογική σύσταση της διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ αδρανών και αμιγούς τσιμεντοπολτού. Τα βασικότερα εξ αυτών προέρχονται από τους (Barners et al. 1978, 1979), (Ollivier & Grandet 1982), (Zimbelmann 1985), (Monteiro 1986) και παρουσιάζονται στις Εικόνες 26 έως 29. Σύμφωνα με αυτά, στην διεπιφάνεια αδρανών και τσιμεντοπολτού διακρίνονται, εν γένει, δύο ζώνες: μια ζώνη με πάχος ~1÷3μm σε άμεση επαφή με το αδρανές (στρώση επαφής) και μια ζώνη πορώδους τσιμεντοπολτού (ενδιάμεση στρώση) με πάχος που κυμαίνεται από 20μm (Zimbelmann 1985) έως 100μm (Yuan et al. 1987) και 150μm (Breton et al. 1993).

Εντούτοις, δεν έχουν ανιχνευθεί όλες οι ζώνες από όλους τους ερευνητές και στην ίδια μορφή. Έτσι, ορισμένοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η στρώση επαφής χαρακτηρίζεται από μια δομή δύο υμένων ("duplex film"), η οποία στην άμεση γεινίαση με το αδρανές συνίσταται από έναν υμένα πλούσιο σε κρυστάλλους πορτλανδίτη (σε παράθεση με τον c-άξονα τους κάθετα ή παράλληλα με την επιφάνεια των αδρανών), πάνω στον οποίο αναπτύσσεται ο δεύτερος υμένας, αποτελούμενος από σωματίδια C-S-H και κρυστάλλους πορτλανδίτη. Πέρα από τα παραπάνω συστατικά, έχουν ανιχνευθεί και κρύσταλλοι επτριγκίτη (Ollivier et al. 1982), (Monteiro et al. 1985). Πρέπει ωστόσο να αναφερθεί ότι η ύπαρξη της δομής των δύο υμένων δεν έχει διαπιστωθεί από την πλειονότητα των ερευνητών [για πρδ. (Farran 1956), (Conjeaudy et al. 1980) παράθεση (Struble & Mindness 1983), (Struble & Mindness 1983)]. Όσον αφορά την ενδιάμεση στρώση, αυτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία συσσωματωμάτων μικρών κρυστάλλων πορτλανδίτη (Yuan et al. 1987), μεγάλων κρυστάλλων πορτλανδίτη με τυχαίο προσανατολισμό, επτριγκίτη, ένυδρων πυριτικών ασβεστίων (Zimbelmann 1985) και μη ενυδατωμένων κόκκων τσιμέντου. Εγγενής αδυναμία της ενδιάμεσης στρώσης, η οποία διαπιστώνεται από το σύνολο των ερευνητών, είναι το ιδιαίτερος αυξημένο πορώδες της οφειλόμενο στην παρουσία κρυστάλλων μεγάλου μεγέθους.



Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας. Αν και σε πλήθος αυτές οι μελέτες είναι περιορισμένες [(Grandet 1972, 1973) παράθεση (Groot 1993)], [(Lawrence et al. 1987) παράθεση (Groot 1993)], εμφανίζουν αποτελέσματα παρεμφερή με εκείνα των διερευνήσεων σε διεπιφάνειες αδρανών: στην διεπιφανειακή ζώνη οπτόπλινθων ανιχνεύονται προϊόντα ίδιας σύστασης (ετρινγκίτης, πορτλανδίτης, ένυδρα πυριτικά και αργιλικά ασβέστια), η διάταξη και η περιεκτικότητα των οπείων, όπως και στην περίπτωση των διεπιφανειών των αδρανών, δεν είναι η ίδια σε όλες τις μελέτες. Πράγματι, άλλοτε η διεπιφανειακή ζώνη παρουσιάζεται πλούσια σε ετρινγκίτη με αρκετά χαμηλή περιεκτικότητα σε πορτλανδίτη [(Grandet 1972, 1973) παράθεση (Groot 1993)] και άλλοτε η μικροδομή της διεπιφάνειας [(Lawrence et al. 1987) παράθεση (Groot 1993)] προσεγγίζει εκείνη των (Barnes et al. 1978, 1979).

Επομένως, από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι τα διατιθέμενα προσομοιώματα διεπιφανειακής ζώνης διαφοροποιούνται ως προς την ύπαρξη της στρώσης επαφής, την σύσταση του υμένος στην άμεση γεινίαση με το υποβάθρο, τον προσανατολισμό των κρυστάλλων πορτλανδίτη (κάθετα ή παράλληλα με την επιφάνεια των αδρανών) και την παρουσία ή την απουσία ετρινγκίτη στο επίπεδο επαφής και την ενδιάμεση ζώνη. Η διαπιστούμενη ασυμφωνία ανάμεσα στα προσομοιώματα, φαίνεται να σχετίζεται με παράγοντες που επηρεάζουν τους μηχανισμούς σχηματισμού της διεπιφανειακής ζώνης, όπως είναι η επιφάνεια και η χημική αντιδραστικότητα του υποβάθρου, η σύσταση του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου και κατ' επέκταση της συνδετικής κονίας, καθώς και η τιμή του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία. Η επιρροή των παραπάνω παραγόντων στην μορφολογία και στην σύσταση της διεπιφανειακής ζώνης, καθώς και η απόδοση αυτής της επιρροής σε χημικά και φυσικά αίτια, περιγράφεται αναλυτικώς στα επόμενα.

Παρά τις διαφορές ανάμεσα στα προσομοιώματα της διεπιφανειακής ζώνης, τα αποτελέσματα των επιμέρους διερευνήσεων εμφανίζουν μείζονος σημασίας ομοιότητες οι οποίες δεν δύναται να αγνοηθούν. Πιο συγκεκριμένα, όπως φάνηκε από τα παραπάνω, τα προϊόντα ενυδάτωσης που ανιχνεύονται στην διεπιφανειακή ζώνη διαφόρων τύπων αδρανών και τσιμεντοπολτού έχουν παρεμφερή σύσταση. Επί πλέον, διαπιστώνεται μεγαλύτερο πορώδες στην διεπιφανειακή ζώνη από ότι στην πάστα (Ollivier et al. 1982), (Monteiro et al. 1986), (Breton et al. 1993) λόγω του σχηματισμού των κρυστάλλων πορτλαντίτη και ετρινγκίτη (Older et al. 1988), (Bentur et al. 1988), (Sarkar et al. 1988),

(Xiong et al. 2006). Το αυξημένο πορώδες μειώνεται αυξανόμενης της απόστασης από το αδρανές [(Scrivener et al. 1988) παράθεση (Ollivier et al. 1995)] και της ηλικίας (Bourdette et al. 1995) και αποδίδεται από τους ερευνητές 1) στον σχηματισμό υμένους ύδατος στο αδρανές που αποτρέπει τους άνυδρους κόκκους του τσιμέντου να έρθουν σε επαφή με το υπόστρωμα (Maso 1980), (Zimbelmann 1985), 2) στην συσσωμάτωση των κόκκων του τσιμέντου στην επιφάνεια των αδρανών (Zimbelmann 1987), 3) στο φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας (Breton et al 1993) και 4) στην μικρή υδαταπορρόφηση του υποβάθρου σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία (Sugo et al. 2000). Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί ότι το αυξημένο πορώδες αποτελεί θέση εκκίνησης σχηματισμού των μικρορηγματώσεων στην διεπιφανειακή ζώνη υπό την επίδραση οποιαδήποτε εξωτερικά επιβαλλόμενης δράσης (Struble 1988) με άμεση συνέπεια την μείωση της αντοχής συνάφειας [βλ. για πρδ. (Delatte et al. 2000)]. Πάντως, βασικές διαφορές στα μηχανικά χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης παρατηρούνται στα πρώτα 20μm (Mindess 1988).

### **2.8.1.2 Παράμετροι που επηρεάζουν την μικροδομή της Διεπιφανειακής Μεταβατικής Ζώνης**

#### **2.8.1.2.1 ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

Η μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης φαίνεται να επηρεάζεται από την ορυκτολογική σύσταση και την υφή - δομή του υποβάθρου στην άμεση γεινίαση με τον τσιμεντοπολτό. Ειδικότερα, η ορυκτολογική σύσταση του υποβάθρου ενδέχεται να επηρεάζει την μικροδομή της μεταβατικής ζώνης μέσω του βαθμού της μεταξύ τους αντίδρασης. Χημικές αντιδράσεις που προκαλούν διογκώσεις και ρηγματώσεις στην διεπιφανειακή ζώνη (για πρδ. η αντίδραση μεταξύ αλκαλίων και πυριτικών αδρανών) είναι εκτός αντικείμενου της παρούσας βιβλιογραφικής αναδρομής και δεν αναλύονται στα παρακάτω.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ ασβεστολιθικών αδρανών και τσιμεντοπολτού διαπιστώθηκε από τον πρωτοπόρο μελετητή της διεπιφανειακής ζώνης, Farran, ο οποίος επισήμανε την χημική αντίδραση μεταξύ περιεχόμενου ασβεστίτη των αδρανών και τσιμεντοπολτού (Farran 1956). Αυτή η αντίδραση εκδηλώνεται ως επιφανειακή «διάβρωση» του υποβάθρου, αποδιδόμενη σε προσβολή του υποβάθρου από αλκαλικά

διαλύματα του υπερκείμενου τσιμεντοπολτού και σε μετασχηματισμό του ασβεστίτη σε πορτλανδίτη (CH) (Buck et al. 1966). Πρέπει να αναφερθεί ότι η «διάβρωση» των ασβεστολιθικών υποβάθρων, φαίνεται να συνδέεται με αύξηση της αντοχής διεπιφάνειας, όπως επιβεβαιώνεται από μεταγενέστερες μελέτες. Πράγματι, για πρδ. οι (Zimbelmann 1985), (Zimbelmann 1987) αποδίδουν την αύξηση της συνάφειας σε χημικές αντιδράσεις και, κυρίως, σε επικάθιση μικρών κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διεπιφάνεια για αυτού του τύπου τα αδρανή. Σύμφωνα με τους (Lyubimova et al. 1962), (Grandet et al. 1980), (Yuan et al. 1987) η βελτιωμένη συνάφεια για αυτού του τύπου τα υπόβαθρα οφείλεται στην παραγωγή ένυδρων αργιλοανθρακικών ασβεστίων ( $C_3A \cdot CaCO_3 \cdot 11H_2O$ ). Τα τελευταία σχηματίζονται από την αντίδραση μεταξύ των ενυδατωμένων ασβεσταργιλικών φάσεων του τσιμέντου και των ανθρακικών ιόντων που προέρχονται από την διαλυτοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου. Εξ άλλου, σε περιπτώσεις μαρμάρινων υπόβαθρων (Yuan και Older 1987) και τσιμέντων από καθαρό αλίτη ( $C_3S$ ), διαπιστώθηκε σαφώς μικρότερη συνάφεια από εκείνη των σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και κοινού τσιμέντου πόρτλαντ, παρατήρηση που υποδηλώνει την μη πραγματοποίηση χημικής αντίδρασης μεταξύ ασβεστολιθικών υποβάθρων και φάσης  $C_3S$ . Εντούτοις, αυτή η διαπίστωση δεν επαληθεύεται από τους (Monteiro et al. 1986), οι οποίοι παρατήρησαν αλληλεπίδραση ακόμη και στην περίπτωση τσιμέντων καθαρού αλίτη. Η ερμηνεία που δίδεται από τους ερευνητές για αυτό το φαινόμενο είναι ότι ο ασβεστίτης των υποβάθρων αντιδρά με το τον πορτλανδίτη σχηματίζοντας ένυδρα ανθρακικά ασβέστια. Επομένως, η αντικατάσταση των μεγάλων κρυστάλλων πορτλανδίτη από συστατικά με μικρότερο μέγεθος είναι υπεύθυνη για τις βελτιωμένες ιδιότητες της διεπιφανειακής ζώνης.

Σε αντίστοιχες μελέτες που έγιναν σε πυριτικά αδρανή, αν και υπονοείται ότι λαμβάνει χώρα ποζολανική αντίδραση μεταξύ πυριτικών πετρωμάτων και πορτλανδίτη [η συνεισφορά στην συνάφεια της οποίας αυξάνεται αυξανόμενου του περιεχόμενου (ενεργού) πυριτίου] (Alexander et al. 1965), (Tasong et al. 1999) ωστόσο, δεν παρατηρείται χημική αντίδραση μεταξύ τσιμεντοπολτού και πυριτικών αδρανών (όπως είναι για παράδειγμα ο γρανίτης, ο χαλαζίας κτλ.) που να διαφοροποιεί την αντοχή συνάφειας των διεπιφανειών με πυριτικά αδρανή [για πρδ. (Zimbelmann 1985), (Zimbelmann 1987)]. Έτσι, η πρόσφυση μεταξύ των δύο υλικών αποδίδεται μόνον στην μηχανική αλληλεμπλοκή και σε ελκτικές δυνάμεις τύπου Van der Waals, οι οποίες όμως είναι μεγαλύτερες κατά 50% για συναφή υλικά

(διεπιφάνειες νέου και παλιού σκυροδέματος) από ότι για διεπιφάνειες γρανίτη και σκυροδέματος (Appa Rao et al. 2002), (Xiong et al. 2006). Σημειώνεται ότι ούτε στην περίπτωση διεπιφανειών πλίνθων και τσιμεντοπολτών δεν υπάρχουν ενδείξεις για χημική αντίδραση μεταξύ του υποβάθρου και νέων τσιμεντοκονιαμάτων [(Binda et al.1988) παράθεση (Hendry 1998)], (Groot et al. 1999), χωρίς κάτι τέτοιο ωστόσο να αποκλείεται σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται άλλες συνδετικές κονίες ή για μεγαλύτερες ηλικίες.

Όσον αφορά την επίδραση της δομής του υποβάθρου στα μικροπροϊόντα της διεπιφανειακής ζώνης (Zhang et al. 1990), σημειώνεται ότι οι διεπιφάνειες τσιμεντοπολτού και πορωδών αδρανών εμφανίζουν, συχνά, μικροδομή διαφορετική από εκείνη των συνήθων αδρανών. Για τα τελευταία, εξαιτίας του φαινομένου της ανένδοτης επιφάνειας και του σχηματισμού υμένο υδάτος στο αδρανές που δεν απορροφάται από το υπόβαθρο, η διεπιφανειακή ζώνη είναι αρκετά πορώδης, πλούσια σε κρυστάλλους πορτλανδίτη και ετρινγκίτη (§ 2.8.1). Έτσι, η διεπιφάνεια ελαφροβαρών αδρανών με πυκνό εξωτερικό κέλυφος είναι παρεμφερής με εκείνη των συνήθων αδρανών. Αντιθέτως, η διεπιφανειακή ζώνη ελαφροβαρών αδρανών με πορώδες εξωτερικό κέλυφος και υδαταπορρόφηση αντίστοιχη εκείνης οπτόπλινθων, χαρακτηρίζεται από την απουσία κρυστάλλων πορτλανδίτη, από καλύτερη διείσδυση των προϊόντων ενυδάτωσης στους πόρους του υποβάθρου και από πιο πυκνή μικροδομή, η οποία είναι παρόμοια με την μικροδομή του προσομοιώματος του (Grandet 1972, 1973) για οπτόπλινθους. Οι βελτιωμένες ιδιότητες της μεταβατικής ζώνης συνοδεύονται από καλύτερη συνάφεια, οφειλόμενη στην μηχανική αλληλεμπλοκή μεταξύ υποβάθρου και τσιμεντοπολτού. Εξ άλλου, όπως θα φανεί και στην ενότητα της μηχανικής συνάφειας, για τα πορώδη υπόβαθρα, και ιδιαίτερος τις πλίνθους, οι μελέτες των ερευνητών εστιάζονται στα χαρακτηριστικά υποβάθρου και κονίας που σχετίζονται με τις μετακινήσεις ύδατος, καθώς για αυτού του τύπου τα υπόβαθρα (με μεγάλο πορώδες και επιφανειακή τραχύτητα) ο μηχανισμός της συνάφειας είναι, σε μεγαλύτερο βαθμό, μηχανικής φύσης.

#### 2.8.1.2.2 ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΚΟΝΙΑ

Η μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης εξαρτάται και από τον τύπο του συνδετικού υλικού (τσιμέντο, άσβεστος, ποζολάνες κτλ) και την παρουσία ή μη εξαιρετικά λεπτόκοκκων υλικών (πυριτική παιπάλη κτλ). Όπως προαναφέρθηκε, συνδετικές κονίες που περιέχουν μόνο

τσιμέντο, λόγω της συγκέντρωσης ύδατος στην διεπιφάνεια του υλικού επίστρωσης, προκαλούν την συγκέντρωση μεγάλων κρυστάλλων σε αυτήν με αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους της διεπιφάνειας (Li et al. 2001), (Xiong et al. 2002), (Li 2003). Αντιθέτως, έχει παρατηρηθεί ότι η χρήση πλαστικοποιητή (Zimbelmann 1987) ή ασβέστη (Sugo et al. 2000), λόγω της αύξησης της ρευστότητας του μίγματος, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή διεπιφανειών με πιο πυκνή δομή. Εξ άλλου, η προσθήκη ποζολανών σε κατάλληλο ποσοστό (όπως για παράδειγμα ιπτάμενη τέφρα, σκωρία κ.α.) στο υλικό επάλειψης των αδρανών (Zimbelmann 1987), (Gu et al. 1993) ή στο ίδιο το συνδετικό υλικό ή στο υλικό επισκευής (Li et al. 2001), (Xiong et al. 2002), (Li 2003) καθιστά με τον χρόνο την διεπιφάνεια αδρανούς/τσιμεντοπολτού και σκυροδέματος/υλικού επισκευής πιο πυκνή και ομοιόμορφη, και οδηγεί σε μεγαλύτερες τιμές της αντοχής διεπιφάνειας (Xiong et al. 2002). Αυτή η βελτίωση αποδίδεται από τους ερευνητές στην δράση των ποζολανών ως μικροφίλλερ, καθώς και στις επιπλέον χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην διεπιφανειακή ζώνη. Ανάλογη επιδραση έχει η προσθήκη πυριτικής παιπάλης (Toumbakari 2002), (Momayez et al. 2004), (Momayez et al. 2005), (Ray et al. 2005). Πράγματι, με την προσθήκη της πυριτικής παιπάλης μειώνεται: 1) το πάχος της διεπιφανειακής ζώνης, 2) δραστικά ο περιεχόμενος πορτλανδίτης (ιδιαίτερως σε μεγαλύτερες ηλικίες) και 3) η τάση προσανατολισμού των κρυστάλλων πορτλανδίτη [(Bentur et al. 1996) παράθεση (Otsuki et al. 1998)]. Αυτές οι επιδράσεις αποδίδονται από τους ερευνητές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες της πυριτικής παιπάλης. Πιο συγκεκριμένα, σε μικρές ηλικίες οι κόκκοι της πυριτικής παιπάλης, ως λεπτότεροι από εκείνους του τσιμέντου, επικάθονται ευκολότερα στην επιφάνεια των αδρανών και λειτουργούν ως πυρήνες πάνω στους οποίους αναπτύσσονται οι κρύσταλλοι πορτλανδίτη. Εξαιτίας του σφαιρικού σχήματος των κόκκων της πυριτικής παιπάλης, επηρεάζεται, τοπικά, (στην διεπιφάνεια των αδρανών δηλαδή) ο προσανατολισμός των κρυστάλλων πορτλανδίτη. Σε μεγαλύτερες ηλικίες (~28 ημέρες), οι κρύσταλλοι πορτλανδίτη έχουν αντιδράσει με την πυριτική παιπάλη και απουσιάζουν τόσο από την διεπιφάνεια, όσο και από τον τσιμεντοπολτό (Larbi et al. 1990), [(Bentur et al. 1996) παράθεση (Otsuki et al. 1998)].

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση υποβάθρων με μεγάλο πορώδες (όπως είναι αυτά που απαντώνται σε τοιχοποιίες), ο ρόλος της προσθήκης των ποζολανών δεν είναι τόσο ξεκάθαρος όσο στα λίθινα υπόβαθρα με μικρό πορώδες ή τα υπόβαθρα

σκυροδέματος. Η επίδραση του τύπου της ποζολάνης στην συνάφεια δεν περιορίζεται στην ποζολανική αντίδραση και την δυνατότητά τους να μειώνουν το «φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας» (wall effect). Σύμφωνα με τους (Reda Taha et al. 2001), (Shrive et al. 2004) η συνάφεια πορωδών υποβάθρων και κονιαμάτων επηρεάζεται και από άλλες αλληλεμπλεκόμενες ιδιότητες της ποζολάνης, όπως: α) την ικανότητά της να βελτιώνει την εργασιμότητα και την συγκράτηση ύδατος του κονιάματος (έτσι ώστε να μπορεί να λάβει χώρα η ενυδάτωση των κονιών), β) το μέγεθος των κόκκων (επιθυμητοί όχι μόνον μικρής διαμέτρου κόκκοι) (Lange et al. 1999) και τέλος, γ) την δραστικότητα της ποζολάνης. Σε περίπτωση μεγάλης δραστικότητας της ποζολάνης, η ποζολανική αντίδραση εξελίσσεται ταχέως (με γρήγορη κατανάλωση του διαθέσιμου νερού). Αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι η δημιουργία πρώιμης συστολής και μικρορηγμάτωσης στην διεπιφάνεια υποβάθρου/κονιάματος με ταυτόχρονη μείωση της συνάφειας. Έτσι, μια μέτριας δραστικότητας ποζολάνη ενδεχομένως να δίδει πιο υψηλές τιμές συνάφειας από μια πιο δραστική ποζολάνη. Πρέπει να σημειωθεί, ότι οι παραπάνω ιδιότητες συναρτώνται άμεσα από τα φυσικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου [βλ. για πρδ. (Groot et al. 1999), (Shrive et al. 2004), § 2.8.1.2.1]. Η αντοχή συνάφειας, επομένως, εξαρτάται σημαντικά από τις χρησιμοποιούμενες συνδετικές κονίες, οι οποίες επηρεάζουν την μορφολογία (σχήμα και μέγεθος), την ορυκτολογική σύνθεση και την μικροδομή της διεπιφάνειας σκυροδεμάτων και υλικών τοιχοποιίας.

### **2.8.1.2.3 ΛΟΓΟΣ ΥΔΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΗ ΚΟΝΙΑ (w/c)**

Διερευνήσεις σε συστήματα τσιμέντου-ασβέστη ανέδειξαν την επιρροή του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία στον σχηματισμό κρυστάλλων πορτλανδίτη: με την αύξηση του w/c μιας τσιμεντόπαστας αυξάνεται η περιεκτικότητα του πορτλανδίτη σε αυτήν, ανεξαρτήτως της ηλικίας (Larbi et al. 1990). Κατ' αναλογία, στην περίπτωση διεπιφανειών υποβάθρων και τσιμεντοπαστών, αλλαγές του περιεχόμενου/διαθέσιμου ύδατος αναμένεται να επηρεάζουν την μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης (για πρδ. περιεχόμενος πορτλανίτης και πορώδες). Εξ άλλου, στις διαφορετικές τιμές του λόγου w/c αποδίδει ο (Groot 1993) τις διαπιστωθείσες διαφορές ανάμεσα στα προσομοιώματα οπτόπλινθων/τσιμεντοπολτού των (Grandet 1972, 1973) και (Lawrence et al. 1987) [βλ. § 2.8.1.1: στην σύνθεση με τον χαμηλότερο w/c απουσιάζει ο πορτλανδίτης από την διεπιφανειακή ζώνη (Grandet 1972, 1973), ενώ στην σύνθεση με τον υψηλότερο w/c η

διεπιφανειακή ζώνη παρουσιάζεται πλούσια σε πορτλανδίτη (Lawrence et al. 1987)].

### **2.8.1.3 Συμπεράσματα**

Σε αυτό το μέρος της Βιβλιογραφικής Αναδρομής παρουσιάστηκαν τα διαθέσιμα προσομοιώματα για την περιγραφή της διεπιφανειακής ζώνης υποβάθρων και τσιμεντοπολτού, όπως επίσης και οι παράμετροι που επηρεάζουν την μορφολογία και τα συστατικά της εν λόγω ζώνης. Τα κύρια συμπεράσματα της παραπάνω διερεύνησης συνοψίζονται στα παρακάτω:

- (1) Στην διεπιφάνεια υποβάθρων και τσιμεντόπαστας υπάρχει μια ζώνη που έχει διαφορετική μικροδομή από εκείνη της τσιμεντόπαστας. Αν και υπάρχουν διάφορα προσομοιώματα για την περιγραφή αυτής της ζώνης, οι ερευνητές συμφωνούν στο ότι η μεταβατική ζώνη, χαρακτηρίζεται από μεγάλο πορώδες οφειλόμενο στην παρουσία κρυστάλλων μεγάλου μεγέθους, όπως είναι ο πορτλανδίτης και ο επτρινγκίτης. Η παρουσία ή η απουσία, η περιεκτικότητα και το μέγεθος των εν λόγω προϊόντων επηρεάζεται από τον τύπο του υποβάθρου, της συνδετικής κονιάς και τον λόγο ύδατος προς συνδετική κονία. Σημειώνεται ότι το μεγάλο πορώδες της διεπιφανειακής ζώνης μειώνεται με τον χρόνο.
- (2) Η επίδραση του υποβάθρου στα χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης, σχετίζεται με την ορυκτολογική σύσταση και την δομή του υποβάθρου. Όσον αφορά την επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης του υποβάθρου, οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν στο ότι, εν αντιθέσει με τα πυριτικά αδρανή και τις οπτόπλινθους (όπου η συνάφεια οφείλεται κυρίως στην πρόσφυση και την μηχανική αλληλεμπλοκή πάστας και υποβάθρου), τα ασβεστιπικά υπόβαθρα δεν παραμένουν χημικώς αδρανή. Αντιθέτως, έχουν την τάση να αντιδρούν με τα προϊόντα ενυδάτωσης του τσιμεντοπολτού. Αυτή η χημική αλληλεπίδραση φαίνεται να σχετίζεται με την εξασφάλιση καλύτερης συνάφειας για αυτής της σύστασης τα υπόβαθρα. Ωστόσο, η επιστημονική κοινότητα φαίνεται να μην συμφωνεί για την ερμηνεία της εν λόγω βελτίωσης, η οποία αποδίδεται είτε στον μετασχηματισμό των μεγαλύτερων κρυστάλλων σε μικρότερους κρυστάλλους είτε στην επικάλυψη μικρών κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διεπιφάνεια.

Επί πλέον, η δομή του υποβάθρου φαίνεται να επηρεάζει την ποσότητα του διαθέσιμου ύδατος στην διεπιφανειακή ζώνη, και κατ' επέκταση την περιεκτικότητα των προϊόντων ενυδάτωσης. Έτσι, για υπόβαθρα με σχετικώς μεγάλο πορώδες, υδαταπορρόφηση και σχετικώς μεγάλους πόρους στην άμεση γεινίαση με την τσιμεντόπαστα, δεν ανιχνεύονται κρύσταλλοι πορτλανδίτη. Σε αυτήν την περίπτωση, η διεπιφανειακή ζώνη είναι πιο πυκνή και η αναπτυσσόμενη συνάφεια καλύτερη.

- (3) Η χρήση ποζολανών στα μίγματα επηρεάζει, πέρα από την μικροδομή του μίγματος, την μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης. Αν και η επίδραση της προσθήκης ποζολανών στην μικροδομή εξαρτάται από πολλές αλληλεμπλεκόμενες ιδιότητες της ποζολάνης, η κύρια επίδραση φαίνεται να σχετίζεται με την μείωση του «φαινόμενου της ανένδοτης επιφάνειας» και την κατανάλωση κρυστάλλων του πορτλανδίτη μέσω της ποζολανικής αντίδρασης. Αποτέλεσμα αυτών των δράσεων είναι η δημιουργία διεπιφανειακών ζωνών με πυκνότερη μικροδομή.
- (4) Οι τιμές του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία επηρεάζουν την παρουσία και την περιεκτικότητα σε μεγάλο μεγέθους κρυστάλλους στην διεπιφανειακή ζώνη: υψηλές τιμές του w/c σχετίζονται με την παρουσία μεγάλων κρυστάλλων πορτλανδίτη και ετρινγκίτη, ενώ για χαμηλές τιμές του w/c δεν ανιχνεύεται πορτλανδίτης.
- (5) Τέλος, διαπιστώνεται συσχέτιση των χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ υποβάθρων και τσιμεντοπολυτού με την αναπτυσσόμενη συνάφεια, η οποία φαίνεται να είναι κυρίως μηχανική.

Επομένως, στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας εμποτισμένης με ενέματα αναμένεται η παρουσία πολλών διαφορετικών μικροδομών. Πράγματι, καθώς στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας απαντώνται διάφοροι τύποι υποβάθρων, και άρα και διεπιφανειών, ο λόγος w/c σε αυτές τις διεπιφάνειες θα διαφέρει, αναλόγως, από τα κατά τόπους χαρακτηριστικά του υποβάθρου και από την σύσταση του ενέματος. Εξ άλλου, εξαιτίας των υψηλών τιμών του λόγου w/c, που έτσι και αλλιώς είναι συνυφασμένα με τα ενέματα υψηλής διεισδυτικότητας, αναμένεται ο σχηματισμός σχετικώς πορωδών μικροδομών με μεγάλους κρυστάλλους πορτλανδίτη τόσο στο πήγμα, όσο και στις διάφορες διεπιφάνειες. Η προσθήκη ποζολανών, και εν γένει λεπτόκοκκων υλικών, αναμένεται να περιορίσει αυτήν την δράση οδηγώντας σε μια



εν-χρόνω πύκνωση της μικροδομής λόγω της ποζολανικής αντίδρασης, αλλά και μείωσης του «φαινομένου της ανένδοτης επιφάνειας». Βεβαίως, σε αυτές τις περιπτώσεις ο σχηματισμός μικρορηγματώσεων λόγω συστολής και υψηλής δραστηριότητας της ποζολάνης δεν αποκλείεται.

Σχετικά με την επίδραση των υποβάθρων, αναμένονται ισχυρότερες μικροδομές σε διεπιφάνειες ενεμάτων και πορωδών υποβάθρων (με σχετικώς μεγάλους πόρους και χαλαρή δομή) σε σχέση εκείνες για μη πορωδή υπόβαθρα. Επί πλέον, χημική αλληλεπίδραση υποβάθρων και ενεμάτων ενδέχεται να συμβεί μόνον στην περίπτωση ασβεστιτικών υποβάθρων, όπως είναι για παράδειγμα το μάρμαρο και οι ασβεστόλιθοι. Αντιθέτως, στην μεταβατική ζώνη υποβάθρων πυριτικής σύστασης (για πρδ. ψαμμίτες χαλαζιακής σύστασης) η συνάφεια αναμένεται να είναι μόνον μηχανικής φύσης. Ανάλογη αναμένεται να είναι η εικόνα για διεπιφάνειες οπτόπλινθων με αργιλική σύσταση, και σε μικρές ηλικίες. Με δεδομένο το ότι ο μηχανισμός συνάφειας για διεπιφάνειες αδρανών και τσιμεντόπαστας είναι, κυρίως, μηχανικής φύσης, στην παρακάτω ενότητα εξετάζεται η επιρροή διαφόρων παραμέτρων στο μηχανικό μέρος του μηχανισμού της συνάφειας.

## **2.8.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ-ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ ΚΑΙ ΝΩΠΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ/ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ**

Γενικώς, με την επαφή ενός υλικού επισκευής (σκυρόδεμα ή κονίαμα) σε ένα υπόστρωμα συμβαίνουν δυο βασικές διεργασίες: το περιεχόμενο νερό του νωπού υλικού διεισδύει στους τριχοειδείς πόρους του υποβάθρου, και ταυτοχρόνως ξεκινά η ενυδάτωση των συστατικών του και ο σχηματισμός της διεπιφανειακής ζώνης (βλ. § 2.8.1).

### *Διεπιφάνειες μεταξύ σκυροδεμάτων*

Στην περίπτωση διάστρωσης τσιμεντοκονιάματος σε ξηρό σκυρόδεμα, μέρος του ύδατος του νωπού πολτού απορροφάται από το υπόβαθρο, πριν σχεδόν ακόμα ξεκινήσουν οι χημικές αντιδράσεις στον τσιμεντοπολτό [(Chronisky 1986) παράθεση (Austin et al. 1995)]. Οι αντιδράσεις μεταξύ των διαλυτών πυριτικών αλάτων (silicates) και υδροξυλίου περιορίζονται στην εξωτερική επιφάνεια του παλιού σκυροδέματος και έτσι η διείσδυση των λεπτών κόκκων της κονίας μέσω των τριχοειδών πόρων παρεμποδίζεται. Σε περίπτωση που το υπόβαθρο είναι κορεσμένο και η επιφάνεια διάστρωσης υγρή, οι τριχοειδείς πόροι όντας πλήρεις, είναι κλειστοί στην όποια διείσδυση

των προϊόντων ενυδάτωσης. Επιπλέον, το νερό που είναι σε περίσσεια στα τριχοειδή, αυξάνει τοπικά τον λόγο νερού προς τσιμέντο στο όριο με το υπόβαθρο. Και στις δυο περιπτώσεις το αποτέλεσμα είναι το ίδιο: η αντοχή συνάφειας εξασθενεί, με την μείωση αυτή να μην είναι τόσο σημαντική για αυτού του είδους τα υπόβαθρα [από 0 έως 20% (Wall et al. 1988), (Geissert et al. 1999), (Austin et al. 1995), (Julio et al. 2004)]. Η, σχετικώς, μικρή επίδραση των συνθηκών αρχικής υγρασίας των υποβάθρων σκυροδέματος στην αναπτυσσόμενη συνάφεια μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος, φαίνεται να σχετίζεται με τα υδροσκοπικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου. Όπως είναι γνωστό, τα συνήθη σκυροδέματα είναι αδιαπέρατα, με χαμηλές τιμές ανοιχτού πορώδους [μεταξύ 8 και 12% (βλ. Κορωναίος κα. 2006)], με μέγεθος τριχοειδών πόρων πηγματός από 50nm έως 10μm (Ollivier 1998) και, επομένως, σχετικώς μικρή υδαταπορρόφηση μέσω αυτών των πόρων [<6%, για πρδ. (Debieb et al. 2008)]. Αντιθέτως, στα πορώδη υπόβαθρα, που απαντώνται συνήθως σε ιστορικές τοιχοποιίες, αναμένονται μεγαλύτερες υδαταπορροφήσεις (βλ. παρακάτω). Επομένως, η επίδραση των συνθηκών υγρασίας και μετακινήσεων ύδατος από το υλικό επισκευής στο υπόστρωμα αναμένεται να είναι πιο σημαντική στα πορώδη υπόβαθρα.

*Διεπιφάνειες δομικών λίθων (λιθοσώματα ή πλίνθοι) και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων*

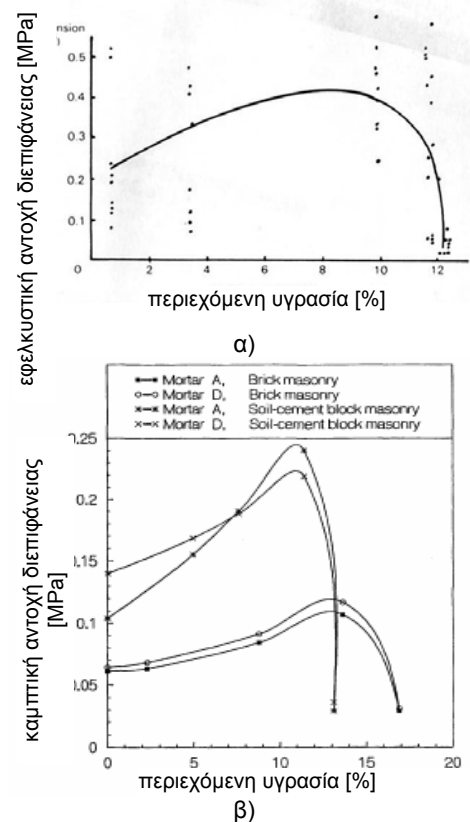
Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και σε υπόβαθρα με μεγάλο πορώδες. Πιο συγκεκριμένα σε πλίνθους (Groot et al. 1999), (Sugo et al. 2001) έχει βρεθεί ότι η μεταφορά των υγρών και των στερεών του κονιάματος στο υπόβαθρο και στην διεπιφάνεια, αντιστοίχως, μέσω της τριχοειδούς αναρρόφησης του υποβάθρου εξαρτάται από τον εκάστοτε συνδυασμό υποβάθρου και κονιάματος, και επηρεάζει σημαντικά την αναπτυσσόμενη συνάφεια.

Η τριχοειδής αναρρόφηση των υγρών του κονιάματος από το υπόβαθρο συμβαίνει όταν υπάρχει διαφορά μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας υποστρώματος (το οποίο είναι συνήθως στεγνό) και του κονιάματος (το οποίο είναι συνήθως υγρό). Χονδροειδώς, η διεργασία της μεταφοράς υγρών από το υπόβαθρο εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες υγρασίας του υποβάθρου και τον αρχικό ρυθμό υδαταπορρόφησης (APY) (Grandet al. 1970), (Maso 1980). Για κάθε υπόβαθρο υπάρχει ένα βέλτιστο ποσοστό υγρασίας που μεγιστοποιεί την συνάφεια [(Sinha 1967) παράθεση (Hendry 1998)], [(Grandet et al. 1973) παράθεση (Hendry 1998)], (Venu Madhava Rao et al. 1996),

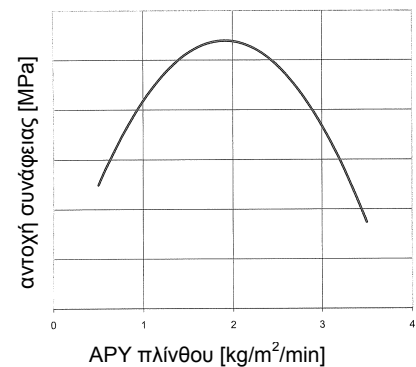
(Shrive et al 2004), (Gregoire et al. 2004). Βάσει των μελετών των [(Sinha 1967) παράθεση (Hendry 1998)], (Venu Madhava Rao et al. 1996), για συνήθεις πλίνθους, αυτό το ποσοστό είναι της τάξης του 70 με 80% της υγρασίας που αντιστοιχεί στον κορεσμό της πλίνθου (Εικόνα 30). Ωστόσο, έχει βρεθεί ότι για χαμηλής υδαταπορρόφησης οπτόπλινθους, η αντοχή διεπιφάνειας σε εφελκυσμό μειώνεται δραστικά με την αύξηση της υγρασίας των υποβάθρων [(Lawrence et al. 1988) παράθεση (Groot 1993)]. Η παρατηρούμενη μείωση αποδίδεται από τους ερευνητές στην εξαιρετικώς πορώδη μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης, οφειλόμενη στην ταυτόχρονη δράση δύο φαινομένων: α) της χαμηλής υδαταπορρόφησης των υποβάθρων και επομένως, της μικρής διείσδυσης των προϊόντων ενυδάτωσης του κονιάματος στο υπόβαθρο, και β) της αύξησης, τοπικώς, του λόγου w/c, ο οποίος έτσι και αλλιώς στην εν λόγω μελέτη έχει εξαιρετικά υψηλές τιμές (~1).

Για τον αρχικό ρυθμό υδαταπορρόφησης (APY), οι (Goodwin et al. 1982) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αναπτυσσόμενη συνάφεια στην περίπτωση οπτόπλινθων αργιλικής σύστασης. Επί πλέον, έθεσαν ένα επιθυμητό εύρος για τις τιμές που πρέπει να λαμβάνει ο APY (μεταξύ 0.8÷1.2kg/m<sup>2</sup>/min) προκειμένου να επιτυγχάνεται μέγιστη συνάφεια και υπονόησαν μια ποιοτική σχέση μεταξύ αντοχής συνάφειας και APY όπως αυτή της Εικόνας 31. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργασιών των [(Groot et al. 1999), Εικόνα 32], (Sugo et al. 2001), η παραπάνω συσχέτιση είναι αρκετά χονδροειδής, καθώς είναι δυνατή η επίτευξη υψηλών τιμών αντοχής διεπιφάνειας και στην περίπτωση μεγαλύτερων τιμών του APY. Συνήθως αυτές οι περιπτώσεις σχετίζονται με υγροσκοπικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου όπως το μέγεθος (συνήθως μεγάλο) και το δίκτυο πόρων.

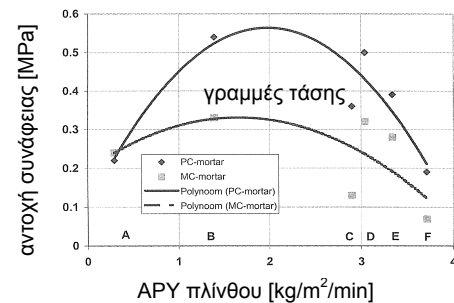
Πρέπει δε να σημειωθεί, ότι η προσέγγιση των (Goodwin et al. 1982) δεν λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ υποστρώματος και κονιάματος: η υδαταπορρόφηση για ελεύθερες επιφάνειες (εκφραζόμενη μέσω του APY) είναι διαφορετική από εκείνη για επιφάνειες κονιάματος. Πράγματι, η επίδραση του APY στην συνάφεια συναρτάται άμεσα από την ικανότητα συγκράτησης ύδατος του κονιάματος: Για μικρές τιμές του APY η μεταφορά των υγρών (και στερεών) στο υπόβαθρο διακόπτεται σχεδόν αμέσως, για αυτό σε τέτοιες περιπτώσεις συνιστάται η χρήση κονιαμάτων με μικρή ικανότητα συγκράτησης ύδατος προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική συνά-



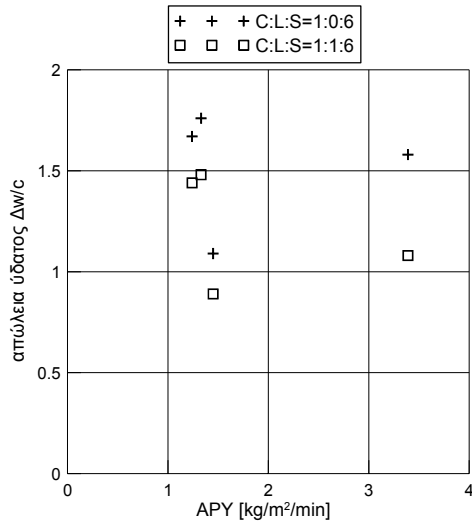
**Εικόνα 30.** Επιρροή της περιεχόμενης υγρασίας οπτόπλινθων στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας α) [(Sinha 1967) παράθεση (Hendry 1998)], β) (Venu Madhava Rao et al. 1996).



**Εικόνα 31.** Ποιοτική σχέση μεταξύ APY και αντοχής συνάφειας.



**Εικόνα 32.** Επιρροή του APY στην αντοχή συνάφειας (Groot et al. 1999).



**Εικόνα 33.** Απώλεια ύδατος κονιάματος συναρτήσει του APY βάσει των (Sugo et al. 2001).

φεια (Borchlet et al.). Αντιθέτως, για μεγάλες τιμές του APY (λόγω της υπερβολικής απομάκρυνσης ύδατος) περιορίζεται η διεργασία της ενυδάτωσης των συνδετικών κονιών (Groot et al. 1999). Επομένως, σε αυτήν την περίπτωση τα κονιάματα οφείλουν να έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης ύδατος [η οποία μπορεί να επιτευχθεί για παράδειγμα με την χρήση λεπτόκοκκων κονιών ή/και ασβέστη (Bosilikon et al. 2004)]. Σύμφωνα με την εργασία των (Hanley et al. 2008), (Pavia et al. 2009) σε δοκίμια κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου και αργιλικών οπτόπλινθων υψηλού APY (οι οποίες έχουν υγρανθεί προ της διάστρωσης του κονιάματος), η παράμετρος που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την συνάφεια είναι η ικανότητα συγκράτησης ύδατος του κονιάματος, και δευτερευόντως το περιεχόμενο νερό της σύνθεσης. Εξ άλλου, ο όγκος ύδατος που μεταφέρεται από το κονίαμα στο υπόβαθρο δεν είναι ανάλογος του APY [(Sugo et al. 2001), Εικόνα 33], αλλά εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια των κόκκων των κόκκων του τσιμεντοπολτού και τις διαστάσεις των τριχοειδών πόρων [(Grandet 1972) παράθεση (Hendry 1998)], (Groot et al. 1999).

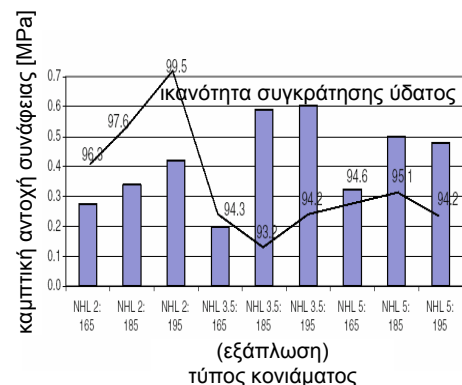
Η μεταφορά των στερεών του κονιάματος στο υπόβαθρο και στην διεπιφάνεια, εξαρτάται από ιδιότητες του υποβάθρου και του κονιάματος που επηρεάζουν τον ρυθμό και όγκο της τριχοειδούς ροής, μαζί με το μέγεθος των λεπτόκοκκων και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων. Έτσι, η μεταφορά των στερεών, πέραν των παραγόντων που επηρεάζουν την μεταφορά υγρών, εξαρτάται και από: Το μέγεθος των πόρων του υποβάθρου: Σε υπόβαθρα από πυριτικό ασβέστιο, το εξαιρετικά μικρό μέγεθος των πόρων οδηγεί σε μικρές τιμές της αντοχής συνάφειας λόγω της μη επαρκούς μηχανικής αλληλεμπλοκής του υποβάθρου με τα προϊόντα ενυδάτωσης. Χαρακτηριστικό αυτού του τύπου υποβάθρων είναι η μεγάλη αρχική τριχοειδής υδαταπορρόφηση, η οποία οδηγεί σε χαμηλά ποσοστά του διατιθέμενου προς ενυδάτωση των κονιών του κονιάματος ύδατος (Groot 1995). Αυτή η υδαταπορρόφηση, δεν συνοδεύεται από την μεταφορά σωματιδίων στην διεπιφανειακή ζώνη (Groot 1993), (Wijfels et al. 2004). Σε υπόβαθρα από πλίνθους είναι αναγκαίο ένα μέγεθος πόρων μεγαλύτερο από 0.05mm, προκειμένου να αναπτυχθούν τα προϊόντα ενυδάτωσης στην διεπιφανειακή ζώνη [(Grandet et al. 1973) παράθεση (Hendry 1998)]. Εξ άλλου, με την ενυδάτωση της πάσας, μειώνεται το περιεχόμενο διαθέσιμο ύδωρ στο κονίαμα και σχηματίζονται ένυδρα πυριτικά ασβέστια (C-S-H), που είναι υγροσκοπικά στην φύση. Αποτέλεσμα της παραπάνω διεργασίας είναι η αύξηση της υδαταπορρόφησης από το κονίαμα και η αντιστροφή της

ροής του ύδατος, από το υπόβαθρο προς το κονίαμα μόνον στην περίπτωση υποβάθρων με μεγάλοι μεγέθους πόρους (Groot 1993). Όπως είναι αναμενόμενο, η αντιστροφή της ροής του ύδατος δρα θετικά στην περαιτέρω ενυδάτωση της συνδετικής κονιάς του κονιάματος (Groot et al. 1999) και, ταυτοχρόνως, συνοδεύεται από την μεταφορά ιόντων του υποβάθρου. Άμεση συνέπεια αυτής της μεταφοράς ιόντων, είναι ο σχηματισμός πρόσθετων προϊόντων στην διεπιφανειακή ζώνη υποβάθρου και κονιάματος (όπως είναι για παράδειγμα το ανθρακικό ασβέστιο), και, επομένως, η βελτίωση της μικροδομής και της αναπτυσσόμενης συνάφειας της διεπιφάνειας (Sugo et al. 2001).

Το πορώδες: Έχει βρεθεί ότι σε διεπιφάνειες κονιαμάτων/λίθων με υψηλό πορώδες απουσιάζουν κρύσταλλοι μεγάλου μεγέθους (βλ. § 2.8.1) και τα προϊόντα ενυδάτωσης διεισδύουν στους πόρους του λίθου με αποτέλεσμα την ενίσχυση της μηχανικής αλληλεμπλοκής (Zhang et al. 1990), και άρα και της συνάφειας (Τουμβακάρη 2002).

Τα ρεολογικά χαρακτηριστικά του κονιάματος: Η μεταφορά στερεών από το νωπό κονίαμα στο υπόβαθρο συμβαίνει όταν το κονίαμα είναι επαρκώς υγρό ώστε να θεωρείται κορεσμένο. Από τους (Pavía et al. 2009) συστήνεται, εν γένει, η χρήση υψηλότερων λόγων w/c, καθώς η συνάφεια επηρεάζεται, δυσμενώς, σε μεγαλύτερο βαθμό όταν τα κονιάματα είναι περισσότερο «ξηρά» παρά «υγρά». Εξ άλλου, με την ικανοποίηση της απαίτησης για εργάσιμο των κονιαμάτων, βρέθηκε ότι αυξανόμενη της ρευστότητας ενός κονιάματος (μεγαλύτερες τιμές εξάπλωσης) εξασφαλίζονται υψηλότερες τιμές αντοχής διεπιφάνειας μεταξύ οπτόπλινθων και κονιαμάτων (Baker 1979), (Pavía et al. 2009, Εικόνα 34). Η βελτίωση των ρεολογικών χαρακτηριστικών των κονιαμάτων επιτυγχάνεται για παράδειγμα με την προσθήκη υδρασβέστου στα κονιάματα (Sugo et al. 2000). Προφανώς, και για τους λόγους που αναφέρθηκαν στην § 2.8.1, στην περίπτωση λίθινων υποβάθρων μικρού πορώδους, η αντοχή συνάφειας μειώνεται με την αύξηση του υδατοσιμεντοσυντελεστή (Zimbelmann 1985), (Zimbelmann 1987).

Το μέγεθος των κόκκων της κονιάς: Το πλήθος των στερεών του κονιάματος που θα μεταφερθεί στην διεπιφανειακή ζώνη εξαρτάται από το μέγεθος των λεπτόκοκκων συστατικών του κονιάματος. Επομένως, μια καλή κοκκομετρική διαβάθμιση της συνδετικής κονιάς βελτιώνει την συνάφεια (Groot 1995), (Venu Madhava Rao et al 1996), (Reda Taha et al. 2001). Από απόψεως αντοχής συνάφειας, υπάρχει ένα βέλτιστο ποσό τσιμεντιτικής φύσης υλικού που απαιτείται στην διεπιφάνεια: αν



Εικόνα 34. Μεταβολή της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας συναρτήσει της εξάπλωσης και ικανότητας συγκράτησης ύδατος (Pavía et al. 2009).

το διαθέσιμο ποσό είναι μικρότερο, τότε η αστοχία εμφανίζεται στην διεπιφάνεια, αν η συγκέντρωση πολύ λεπτόκοκκων υλικών είναι μεγάλη, τότε δημιουργείται ένα φράγμα στην διεπιφανειακή ζώνη που μειώνει την μεταφορά των στερεών και, κυρίως, των υγρών προς το υποβάθρο, με αρνητικές συνέπειες για την αναπτυσσόμενη συνάφεια (Groot 1993), (Sugo et al. 2001). Σύμφωνα με τους (Sugo et al. 2001), ενδεχομένως σε αυτό το φαινόμενο να αποδίδεται το ότι αργιλικό οπτόπλινθοι με υψηλό APY απορροφούν λιγότερο νερό από ότι δομικές μονάδες με μέσο APY (Davison 1961).

Από τα παραπάνω, καθίσταται σαφές ότι η ανάπτυξη του μηχανισμού μηχανικής συνάφειας είναι μια διεργασία αρκετά πολύπλοκη και εξαρτάται από πολλούς αλληλεμπλοκόμενους παράγοντες, που αφορούν την σύνθεση του κονιάματος και τα χαρακτηριστικά υποβάθρου. Οι επιμέρους παράγοντες που επηρεάζουν την συνάφεια, παρατίθενται συγκεντρωμένοι στον Πίνακα 6 (Groot 1993). Καθώς φαίνεται, η συνάφεια μεταξύ διεπιφανειών υποστρώματος και κονιάματος καθορίζεται σε μεγάλη έκταση από τον βαθμό ενυδάτωσης του τσιμεντικού υλικού του κονιάματος και την σύσταση της διεπιφανειακής ζώνης. Επομένως, η επίτευξη επαρκούς συνάφειας είναι μια σύνθετη διαδικασία βελτιστοποίησης μεταξύ της απαίτησης και της διαθεσιμότητας ύδατος στην διεπιφάνεια κονιάματος και δομικού λίθου (McGinley 1990), (Reda Taha et al. 2001).

Πίνακας 6. Παράγοντες που επηρεάζουν την συνάφεια (Groot 1993).

		Διεργασίες/Ιδιότητες										
		μετακίνηση ύδατος	συγκράτηση ύδατος	συστολή	εξίδρωση	μεταβολή όγκου της συνδετικής κονίας ενυδάτωσης	βαθμός ενυδάτωσης	πορώδες	πυκνότητα προϊόντων ενυδάτωσης	μηχανική αλληλεμπλοκή/δομή χημική συνάφεια	εργασιμότητα	
Παράμετροι Σύνθεσης	Κονίαμα	άμμος										
		τσιμέντο										
		ασβέστης										
		αναλογία άμμου προς τσιμέντο										
		λόγος νερού προς τσιμέντο										
		%- σε νερό										
		%-σε αέρα										
	πρόσθετα:(για πρδ. φίλλερς)	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>←</span> <span>ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ</span> <span>→</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>←</span> <span>ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ</span> <span>→</span> </div>										
	Πλίνθος											πορώδες
	υγρασία											
τραχύτητα επιφάνειας												
μακροδομή: σκάφες												

## 2.8.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑ: ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

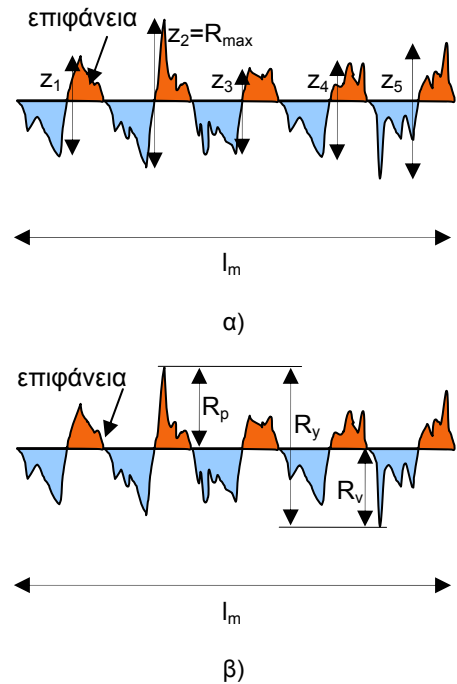
### 2.8.3.1 Επιρροή της τραχύτητας

#### Διεπιφάνειες μεταξύ σκυροδεμάτων

Η τραχύτητα του παλιού σκυροδέματος έχει θετική επίδραση στην επιστρατευόμενη μηχανική αλληλεμπλοκή των προϊόντων ενυδάτωσης της συνδετικής κονιάς με το υπόβαθρο (Abu-Tair et al. 1996), (Minoru et al. 2001), (Appa Rao et al. 2002), (Momayez et al. 2004, 2005), (Ray et al. 2004), (Julio et al. 2004), (Garbacz et al. 2006) υπό την προϋπόθεση ότι η επιφάνεια διάστρωσης είναι καθαρή και δεν έχει υποστεί σοβαρές φθορές (ρηγματώσεις) λόγω υπερβολικής τράχυνσης (Austin et al. 1995), (Austin et al. 1999). Ίσως αυτός να αποτελεί έναν από τους λόγους για τους οποίους η θετική επίδραση της τραχύτητας στην μηχανική συνάφεια παρατηρείται μόνον στις περιπτώσεις μικρής και μέσης τραχύτητας. Ας σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται πολλά είδη τράχυνσης (με αμμοβολή, με υδροβολή, χημική τράχυνση, μηχανική τράχυνση κτλ.), ωστόσο [πλὴν των (Austin et al. 1999), (Garbacz et al. 2006)] δεν εφαρμόζονται ποσοτικά κριτήρια για τον χαρακτηρισμό τους. Επομένως, η κατηγοριοποίηση της τραχύτητας σε μικρή, μέση και μεγάλη τραχύτητα, παραμένει εν πολλοίς ποιοτικού χαρακτήρα. Ποσοτικοποίηση της τραχύτητας με ψηφιακή απεικόνιση (digital image processing) και συσχέτισή της με την αντοχή συνάφειας πραγματοποιήθηκε προσφάτως από τους (Santos et al. 2007). Παρόλο που η παραπάνω τεχνική δεν θεωρείται τόσο ακριβής όπως η τεχνική απεικόνισης της τραχύτητας με την χρήση ακτίνων λέιζερ [βλ. για πρῶ (Στρατάκος, Σακελλαρίου 2006), (Garbacz et al. 2006)], βρέθηκε να υπάρχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της αντοχής συνάφειας και χαρακτηριστικών της τραχύτητας όπως το μέγιστο ύψος «κορυφής»-«κοιλιάδας» ( $R_{max}$ ), το ύψος της ολικής τραχύτητας ( $R_y$ ) και το μέγιστο βάθος «κοιλιάδας» ( $R_v$ ) (για ορισμούς βλ. Εικόνα 35).

#### Διεπιφάνειες δομικών λίθων (λιθοσώματα ή πλίνθοι) και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων

Η επίδραση της τραχύτητας δεν έχει μελετηθεί συστηματικά για αυτού του τύπου τις διεπιφάνειες. Όμως, παρά το μικρό πλήθος των διατιθέμενων εργασιών για υπόβαθρα από φυσικούς λίθους, οι οποίες

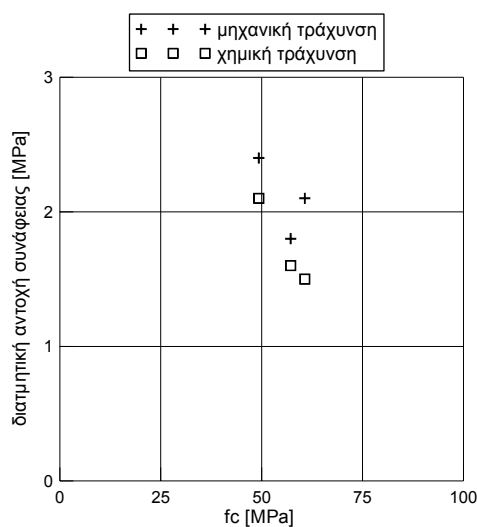


Εικόνα 35. Σχηματική απεικόνιση α) του μέγιστου ύψους «κορυφής»-«κοιλιάδας» ( $R_{max}$ ) και β) του ύψους της ολικής τραχύτητας ( $R_y$ ) και του μέγιστου βάθους «κοιλιάδας» ( $R_v$ ) σε μια επιφάνεια.

αφορούν διεπιφάνειες αδρανών και σκυροδεμάτων, επιβεβαιώνεται και σε αυτήν την περίπτωση η θετική επίδραση της τραχύτητας (τεχνητής ή φυσικής) στην αντοχή συνάφειας λόγω της καλύτερης μηχανικής αλληλεμπλοκής των προϊόντων ενυδάτωσης των συνδετικών υλικών με τα υπόβαθρα (Tasong et al. 1998), (Toumbakari 2002), (Husem 2003). Στην περίπτωση πλίνθων (οπτόπλινθοι αργίλου, οπτόπλινθοι πυριτικού ασβεστίου κτλ.) η επίτευξη επιφανειακής τραχύτητας εξαρτάται από τον τρόπο παρασκευής (χύτευση, υπό πίεση κα.) και την σύσταση (σε σχέση με τα υγροσκοπικά χαρακτηριστικά) των δομικών λίθων. Πρόσφατη μελέτη των (Venkatarama Reddy et al. 2007) σε ωμόπλινθους που κατά την παραγωγή τους έχουν υποστεί σταθεροποίηση με τσιμέντο και άμμο, έδειξε σημαντική επίδραση της τραχύτητας στην αντοχή διεπιφάνειας έναντι διατμήσεως (αύξηση που κυμαίνεται από 25÷150%! ). Ωστόσο, στην περίπτωση των πλίνθων, ο συνηθέστερος τρόπος υλοποίησης τραχύτητας είναι μακροσκοπικός (σχηματισμός αβαθών σκαφών μικρής επιφάνειας). Σε αυτές τις περιπτώσεις, έχει διαπιστωθεί ότι είναι ελάχιστος σημασίας η επίδραση (θετική παρόλα αυτά) της τραχύτητας της επιφάνειας των διαφόρων πλίνθων στην αντοχή της διεπιφάνειας έναντι κάμψης (Rao et al. 1996) (Khalaf 1998), (Khalaf 2005) ή διάτμησης, καθώς μεγαλύτερη επίδραση στην συνάφεια επιτυγχάνεται όταν της διάστρωσης του κονιάματος προηγείται επάλειψη της επιφάνειας με τσιμεντένεμα (Saragapani et al. 2005), (Venkatarama Reddy et al. 2007).

### 2.8.3.2 Επιρροή μηχανικών χαρακτηριστικών υπαρχόντων υλικών και υλικών επισκευής

Την μηχανική συνάφεια έχει βρεθεί να επηρεάζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του συνδετικού υλικού, όπως η θλιπτική (Venu Madhava Rao et al. 1996), (Jiang 1999), (Rao et al. 2002), (Julio et al. 2004), (Momayez et al. 2004), (Khalf 2005, 2008) ή εφελκυστική (Vintzileou et al. 1995) ή διατμητική αντοχή του (Toumbakari 2002). Έτσι, αν και φαίνεται να ισχύει ότι «όσο πιο ισχυρό το υλικό επισκευής (για διεπιφάνειες σκυροδεμάτων) ή το κονίαμα (για διεπιφάνειες λίθων), τόσο μεγαλύτερη η αντοχή συνάφειας», οι υψηλότερες τιμές συνάφειας δεν παρουσιάζονται πάντοτε για τα υλικά επισκευής με την υψηλότερη θλιπτική αντοχή [(Ray et al. 2005), Εικόνα 36]. Η παραπάνω παρατήρηση επαληθεύεται και σε διεπιφάνειες οπτόπλινθων (Van der



Εικόνα 36. Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του υλικού επισκευής στην διατμητική αντοχή συνάφειας [βάσει των (Ray et al. 2005)].



Pluijm 1997): η επίδραση του κονιάματος στην αντοχή συνάφειας δεν είναι ανάλογη της θλιπτικής του αντοχής (Khalf 2005, 2008), αν και, εν γένει, διαπιστώνεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θλιπτική αντοχή του κονιάματος (Stöckl et al. 1979) και η περιεκτικότητα του σε συνδετική κονία σε σχέση με την περιεκτικότητα σε άμμο, τόσο πιο υψηλή είναι η αναπτυσσόμενη αντοχή διεπιφάνειας [για πρδ. (Bosilikon et al. 2004)]. Αντίστοιχη είναι η εικόνα σε διεπιφάνειες ενεμάτων (Miltiadiou 1990), (Toumbakari 2002). Αν και τα ενέματα με υψηλά μηχανικά χαρακτηριστικά αναπτύσσουν υψηλές τιμές αντοχής συνάφειας, έχει βρεθεί ότι ενέματα με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά είναι ανταγωνιστικά σε όρους συνάφειας με τα τσιμεντιπικά ενέματα (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007). Προκύπτει δε, να είναι αναγκαία η παρουσία μιας ελάχιστης ποσότητας τσιμέντου προκειμένου να αναπτυχθεί επαρκής συνάφεια (συνοχή) μεταξύ κονιαμάτων και σπτόπλινθων ή πορωδών λίθων, καθώς κονιάματα απουσία τσιμέντου αναπτύσσουν εξαιρετικά μικρές τιμές (Bei et al. 2004) ή ακόμα και μηδενικές τιμές συνάφειας [(Chinwah 1982) παράθεση (Ιγνατάκης 1991)], (Vintzileou et al. 2009).

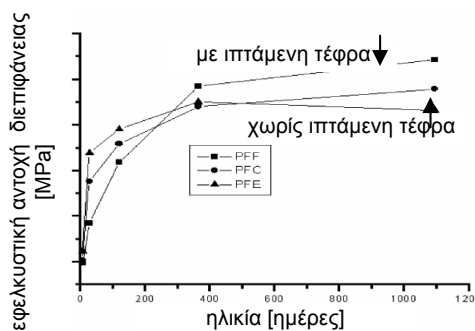
Αναφέρεται, ότι η επίδραση της θλιπτικής αντοχής του υλικού επισκευής στην αναπτυσσόμενη αντοχή διεπιφάνειας δεν ισχύει για όλους τους τύπους των υποβάθρων. Καθώς φαίνεται, οι εξαιρέσεις συνδέονται αφενός, με τα υγροσκοπικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων [πορωδες, μέγεθος πόρων και επιφανειακή τραχύτητα (βλ. 2.8.2) και αφετέρου, με τα «σχετικά μηχανικά χαρακτηριστικά» τους. Πράγματι, η χρήση υλικών επισκευής που έχουν μηχανικές ιδιότητες συγκρίσιμες με εκείνες των υπαρχόντων σκυροδεμάτων οδηγεί σε υψηλότερες τιμές συνάφειας εξαιτίας της μείωσης συγκέντρωσης τάσεων στην διεπιφάνεια (Bentur 1988), (Austin et al. 1995). Εξ άλλου, μεγαλύτερη αντοχή διεπιφάνειας παρατηρείται μεταξύ συναφών υλικών (νέο και παλιό σκυρόδεμα) παρά μεταξύ υλικών διαφορετικής φύσης [σκυρόδεμα και γρανίτης (Rao et al. 2002)]. Κατ' αντιστοιχία, σε σύνθετα δοκίμια κονιάματος/πλίνθων έχει βρεθεί ότι αύξηση του πάχους του συγκολλητικού υλικού προκαλεί μείωση της αντοχής διεπιφάνειας (Wall et al. 1988), (Van der Pluijm 1997), (Bei et al. 2004) οφειλόμενη σε αύξηση της ποσότητας ενός υλικού με μικρότερη δυσκαμψία (Van der Pluijm 1997), (Bei et al. 2004).

Τέλος, από την διερεύνηση διαφόρων τύπων πλίνθων και κονιαμάτων έναντι διατμήσεως, εξήχθη το συμπέρασμα ότι η σύνθεση των κονιαμάτων ασκεί μικρή επιρροή στην διατμητική αντοχή των αρμών. Έτσι, αν και η αναπτυσσόμενη συνάφεια επηρεάζεται από τις μηχανικές

ιδιότητες των επιμέρους υλικών (κονίαμα ή πλίνθοι), καθορίζεται, μάλλον, από τις φυσικές ιδιότητές τους [(Drysdale et al. 1982) παράθεση (Ιγνατάκης 1991)], με το ασθενέστερο εκ των δυο να καθορίζει την αντοχή συνάφειας (Miltiadou 1990).

### 2.8.3.3 *Εν χρόνω ανάπτυξη της συνάφειας-Επιρροή προσθέτων*

Η πλειονότητα των εργασιών στις οποίες διερευνάται η επιρροή της ηλικίας στην συνάφεια αφορούν, κυρίως, διεπιφάνειες αδρανών και υλικών τοιχοποιίας. Εν γένει, η επίδραση του χρόνου στην ιδιότητα της συνάφειας χαρακτηρίζεται από τους ερευνητές ως θετική και αποδίδεται στην πύκνωση της διεπιφανειακής ζώνης οφειλόμενη στην εξέλιξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου της συνδετικής κονίας. Αυτή η επίδραση είναι ακόμα πιο προφανής στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ποζολάνες στις συνθέσεις. Πράγματι, με την εξέλιξη της ποζολανικής αντίδρασης και την επακόλουθη πύκνωση της μικροδομής της διεπιφάνειας ενισχύεται, ταυτοχρόνως, και η μηχανική αλληλεμπλοκή των προϊόντων της ενυδάτωσης των κονιών με το υπόβαθρο [για πρδ. (Τουμπακάρη 2002), (Li et al 2003), (Ray et al. 2005)].



**Εικόνα 37.** Εν χρόνω ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων, στην σύσταση των οποίων περιέχεται ή μη ιπτάμενη τέφρα (Li et al. 2003).

#### *Διεπιφάνειες σκυροδεμάτων*

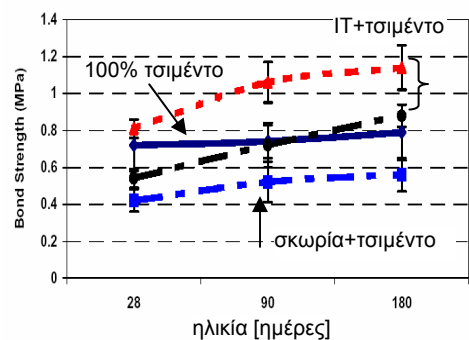
Με τον χρόνο, αυξάνεται η αντοχή διεπιφάνειας μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος. Η ισχύς της παραπάνω παρατήρησης είναι ανεξάρτητη της σύστασης του νέου σκυροδέματος ή του συνδετικού κονιάματος. Πράγματι, εν χρόνω αύξηση της αντοχής διεπιφάνειας έχει παρατηρηθεί με την προσθήκη ιών πολυπροπυλενίου (Geissert et al. 1999), ιπτάμενης τέφρας (Li et al. 2003) και πυριτικής παιπάλης (Perry et al. 1995), (Momayez et al. 2004) στο νέο σκυροδέμα ή στο συνδετικό κονίαμα. Στην περίπτωση της διερεύνησης των (Li et al. 2003), ο ρυθμός ανάπτυξης της συνάφειας εξαρτάται ισχυρώς από την σύσταση των επιμέρους υλικών. Για παράδειγμα, ο ρυθμός ανάπτυξης της αντοχής διεπιφάνειας, αρχικώς, είναι πιο βραδύς στην περίπτωση που στο συνδετικό κονίαμα μέρος του τσιμέντου έχει αντικατασταθεί από ιπτάμενη τέφρα. Παρόλα αυτά, σε ηλικία 3 ετών η αναπτυσσόμενη συνάφεια είναι μεγαλύτερη κατά 10% από εκείνη χωρίς την προσθήκη της ποζολάνης (Εικόνα 37). Στην περίπτωση προσθήκης πυριτικής παιπάλης στο νέο σκυροδέμα, η αύξηση της διαμητρικής αντοχής συνάφειας μεταξύ 14 και 28 ημερών είναι η ίδια, ανεξαρτήτως από το ποσοστό της πυριτικής παιπάλης ή την τραχύτητα της επιφάνειας του παλιού σκυροδέματος [βάσει των (Momayez et al. 2004)].

### Διεπιφάνειες δομικών λίθων (λιθοσώματα ή πλίνθοι) και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων

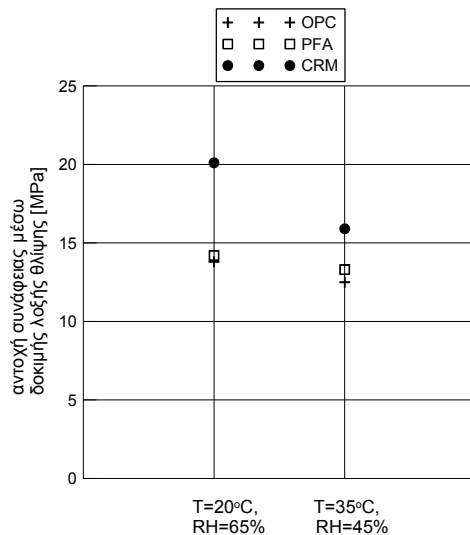
Στις διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας, η επίδραση του χρόνου στην ιδιότητα της συνάφειας δεν είναι τόσο ξεκάθαρη όπως στην περίπτωση διεπιφανειών σκυροδέματος. Έτσι, έχει διαπιστωθεί εν χρόνω αύξηση της αντοχής συνάφειας για διεπιφάνειες ασβεστόλιθου (Zimbelman 1987), γρανίτη (Paulon et al. 2004) ή οπτόπλινθων (Bosilikon et al. 2004), (Reda Taha et al. 2001), (Shrive et al. 2004) και τσιμεντοπολτού χωρίς ή με ποζολανικά υλικά (με τις προϋποθέσεις της § 2.8.1.2.2)). Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ποζολανικά υλικά, ο ρυθμός ανάπτυξης της συνάφειας εξαρτάται σαφώς από την δραστικότητα της ποζολάνης (βλ. Εικόνα 38). Παρόλα αυτά, σε ορισμένες μελέτες έχει βρεθεί ότι η αντοχή συνάφειας μειώνεται με τον χρόνο (Zimbelmann 1987), (Tasong et al. 1999), (Wijffels et al. 2004). Καθώς φαίνεται, η παρατηρούμενη μείωση σχετίζεται είτε με την ορυκτολογική σύσταση (Zimbelmann 1987), (Tasong et al. 1999) είτε με τα υγροσκοπικά χαρακτηριστικά (Wijffels et al. 2004) των υποβάθρων. Πράγματι, η παρατήρηση της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης σε μεγαλύτερες ηλικίες, οδήγησε τον (Zimbelmann 1987) στο συμπέρασμα ότι η μείωση της συνάφειας με τον χρόνο δεν οφείλεται σε συστολή ξήρανσης του τσιμεντοπολτού, αλλά στον σχηματισμό πρόσθετων κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διεπιφανειακή ζώνη υποβάθρων από άστριο, γρανίτη και καλσίτη. Σε διεπιφάνειες βασάλτη, η μείωση αποδίδεται στην χημική αλληλεπίδραση των άστριων του υποβάθρου με τις ενυδατωμένες φάσεις του τσιμεντοπολτού. Αποτέλεσμα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι είτε η μείωση της επιφανειακής τραχύτητας του υποβάθρου είτε η μικρορηγματώση της διεπιφάνειας λόγω του σχηματισμού αργιλικών ενώσεων, οι οποίες παρουσία νερού διογκώνονται (Tasong et al. 1999). Στην περίπτωση οπτόπλινθων ασβεστοπυριτικής σύστασης, η μείωση της συνάφειας σε ηλικία δύο ετών, αποδίδεται στις αρχικές συνθήκες υγρασίας και τα υγροσκοπικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου (μεγάλο πορώδες σε συνδυασμό με μικρό μέγεθος πόρων), καθώς και σε μικρορηγματώση οφειλόμενη σε συστολή ενανθράκωσης (Wijffels et al. 2004).

#### 2.8.3.4 Επιρροή των συνθηκών συντήρησης

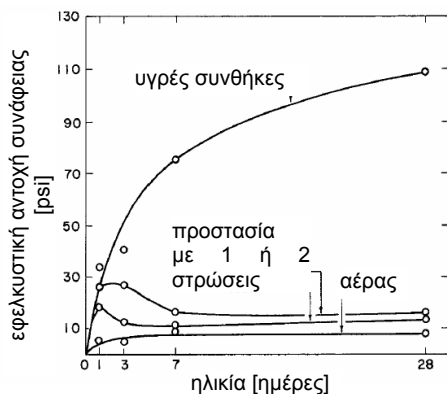
Καθώς οι συνθήκες συντήρησης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία κα.) επηρεάζουν την σκλήρυνση του συνδετικού υλικού, αντίστοιχη αναμένεται να είναι η επίδρασή τους στην αντοχή διεπιφάνειας.



Εικόνα 38. Εν χρόνω ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας διεπιφανειών πλίνθων και κονιαμάτων με ή χωρίς την προσθήκη ποζολανών (Shrive et al. 2004).



**Εικόνα 39.** Επιρροή των συνθηκών συντήρησης στην αντοχή συνάφειας [βάσει των (Delatte et al. 2000)].



**Εικόνα 40.** Επιρροή των συνθηκών συντήρησης στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας (Isberner 1969).

### Διεπιφάνειες σκυροδεμάτων

Έχει βρεθεί ότι η ιδιότητα της συνάφειας διεπιφανειών σκυροδεμάτων και η εν-χρόνω μεταβολή της, επηρεάζεται σημαντικώς από τις συνθήκες συντήρησης (Cabrerera et al. 1997) σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η θλιπτική ή η εφελκυστική αντοχή της τσιμεντόπαστας (Delatte et al. 2000). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 39, αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος συνοδεύομενη από μείωση της σχετικής υγρασίας, έχει ως επακόλουθο την μείωση της αντοχής συνάφειας.

### Διεπιφάνειες δομικών λίθων (λιθοσώματα ή πλίνθοι) και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων

Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας. Η επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στην αντοχή διεπιφάνειας, διερευνήθηκε πειραματικώς από τον (Isberner 1969). Ο Isberner συνυπολογίζοντας 1) την απαίτηση για σχετική υγρασία στο κονίαμα μεγαλύτερη από 85%, προκειμένου να εξελιχθεί ομαλά η ενυδάτωση των κονιών (Powers et al. 1947), 2) την παρατηρούμενη μείωση της σχετικής υγρασίας στα άκρα του κονιάματος των σύνθετων δοκιμών μετά την πάροδο 3 ημερών (για συνθήκες περιβάλλοντος  $T=28^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{RH}=50\%$ ) και 3) την μικρορηγμάτωση λόγω συστολής ξήρανσης περιμετρικά του αρμού κονιάματος, η οποία ενδεχομένως να μειώνει την ενεργό διεπιφάνεια, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι υγρές συνθήκες συντήρησης είναι εκείνες που συνεισφέρουν κυρίως στην αύξηση της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας. Πράγματι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 40, η αντοχή συνάφειας δοκιμών συντηρημένων σε υγρές συνθήκες παρουσιάζεται σαφώς αυξημένη έναντι δοκιμών που έχουν συντηρηθεί σε αέρα (Isberner 1969), (Baker 1979). Εξ άλλου, η μείωση της συστολής ξήρανσης του υλικού επέμβασης, η οποία επιτυγχάνεται μέσω της προσθήκης άμμου (Li et al. 2001) ή ινών άνθρακα (Chen et al. 1995), (Zhu et al. 1997) επιδρά θετικά στο μέγεθος της αντοχής συνάφειας, καθώς περιορίζει την μικρορηγμάτωση στην διεπιφάνεια και στο ίδιο το υλικό επέμβασης.

### 2.8.3.5 Συμπεράσματα

Από την παραπάνω προσανατολισμένη παρουσίαση των κυριοτέρων παραμέτρων που επηρεάζουν το μηχανικό μέρος της συνάφειας μεταξύ υπαρχόντων υλικών και υλικών επισκευής στην σκληρυμένη κατάσταση, αναδείχθηκε:

- (1) η θετική επιρροή της τραχύτητας (μικρή και μέση τραχύτητα) στην αναπτυσσόμενη αντοχή διεπιφάνειας. Επομένως, καθώς η εσωτερική παρειά των στρώσεων τριστηρωτων τοιχοποιιών είναι κατασκευασμένη είτε από λίθους με αδρή επιφάνεια είτε από οπτόπλινθους με επιφανειακή τραχύτητα, αναμένεται ότι η διαθέσιμη τραχύτητα θα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα εξασφάλισης επαρκούς συνάφειας για τις τοιχοποιίες που εξετάζονται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Όπως είναι αναμενόμενο, η όποια εκτίμηση της τραχύτητας των δομικών λίθων στις εν λόγω διεπιφάνειες είναι τοπικού χαρακτήρα.
- (2) η επίδραση των συγκολλητικών ιδιοτήτων των υλικών επισκευής σε σχέση με τον τύπου του υποβάθρου. Αυτή η επίδραση εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επιμέρους υλικών, αλλά καθορίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις φυσικές ιδιότητές τους.
- (3) η καθοριστική επίδραση των συνθηκών συντήρησης στην συνάφεια. Πράγματι, συνθήκες περιβάλλοντος όπως χαμηλές ή πολύ υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλές τιμές της σχετικής υγρασίας και ξηρός αέρας αναμένεται να επιδράσουν δυσμενώς την ανάπτυξη και το μέγεθος της αντοχής διεπιφάνειας, εξαιτίας της πρόκλησης μικρορηγματώσεων λόγω συστολής ξήρανσης και ενανθράκωσης στο σώμα του υλικού επισκευής και, κυρίως, κατά μήκος των διεπιφανειών. Στην περίπτωση ενεμάτων υψηλής δεισδυτικότητας (για υψηλές τιμές του υδατοσιμεντοσυντελεστή), η επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών αναμένεται να είναι μείζονος σημασίας, ιδιαίτερος κατά τις πρώτες μέρες εφαρμογής των ενεμάτων στην τοιχοποιία.
- (4) Τέλος, με την προϋπόθεση καταλλήλων συνθηκών συντήρησης, ιδιαίτερος, στην περίπτωση χρήσης ποζολανικών υλικών στα μίγματα, διασφαλίζεται η ομαλή εν χρόνω ανάπτυξη της αντοχής διεπιφάνειας.

## **2.9 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΚΡΙΤΙΚΗ ΕΠΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

Καθώς φαίνεται, τα πειραματικά αποτελέσματα [το μέγεθος της μετρούμενης αντοχής διεπιφάνειας και ο βαθμός επιρροής των διαφόρων παραμέτρων σε αυτήν (για πρῶ. της τραχύτητας, της προσθήκης λεπτόκοκκων ποζολανών κτλ.)] επηρεάζονται από την πειραματική διάταξη και τον τρόπο δοκιμής. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα μέχρι σήμερα δεν υπάρχει προτυποποίηση των δοκιμών ή των δοκιμίων (σχετικά με την προετοιμασία, τις διαστάσεις κτλ), έτσι ώστε τα ευρήματα των ερευνητών να είναι μεταξύ τους ευθέως συγκρίσιμα. Ωστόσο, σε εκείνο που φαίνεται να συμφωνεί η πλειονότητα των ερευνητών είναι ότι η μέθοδος μέτρησης της συνάφειας θα πρέπει να προσομοιώνει την πραγματική εντατική κατάσταση στην οποία θα υποβάλλεται η διεπιφάνεια στην κατασκευή (δηλαδή το αναπτυσσόμενο πεδίο τάσεων της δοκιμής να είναι αντιπροσωπευτικό εκείνου της λειτουργίας), να είναι ευαίσθητη σε μεταβολές των παραμέτρων και τέλος, να υπάρχει η δυνατότητα επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων.

Οι διατιθέμενες μέθοδοι εκτίμησης των μηχανικών χαρακτηριστικών διεπιφανειών έχουν προκύψει μετά από κατάλληλη τροποποίηση υπαρχουσών μεθόδων οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μέτρηση μηχανικών χαρακτηριστικών (για πρῶ. την θλιπτική, εφελκυστική αντοχή κτλ.) μονολιθικών δοκιμίων. Αναλόγως της έντασης στην οποία υποβάλλεται η προς διερεύνηση διεπιφάνεια, οι μέθοδοι μέτρησης της αντοχής διεπιφάνειας διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες δοκιμών: (α) στις δοκιμές εφελκυσμού, (β) στις δοκιμές διάτμησης (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου) και (γ) στις δοκιμές λοξής θλίψης. Αναζητώντας την πιο κατάλληλη, αξιόπιστη, επαναλήψιμη και ρεαλιστική για τις δικές μας συνθήκες μέθοδο, σε αυτήν την ενότητα γίνεται μια αναδρομή στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την μέτρηση της αντοχής διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμίων σε διαφορετικούς τύπους διεπιφανειών (αδρανούς με τσιμεντοπολτό, σκυροδέματος με σκυρόδεμα κτλ.) και ασκείται κριτική.

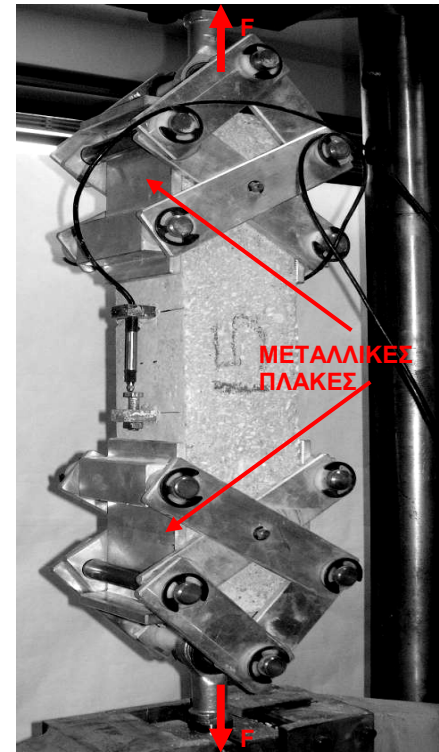
## 2.9.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Αναλόγως με το είδος της φόρτισης (εφελκυσμός, θλίψη ή κάμψη) που εφαρμόζεται κατά την διάρκεια μιας δοκιμής εφελκυσμού, η διεπιφάνεια υπόκειται απευθείας είτε εμμέσως σε εφελκυστικές τάσεις.

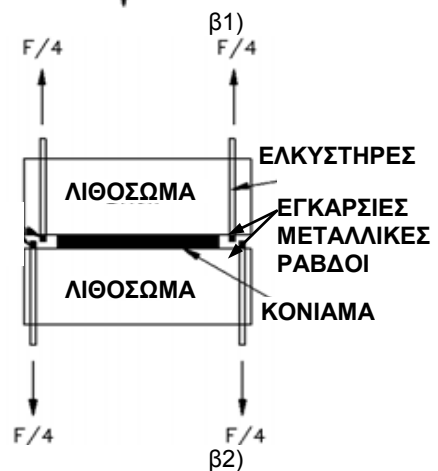
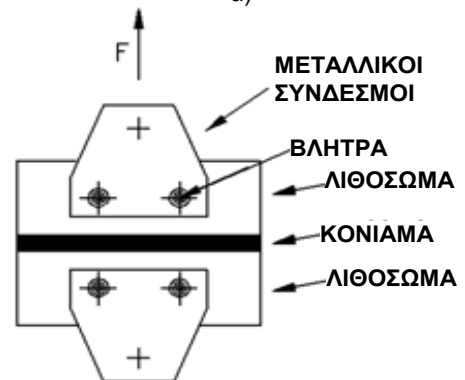
### 2.9.1.1 Δοκιμές Άμεσου Εφελκυσμού

Στις δοκιμές άμεσου εφελκυσμού, το εφελκυστικό φορτίο επιβάλλεται στην διεπιφάνεια μέσω ειδικών αρπαγών είτε μέσω κατάλληλης μορφής μεταλλικού εξαρτήματος που επικολλάται στο σύνθετο δοκίμιο. Είναι κοινώς αποδεκτό [βλ. για πρδ. (Austin 1995), (Momayez et al. 2005), (Κατσάκου 2005)] ότι η εκτέλεση ορθών πειραμάτων απευθείας εφελκυσμού είναι αρκετά δύσκολη. Οι δυσκολίες έγκεινται στην εισαγωγή παρασιτικών ροπών (λόγω έκκεντρης φόρτισης) και στην συγκέντρωση τάσεων στα σημεία επαφής των δοκιμίων με τους μηχανισμούς σύνδεσης. Η έκκεντρη επιβολή του εφελκυστικού φορτίου έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή της ομοιόμορφης κατανομής των εφελκυστικών τάσεων σε ανομοιόμορφη ή καμππική, με φυσικό επακόλουθο την μεγάλη διασπορά στα πειραματικά αποτελέσματα της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας (της τάξης του 20-50%).

Στις δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού με την χρήση ειδικών αρπαγών, η έκκεντρη φόρτιση αποφεύγεται με την βοήθεια ειδικών συστημάτων (αλυσίδες ή εύκαμπτα χαλύβδινα καλώδια ή σφαιρικές αρθρώσεις) στα σημεία σύνδεσης των αρπαγών με την μηχανή επιβολής της φόρτισης, που επιτρέπουν την στροφή του δοκιμίου στον χώρο (Kolias et al. 1978). Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται τρεις τύποι δοκιμών: Στον πρώτο τύπο, το εφελκυστικό φορτίο μεταφέρεται στο δοκίμιο μέσω τριβής με την βοήθεια μεταλλικών πλακών που τοποθετούνται μεταξύ των αρπαγών και του δοκιμίου (Εικόνα 41α). Η μέθοδος πλεονεκτεί στο ότι δεν απαιτείται, προ της δοκιμής, ειδική προετοιμασία των δοκιμίων (πρδ. συγκόλληση πλακών στο δοκίμιο). Αντιθέτως, μειονεκτεί στο ότι, λόγω της ανομοιόμορφης κατανομής των τάσεων τριβής και των εγκάρσιων κατακόρυφων τάσεων στην περιοχή της αρπάγης, είναι πιθανή μια τοπική αστοχία του δοκιμίου σε αυτήν την θέση (Κατσάκου 2005). Στον δεύτερο τύπο δοκιμών [για πρδ (Sinha et al. 1966), (Sugo et al. 2001)] το εφελκυστικό φορτίο μεταφέρεται στην διεπιφάνεια των σύνθετων δοκιμίων μέσω βλήτρων που διέρχονται από σπές οι οποίες έχουν διανοιχθεί εγκάρσιως στα υπόβαθρα σε κατάλληλες αποστάσεις από την διεπιφάνεια (Εικόνα 41β1) ή μέσω ράβδων που εφελκύνονται (Εικόνα 41β2).



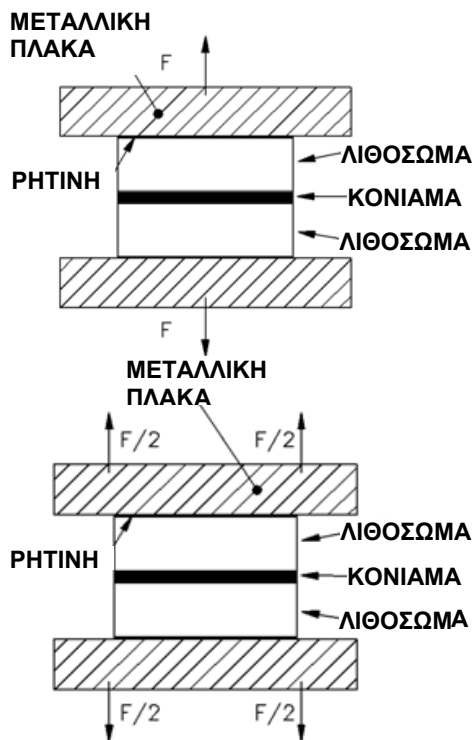
α)



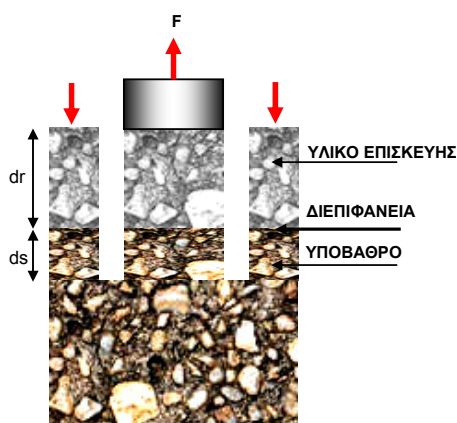
Εικόνα 41. Πειραματικές διατάξεις δοκιμών μονοαξονικού εφελκυσμού μέσω α) ειδικών αρπαγών (Kolias et al. 1978), β1) βλήτρων ή β2) ράβδων (Almeida et al. 2002).

Τα μειονεκτήματα αυτών των μεθόδων, σχετίζονται και πάλι με την συγκέντρωση τάσεων στις θέσεις των οπών και την ειδική προετοιμασία που απαιτείται για την προσεκτική κατασκευή των δοκιμών (με στόχο την αποφυγή εκκεντροτήτων), καθιστώντας τις μεθόδους αρκετά χρονοβόρες και δύσχρηστες. Τέλος, υπάρχουν δοκιμές απευθείας εφελκυσμού, όπου τα δοκίμια στα άκρα τους φέρουν ειδικό οπλισμό με τον οποίο συνδέονται με την μηχανή επιβολής του φορτίου [βλ. πρδ. (Kuroda et al. 2000)]. Αυτές οι μέθοδοι δεν περιγράφονται εδώ, καθώς δεν είναι δυνατή η χρήση τους σε υπόβαθρα που δεν χυτεύονται (όπως τα υλικά τοιχοποιίας).

Στην περίπτωση των δοκιμών κατά τις οποίες μεταλλικές πλάκες επικολλούνται με την χρήση ισχυρών υλικών (ρητίνες) στα δοκίμια (Εικόνες 42, 43), η σύνδεση των πλακών με την μηχανή φόρτισης επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων συνδέσμων (όπως ακριβώς και στην περίπτωση της πρώτης κατηγορίας δοκιμών). Μολονότι έχουν αναπτυχθεί διάφορες παραλλαγές της μεθόδου [συγκεντρωμένα στην εργασία των (Almeida et al. 2002)], η λογική παραμένει η ίδια για όλες τις δοκιμές. Εδώ, αναφέρεται η δοκιμή αποκόλλησης ή εξόλκευσης, η οποία βρέθηκε να χρησιμοποιείται περισσότερο από τους ερευνητές (βλ. Παράρτημα Α: Μέρος II-1 και 2). Σύμφωνα με αυτήν την μέθοδο, σε κυλινδρικό πυρήνα σύνθετου δοκιμίου επικολλάται μεταλλική πλάκα, η οποία εξολκεύεται με δύναμη ( $F$ ) που δρα καθέτως σε αυτήν (Εικόνα 43). Είναι μια, σχετικώς, εύκολη στην εφαρμογή δοκιμή, που δίνει στοιχεία (εγγενή και συγκριτικά) για την πρόσφυση μεταξύ δυο υλικών. Εντούτοις, οι μετρούμενες τιμές αντοχής διεπιφάνειας εξαρτώνται από τον ρυθμό της επιβαλλόμενης τάσης εξόλκευσης. Έτσι, δεδομένης της μικρής διάρκειας της δοκιμής (5 με 7 δευτερόλεπτα), αναμένονται σχετικώς υψηλότερες τιμές αντοχής σε σχέση με τις άλλες δοκιμές μονοαξονικού εφελκυσμού. Επί πλέον, έχει βρεθεί ότι η τιμή της αντοχής της διεπιφάνειας των δυο υλικών, εξαρτάται από το βάθος διείδυσης του πυρήνα στο υπόβαθρο ( $d_r$ ) και το πάχος του υλικού επισκευής ( $d_s$ ). Έτσι, έχουν μετρηθεί υψηλότερες τάσεις συνάφειας για μικρά βάθη διείδυσης [(Bungey et al. 1992) παράθεση (Austin et al. 1995)]. Αντιθέτως, για μικρό ύψος του υλικού επισκευής διαπιστώνεται αύξηση της αντοχής διεπιφάνειας λόγω της τριαξονικής θλιπτικής έντασης στην οποία υπόκειται το υλικό επισκευής οφειλόμενη σε περισφιγξη της πλάκας και του υλικού συγκόλλησης [(Bungey et al 1992) παράθεση (Austin et al 1995)]. Αναφορικά με την εκκεντρότητα των επιβαλλομένων φορτίων, αυτή εξαρτάται από την κανονικότητα του διαμορφωμένου πυρήνα, ωστόσο δεν επηρεάζει σημαντικά την δια-



Εικόνα 42. Πειραματικές διατάξεις δοκιμών μονοαξονικού εφελκυσμού μέσω μεταλλικών πλακών που επικολλώνται στα δοκίμια (Almeida et al. 2002).



Εικόνα 43. Πειραματική διάταξη δοκιμής αποκόλλησης.

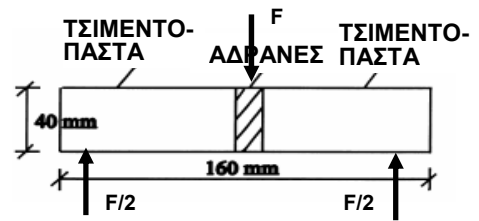


σπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Πράγματι, έχει διαπιστωθεί (Austin et al. 1995) ότι για μια μέση απόκλιση από την κατακόρυφο του φορτίου (F) της τάξης των 2.0 μοιρών, ο συντελεστής μεταβλητότητας των τιμών της αντοχής διεπιφάνειας είναι της τάξης του 10%. Τέλος, στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται ο καθαρισμός των μεταλλικών πλακών μετά την διενέργεια της εκάστοτε δοκιμής.

### 2.9.1.2 Δοκιμές Έμμεσου Εφελκυσμού

Στις μεθόδους έμμεσου εφελκυσμού περιλαμβάνονται οι δοκιμές: κάμψης (τριών ή τεσσάρων σημείων), καμπτικής ροπής, διάρρηξης, και σταυρωτής διπλέτας. Όπως είναι γνωστό, με τις μεθόδους έμμεσου εφελκυσμού υπερεκτιμάται η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας του σύνθετου δοκιμίου, καθώς για την ανάληψη των εξωτερικώς επιβαλλομένων φορτίων αναπτύσσεται, κατά μήκος και καθ' ύψος του δοκιμίου, πεδίο κύριων εφελκυστικών, αλλά και θλιπτικών τάσεων (με ή χωρίς την σύγχρονη δράση διατμητικών τάσεων).

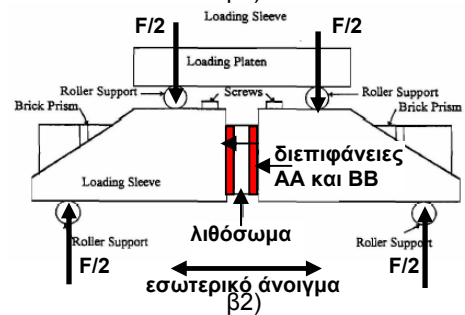
Ειδικότερα, στις δοκιμές κάμψης, πρισματικό δοκίμιο με έναν ή περισσότερους αρμούς (σε διεπιφάνειες τσιμεντοπολτού/αδρανούς και νέου με παλιό σκυρόδεμα ή σε διεπιφάνειες κονιάματος/λιθόσωματος αντιστοίχως) υποβάλλεται σε κάμψη (Εικόνα 44α) ή απλή κάμψη (Εικόνα 44β1, 44β2). Σημειώνεται ότι, παρόλο που οι δοκιμές κάμψης είναι εύκολες στην μεθοδολογία δοκιμές, υπάρχουν απαιτήσεις για την ορθή εκτέλεσή τους. Έτσι, προκειμένου οι αναπτυσσόμενες κύριες εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις να μην επηρεάζονται από διατμητική καταπόνηση, η φορτιζόμενη (δι)επιφάνεια στις δοκιμές κάμψης είναι αρκετά μικρή σε σχέση με το μέγεθος του σύνθετου δοκιμίου. Επί πλέον, προκειμένου τα φορτία να επιβάλλονται γραμμικώς στην διεπιφάνεια, προκύπτει η ανάγκη της σύμπτωσης του άξονα επιβολής του φορτίου με τον άξονα του αρμού. Όσον αφορά την δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων (EN 1052-5), πρισματικό δοκίμιο με επτά δομικούς λίθους και με αντίστοιχο αριθμό αρμών τοποθετείται σε οριζόντια θέση. Το φορτίο επιβάλλεται μέσω δυο κυλίνδρων στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου, έτσι ώστε το εσωτερικό άνοιγμα (υποβαλλόμενο σε σταθερή ροπή) να εμπεριέχει δυο αρμούς κονιάματος (Εικόνα 44β1, 44β2). Φαίνεται επομένως, ότι μόνον ένα πολύ μικρό τμήμα του επιπέδου των διεπιφανειών αναμένεται να υποβληθεί σε μέγιστες τάσεις (Εικόνα 45), ενώ δεν αποκλείεται η πιθανότητα αστοχίας του σύνθετου δοκιμίου λόγω λοξού εφελκυσμού (με την σύγχρονη δράση εφελκυσμού, θλίψης και διάτμησης) σε περιοχή εκτός εκείνης με την μέγιστη ροπή (Gregoire et al. 2004). Στην τελευταία περίπτωση, η δοκιμή πρέπει να



α)

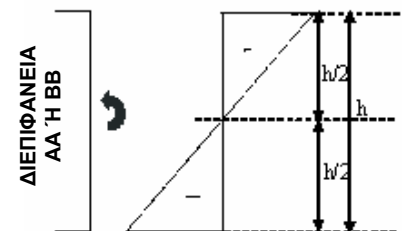


β1)

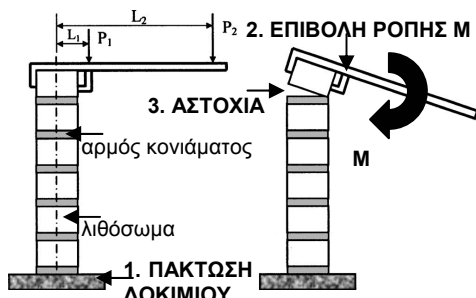


β2)

Εικόνα 44. Πειραματικές διατάξεις δοκιμών κάμψης α) τριών και β) τεσσάρων (Gregoire et al. 2004), (Amde et al. 2008) σημείων.

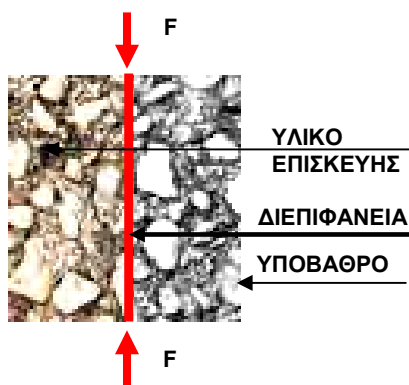


Εικόνα 45. Ορθές τάσεις στην διατομή της διεπιφάνειας στο μέσον του δοκιμίου της Εικόνας 44.



ΠΛΑΓΙΑ ΟΨΗ

Εικόνα 46. Πειραματική διάταξη δοκιμής καμπτικής ροπής (ASTM C 1072).

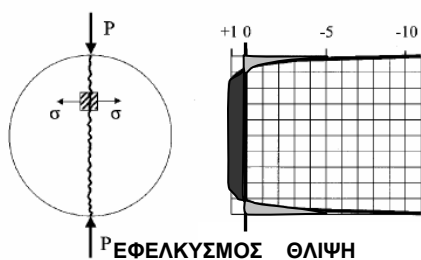


α)



β)

Εικόνα 47. Πειραματική διάταξη δοκιμής διάρρηξης σε α) πρισματικά και β) κυλινδρικά σύνθετα δοκίμια (Momayez et al. 2004).



ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΘΛΙΨΗ

Εικόνα 48. Κατανομή των τάσεων κατά μήκος της φορτιζόμενης διεπιφάνειας [(Nillson 1961) παράθεση (Geissert et al. 1999)].

επαναλαμβάνεται.

Για την διερεύνηση της συμπεριφοράς των τοιχοποιιών έναντι κάμψης εκτός επιπέδου, αναπτύχθηκε η δοκιμή καμπτικής ροπής (βλ. Εικόνα 46, ASTM C 1072), με την οποία μετράται η καμπτική αντοχή διεπιφάνειας μεταξύ λιθοσωμάτων και κονιαμάτων. Με την χρήση κοχλιωτού σφινγκτήρα, που εφαρμόζει στην στέψη πρισματικού δοκιμίου τοιχοποιίας πακτωμένου στην βάση του, εισάγεται ροπή  $M$  κάθετα στο επίπεδο του δοκιμίου (Εικόνα 46). Το δοκίμιο αστοχεί λόγω κάμψης σε αρμό κονιάματος. Ως πλεονέκτημα της μεθόδου εμφανίζεται από ορισμένους ερευνητές, η δυνατότητα δοκιμής όλων των αρμών κονιάματος του πρισματικού δοκιμίου για την λήψη πολλαπλών τιμών αντοχής διεπιφάνειας. Ωστόσο, κατά άλλους ερευνητές (Sarangarani et al. 2005) αυτό δεν είναι ορθό, καθώς με την υλοποίηση της πρώτης δοκιμής οι υπόλοιποι αρμοί έχουν ήδη καταπονηθεί. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα των δοκιμών της εν λόγω μεθόδου παρουσιάζουν σημαντική διασπορά (συντελεστής μεταβλητότητας έως και 60%) [για πρδ. (Wiffles et al. 2004), (Gregoire et al. 2004)]. Αυτό, αποδίδεται μερικώς, στην παρουσία του σφινγκτήρα που επηρεάζει τον τρόπο αστοχίας των δοκιμών στην περίπτωση ασθενών υποβάθρων (Gregoire et al. 2004).

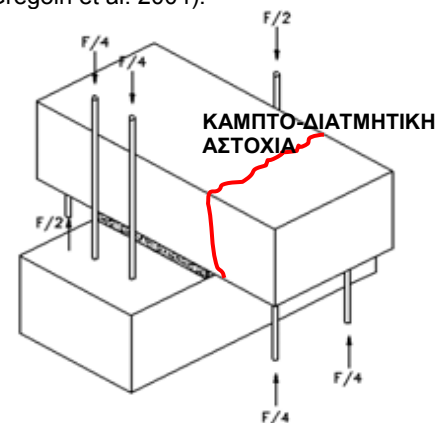
Στις δοκιμές διάρρηξης (Εικόνα 47, 48), πρισματικά δοκίμια κυκλικής ή ορθογωνικής διατομής υποβάλλονται κατά τον διαμήκη άξονά τους σε αντιδιαμετρική θλίψη. Η αστοχία επέρχεται λόγω της ανάπτυξης εφελκυστικών τάσεων (οι οποίες υπερβαίνουν τοπικά εκείνες που μπορεί να αναλάβει το υλικό) με την εμφάνιση ρωγμής που διέρχεται από τους δυο άξονες φόρτισης (άνω και κάτω). Συνεπώς, στις δοκιμές διάρρηξης δεν μετράται κάποιο θεμελιώδες μέγεθος αντοχής, αλλά ένα συμβατικό μέγεθος κατακόρυφου θλιπτικού φορτίου για το οποίο συμβαίνει υπέρβαση της εγκάρσιας εφελκυστικής παραμόρφωσης του δοκιμίου. Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε, αρχικώς, για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής μονολιθικών δοκιμών (ASTM C496). Εν συνεχεία, εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμών κατασκευασμένων από δυο πανομοιότυπα τμήματα διαφορετικών υλικών [(Ramey et al. 1984) παράθεση (Momayez et al. 2004)], με την μετρούμενη αντοχή αποκόλλησης του σύνθετου δοκιμίου να αποτελεί εκτιμήτρια της αντοχής διεπιφάνειας μεταξύ των δυο υλικών. Ως μέθοδος θεωρείται πιο αποτελεσματική σε σχέση με τις δοκιμές κάμψης, κατά το ότι η επιφάνεια που φορτίζεται είναι συγκρίσιμη με το μέγεθος του δοκιμίου. Αν και η αντοχή σε διάρρηξη προκύπτει από διαξονικώς ή και τριαξονικώς φορτιζόμενο δοκίμιο, ω-

στόσο για σύνθετα κυλινδρικά ή ορθογωνικά δοκίμια τετραγωνικής διατομής σκυροδέματος, η κατανομή των τάσεων κατά μήκος της φορτιζομένης διεπιφάνειας έχει αποδειχθεί ότι είναι σχετικώς ομοιόμορφη (Εικόνα 48). Τέλος, σημειώνεται ότι η μορφή της διατομής του σύνθετου δοκιμίου (τετραγωνική ή κυκλική) δεν επιδρά σημαντικά στην τιμή της αντοχής διεπιφάνειας. Πράγματι, η απόκλιση στις τιμές της συνάφειας μεταξύ κυλινδρικών και πρισματικών δοκιμίων, όπως αυτή προέκυψε μετά από προσομοίωση με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, δεν υπερβαίνει το 2% (Geissert et al. 1999).

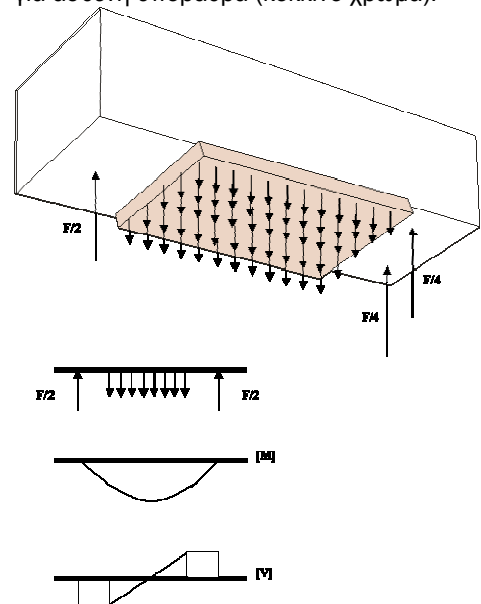
Για την δοκιμή σταυρωτής διπλέτας (ASTM C952-02), δυο υπόβαθρα, που σε κάτοψη σχηματίζουν σταυρό, συνδέονται με έναν αρμό κονιάματος (Εικόνα 49). Η ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στην διεπιφάνεια κονιάματος/λιθοσώματος υλοποιείται με την εφαρμογή θλίψης μέσω μεταλλικών ράβδων (Εικόνα 50) Κατά την δοκιμή, η κατανομή των τάσεων στον αρμό είναι ανομοιόμορφη και, ταυτοχρόνως, αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις [(Van der Pluijm 2003), παράθεση (Gregoin et al. 2004), (Εικόνα 51)]. Επιπλέον, σε περιπτώσεις ασθενών λιθοσωμάτων, όπως για παράδειγμα είναι οι σπτόπλινθοι, η αστοχία (που είναι καμπτικο-διατμητική) εμφανίζεται στα υπόβαθρα (Εικόνα 50).



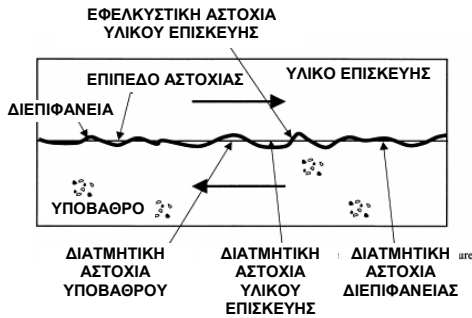
Εικόνα 49. Πειραματική διάταξη δοκιμής Cross Couplet κατά ASTM C952-02 (Gregoin et al. 2004).



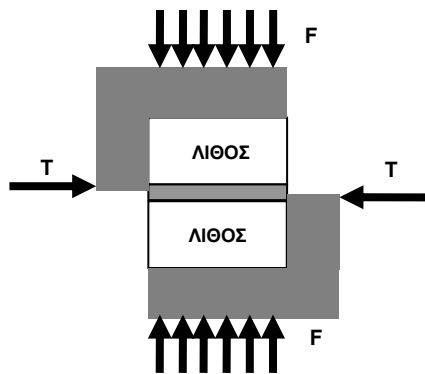
Εικόνα 50. Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο της Εικόνας 49 (Almeida et al. 2002). Αστοχία δοκιμίων για ασθενή υπόβαθρα (κόκκινο χρώμα).



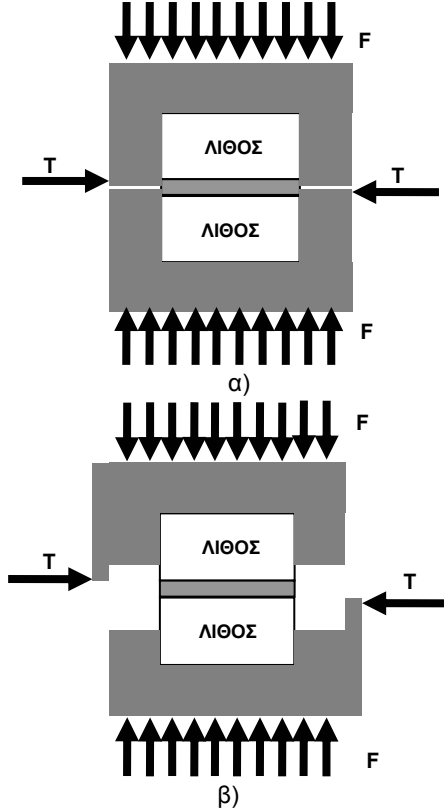
Εικόνα 51. Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων κατά μήκος του αρμού κονιάματος.



Εικόνα 52. Σύνθετο δοκίμιο υποβαλλόμενο σε διάτμηση: σχηματική απεικόνιση μορφών αστοχίας (Austin et al 1999).



Εικόνα 53. Σχηματική απεικόνιση δοκιμής άμεσης διάτμησης (Van der Pluijm 1993).



Εικόνα 54. Σχηματική απεικόνιση δοκιμής άμεσης διάτμησης με συσκευή τύπου shear-box: δοκίμιο α) πλήρως και β) μερικώς εγκιβωτισμένο στην σκάφη.

## 2.9.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

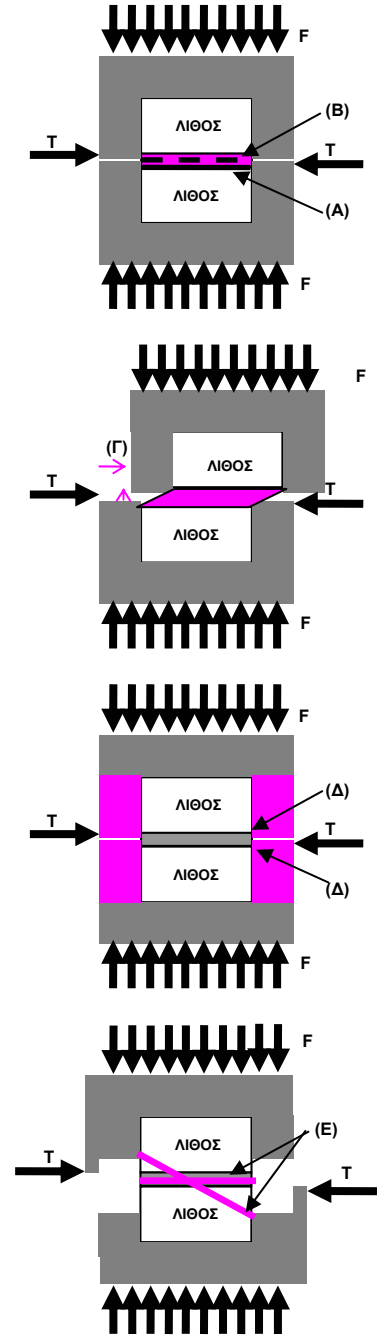
Σε επίπεδο υλικού, για ψαθυρά υλικά όπως είναι τα τσιμεντιτικά, η θλιπτική αντοχή είναι σαφώς μεγαλύτερη από την εφελκυστική. Έτσι, σε ένα πεδίο διατμητικών τάσεων, η αστοχία σε επίπεδο υλικού είναι πιθανόν να ελέγχεται από την εφελκυστική αστοχία του υλικού (με την εμφάνιση απλής ρηγματώσης) και όχι από την διατμητική ολίσθηση στο επίπεδο της διάτμησης (Austin et al. 1999). Σε μια τέτοια περίπτωση, το φορτίο αστοχίας αποτελεί ένδειξη της εφελκυστικής αντοχής και όχι της διατμητικής αντοχής του υλικού. Κατά αντιστοιχία, σε ένα πεδίο καθαρής διάτμησης, η αστοχία ενός σύνθετου δοκιμίου εξαρτάται τόσο από την σχετική αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη των συνιστώντων υλικών, όσο και από την αντοχή συνάφειας της διεπιφάνειας τους, με την αστοχία να εμφανίζεται είτε σε ένα από τα δυο συνιστώντα υλικά είτε στην διεπιφάνεια. Επομένως, προκειμένου να αξιολογηθεί η διατμητική αστοχία της διεπιφάνειας οφειλόμενη σε ολίσθηση χρειάζεται προσεκτική εξέταση της διεπιφάνειας (Εικόνα 52).

Σχετικά με τις διατιθέμενες δοκιμές εκτίμησης της διατμητικής αντοχής συνάφειας διεπιφανειών (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου) και αναλόγως με τον τρόπο επιβολής του φορτίου στην διεπιφάνεια (άμεσα ή έμμεσα), διακρίνονται δυο κατηγορίες δοκιμών: οι δοκιμές άμεσης και έμμεσης διάτμησης.

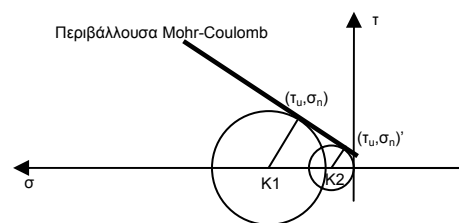
### 2.9.2.1 Δοκιμές Άμεσης Διάτμησης

Σε αυτήν την κατηγορία δοκιμών, τα επίπεδα διάτμησης συμπίπτουν με τις διεπιφάνειες των επιμέρους υλικών (Delatte et al. 2000). Πιο συγκεκριμένα, το διατμητικό φορτίο ( $T$ ) επιβάλλεται στο μέσο του αρμού (με μικρός πάχος) των σύνθετων δοκιμίων μέσω ειδικής διάταξης (αρπάγες μορφής L [Εικόνα 53: (Van der Pluijm 1993) παράθεση (Danish Building Research Institute 1999)]. Εναλλακτικώς, χρησιμοποιείται συσκευή διάτμησης τύπου διατμητικού κιβωτίου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 54, σύνθετο δοκίμιο (πρισματικής ή μη μορφής [για πρδ. (Toumbakari 2002), (Ray et al. 2004)] τοποθετείται μεταξύ δύο αρπαγών ή μεταλλικών δακτυλίων. Προαιρετικώς, προ της επιβολής της διατμητικής ολίσθησης, εφαρμόζεται κατακόρυφο θλιπτικό φορτίο ( $F$ ) και το δοκίμιο υφίσταται μοναξονική θλίψη, ενώ ταυτοχρόνως ενδέχεται να παρεμποδίζεται η πλευρική παραμόρφωση στο εγκιβωτισμένο (εντός των δακτυλίων) τμήμα του σύνθετου δοκιμίου, εξαιτίας του ότι οι δακτύλιοι είναι ανένδοτοι στην οριζόντια δι-

εύθυνση (Εικόνα 54α, 54β). Στην συνέχεια, επιβάλλεται σχετική μετακίνηση των τμημάτων του σύνθετου δοκιμίου, με την εφαρμογή είτε βαθμιαίως αυξανόμενης οριζόντιας δύναμης (T) είτε ολίσθησης με σταθερό ρυθμό, που προκαλεί διάτμηση του δοκιμίου κατά μήκος του οριζόντιου επιπέδου που διέρχεται από την διεπιφάνεια των δύο υλικών (A) ή το μέσον αρμού του σύνθετου δοκιμίου (B) [Εικόνα 55: (A), (B)]. Όπως είναι φυσικό, με την ολίσθηση της διεπιφάνειας το δοκίμιο διογκώνεται εγκάρσιως [για πρδ. (Van der Pluijm 2000), Εικόνα 55 (Γ)]. Οι συνοριακές συνθήκες επιβολής της οριζόντιας δύναμης ή της ολίσθησης είναι σχετικώς πολύπλοκες και, συνεπώς, η εντατική κατάσταση που αναπτύσσεται στο δοκίμιο είναι ανομοιομορφη (Καββαδάς 1996). Μολονότι η ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων (και συνεπώς η εφελκυστική αστοχία των δοκιμίων στο δοκίμιο) αποτρέπεται λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας των δακτυλίων (Rao et al. 2004), δεν αποφεύγεται η συγκέντρωση τάσεων στα σημεία που εφαρμόζουν οι σκάφες με το σύνθετο δοκίμιο [Εικόνα 55: (Δ)]. Για αυτούς τους λόγους, η λαμβανομένη καμπύλη της διατμητικής τάσης ως προς τη σχετική ολίσθηση δεν είναι εύκολα ερμηνεύσιμη, επιπροσθέτως και λόγω της μορφής του σύνθετου δοκιμίου (για πρδ. για τον προσδιορισμό του μέτρου διάτμησης G της διεπιφάνειας). Επί πλέον, κατά τη διάτμηση είναι γνωστές μόνον οι ολικές τάσεις που αναπτύσσονται στο οριζόντιο επίπεδο (επίπεδο αστοχίας): η ορθή τάση ( $\sigma_0$ ) που είναι ίση με το κατακόρυφο φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας του δοκιμίου (F/A) και η διατμητική τάση ( $\tau$ ) που είναι ίση με το φορτίο αντίστασης οριζόντια ανά μονάδα επιφάνειας του δοκιμίου (T/A). Καθώς είναι γνωστές οι τάσεις μόνο σε ένα επίπεδο, η δοκιμή της απευθείας διάτμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον κατασκευή περιβάλλουσας αστοχίας (για πρδ. τύπου Mohr-Coulomb): πράγματι, αν εκτελεστούν μερικές δοκιμές απευθείας διάτμησης σε όμοια δοκίμια, τα οποία όμως έχουν προφορτισθεί σε διαφορετικές κατακόρυφες ορθές τάσεις ( $\sigma_n$ ), τα "σημεία αστοχίας" ( $\sigma_n, \tau_u$ ) ορίζουν την περιβάλλουσα αστοχίας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί, ότι στην περίπτωση που ολόκληρο το δοκίμιο είναι εγκιβωτισμένο στους δυο δακτυλίους (Εικόνα 56), το επίπεδο αστοχίας (A ή B) είναι προκαθορισμένο (και συμπίπτει με τον άξονα επιβολής του διατμητικού φορτίου ή της ολίσθησης). Αντιθέτως, στην περίπτωση που το δοκίμιο εγκιβωτίζεται μερικώς εντός του δακτυλίου, το επίπεδο αστοχίας κατά τη δοκιμή δεν προκύπτει πάντοτε οριζόντιο [Εικόνα 55:(E)]. Σε αυτήν την περίπτωση, η διατμητική τάση στο οριζόντιο επίπεδο κατά την αστοχία είναι διαφορετική από εκείνη στο (κεκλιμένο) επίπεδο αστοχίας.

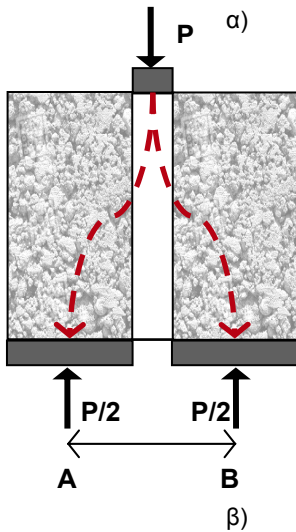
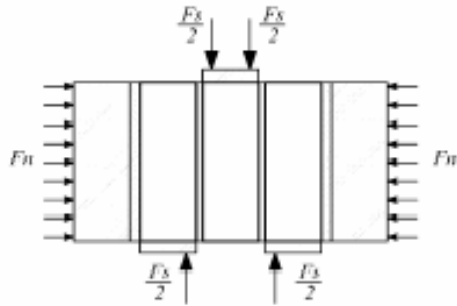


Εικόνα 55. (A), (B) Επίπεδα διάτμησης, (Γ) Παραμορφώσεις αρμού, (Δ) Περιοχές συγκέντρωσης τάσεων, (Ε) Επίπεδα αστοχίας.

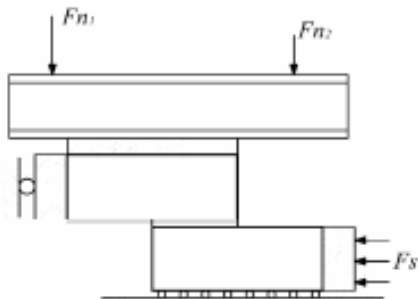


Εικόνα 56. Κύκλοι Mohr, Περιβάλλουσα Mohr-Coulomb.





Εικόνα 57. Σχηματική απεικόνιση δοκιμών α) τριπλέτας (Lourenco et al. 2004) και β) διπλέτας.



Εικόνα 58. Βελτιωμένη διάταξη διπλέτας (Lourenco et al. 2004).

### 2.9.2.2 Δοκιμές Έμμεσης Διάτμησης

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται οι μέθοδοι της «τριπλέτας», «διπλέτας» και η δοκιμή Iosipescu. Η δοκιμή Iosipescu χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής μονολιθικών δοκιμών και βρέθηκε να χρησιμοποιείται μόνον σε σύνθετα δοκίμια με αρμό από πολυμερή υλικά, για αυτό και δεν περιγράφεται εδώ.

Στις δοκιμές «τριπλέτας» και «διπλέτας», σύνθετα δοκίμια αποτελούμενα από 4 και 2 διεπιφάνειες αντιστοίχως, υποβάλλονται σε φόρτιση που απεικονίζεται στην Εικόνα 57. Από την ροή των τάσεων, προκύπτει ότι ταυτοχρόνως με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων, στις διεπιφάνειες αναπτύσσονται πρόσθετες φορτίσεις (ροπές) (βλ. Εικόνα 57β). Το μέγεθος των ροπών αυξάνεται με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των σημείων επιβολής των φορτίων (απόσταση AB). Από αυτήν την άποψη μειονεκτεί η δοκιμή της «τριπλέτας» έναντι εκείνης της «διπλέτας». Όπως είναι φυσικό, οι πρόσθετες ροπές οδηγούν σε διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων και, συνεπώς, δεν μπορούν να αμεληθούν. Για την άρση του μειονεκτήματος των παρασιτικών ροπών, χρησιμοποιείται η βελτιωμένη διάταξη της Εικόνας 58 για την μέτρηση της διατμητικής αντοχής συνάφειας των σύνθετων δοκιμών. Τέλος, στα μειονεκτήματα των δοκιμών τριπλέτας και διπλέτας, συγκαταλέγεται η συγκέντρωση τάσεων στις θέσεις εφαρμογής των φορτίων, καθώς και η παρουσία εφελκυστικών τάσεων διάρρηξης (καθέτως στην διεπιφάνεια των σύνθετων δοκιμών), που ωστόσο είναι μικρές σε σχέση με την μετρούμενη αντοχή συνάφειας (Chung et al. 1997).

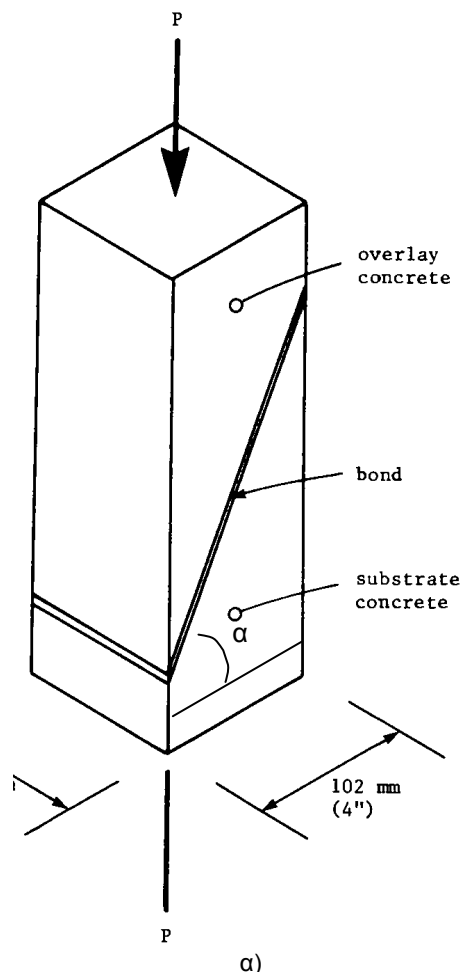
### 2.9.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΛΟΞΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Οι δοκιμές λοξής θλίψης διαφοροποιούνται σε σχέση με τις δοκιμές διάτμησης παρουσία θλιπτικού φορτίου, καθώς στις τελευταίες η επιβαλλόμενη στην διεπιφάνεια ορθή θλιπτική τάση είναι ελεγχόμενη και διατηρείται σταθερή καθ'όλη την διάρκεια των δοκιμών. Αντιθέτως, στις δοκιμές λοξής θλίψης σύνθετο δοκίμιο κυλινδρικής (Kreigh 1976) ή πρισματικής μορφής [(Tabor 1978) παράθεση (Austin et al. 1999)] αποτελούμενο από δυο ίδιες μορφής τμήματα που σχηματίζουν διαγώνιο επίπεδο διεπιφάνειας ως προς την οριζόντιο με γωνία  $\alpha$  ίση με 60 μοίρες (Εικόνα 59α), υποβάλλεται σε θλίψη. Τα σύνθετα δοκίμια (όπως και τα μονολιθικά που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής σκυροδεμάτων) έχουν λόγο διαμέτρου ή πλευράς προς ύψος ίσο με 1:3, έτσι ώστε να μειώνεται η επίδραση της περισφι-

γξης στα άκρα του δοκιμίου λόγω των πλακών επιβολής του φορτίου. Με την εφαρμογή του θλιπτικού φορτίου, στην διεπιφάνεια αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις που είναι συζευγμένες με τις θλιπτικές ορθές τάσεις. Είναι σαφές ότι με την αύξηση του φορτίου (και συνεπώς των ορθών θλιπτικών τάσεων που δρουν στην διεπιφάνεια), αυξάνεται η αντοχή σε διάτμηση της διεπιφάνειας που οφείλεται στην τριβή. Λόγω της προκαθορισμένης τιμής για την γωνία  $\alpha$  από τα διεθνή πρότυπα, αποκλείεται η δυνατότητα αστοχίας του σύνθετου δοκιμίου πέραν της διεπιφάνειας δοκιμίου (σε ένα επίπεδο στο οποίο ενδεχομένως θα αναπτύσσεται ένας πιο κρίσιμος συνδυασμός ορθής θλιπτικής και διατμητικής τάσης). Σχετικά με τις εκκεντρότητες των φορτίων, έχει αποδειχθεί [πειραματικώς (Wall et al. 1988) και αναλυτικώς (Bentur 1988)] ότι μικρές αποκλίσεις στην ευθυγραμμία των επιμέρους τμημάτων του δοκιμίου δεν οδηγούν σε μεγάλη διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Τέλος, η μέθοδος της λοξής θλίψης αν και χρησιμοποιείται από διεθνή πρότυπα (για παράδειγμα ASTM C 882) για την εκτίμηση της συνάφειας μεταξύ οργανικών κονιών (ρητίνες) και υποβάθρων από σκυρόδεμα, ωστόσο δεν φαίνεται να υπάρχει σύμπτωση απόψεων μεταξύ των ερευνητών για την καταλληλότητά της στην περίπτωση των ανόργανων κονιών (Abu et al. 1996), (Li 1997, 1999). Από την άλλη, άλλοι ερευνητές τονίζουν την αναγκαιότητα της χρήσης υλικών με παραπλήσιο μέτρο ελαστικότητας (Bentur 1988) με στόχο την αποφυγή της μείωσης της μετρούμενης αντοχής συνάφειας (Austin et al. 1999) λόγω της συγκέντρωσης τάσεων στα άκρα της διεπιφάνειας.

#### 2.9.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΙΞΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Από την μελέτη των διατιθέμενων εργασιών προκύπτει ότι για τις διεπιφάνειες σκυροδεμάτων εφαρμόζονται, κυρίως, οι δοκιμές εξόλκευσης ήλου (για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής συνάφειας της διεπιφάνειας) και λοξής θλίψης (για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής συνάφειας για υψηλές στάθμες της ορθής θλιπτικής τάσης). Για τις διεπιφάνειες τοιχοποιιών, και με δεδομένο ότι, οι κύριες εντάσεις στις οποίες υποβάλλονται οι τοιχοποιίες είναι η διάτμηση εντός του επιπέδου τους υπό ταυτόχρονη κατακόρυφη θλίψη (σχετικώς μικρού μεγέθους) και η κάμψη εκτός του επιπέδου τους, το ενδιαφέρον των ερευνητών εντοπίζεται στον προσδιορισμό μόνον της



β)  
Εικόνα 59. α) Σχηματική απεικόνιση δοκιμής λοξής θλίψης (Wall et al 1988) σε β) σύνθετο δοκίμιο σκυροδέματος (Momayez et al 2004).

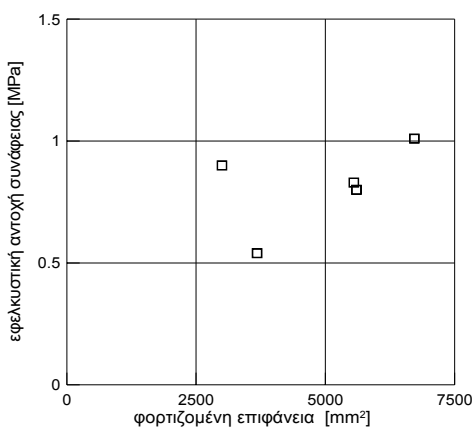
εφελκυστικής και διατμητικής αντοχής διεπιφάνειας (με ή χωρίς την παρουσία μικρού θλιπτικού φορτίου). Στα επόμενα περιγράφεται ανά τύπο διεπιφάνειας, η ευαισθησία της κάθε μεθόδου μέτρησης στις παραμέτρους που εξετάζονται κατά περίπτωση.

#### *Διεπιφάνειες μεταξύ σκυροδεμάτων*

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών σε σύνθετα δοκίμια παλιού με νέο σκυρόδεμα (Παράρτημα Α: Μέρος II-1) προκύπτουν τα ακόλουθα σχόλια για το μέγεθος της διασποράς των μετρούμενων τιμών της αντοχής διεπιφανειών σκυροδέματος (με ή χωρίς αρμό κονιάματος, με ή χωρίς επάλειψη με τσιμεντένεμα) και την ευαισθησία των μεθόδων εκτίμησής της στις διάφορες παραμέτρους. Έτσι,

(1) Στατιστικά Στοιχεία: Για την μέτρηση της αντοχής διεπιφάνειας μεταξύ νέου και παλιού σκυροδέματος χρησιμοποιούνται συχνότερα οι δοκιμές εφελκυσμού και λοξής θλίψης. Αναφορικά με τον συντελεστή μεταβλητότητας (cv-%) στις μετρούμενες τιμές αντοχής, προκύπτει να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους [περίπου ίσος με 10%, (Momayez et al. 2005)], ανεξαρτήτως της μεθόδου μέτρησης. Μεγαλύτερη διασπορά των αποτελεσμάτων παρατηρείται στις δοκιμές λοξής θλίψης [cv ~15% (Abou-Tair et al. 1996)]. Καθώς, οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας για διεπιφάνειες σκυροδεμάτων είναι αντίστοιχες με εκείνες για μονολιθικά δοκίμια σκυροδέματος, η διαπιστούμενη διασπορά στις τιμές της αντοχής διεπιφάνειας μεταξύ νέου και παλιού σκυροδέματος δεν μπορεί παρά να αποδοθεί σε διασπορά που οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μέθοδο μέτρησης και δευτερευόντως στα συνιστώσα υλικά.

(2) Διαστάσεις της Διεπιφάνειας: Οι διαστάσεις των δοκιμών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της αντοχής διεπιφάνειας έχουν μέγεθος μερικών δεκάδων εκατοστών (διάμετρος από 50÷100mm, πλάτος ή μήκος από 40÷200mm). Κατά τους (Appa Rao et al. 2002), για τραχείες επιφάνειες διάστρωσης, αύξηση των διαστάσεων της φορτιζομένης διεπιφάνειας δεν επιφέρει σημαντική τροποποίηση του μεγέθους της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας (Εικόνα 60). Αντιστοίχως, για την διατμητική αντοχή συνάφειας, η αύξηση της διατεμνόμενης επιφάνειας κατά 77% (από 150×150mm<sup>2</sup> σε 200×200 mm<sup>2</sup>), οδηγεί σε μείωση της τιμής συνάφειας κατά 15% (Momayez et al. 2004).



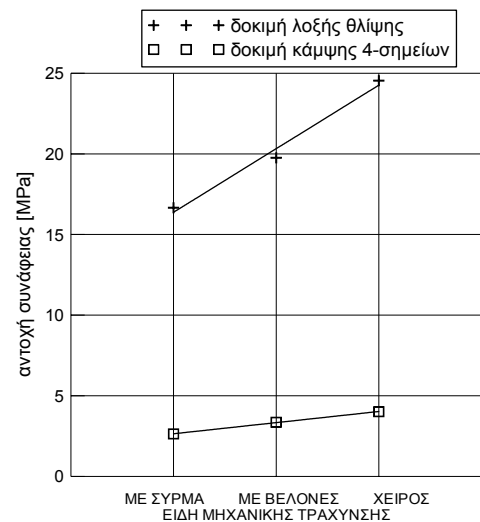
**Εικόνα 60.** Επιρροή της φορτιζομένης επιφάνειας στην εφελκυστική αντοχή συνάφειας [βάσει των (Appa Rao et al. 2002)].



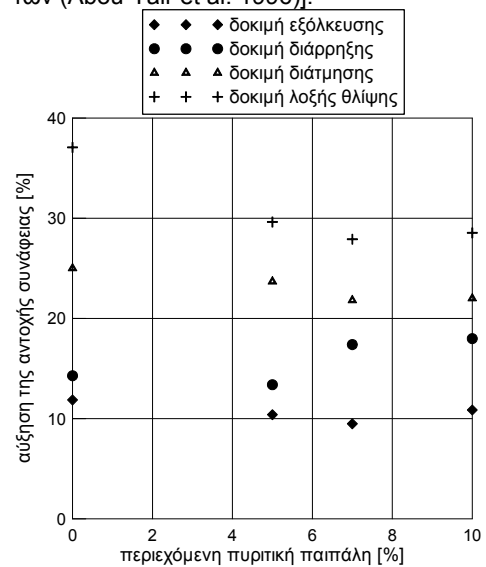
(3) Τραχύτητα: Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, συνήθως, οι υψηλότερες τιμές συνάφειας αναπτύσσονται για τραχείες επιφάνειες (με την επίδραση να περιορίζεται κυρίως για μετάβαση από χαμηλή σε μέση τραχύτητα). Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί ότι, η εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας είναι αρκετά ευαίσθητη σε περιπτώσεις μεγάλης τραχύτητας: σε δοκιμές απευθείας εφελκυσμού (Austin 1995) και διάρρηξης (Xiong 2002), έχει παρατηρηθεί μείωση των τιμών της αντοχής διεπιφάνειας για εκτεταμένη τράχυνση της επιφάνειας διάστρωσης. Αυτό αποδίδεται από τους ερευνητές σε δυο δράσεις: (α) στην μείωση του επιφάνειας της ενεργού διεπιφάνειας μεταξύ των δύο υλικών (υπάρχοντος και επισκευής) και (β) στην συγκέντρωση τάσεων στις κορυφές των τραχυμένων επιφανειών (επιφέροντας επιτάχυνση της μικρορηγματώσης κατά μήκος της διεπιφάνειας).

Για τις συνήθεις περιπτώσεις τραχύτητας, όλες οι μέθοδοι μέτρησης αναδεικνύουν την θετική επίδραση της εν λόγω παραμέτρου στην αντοχή της διεπιφάνειας [βλ. για πρδ. (Abou-Tair et al. 1996), (Austin et al. 1999), (Momayez et al. 2005), (Santos et al. 2007)]. Πράγματι, όπως φαίνεται για παράδειγμα στην Εικόνα 61, η αύξηση στην αντοχή της διεπιφάνειας έναντι κάμψης ή λοξής θλίψης που επιτυγχάνεται με διάφορα είδη τραχύτητας προσεγγίζει το 50%. Κατά τους (Momayez et al. 2005), για τα τσιμεντιπικά υλικά, η ευαισθησία των δοκιμών διάτμησης και λοξής θλίψης σε αυτήν την παράμετρο είναι μεγαλύτερη από εκείνη των δοκιμών εφελκυσμού (Εικόνα 62), παρατήρηση που επιβεβαιώνεται από την μεταγενέστερη μελέτη των (Santos et al. 2007). Αυτό αποδίδεται στο ότι, στην περίπτωση των δοκιμών διάτμησης και λοξής θλίψης, η επίδραση της τραχύτητας δεν περιορίζεται μόνον στην αύξηση της ενεργού επιφάνειας της διεπιφάνειας, αλλά και στην πρόσθετη συνεισφορά της μηχανικής αλληλεμπλοκής αυτών των «επιφανειακών ανωμαλιών», γνωστή και ως τριβή.

Ωστόσο, εν αντιθέσει με τις δοκιμές άμεσου ή έμμεσου εφελκυσμού και διάτμησης, όπου η αστοχία συνήθως παρατηρείται στην διεπιφάνεια νέου και παλιού σκυροδέματος [για πρδ. (Abou-Tair et al. 1996), (Momayez et al. 2005)], στις δοκιμές λοξής θλίψης, αστοχία της διεπιφάνειας παρατηρείται μόνον στην περίπτωση που η επιφάνεια διάστρωσης (πάνω στην οποία διαστρώνεται το νέο σκυρόδεμα) είναι σχετικώς



**Εικόνα 61.** Επιρροή των διαφόρων τύπων της τραχύτητας στην αντοχή συνάφειας αναλόγως της μεθόδου μέτρησης [βάσει των (Abou-Tair et al. 1996)].



**Εικόνα 62.** Επιρροή της αύξησης της τραχύτητας από χαμηλή σε μέση στην αντοχή συνάφειας αναλόγως της μεθόδου μέτρησης [βάσει των (Momayez et al. 2005)].

λεία (Austin et al. 1999). Για μεγαλύτερη τραχύτητα της διεπιφάνειας, η αστοχία μετατίθεται και διαφοροποιείται από ολίσθηση στην διεπιφάνεια σε θλιπτική αστοχία του δοκιμίου (για πολύ υψηλές τιμές της «συνάφειας»). Με άλλα λόγια, στις περιπτώσεις μεγάλης τραχύτητας δεν εκτιμάται η όποια αντοχή διεπιφάνειας, αλλά η θλιπτική αντοχή των σύνθετων δοκιμίων ή των συνιστώντων υλικών. Έτσι, άλλωστε δικαιολογούνται οι πολύ υψηλές τιμές στις περιπτώσεις μεγάλης τράχυνσης για αυτόν τον τύπο δοκιμών.

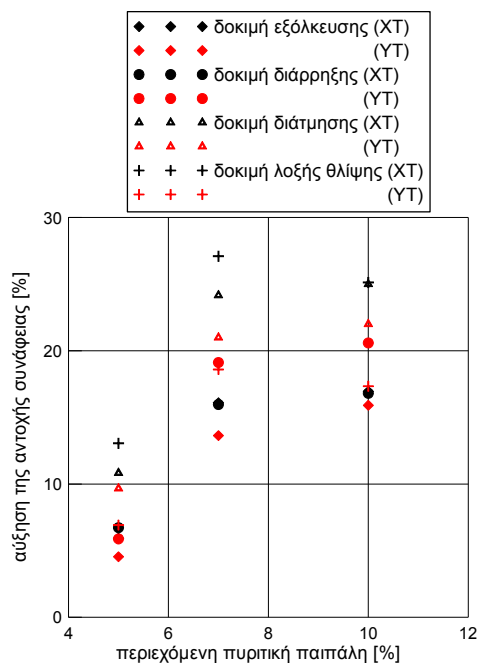
(4) Υλικό Επισκευής: Κατά τους (Abou-Tair et al. 1996), η δοκιμή κάμψης, σε αντίθεση με την δοκιμή λοξής θλίψης, αναδεικνύει περισσότερο την επίδραση των συνιστώντων υλικών στην αντοχή της διεπιφάνειας παρά των διαφορετικών ειδών τράχυνσης.

(5) Προσθήκη ποζολανικών υλικών: Με την προσθήκη λεπτόκοκκων υλικών (όπως για πρδ. η πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα κα.) σε κατάλληλο ποσοστό στο νέο σκυροδέμα (ή στο συνδετικό κονίαμα που προηγείται της διάστρωσης του νέου σκυροδέματος) αυξάνεται η συνάφεια μεταξύ νέου και παλιού σκυροδέματος (Xiong et al. 2002), (Li 2003), (Momayez et al. 2005). Σημειώνεται ότι για την ίδια τραχύτητα, η βελτίωση της αντοχής της διεπιφάνειας λόγω της προσθήκης πυριτικής παιπάλης είναι μεγαλύτερη για τις δοκιμές που προκαλούν διατμητικές τάσεις (για πρδ. δοκιμές διάτμησης, λοξής θλίψης) παρά για εκείνες που εισάγουν εφελκυστικό πεδίο τάσεων στην διεπιφάνεια (για πρδ. δοκιμές αποκόλλησης, διάρρηξης) [(Momayez et al. 2005), Εικόνα 63].

Επομένως, όπως και στην περίπτωση της τραχύτητας, έτσι και εδώ αποδεικνύεται ότι η προσθήκη πυριτικής παιπάλης είναι πιο αποτελεσματική στις περιπτώσεις διατμητικών πεδίων. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 63, η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη στις περιπτώσεις χαμηλής τραχύτητας.

(6) Λόγος w/c: Η επίδραση της αύξησης του λόγου νερού προς συνδετική κονία του υλικού επισκευής, είναι μάλλον αρνητική για την αντοχή διεπιφάνειας. Επί πλέον, γίνεται πιο αισθητή στις δοκιμές διάτμησης από ότι στις δοκιμές αποκόλλησης (Delatte et al. 2000).

(7) Προϋγρανση υποβάθρου: Σε αντίθεση με τις δοκιμές λοξής θλίψης, οι δοκιμές άμεσου εφελκυσμού (για πρδ. δοκιμή διάρρηξης, αποκόλλησης) παρουσιάζουν ευαισθησία στις



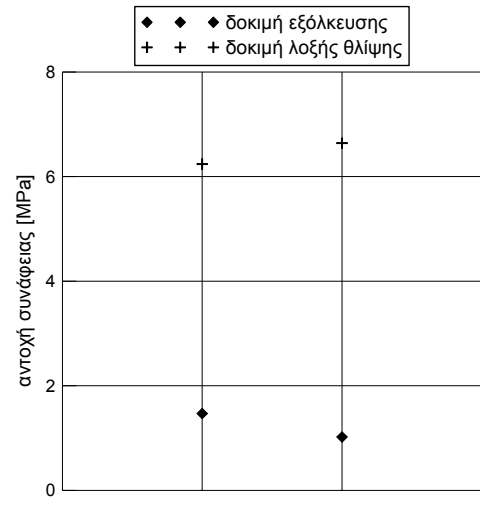
**Εικόνα 63.** Επιρροή της προσθήκης πυριτικής παιπάλης στην αντοχή συνάφειας για περιπτώσεις χαμηλής (ΧΤ) και υψηλής (ΥΤ) τραχύτητας [βάσει των (Momayez et al. 2005)].

μεταβολές των συνθηκών υγρασίας του υποβάθρου κατά την διάστρωση του νέου σκυροδέματος (Geissert et al. 1999), [(Julio et al. 2005), Εικόνα 64].

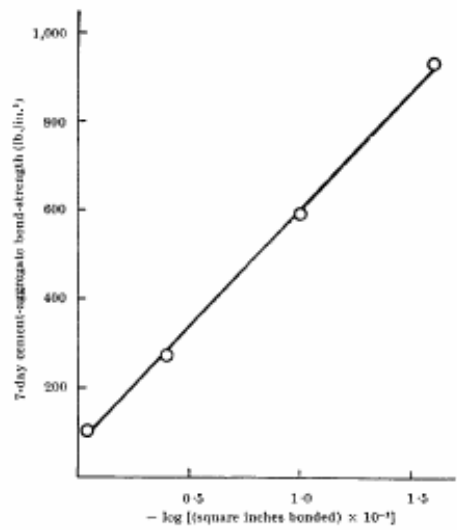
*Διεπιφάνειες δομικών λίθων (λιθοσώματα ή πλίνθοι) και κονιαμάτων/σκυροδεμάτων*

Αν και το πλήθος των εργασιών που αφορούν την ευαισθησία των μεθόδων εκτίμησης της αντοχής της διεπιφάνειας στην μεταβολή των εξεταζομένων παραμέτρων είναι αρκετά περιορισμένο, παρόμοια είναι τα ευρήματα για τις διεπιφάνειες αδρανών και τσιμεντοπολτού ή κονιαμάτων και των δοκιμών σε διεπιφάνειες πλίνθων και κονιαμάτων ή ενεμάτων (Παράρτημα 1: Μέρος II-2). Έτσι, για τις εν λόγω διεπιφάνειες προκύπτουν τα ακόλουθα:

- (1) Στατιστικά Στοιχεία: Γενικώς, οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας (cv-%) είναι μεγαλύτερες στις περιπτώσεις διεπιφανειών πλίνθων/κονιαμάτων σε σχέση με εκείνες διεπιφανειών σκυροδεμάτων. Πράγματι, σε δοκιμές τριπλέτας ο συντελεστής μεταβλητότητας κυμαίνεται από 20% έως 35% (Sarangarani et al. 2005) και σε δοκιμές καμπτικής ροπής από: 6% έως 20% (Shrive et al. 2004), 15% έως 35% (Bosiljkov et al. 2004), ενώ έχουν παρατηρηθεί (Venu Madhava Rao et al. 1996), (Gregoire et al. 2004) και υψηλότερες τιμές (έως 60%). Η μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων αποδίδεται, πέραν της εγγενούς στην μέθοδο μέτρησης διασπορά, στην μεγάλη διασπορά των ιδιοτήτων αυτού του τύπου των υποβάθρων (Sarangarani et al. 2005) και δευτερευόντως σε αντιδράσεις που πιθανώς να συμβαίνουν μεταξύ των κονιαμάτων και των υποβάθρων (Wijffels et al. 2004).
- (2) Διαστάσεις της Διεπιφάνειας: Τα αποτελέσματα των (Alexander et al. 1960) δείχνουν μείωση της καμπτικής αντοχής διεπιφάνειας με την αύξηση της επιφάνειας φόρτισης (Εικόνα 65). Πρέπει δε να αναφερθεί ότι, όπως στην περίπτωση των διεπιφανειών νέου και παλιού σκυροδέματος, αύξηση κατά 100% της διαμέτρου (Aquino et al. 1995) ή κατά 25% του πλάτους (Bei et al. 2004) της διατεμνόμενης διεπιφάνειας αδρανών και πλίνθων αντιστοίχως, δεν έχει σημαντική επίδραση στην τιμή της διατμητικής αντοχής συνάφειας.
- (3) Τραχύτητα: Οι διαθέσιμες εργασίες, που εξετάζουν την ευαισθησία των μεθόδων μέτρησης της αντοχής διεπιφάνειας στην τραχύτητα είναι εξαιρετικά ελάχιστες για διεπιφάνειες



Εικόνα 64. Επιρροή των αρχικών συνθηκών υγρασίας στην αντοχή συνάφειας [βάσει των (Julio et al. 2005)].



Εικόνα 65. Επιρροή της φορτιζομένης επιφάνειας στην καμπτική αντοχή διεπιφάνειας (Alexander et al. 1960).

πλίνθων. Εντούτοις, όπως και στην περίπτωση των διεπιφανειών από σκυρόδεμα, έτσι και στις διεπιφάνειες πλίνθων/κονιαμάτων η επιρροή της τραχύτητας στην συνάφεια είναι πιο σημαντική για τις δοκιμές διάτμησης από ότι για τις δοκιμές κάμψης. Όπως προκύπτει από την εργασία των (Sarangapani et al. 2005), αύξηση της τραχύτητας (μέσω της διαμόρφωσης αβαθών σκαφών μορφής ρόμβου) οδηγεί σε αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής διεπιφάνειας κατά 75% και 140%, αντιστοίχως.

- (4) Συνιστώντα υλικά: Βάσει των (Gregoire et al. 2004), για μετάβαση από μέση σε μεγάλη τραχύτητα, οι διαφορές στα υδροσκοπικά και μηχανικά χαρακτηριστικά οπτόπλινθων αναδεικνύονται σε μεγαλύτερο βαθμό μέσω δοκιμών εφελκυσμού παρά μέσω δοκιμών διατμήσεως. Αντίστοιχη είναι η εικόνα για τις διεπιφάνειες ενεμάτων/υποβάθρων. Πράγματι, από τις δοκιμές της (Miltiadiou 1990), εν γένει, οι διαφορές ανάμεσα στα υπόβαθρα, και γενικότερα στα συνιστώντα υλικά, προβάλλονται περισσότερο μέσω της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας από ότι μέσω της συνάφειας που προκύπτει από δοκιμές λοξής θλίψης. Αντιθέτως, σύμφωνα με την (Toumbakari 2002), οι διαφορές στους τύπους των ενεμάτων τονίζονται, κυρίως, μέσω των δοκιμών διατμήσεως.
- (5) Προσθήκη λεπτόκοκκων υλικών: Βάσει των εργασιών των (Miltiadiou 1990) και (Toumbakari 2002), η επίδραση της αντικατάστασης μέρους του τσιμέντου, που περιέχεται στην συνδετική κονία ενεμάτων, από πυριτική παιπάλη (σε κατάλληλο ποσοστό) αναδεικνύεται σε μεγαλύτερο βαθμό μέσω των δοκιμών λοξής διάτμησης και άμεσης διάτμησης, αντιστοίχως, από ότι μέσω δοκιμών εφελκυσμού. Αυτή η παρατήρηση δεν φαίνεται να επαληθεύεται για τις διεπιφάνειες αδρανών και τσιμεντοπολτού (στον οποίο μέρος του τσιμέντου έχει αντικατασταθεί από πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα ή φυσική ποζολάνη) των (Paulon et al. 2004).
- (6) Συστολή ξήρανσης: Η επίδραση της μείωσης της συστολής ξηράνσεως, μέσω της προσθήκης ινών άνθρακα σε κατάλληλο ποσοστό, επιδρά θετικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια (Zhu et al. 1997). Επί προσθέτως, η βελτίωση αυτή είναι περισσότερο αισθητή σε δοκιμές εφελκυσμού από ότι στις δοκιμές διάτμησης [βάσει (Zhu et al. 1997)]. Πράγματι, καθώς η εφελκυστική αντοχή, ως ιδιότητα, είναι πιο ευαίσθητη στην

μικρορηγμάτωση, η μείωση της ενεργούς επιφάνειας της διατομής λόγω συστολής ξήρανσης αναμένεται να είναι καθοριστικής σημασίας για το μέγεθος της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας. Αντιθέτως, στην περίπτωση της διάτμησης, ακόμα και αν εμφανισθούν μικρορηγματώσεις στην διεπιφάνεια, μέρος του φορτίου θα μεταφέρεται μέσω τριβής (βλ. § 2.10.2). Αντίστοιχη αναμένεται να είναι η εικόνα για την επίδραση του συντελεστή ύδατος προς συνδετική κονία.

- (7) Συνθήκες συντήρησης: Σύμφωνα με το σημείο (6) και τα αποτελέσματα της (Toumbakari 2002), προκύπτει ότι οι δοκιμές άμεσου εφελκυσμού παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στις μεταβολές των συνθηκών συντήρησης.

### 2.9.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα ενότητα περιγράφηκαν οι διαθέσιμες μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής διεπιφάνειας μεταξύ διεπιφανειών σκυροδεμάτων και διεπιφανειών υλικών τοιχοποιίας, όπως επίσης και η ευαισθησία αυτών των μεθόδων σε παραμέτρους που επηρεάζουν την αναπτυσσόμενη συνάφεια. Τα κύρια συμπεράσματα της παραπάνω διερεύνησης, εν συντομία, είναι τα παρακάτω:

- (1) Για την μέτρηση της αντοχής διεπιφάνειας υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες δοκιμών: οι δοκιμές εφελκυσμού, διάτμησης (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου) και δοκιμές λοξής θλίψης. Κριτήριο για την επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου μέτρησης της αντοχής των διεπιφανειών, μεταξύ άλλων, είναι η ρεαλιστική προσομοίωση της εντατικής κατάστασης στην οποία θα βρίσκεται η διεπιφάνεια στην κατασκευή. Καθώς στις τοιχοποιίες το επίπεδο των θλιπτικών τάσεων είναι σχετικά μικρό, το παραπάνω κριτήριο μεταφράζεται σε αποφυγή της χρήσης της δοκιμής λοξής θλίψης όταν μελετώνται διεπιφάνειες τοιχοποιίας. Ένας επί πλέον λόγος για την αποφυγή της εν λόγω μεθόδου αποτελεί το ότι στις δοκιμές λοξής θλίψης τα μεγέθη της ορθής τάσης και της διατμητικής τάσης είναι συζευγμένα. Αναφορικά με τα αποτελέσματα των άλλων δυο κατηγοριών δοκιμών,
- (2) συστηματικά, διαπιστώνεται υψηλότερη διασπορά στις τιμές της αντοχής σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας, παρά σε εκείνες σκυροδεμάτων. Η υψηλότερη διασπορά αποδίδεται στην μεγαλύτερη διασπορά στα χαρακτηριστικά των

υποβάθρων, καθώς και στην αλληλεπίδρασή τους με το συνδετικό υλικό (κονίαμα ή ένεμα).

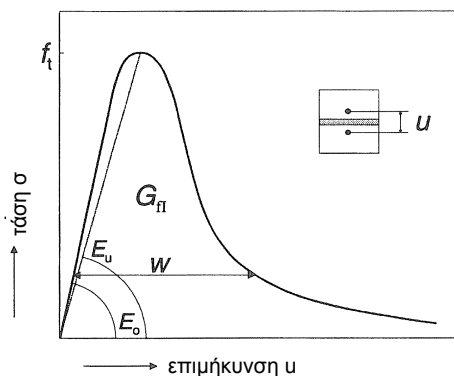
- (3) Σχετικά με την ευαισθησία των μεθόδων, βρέθηκε ότι οι διαστάσεις της υπό εξέταση διεπιφάνειας επιδρούν στο μέγεθος της αναπτυσσόμενης αντοχής διεπιφάνειας. Σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων η επίδραση είναι μεγαλύτερη στην διατμητική αντοχή συνάφειας, ενώ σε διεπιφάνειες τοιχοποιίας η επίδραση φαίνεται να είναι μεγαλύτερη για τις δοκιμές εφελκυσμού.
- (4) Η θετική επίδραση της τραχύτητας στην συνάφεια αναδεικνύεται σε όλες τις κατηγορίες δοκιμών. Ας σημειωθεί ότι, η αύξηση της συνάφειας λόγω αύξησης της τραχύτητας των υποβάθρων αποδίδεται σε αύξηση της ενεργούς επιφάνειας της διεπιφάνειας για τις δοκιμές εφελκυσμού και σε αύξηση της συνεισφοράς της τριβής στις δοκιμές διάτμησης.
- (5) Η αντοχή διεπιφάνειας που εκτιμάται μέσω δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με την διατμητική αντοχή συνάφειας, επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις αρχικές συνθήκες υγρασίας του υποβάθρου, την συστολή ξήρανσης και τις συνθήκες συντήρησης των σύνθετων δοκιμίων.
- (6) Τέλος, αναφορικά με την επιρροή των επιμέρους υλικών, οι δοκιμές εφελκυσμού φαίνεται να αναδεικνύουν περισσότερο τις διαφορές ανάμεσα στα υπόβαθρα, ενώ οι δοκιμές διατμήσεως εκείνες του συνδετικού υλικού.

## **2.10 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ**

Όπως είναι γνωστό, οι κατασκευές από τοιχοποιία είναι ευάλωτες έναντι κάμψεως εκτός και διάτμησης εντός του επιπέδου τους, με την αστοχία να οφείλεται σε υπέρβαση των αντίστοιχων αντοχών των διεπιφανειών των τοιχοποιιών. Έτσι, στην παρούσα παράγραφο της βιβλιογραφικής αναδρομής συνοψίζονται τα βιβλιογραφικά στοιχεία για την απόκριση των διεπιφανειών υποβάθρων/συνδετικών υλικών έναντι των παραπάνω καταπονήσεων. Ας σημειωθεί ότι, προκειμένου να είναι ξεκάθαρη η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων στον εκάστοτε μηχανισμό που επιστρατεύεται για την ανάληψη και την μεταφορά δυνάμεων στην διεπιφάνεια, εδώ παρουσιάζονται και σχολιάζονται μόνον τα αποτελέσματα υπό «καθαρά» πεδία τάσεων [δλδ. για άμεσο εφελκυσμό και για διάτμηση (με ή χωρίς την παρουσία σταθερού θλιπτικού φορτίου)]. Ας επισημανθεί ότι, καθώς οι εργασίες που αφορούν διεπιφάνειες λίθων υποβαλλόμενες σε διάτμηση, είναι ελάχιστες σε πλήθος, κατ' εξαίρεση συνεκτιμώνται τα αποτελέσματα των δοκιμών λοξής θλίψεως των (Taylor et al. 1964), (Miltiadou 1990). Προκειμένου να περιοριστεί το μεγάλο πλήθος των εξεταζομένων παραμέτρων που επηρεάζει την μηχανική συμπεριφορά των διεπιφανειών υποβάθρων/συνδετικών υλικών, στα παρακάτω σχολιάζονται μόνον τα αποτελέσματα των εργασιών για υπόβαθρα που απαντώνται σε συνήθεις ιστορικές κατασκευές του Ελλαδικού χώρου (φυσικοί λίθοι και αργιλικά λιθωσώματα). Έτσι, διερευνάται η επίδραση του τύπου υποβάθρου και των φυσικο-μηχανικών χαρακτηριστικών του (ΑΡΥ, υδαταπορρόφηση, φαινόμενο πορώδες, θλιπτική και καμπτική αντοχή), τα οποία, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα, επιδρούν σε μεγαλύτερο βαθμό στην εφελκυστική από ότι στην διατμητική αντοχή διεπιφάνειας. Σε αυτό το σημείο ας τονισθεί ότι, εδώ δεν μελετάται η επιρροή παραμέτρων για τις οποίες δεν διατίθενται ποσοτικά στοιχεία (για πρδ. τραχύτητα υποβάθρου). Αναφορικά με τα συνδετικά υλικά, αξιολογείται η επίδραση της σύνθεσης (για υλικά που χρησιμοποιούνται παραδοσιακά σε τοιχοποιίες), του λόγου w/s και των μηχανικών τους χαρακτηριστικών. Έτσι, στα επόμενα παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών εκτίμησης της αντοχής διεπιφάνειας για τα δυο είδη καταπονήσεων που είναι κρίσιμες για την τοιχοποιία (δλδ. έναντι άμεσου εφελκυσμού και διάτμησης), καθώς και η επιρροή των

εξεταζομένων παραμέτρων στην απόκριση των αρμών. Βεβαίως, και σε αυτήν την διερεύνηση πρέπει να συνεκτιμηθεί η μεγάλη διασπορά των αποτελεσμάτων οφειλόμενη στα υλικά, στις μεταξύ τους αντιδράσεις και τις πειραματικές διατάξεις. Ας σημειωθεί ότι, η αξιολόγηση των σχετικών αποτελεσμάτων εστιάζεται στις μικρότερες ηλικίες (28 και 60 ημέρες), καθώς για αυτές τις ηλικίες διατίθενται στοιχεία για διεπιφάνειες ενεμάτων [βλ. § 2.7, (Miltiadiou 1990), (Toumbakari 2002)].

### 2.10.1 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ: ΤΥΠΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ-ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ



**Εικόνα 66.** Σχηματική απεικόνιση διαγράμματος επιστρατευομένης εφελκυστικής τάσης διεπιφάνειας συναρτήσεως των επιβαλλομένων παραμορφώσεων  $u$  (Van der Pluijm 1997).

Σε διεπιφάνειες υλικών τοιχοποιίας και κονιαμάτων ή τσιμεντοπολτού υποβαλλόμενες σε άμεσο εφελκυσμό, οι καμπύλες επιστρατευομένης εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας-επιβαλλόμενης παραμόρφωσης παρουσιάζουν την μορφή της Εικόνας 66, υπό την προϋπόθεση μονοτονικής αύξησης των παραμορφώσεων. Μολονότι η απόκριση των διεπιφανειών είναι αντίστοιχη με εκείνη σκυροδεμάτων (όσον αφορά την μη γραμμική συμπεριφορά), το μέγεθος της ενέργειας θραύσης είναι, σχεδόν, μια τάξη μικρότερο (Van der Pluijm 1997). Εξ άλλου, η μετατόπιση για την οποία επιστρατεύεται η εφελκυστική αντοχή διεπιφανειών κονιαμάτων είναι εξαιρετικά μικρή (κυμαίνεται μεταξύ 0.005 και 0.01mm), ενώ μετά την αστοχία ακολουθεί φθιτός κλάδος και η αντοχή διεπιφάνειας μηδενίζεται [(Alexander et al. 1995), (Van der Pluijm 1997), (Almeida et al. 2002)]. Με δεδομένο την απώλεια της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας για χαμηλές τιμές των επιβαλλόμενων μετατοπίσεων, σε συνδυασμό με το εξαιρετικώς μικρό πλήθος των σχετικών μελετών, στην παρούσα παράγραφο σχολιάζονται μόνον τα αποτελέσματα των εργασιών που αφορούν το μέγεθος της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας και την επίδραση των εξεταζομένων παραμέτρων σε αυτό.

Έτσι, στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα δεδομένα και οι τιμές της αντοχής σε διεπιφάνειες μεταξύ πλίνθων ή λίθων και κονιαμάτων ή τσιμεντοπολτού ή ενεμάτων. Πιο συγκεκριμένα, διαπιστώνεται ότι για μια ποικιλία υποβάθρων, συνδετικών υλικών (κονιάματα ή τσιμεντοπολτού) και τιμών του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία, έχει μετρηθεί ένα μεγάλο εύρος για τις τιμές της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας. Για πρδ., η εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας τσιμεντοπολτού και λίθινων υποβάθρων στις 28 ημέρες κυμαίνεται από 0.45 έως 0.82 MPa (Zimbelmann 1985) ή 3.70 MPa (Tasong et al. 1999).



Πίνακας 7. Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού σε σύνθετα δοκίμια συνδετικών υλικών και λίθων ή πλίνθων βάσει του Πίνακα του Παραρτήματος Α: Μέρους ΙΙ-2.

Εργασία	σύνθετο δοκίμιο	τύπος	$f_{b,c}$ [MPa]	$f_{b,1}$ [MPa]	n	υδατοαπορρόφηση [κ.β.-%]	ΑΡΥ [kg/m <sup>3</sup> /min]	κωδικός	Χαρακτηριστικά σύνθετα	ηλικία [ημέρες]	$f_{b,ind,c}$ [MPa]	$f_{b,ind,t}$ [MPa]	w/s	εφελκυστική αντοχή 3-7 [ημέρες]	εφελκυστική αντοχή 28 [ημέρες]	εφελκυστική αντοχή 60-90 [ημέρες]	εφελκυστική αντοχή 180-360 [ημέρες]
(Zimbelmann 1985)	λίθος/τσιμεντοπολιτός	σβεστόλιθος							1/10/0/0	28		4.80	0.35		0.70	1.40	
		σβεστόλιθος							1/10/0/0	80		5.00	0.35		0.80		
		Χαλαζίας							1/10/0/0	28		4.80	0.35		0.90		
		Χαλαζίας							1/10/0/0	80		5.00	0.35		0.65		
		καλαπίτης							1/10/0/0	28		4.80	0.35		0.75		
		καλαπίτης							1/10/0/0	80		5.00	0.35		0.50		
		άστριος							1/10/0/0	28		4.80	0.35		0.58		
		άστριος							1/10/0/0	80		5.00	0.35		0.46		
(Van der Pluijm 1997)	πλίνθος/κονίαμα	Υρανίτης	33	2.47		17.4			1/10/0/0	80		5.00	0.35		0.22		
		ωμόπλινθος	33	2.47		17.4			1/20/9	28	3.00			0.13			
		ωμόπλινθος	66	2.36		7.3			10.5/0/4.5	28	17.60			0.30			
		οπτόπλινθος	66	2.36		7.3			1/20/9	28	3.00			0.30			
		οπτόπλινθος	66	2.36		7.3			10.5/0/4.5	28	17.60			0.40			
		οπτόπλινθος	66	2.36		7.3			1/10/6	28	8.10			0.50			
(Tasong et al. 1999)	λίθος/τσιμεντοπολιτός	βασάλτης	158	10.2	1.4				1/10/0/0				0.37	3.20	2.10		
		σβεστόλιθος	52	8.4	1.3				1/10/0/0				0.37	3.20	2.90		
		Χαλαζίας			0.1				1/10/0/0				0.37	3.70	4.00		
		οπτόπλινθος Α			13	2.5	0.29		1/10/0/4.5				1.03	0.23			
		οπτόπλινθος Α			13	2.5	0.29		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.25			
		οπτόπλινθος Β			18	13.7	1.39		1/10/0/4.5				1.03	0.55			
		οπτόπλινθος Β			18	13.7	1.39		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.33			
		οπτόπλινθος C			34	27.5	2.9		1/10/0/4.5				1.03	0.37			
		οπτόπλινθος C			34	27.5	2.9		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.13			
		οπτόπλινθος D			29	23.1	3.04		1/10/0/4.5				1.03	0.50			
		οπτόπλινθος D			29	23.1	3.04		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.33			
		οπτόπλινθος E			22	19.5	3.34		1/10/0/4.5				1.03	0.40			
		οπτόπλινθος E			22	19.5	3.34		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.27			
		οπτόπλινθος F			40	33.5	3.71		1/10/0/4.5				1.03	0.20			
		οπτόπλινθος F			40	33.5	3.71		1/10/0/3 <sup>(1)</sup>				1.38	0.07			
		οπτόπλινθος F			40	33.5	3.71		1/10/0/4 <sup>(1)</sup>				1.04	0.41			
(Sugo et al. 2000)	πλίνθος/κονίαμα	μέσω εξώθησης			12	11.8	1.24		1/10/0/6				1.85	0.93			
(Sugo et al. 2001)	πλίνθος/κονίαμα	μέσω συμπίεση			12	11.8	3.39		1/10/0/6				1.84	0.84			
		μέσω εξώθησης			12	11.8	1.24		1/10/0/6				1.79	1.37			
		μέσω συμπίεση			12	11.8	3.39		1/10/0/6				1.90	1.69			
(Almeida et al. 2002)	πλίνθος/κονίαμα	οπτόπλινθος	111	11	11	9.7			1/10/0/3		12.80	4.30		2.06			
		οπτόπλινθος			9.7				1/10/0/4		10.90	3.30		2.25			
		οπτόπλινθος			9.7				1/20/9		6.40	2.20		1.93			
(Gregoire et al. 2004)	πλίνθος/κονίαμα	H4	31.8	4.1	37	15.4	4.5		MT1								
		S2	70.6	13.4	19	7.1	2.2		MT1								
(Paulon et al. 2004)	λίθος/τσιμεντοπολιτός	Υρανίτης							1/10/0/0	7	48.00	2.20	0.35	1.25			
		Υρανίτης							OPC+SF	7	45.00	2.20	0.35	3.00			
		Υρανίτης							OPC+FA	7	32.00	1.50	0.35	1.40			
		Υρανίτης							OPC+P	7	25.00	1.20	0.35	0.80			
		Υρανίτης							OPC	7	65.00	2.50	0.35		1.50		
		Υρανίτης							OPC+SF	28	70.00	3.50	0.35	2.70			
		Υρανίτης							OPC+FA	28	43.00	1.70	0.35	2.10			
		Υρανίτης							OPC+P	28	42.00	1.30	0.35	1.10			
		Υρανίτης							OPC	90	70.00	2.50	0.35		1.70		
		Υρανίτης							OPC+SF	90	90.00	3.70	0.35	3.10			
		Υρανίτης							OPC+FA	90	53.00	2.40	0.35	2.00			
		Υρανίτης							OPC+P	90	45.00	1.90	0.35	1.60			
(Miliadou 1990) <sup>(2)</sup>	λίθος/ένεμα	M	150	12	1.8				F1	28	30.00	2.50	0.75	3.20			
		E	96	8	6.5				F1	28	30.00	2.50	0.75	1.80			
		L	111	11	11				F1	28	30.00	2.50	0.75	4.00			
		SM	43	4	24				F1	28	30.00	2.50	0.75	2.10			
		M	150	12	1.8				F2	28	15.00	2.00	0.75	2.10			
		E	96	8	6.5				F2	28	15.00	2.00	0.75	1.30			
		L	111	11	11				F2	28	15.00	2.00	0.75	2.90			
		SM	43	4	24				F2	28	15.00	2.00	0.75	1.80			
		M	150	12	1.8				F3	28	13.00	1.40	1.00	1.80			
		E	96	8	6.5				F3	28	13.00	1.40	1.00	0.90			
		L	111	11	11				F3	28	13.00	1.40	1.00	3.00			
		SM	43	4	24				F3	28	13.00	1.40	1.00	2.00			
		σβεστόλιθος	55	5.4					13b0	60	6.90	2.00	0.85	1.63			
		σβεστόλιθος	55	5.4					13b0	60	5.90	1.90	0.85	1.35			
		σβεστόλιθος	55	5.4					13b10	60	11.90	2.00	0.85	1.47			
		σβεστόλιθος	55	5.4					Cb0	60	17.90	4.80	0.85	1.76			

(1) τοιμμένο τοιχοποιίας

(2) αποτελέσματα δοκιμών για ξηρές συνθήκες

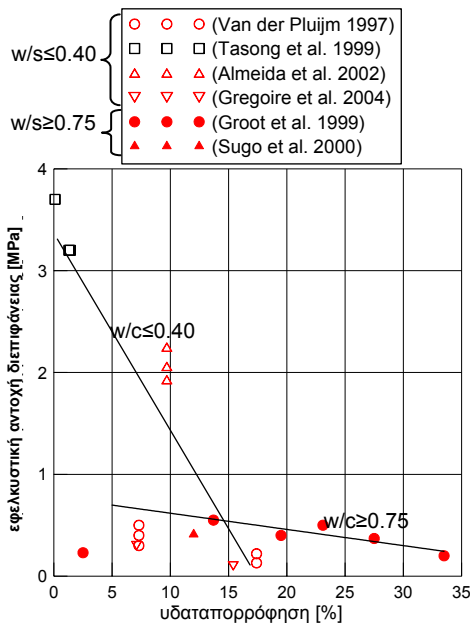
(3) αποτελέσματα δοκιμών για αστοχία στην διεπιφάνεια

Συνθέσεις συνδετικών υλικών σε μορφή: τσιμέντο/υδράξβεστος/πασόλιανικό υλικό/άμμος

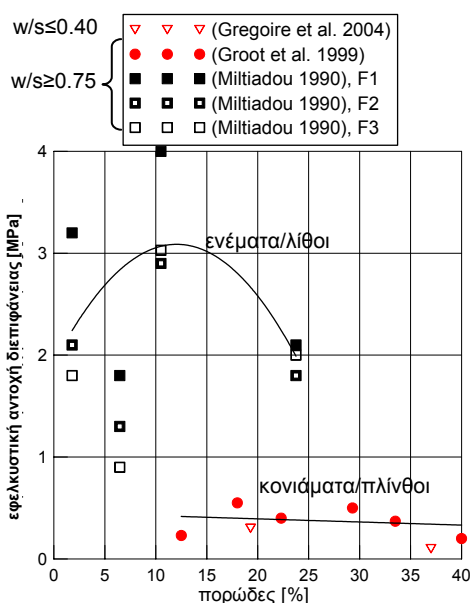
Παρεμφερές εύρος τιμών (από 0.90 έως 4.00 MPa) έχει καταγραφεί για διεπιφάνειες ενεμάτων και λίθινων υποβάθρων (Miltiadiou 1990), (Toumbakari 2002). Αντιθέτως, χαμηλότερες τιμές αντοχής αναπτύσσονται οι διεπιφάνειες κονιαμάτων και πλίνθων: από 0.13 έως 0.73 MPa (Van der Pluijm 1997), 0.08 έως 0.55 MPa (Groot et al. 1999), 0.1 έως 0.3 MPa (Gregoire et al 2004), χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές (Almeida et al. 2002).

Ας σημειωθεί ότι στις εν λόγω εργασίες, ο λόγος ύδατος προς συνδετική κονία δεν αποτελεί κριτήριο σχεδιασμού για την επίτευξη μέγιστης αντοχής διεπιφάνειας: η τιμή του  $w/s$  προσδιορίζεται βάσει κριτηρίου ίδιας εξάπλωσης για τα κονιάματα ή τις τσιμεντόπαστες και ίδιας ενεσιμότητας για τα ενέματα. Εξ άλλου, μολονότι η αύξηση του υδατοτσιμεντοσυντελεστή επιδρά μάλλον αρνητικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια μεταξύ λίθινων υποβάθρων και τσιμεντοπολτών ή κονιαμάτων, αυτή η επίδραση είναι σαφώς μικρότερη από εκείνη της αύξησης του  $w/s$  στην θλιπτική αντοχή του συνδετικού υλικού (Hsu et al. 1963). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 7, ο λόγος  $w/s$  για τα κονιάματα ή τις τσιμεντόπαστες είναι μικρότερος από 0.4, ενώ λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές για τα ενέματα υψηλής διεισδυτικότητας ( $\geq 0.75$ ). Έτσι, για τις χαμηλότερες τιμές του υδατοτσιμεντοσυντελεστή η επίδραση της αύξησης της υδαταπορρόφησης υποβάθρων από οπτόπλινθο ή φυσικούς λίθους είναι αρνητική για το μέγεθος της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας (Εικόνα 67). Αντιθέτως, για τις μεγαλύτερες τιμές του  $w/s$ , η υδαταπορρόφηση υποβάθρων από αργιλική οπτόπλινθο επιδρά δυσμενώς, σε μικρότερο ωστόσο βαθμό, στην αναπτυσσόμενη συνάφεια (Εικόνα 67), [βάσει των (Groot et al. 1999) και (Sugo et al. 2001)].

Εξ άλλου, από τα αποτελέσματα της (Miltiadiou 1990) για ξηρές αρχικές συνθήκες λίθινων υποβάθρων, διαφαίνεται μια ποιοτική σχέση μεταξύ του φαινομένου πορώδους των λίθων και της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας, όπως αυτή της Εικόνας 68: Οι μικρές τιμές της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας συνδέονται με τις μικρότερες ή τις σαφώς μεγάλες τιμές του πορώδους του υποβάθρου. Στην πρώτη περίπτωση, η χαμηλή συνάφεια αποδίδεται στον σχηματισμό μιας λιγότερο πυκνής μικροδομής της διεπιφάνειας υποβάθρου/ενέματος (§ 2.8.1), ενώ στην δεύτερη περίπτωση πιθανώς στην μη επαρκή ενυδάτωση των συνδετικών κονιών (Miltiadiou 1998). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 68, για τις υψηλότερες τιμές του πορώδους των ασβεστολιθικών υποβάθρων της (Miltiadiou 1990), η αναπτυσσόμενη συνάφεια είναι πρακτικώς ανεξάρτητη από τον τύπο του ενέματος. Αυτή



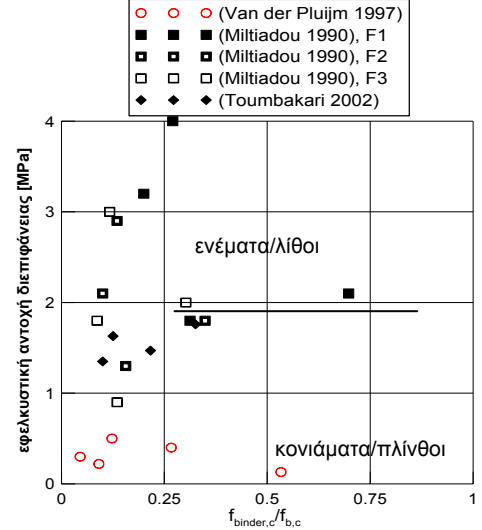
Εικόνα 67. Επιρροή της υδαταπορρόφησης λίθων (μαύρο) και πλίνθων (κόκκινο) στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.



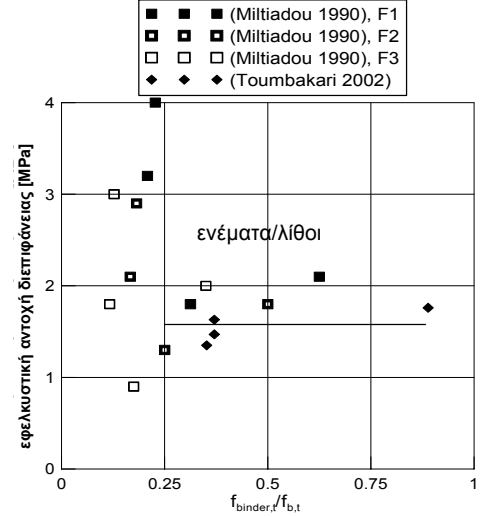
Εικόνα 68. Επιρροή του πορώδους των λίθων (μαύρο) και πλίνθων (κόκκινο) στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.

η παρατήρηση επαληθεύεται και από τις διεπιφάνειες της (Toumbakari 2002) για ασβεστολιθικό υπόβαθρο με παραπλήσια θλιπτική αντοχή (και πιθανόν και φαινόμενου πορώδους) με εκείνη του υποβάθρου SM της (Miltiadou 1990). Αντίστοιχη είναι η εικόνα και στις διεπιφάνειες κονιαμάτων για πλίνθους με πορώδες μεγαλύτερο από 15% (Van der Pluijm 1997).

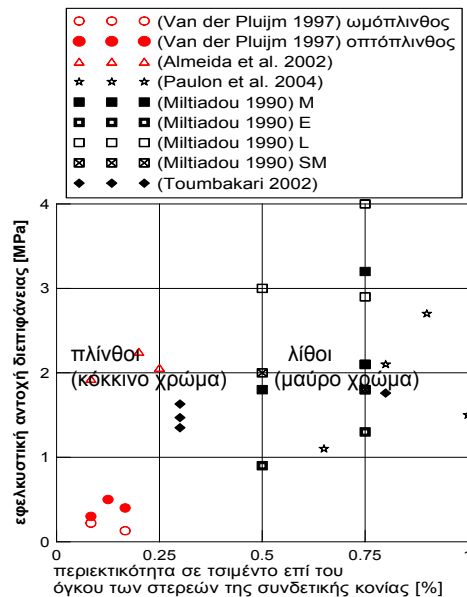
Τέλος, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων σε σχέση με εκείνα των ενεμάτων, φαίνεται να επηρεάζουν, εντόνως, το μέγεθος της εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 69, όπου έχει σχεδιαστεί η εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας συναρτήσει του λόγου θλιπτικής αντοχής ενεμάτων προς την θλιπτική αντοχή λίθινων υποβάθρων, για τιμές του λόγου ( $f_{binder,c}/f_{b,c}$ ) έως 0.25 η επίδραση των τιμών των σχετικών θλιπτικών αντοχών είναι σημαντική για το μέγεθος της αναπτυσσόμενης συνάφειας, ενώ για μεγαλύτερες τιμές του λόγου το μέγεθος της συνάφειας είναι, πρακτικώς, ανεξάρτητο. Η ίδια παρατήρηση επαληθεύεται και για τους λόγους της καμπτικής αντοχής, αφορά δε περισσότερα αποτελέσματα δοκιμών (Εικόνα 70). Επομένως, διαφαίνεται μια καλύτερη εξάρτηση της καμπτικής αντοχής των συνδετικών υλικών με την εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας. Σε αυτό φαίνεται να συνηγορεί και το ότι, παρόλο που η εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας εξαρτάται από την περιεκτικότητα του συνδετικού υλικού σε τσιμέντο, οι υψηλότερες τιμές της συνάφειας δεν αναπτύσσονται για τα υψηλότερα ποσοστά τσιμέντου (Εικόνα 71). Εξ άλλου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 72, παρά τις όποιες διαφορές μεταξύ των δοκιμών (στα υλικά, στις διαστάσεις, στον τρόπο παρα-



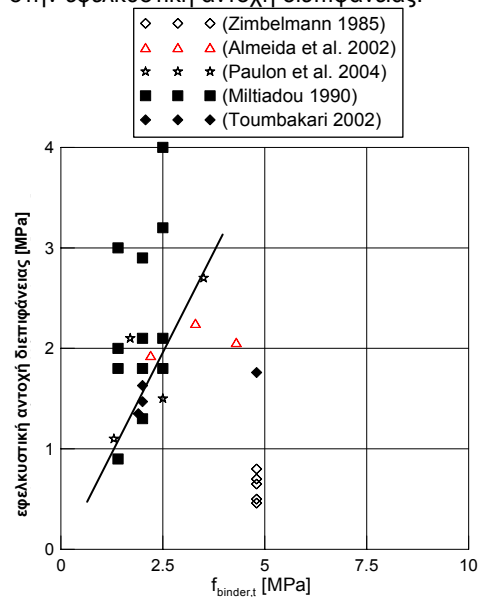
Εικόνα 69. Επιρροή του λόγου  $f_{binder,c}/f_{b,c}$  στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.



Εικόνα 70. Επιρροή του λόγου  $f_{binder,t}/f_{b,t}$  στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.



Εικόνα 71. Επιρροή του περιεχόμενου τσιμέντου στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.



Εικόνα 72. Επιρροή της  $f_{binder,t}$  στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.

σκευής κτλ.), η σχέση μεταξύ εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας και καμπτικής αντοχής των συνδετικών υλικών μπορεί να θεωρηθεί πρακτικώς γραμμική, όπως έχει προταθεί για επισκευασμένους με ενέματα τρίστρωτους τοιχίσκους (Vintzileou 2007).

### 2.10.2 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Οι πειραματικές εργασίες με αντικείμενο την μελέτη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμίων κονιάματος και οπτόπλινθων ή λίθων είναι αρκετές σε πλήθος (βλ. Παράρτημα Α: Μέρος ΙΙ-2, Πίνακας 8). Οι περισσότερες εξ αυτών, αφορούν την συμπεριφορά των διεπιφανειών έναντι μονοτονικής φόρτισης με την επιβολή φορτίου ή μετατόπισης, ενώ σε ελάχιστες εργασίες διερευνάται η συμπεριφορά των διεπιφανειών υπό ανακυκλιζόμενη καταπόνηση [(Chinwah 1982) παράθεση (Ιγνατάκης 1991)], (Atkinson et al. 1989). Παρόλα αυτά, η πλειονότητα των μελετών δεν έχει συστηματικό χαρακτήρα και αφορά τα συγκεκριμένα υλικά. Εξ άλλου, τα μεγέθη που συνήθως παρουσιάζονται στις εργασίες είναι η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας υποβάθρου/κονιάματος ή ενέματος ( $\tau_u$ ) για δεδομένη στάθμη της επιβαλλόμενης στην διεπιφάνεια ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , η επίδραση των εξεταζομένων παραμέτρων στην τιμή της διατμητικής αντοχής, η μορφή αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων και ενδεχόμενος συσχετισμός τους. Αντιθέτως, στοιχεία που αφορούν την μηχανική συμπεριφορά των αρμών, όπως 1) η ολίσθηση στην οποία αντιστοιχεί η διατμητική αντοχή, και συνεπώς η διατμητική δυσκαμψία του αρμού, 2) το άνοιγμα ρωγμής (ή διασταλτικότητα) 3) η μετά την ανάπτυξη της διατμητικής αντοχής συμπεριφορά, 4) η επίδραση (ποιοτική και, κυρίως, ποσοτική) των εξεταζομένων παραμέτρων στις τιμές των  $(1) \div (3)$  και τέλος, 5) η συμπεριφορά των διεπιφανειών έναντι δυναμικών φορτίσεων, είτε δεν διερευνώνται είτε δεν είναι διαθέσιμα. Καθίσταται προφανές, ότι η απουσία αυτών των στοιχείων δυσχεραίνει την διατύπωση λεπτομερών καταστατικών νόμων που περιγράφουν την συμπεριφορά έναντι διάτμησης διεπιφανειών υλικών τοιχοποιίας και κονιαμάτων ή ενεμάτων. Εξ άλλου, από την αναδρομή στην βιβλιογραφία προκύπτει ότι σε ελάχιστες περιπτώσεις έχουν προταθεί εμπειρικές αναλυτικές σχέσεις για την πρόβλεψη της διατμητικής αντοχής και των αντίστοιχων παραμορφώσεων (ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής στην αστοχία), της παραμένουσας διατμητικής αντοχής και του κλάδου του διαγράμματος διατμητικής αντίστασης-επιβαλλόμενης ολίσθησης μετά την επίτευξη της  $\tau_u$  [βλ. για πρδ. (Tassios et al. 1987)].

Πίνακας 8. Δεδομένα και αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης σε σύνθετα δοκίμια συνδετικών υλικών και λίθων ή πλίνθων (βάσει του Πίνακα του Παραρτήματος Α: Μέρος II-2

Εργασία	Διεπιφάνεια	Χαρακτηριστικά υποβόθρου					ΑΡΥ [kg/m <sup>2</sup> /min]	ηλικία [ημέρες]	κωδικός	Χαρακτηριστικά συνδετικού υλικού		Χαρακτηριστικά διεπιφάνειας		
		τύπος	f <sub>b,c</sub> [MPa]	f <sub>b,t</sub> [MPa]	n [%]	υδατοαπορρόφηση [κ.β.-%]				σύνθεση	f <sub>b,der,c</sub> [MPa]	f <sub>b,der,t</sub> [MPa]	w/s	28 ημέρες συνοχή
(Taylor et al. 1964)	λίθος/σιμεντοπολτός	ψαμίτης								10/0/0		0.28	3.44	0.62
		αφαστόλιθος							10/0/0		0.36	4.13	0.82	
	λίθος/κονίαμα	ψαμίτης								10/0/0		0.36	2.76	0.73
		αφαστόλιθος								10/0/0		0.36	2.76	0.65
(Drysdale et al. 1979)	πλίνθος/κονίαμα	A	135.00	9.65				M	10.25/0.2.81	16.13	0.64	0.45	0.86	
		B	115.80	10.69				M	10.25/0.2.81	16.13	0.64	0.61	0.98	
		C	128.90	11.86				M	10.25/0.2.81	16.13	0.64	0.46	0.89	
		HLz12	20.00					II	1/1/0/17.9	2.50	1.45	0.50	0.70	
(Stöckl et al. 1986)	πλίνθος/κονίαμα	υγρές συνθήκες	31.00					IIa	1/0.68/0.15	5.00	1.39	0.97	0.75	
			20.00					III	1/0/0/9.73	10.00	1.41	0.90	0.82	
			31.00					III	1/0/0/9.73	10.00	1.41	1.50	0.57	
			20.00					II	1/1/0/17.9	2.50	1.45	0.22	0.70	
(Tassios et al. 1987)	πλίνθος/κονίαμα	υγρές συνθήκες	31.00					IIa	1/0.68/0.15	5.00	1.39	0.55	0.65	
			47.00					IIa	1/0.68/0.15	5.00	1.39	0.95	0.80	
			20.00					III	1/0/0/9.73	10.00	1.41	0.70	0.60	
			31.00					III	1/0/0/9.73	10.00	1.41	1.10	0.57	
(Aquiño et al. 1995)	λίθος/σιμεντοπολτός	αφαστόλιθος	66.00					GPM	1/1/0/0		0.35	2.28		
			22.10	5.81				M1	1/0/0/3	16.33	0.58	0.82		
			22.10	5.81				M2	1/0.8/0/3	10.03	0.55	0.88		
			22.10	5.81				M3	1/6/0/16	3.25	0.21	0.83		
(Arpa Rao et al. 2002)	λίθος/κονίαμα	γρανίτης						M12	0.9/0.0.1/2.SF =10%	43.10	0.40	1.47		
								M13	1/0/3.SF =10%	46.00	0.40	2.24		
								M14	1/0/4.SF =10%	30.07	0.40	1.18		
								MT1			0.60	0.53		
(Gregoire et al. 2004)	πλίνθος/κονίαμα	H4	31.80	4.10		15.4		MT1			0.80	0.90		
		S1	70.60	13.40		7.1		NSMM						
		CEB	5.21	0.93				SMM					0.22	0.58
		CEB	5.21	0.93				LM					0.21	0.77
(Paulon et al. 2004)	λίθος/σιμεντοπολτός	γρανίτης	14.22	2.26				LM			1.57	0.31		
								OPC	10/0/0	65.00	2.50	3.50		
								OPC+SF	0.9/0/0.1/0	70.00	3.50	4.50		
								OPC+FA	0.8/0/0.2/0	43.00	1.70	2.50		
(Malyszko 2005)	πλίνθος/κονίαμα							OPC+P	0.65/0/0.35/0	42.00	1.30	2.30		
								OPC	10/0/0	70.00	2.50	3.50		
								OPC+SF	0.9/0/0.1/0	90.00	3.70	5.20		
								OPC+FA	0.8/0/0.2/0	53.00	2.40	4.10		
(Saragapani et al. 2005)	πλίνθος/κονίαμα		27.10	3.86				OPC+P	0.65/0/0.35/0	45.00	1.90	3.50		
			5.09			11.74		CML1	1/0.5/0/4.5	8.50	2.21	0.53	0.54	
			5.09			11.74		CML2	1/0.5/0/4	9.40	1.88	0.12		
			11.46			9.1		CML1	1/1/0/6	3.42	1.17	0.15		
(Abdou et al. 2006)	πλίνθος/κονίαμα	z-δευθυσή	42.00					CML1	1/1/0/6	20.00	4.14	1.61	1.05	
								τορμεντικό						

Πίνακας 8. (συνέχεια)

Εργασία	Διεπιφάνεια	Χαρακτηριστικά υποβάθρου					Χαρακτηριστικά συνδετικού υλικού				Χαρακτηριστικά διεπιφάνειας								
		τύπος	$f_{bc}$ [MPa]	$f_{dt}$ [MPa]	n [%]	υδατορρόφηση [κ.β.-%]	APY [kg/m <sup>2</sup> /min]	ηλικία [ημέρες]	κωδικός	σύνθεση	$f_{compress}$ [MPa]	$f_{indent}$ [MPa]	w/s	28 ημέρες συνοχή	60-90 ημέρες συνοχή	tanφ			
(Gero Marzahn)	πλίνθος/κονίαμα	CLAY1	9.40						M1	1/2/0/6	11.92	3.43		0.44	0.70				
			9.40						M2	1/0/0/4	17.64	4.31		0.45					
		CLAY2	8.60						M1	1/2/0/6	11.92	3.43		0.67					
			8.60						M2	1/0/0/4	17.64	4.31		0.64					
(Domede et al. 2009) (Miliadiou 1990)	πλίνθος/κονίαμα λίθος/ένεμα	M	22.75						LIME M		3.75			0.10	1.15				
		E	150.00	12.00	1.79			28	F1	0.75/0.0.25/0	30.00	2.50	0.75						
		L	96.00	8.00	6.46			28	F1	0.75/0.0.25/0	30.00	2.50	0.75	2.40	0.87				
		SM	111.00	11.00	10.5			28	F1	0.75/0.0.25/0	30.00	2.50	0.75	3.00	0.75				
		M	43.00	4.00	23.8			28	F1	0.75/0.0.25/0	30.00	2.50	0.75	1.90	0.78				
		E	150.00	12.00	1.79			28	F2	0.75/0.25/0/0	15.00	2.00	0.75						
		L	96.00	8.00	6.46			28	F2	0.75/0.25/0/0	15.00	2.00	0.75	1.40	0.81				
		SM	111.00	11.00	10.5			28	F2	0.75/0.25/0/0	15.00	2.00	0.75	2.00	0.73				
		M	43.00	4.00	23.8			28	F2	0.75/0.25/0/0	15.00	2.00	0.75	1.80	0.81				
		E	150.00	12.00	1.79			28	F3	0.50.23/0.37/0	13.00	1.40	1.00						
		L	96.00	8.00	6.46			28	F3	0.50.23/0.37/0	13.00	1.40	1.00	0.70	0.73				
		SM	111.00	11.00	10.5			28	F3	0.50.23/0.37/0	13.00	1.40	1.00	2.00	0.62				
		E	43.00	4.00	23.8			28	F3	0.50.23/0.37/0	13.00	1.40	1.00	1.70	0.75				
		βάσει της (Toumbakari 2002)	λίθος/ένεμα	αβεστολίθος	55.00	5.40				60	13b0	0.3/0.18/0.52/0	6.90	2.00	0.85			0.39	0.49
					55.00	5.40				60	15b0	0.3/0.12/0.58	5.50	1.90	0.85			0.53	0.64
					55.00	5.40				60	13b10	0.3/0.18/0.52/0	11.90	2.00	0.85			0.75	0.47
55.00	5.40							60	Cb0	0.8/0.2/0/0	17.90	4.80	0.85						
25.00	5.90							60	13b0	0.3/0.18/0.52/0	6.90	2.00	0.85			0.58	0.63		
25.00	5.90							60	15b0	0.3/0.12/0.58/0	5.50	1.90	0.85			0.36	0.80		
Συνδέσεις συνδετικών υλικών σε μορφή: τσιμέντο/υδρόσβεστος/ποζολανικό υλικό/άμμος	πλίνθος/ένεμα	πλίνθος	25.00	5.90				60	13b10	0.3/0.18/0.52/0	11.90	2.00	0.85			0.61	1.04		
			25.00	5.90				60	Cb0	0.8/0.2/0/0	17.90	4.80	0.85			1.00	1.30		

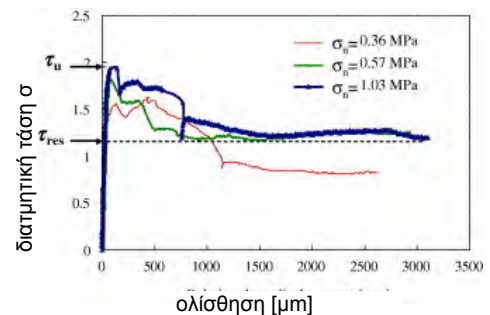
Πρέπει δε να σημειωθεί, ότι για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων, δεδομένου και του εξαιρετικώς μικρού πλήθους των σχετικών εργασιών, δεν έχουν διατυπωθεί έως τα τώρα αντίστοιχες φορμαλιστικές σχέσεις. Έτσι, στα παρακάτω σχολιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα των εργασιών που αφορούν την μηχανική συμπεριφορά έναντι διάτμησης διεπιφανειών κονιαμάτων και ενεμάτων, καθώς και των παραμέτρων που την επηρεάζουν. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι μορφές αστοχίας σύνθετων δοκιμίων υποβάθρων/συνδετικών υλικών, ορισμένες τυπικές καμπύλες διατμητικής τάσης και επιβαλλόμενης ολίσθησης, διατμητικής τάσης και ανοίγματος ρωγμής, η επιρροή των παραμέτρων στην τιμή της μέγιστης διατμητικής αντίστασης, των αντίστοιχων παραμορφώσεων (ολίσθηση και εγκάρσια διόγκωση) και της παραμένουσας τριβής.

### 2.10.2.1 Τύποι Αστοχίας

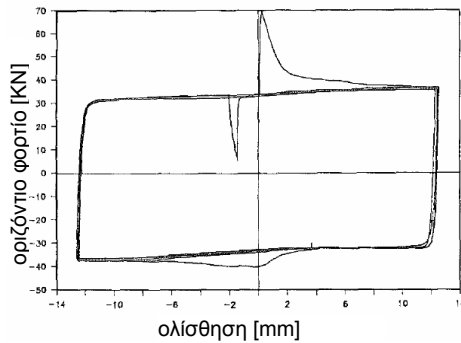
Η μορφή αστοχίας σύνθετων δοκιμίων υποβαλλόμενων σε διάτμηση, εξαρτάται από το πεδίο κυρίων τάσεων στο οποίο υπόκειται το σύνθετο δοκίμιο, την κατανομή των τάσεων στον αρμό του συνδετικού υλικού και από το μέγεθος των εισαχθέντων δευτερογενών εντάσεων εξαιτίας της πειραματικής διάταξης (βλ. § 2.9.2). Έτσι, σύνθετα δοκίμια υποβαλλόμενα σε διάτμηση παρουσιάζουν έναν από τους παρακάτω τρόπους αστοχίας: 1) αστοχία στην διεπιφάνεια λόγω απώλειας συνοχής, 2) αστοχία συνδετικού υλικού με μερική απώλεια της συνοχής, 3) μερική αστοχία συνοχής και εφελκυστική αστοχία υποβάθρων στις περιοχές επαφής με την διάταξη, τέλος 4) διαγώνια εφελκυστική αστοχία υποβάθρου. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μορφή αστοχίας (1) σχετίζεται μάλλον με χαμηλότερες τιμές συνάφειας [για πρδ. (Bei et al. 2004)] και για τα συνδετικά υλικά με τα χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά [για πρδ. (Toumbakari 2002)].

### 2.10.2.2 Καμπύλες διατμητικής τάσης-ολίσθησης, διατμητικής τάσης-ανοίγματος ρωγμής

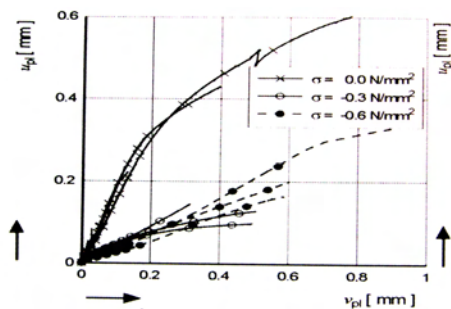
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 73, όπου παρουσιάζονται μερικές τυπικές καμπύλες ( $\tau$ - $s$ ) για συνθήκες επιβαλλόμενης ολίσθησης, η συμπεριφορά έναντι διάτμησης διεπιφανειών κονιαμάτων (Atkinson et al. 1989), (Van der Pluijm 2000), (Abdou et al. 2006) και ενεμάτων (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) είναι ελαστική-ελαστοπλαστική μέχρι την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής. Έπειτα, ακολουθεί φθιτός κλάδος και η διατμητική αντίσταση σταθεροποιείται σε



Εικόνα 73. Τυπικά διαγράμματα επιστρατευομένης διατμητικής τάσης συνάφειας συναρτήσει των επιβαλλόμενων ολισθήσεων (Abdou et al. 2006).



Εικόνα 74. Τυπική απόκριση αρμού κονιάματος υπό ανακυκλιζόμενη διατμητική φόρτιση (Atkinson et al. 1989).



Εικόνα 75. Τυπική καμπύλη ανοίγματος ρωγμής-επιβαλλόμενης ολίσθησης (Van der Pluijm et al. 2000).

μια παραμένουσα τιμή ( $\tau_{res}$ ). Έτσι, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στον εφελκυσμό, στην διάτμηση ακόμα και αν εμφανισθούν εσωτερικές ρηγματώσεις στο συνδετικό υλικό που οφείλονται σε υπέρ-βαση της εφελκυστικής αντοχής ή ολίσθηση της διεπιφάνειας, ο μηχανισμός τριβής εξακολουθεί να μεταφέρει τέμνουσα. Αντίστοιχη είναι η εικόνα σε διεπιφάνειες κονιαμάτων που υποβάλλονται σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση (Εικόνα 74) : η συμπεριφορά των αρμών είναι ελαστοπλαστική μέχρι την επίτευξη της διατμητικής αντοχής. Με την ανακύκλιση, η παραμένουσα τριβή μειώνεται ελαφρώς [(Chinwah 1982) παράθεση (Ιγνατάκης 1991)] ή παραμένει σταθερή ανεξαρτήτως του αριθμού των ανακυκλίσεων (Atkinson et al. 1989). Αναφορικά με την μορφή της καμπύλης διατμητική τάση-άνοιγμα ρωγμής, προκύπτει ότι αυξανόμενη της  $\tau$  αυξάνεται η διασταλτικότητα του αρμού (Εικόνα 75). Πράγματι, με την σταδιακή μικρορηγματώση του αρμού και την απώλεια της συνάφειας της διεπιφάνειας, η σχηματιζόμενη τραχύτητα οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση του ανοίγματος της ρωγμής. Μετά την αστοχία, το άνοιγμα ρωγμής σταθεροποιείται σε μια τιμή ή μειώνεται.

### 2.10.2.3 Μέγιστη&παραμένουσα διατμητική αντοχή

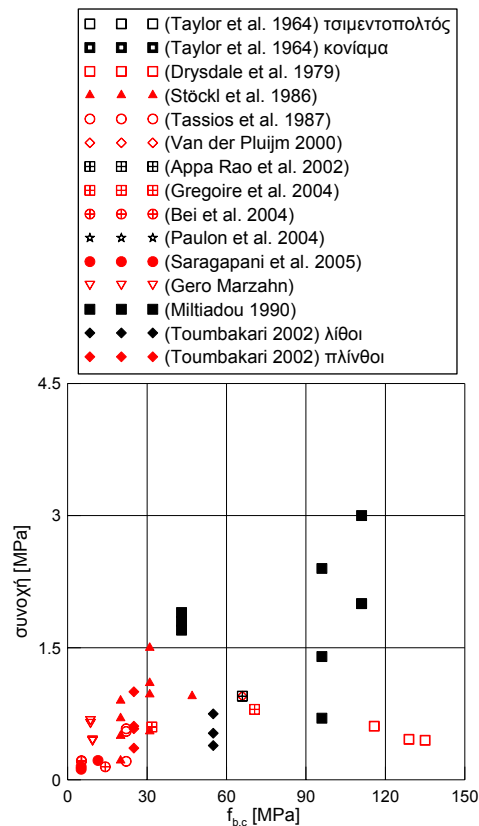
Όπως συμβαίνει στις διεπιφάνειες σκυροδεμάτων, έτσι και στην περίπτωση διεπιφανειών κονιαμάτων ή τσιμεντοπολτών ή ενεμάτων με την αύξηση της  $\sigma_n$ , αυξάνεται η διατμητική αντοχή του αρμού και μειώνεται ο συντελεστής τριβής (ορισμένος ως ο λόγος μεταξύ της  $\tau_u$  και της  $\sigma_n$ ) [για πρδ. (Taylor et al. 1964), (Drysdale et al. 1979), (Van der Pluijm 2000), (Bei et al. 2004), (Toumbakari 2002)]. Η σχέση μεταξύ της διατμητικής αντοχής και της ορθής τάσης μπορεί να θεωρηθεί γραμμική για τις συνήθειες, σε τοιχοποιίες, τιμές της  $\sigma_n$  [για πρδ. (Stöck et al. 1986)], και μη γραμμική για υψηλότερες στάθμες της  $\sigma_n$  (Drysdale et al. 1979). Αυτή η παρατήρηση οδήγησε το σύνολο των ερευνητών να υιοθετήσει γραμμικά κριτήρια αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb για την περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών κονιαματος/δομικών μονάδων τοιχοποιίας έναντι διατμήσεως για  $\sigma_n \leq 1.0 \text{MPa}$  και κριτήρια παραβολικής μορφής για μεγαλύτερες τιμές της  $\sigma_n$  [(Rots et al. 1993), (Lourenco et al. 1994) παράθεση (Van der Pluijm et al. 2000)]. Οι τιμές της διατμητικής αντοχής ( $\tau_o$ ) για μηδενική θλιπτική τάση (γνωστή και ως «συνοχή») και της  $\tan\phi$  για τους διάφορους συνδυασμούς υποβάθρων και συνδετικών υλικών, που απαντήθηκαν κατά την αναδρομή στην βιβλιογραφία, παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Παρεμφερής είναι η επίδραση της επιβαλλόμενης  $\sigma_n$ , στο μέγεθος της παραμένουσας διατμητικής αντοχής: η  $\tau_{res}$  αυξάνεται αυξανόμενη της



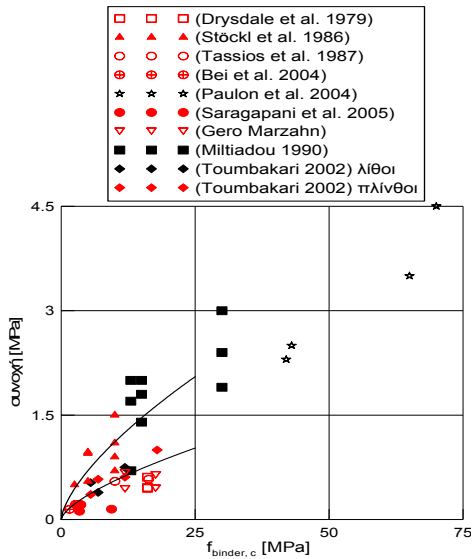
$\sigma_n$  [για πρδ. (Atkinson et al. 1989), (Van der Pluijm et al. 2000)]. Επί πλέον, οι (Atkinson et al. 1989) διαπίστωσαν γραμμική σχέση μεταξύ  $\tau_{res}$  και  $\sigma_n$ . Για μικρές στάθμες της  $\sigma_n$ , παρατήρησαν ότι τα κριτήρια αστοχίας για την μέγιστη και την παραμένουσα διατμητική αντοχή μπορεί να θεωρηθούν παράλληλα μεταξύ τους, υποδηλώνοντας, έτσι, ότι η παραμένουσα διατμητική αντοχή εξαρτάται αποκλειστικώς από την  $\sigma_n$  και την  $\tan\phi$ . Μολονότι τα αποτελέσματα των εργασιών του Πίνακα 8 δεν είναι μεταξύ τους ευθέως συγκρίσιμα [δοκίμια με διαφορετική γεωμετρία, δοκιμές σε διαφορετικές διατάξεις, με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου κτλ] και πολλά από τα πειραματικά δεδομένα (φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών) δεν παρουσιάζονται στις σχετικές εργασίες, είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων για την επιρροή διαφόρων παραμέτρων (τύπος υποβάθρου, συνδετικό υλικό κα.) στην διατμητική αντοχή των αρμών σε όρους συνοχής και φαινόμενου συντελεστή τριβής.

#### Συνοχή ( $\tau_0$ )

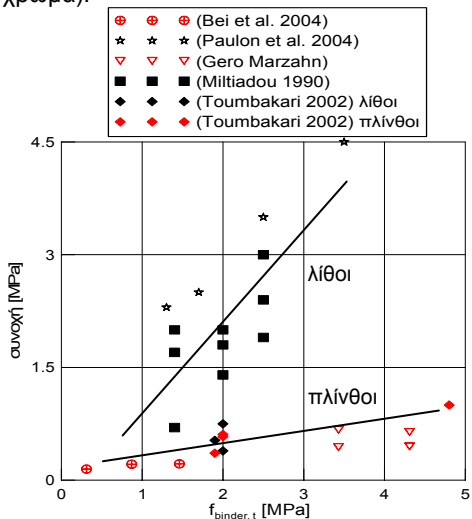
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 8, για μια ποικιλία υποβάθρων (λίθων, πλίνθων) και συνδετικών υλικών (κονιαμάτων, τσιμεντοπολτών, ενεμάτων) με διαφορετικούς λόγους ύδατος προς συνδετική κονία, προκύπτει ένα μεγάλο εύρος για τις τιμές της συνοχής. Σημειώνεται ότι οι πειραματικές τιμές του Πίνακα 8 (μέσες τιμές) είναι σαφώς μικρότερες από εκείνες που προβλέπει ο Ευρωκώδικας 6 για διάφορους συνδυασμούς λιθοσωμάτων και κονιαμάτων (χαρακτηριστικές τιμές από 0.1 έως 0.3 MPa). Πράγματι, σε διεπιφάνειες πλίνθων/κονιαμάτων η  $\tau_0$  κυμαίνεται από 0.2 έως 1.5 MPa, με τις περισσότερες εξ' αυτών των τιμών να βρίσκονται μεταξύ 0.4 και 1.0 MPa. Ανάλογο εύρος τιμών έχει προκύψει για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων [βάσει της (Toumbakari 2002)] για έναν, ωστόσο, τύπο πλίνθου. Όπως προκύπτει από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των εργασιών των (Taylor et al. 1964) για λίθους και (Tassios et al. 1987), (Gero Marzahn) για οπτόπλινθους, υψηλότερες τιμές συνοχής (από 1.9 έως 3.5 MPa) είναι σε θέση να αναπτύξουν παρεμφερούς σύστασης κονιάματα σε λίθινα από ότι σε πλίνθινα υπόβαθρα. Εστιάζοντας στις διεπιφάνειες ενεμάτων, για συνδετικά υλικά ίδιας σύστασης δεν φαίνεται να επαληθεύεται η υπεροχή (σε όρους συνοχής) των λίθινων υποβάθρων έναντι των πλίνθινων [βάσει της (Toumbakari 2002)]. Επί πλέον, από τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα προκύπτει ότι η διαπιστωμένη θετική επιρροή της θλιπτικής αντοχής πλίνθων (Stöckl et al. 1986) και λίθων στις τιμές της  $\tau_0$ , περιορίζεται για τιμές της θλιπτικής αντοχής των υπο-



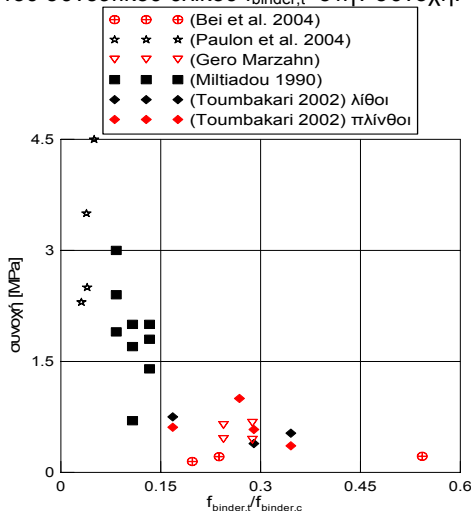
Εικόνα 76. Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των λιθοσωμάτων  $f_{b,c}$  στην συνοχή (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα).



**Εικόνα 77.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού  $f_{binder,c}$  στην συνοχή (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα).



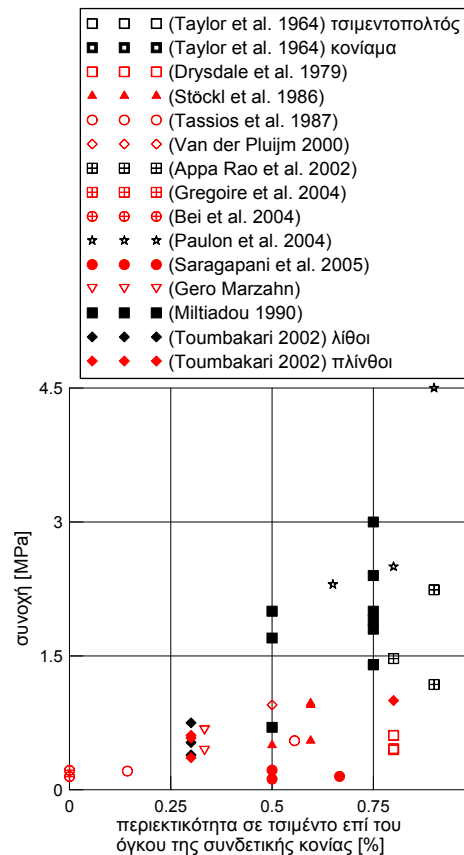
**Εικόνα 78.** Επιρροή της καμπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού  $f_{binder,t}$  στην συνοχή.



**Εικόνα 79.** Συνοχή συναρτήσει του λόγου  $f_{binder,t} / f_{binder,c}$  (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα).

βάθρων έως περίπου 30 MPa (βλ. Εικόνα 76).

Όπως διαπιστώθηκε στην περίπτωση των δοκιμών του άμεσου εφελκυσμού, η επιρροή του συνδετικού υλικού στην συνοχή, μέσω της θλιπτικής αντοχής του, είναι θετική, ιδιαιτέρως για τιμές της  $f_{binder,c}$  έως  $\sim 20$  MPa (βλ. Εικόνα 77). Αντίστοιχη είναι η επίδραση της καμπτικής αντοχής των συνδετικών υλικών στην συνοχή, με την εξάρτηση να είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση λίθινων (ισχυρών) υποβάθρων (Εικόνα 78). Επί πλέον, καθώς φαίνεται στην Εικόνα 79, όπου έχει σχεδιαστεί η  $\tau_0$  συναρτήσει του λόγου της καμπτικής προς θλιπτικής αντοχής των συνδετικών υλικών, υλικά με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά (με λόγους  $f_{g,t} / f_{g,c}$  μεταξύ 0.10 έως 0.55) είναι σε θέση να αναπτύξουν ικανοποιητικές τιμές συνοχής. Τέλος, ανάλογη είναι η επιρροή της περιεκτικότητας σε τσιμέντο ως ποσοστό του όγκου της συνδετικής κονίας στην συνοχή (βλ. Εικόνα 80): και σε αυτήν την περίπτωση η επιρροή μεγαλύτερη για τα λίθινα υπόβαθρα.



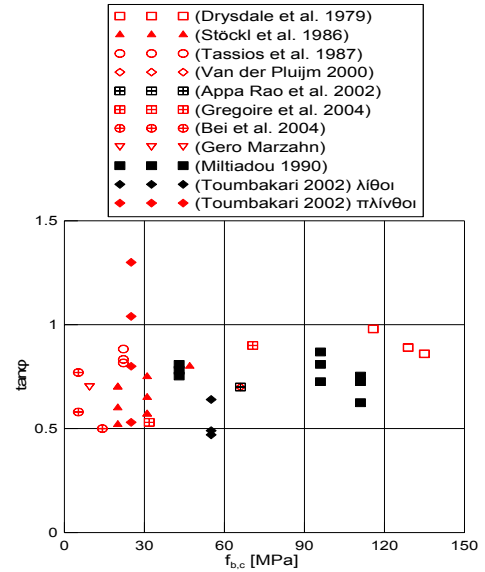
**Εικόνα 80.** Συνοχή συναρτήσει της περιεκτικότητας σε τσιμέντο επί του όγκου της συνδετικής κονίας (πλίνθοι: κόκκινο χρώμα, λίθοι: μαύρο χρώμα).

**Φαινόμενος συντελεστής τριβής ( $\tan\phi$ )**

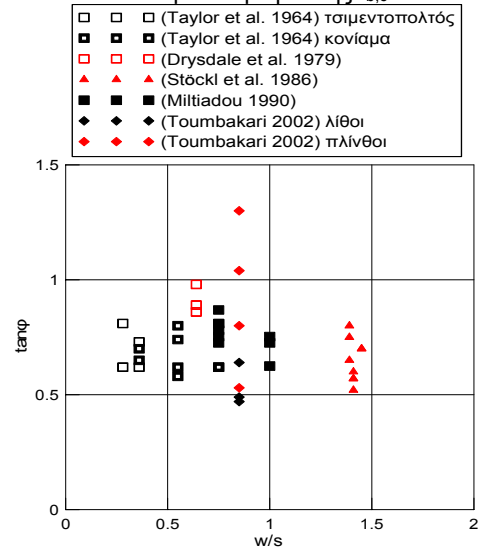
Οι πειραματικές τιμές του  $\tan\phi$  που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8, είναι μεγαλύτερες από εκείνες που προτείνει ο Ευρωκώδικας 6 για διάφορα υπόβαθρα και συνδετικά υλικά (ίσως με 0.40 ανεξαρτήτως των υλικών). Ειδικότερα, για διεπιφάνειες κονιαμάτων ή τσιμεντόπαστας και αδρανών, οι τιμές του φαινομενικού συντελεστή τριβής βρέθηκαν να κυμαίνονται μεταξύ 0.58 και 0.81 (Taylor et al. 1964). Ανάλογο εύρος (από 0.50 έως 0.90) έχουν βρεθεί από τους ερευνητές για διεπιφάνειες ενεμάτων και αδρανών (Miltiadou 1990), [βάσει της (Toumbakari 2002)], παρατήρηση που φανερώνει εμμέσως ότι για αυτού του τύπου τις διεπιφάνειες, οι ιδιότητες του υλικού επισκευής δεν είναι εκείνες που καθορίζουν τον φαινομενικό συντελεστή τριβής. Αντιθέτως, οι υψηλότερες τιμές  $\tan\phi$  που αναπτύσσουν οι διεπιφάνειες κονιαμάτων ή ενεμάτων και οπτόπλινθων (από 0.52 έως 1.23 και από 0.53 έως 1.30, αντιστοίχως), δεν μπορεί παρά να υποδηλώνουν την καλύτερη μηχανική αλληλεμπλοκή προϊόντων ενυδάτωσης και υποβάθρου, οφειλόμενη πιθανότατα στην επιφανειακή μικροτραχύτητα των υποβάθρων. Εξ άλλου, όπως φαίνεται στις Εικόνες 81, 82, δεν προκύπτει σχέση μεταξύ φαινομενικού συντελεστή τριβής και θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου ή της περιεκτικότητας σε τσιμέντο επί του όγκου των στερεών του συνδετικού υλικού ή του w/s. Αντιθέτως, μεγαλύτερη επίδραση στον  $\tan\phi$  έχει η θλιπτική αντοχή του συνδετικού υλικού ιδιαίτερος στην περίπτωση υποβάθρων από οπτόπλινθο (Εικόνα 83), (για τιμές του  $f_{binder,c}$  έως 15-20 MPa).

**2.10.2.4 Παραμορφώσεις-Δυσκαμψία**

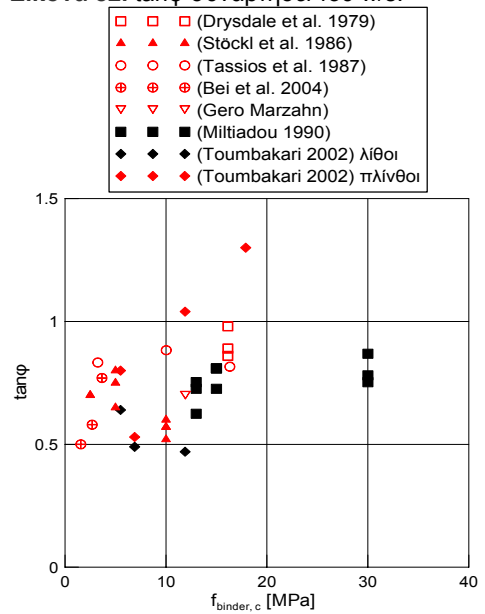
Μολονότι οι εργασίες στις οποίες μελετάται η συνολική συμπεριφορά των αρμών κονιαμάτων ή ενεμάτων είναι εξαιρετικά ελάχιστες σε πλήθος [κονιάματα: (Stöckl et al. 1986), (El-Sakhawy et al. 2002), (Bei et al. 2004), (Dias et al. 2007), (Vasconcelos et al. 2009) και ενέματα: (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007)], είναι δυνατή η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων για την επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων στην μορφή των διαγραμμάτων t-s και t-w, και ειδικότερα στην διατμητική δυσκαμψία του αρμού (ορισμένη ως η κλίση της καμπύλης t-s για μικρές τιμές της τ) και στις παραμορφώσεις στην αστοχία (ολίσθηση  $s_u$  & εγκάρσια διάγκωση  $w_u$ ). Σημειώνεται ότι καθώς τα σύνθετα δοκίμια των εν λόγω εργασιών αστόχησαν λόγω ολίσθησης, τα σχετικά αποτελέσματα αναφέρονται στην απόκριση των διεπιφανειών.



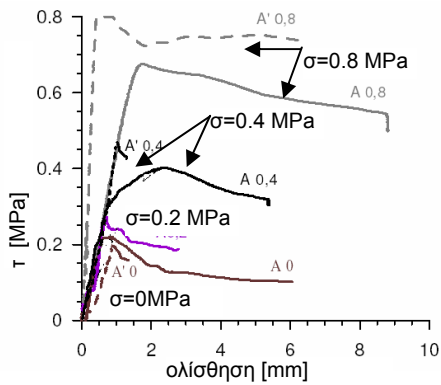
Εικόνα 81.  $\tan\phi$  συναρτήσει της  $f_{b,c}$ .



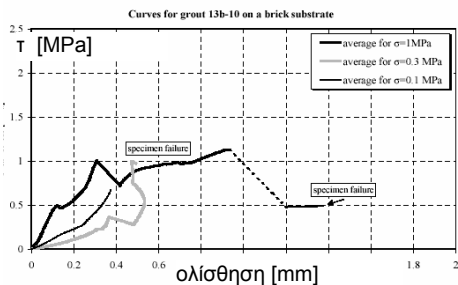
Εικόνα 82.  $\tan\phi$  συναρτήσει του w/s.



Εικόνα 83.  $\tan\phi$  συναρτήσει της  $f_{binder,c}$ .



**Εικόνα 84.** Τυπικές καμπύλες τ-s: Επιρροή της  $\sigma_n$  (Bei et al. 2004).



**Εικόνα 85.** Τυπικές καμπύλες τ-s για υπόβαθρο από οπτόπλινθο: Επιρροή της  $\sigma_n$  (Toumbakari 2002).

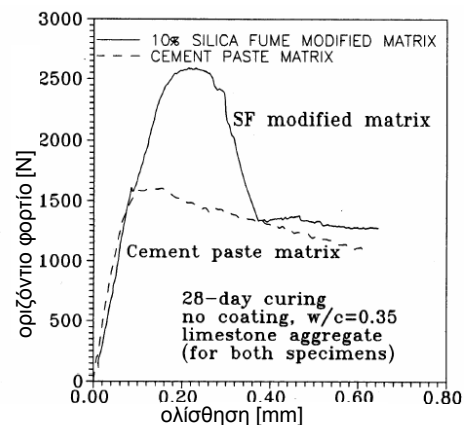
Έτσι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 84 και 85, όπου παρουσιάζονται ορισμένες τυπικές καμπύλες τ-s για διάφορες τιμές της προφόρτισης  $\sigma$ , παρατηρείται αύξηση της διατμητικής δυσκαμψίας των αρμών (G) με την αύξηση της  $\sigma$ . Σύμφωνα με τους (Stöckl et al. 1986), η εν λόγω παράμετρος επηρεάζει στον μεγαλύτερο βαθμό την τιμή της G. Μια πρόσθετη επίδραση της αύξησης της επιβαλλόμενης  $\sigma_n$ , είναι η παρατηρούμενη μείωση των τιμών της ολίσθησης στην αστοχία (Stöckl et al. 1986), [βάσει των (Bei et al. 2004), (Dias et al. 2007)], χωρίς ωστόσο αυτή η παρατήρηση να επαληθεύεται για υπόβαθρα από πυριτική άσβεστο (Stöckl et al. 1986). Ο συνδυασμός των δύο επιδράσεων (αύξηση δυσκαμψίας και μείωση της  $s_u$ ), οδηγεί στο υπό διερεύνηση συμπέρασμα ότι αυξανόμενης της  $\sigma$  η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών με την αύξηση της  $\sigma$ , τείνει να γίνεται περισσότερο ελαστική (ψαθυρή) και λιγότερο ελαστοπλαστική (πλάστιμη). Σχετικώς με τις διεπιφάνειες ενεμάτων, εξαιτίας ορισμένων τεχνικών δυσκολιών στην πειραματική διάταξη της (Toumbakari 2002), τα πειραματικά αποτελέσματα για τις καμπύλες τ-s και τις τιμές της  $s_u$  δεν επαρκούν για την συναγωγή καταληκτικών συμπερασμάτων για την επίδραση της  $\sigma$  σε αυτά τα χαρακτηριστικά (Toumbakari 2002). Σύμφωνα με την συγγραφέα για υπόβαθρα από οπτόπλινθο οι τιμές των ολισθήσεων στην αστοχία τείνουν να αυξάνονται με την αύξηση της  $\sigma_n$  (βλ. Εικόνα 85).

Η επιρροή του υποβάθρου στην απόκριση των διεπιφανειών έναντι διάτμησης έχει μελετηθεί από τους (Stöckl et al. 1986), (Mitsui et al. 1994), (Bei et al. 2004), (Toumbakari 2002). Έτσι, σχετικώς μικρές διαφοροποιήσεις στην συμπεριφορά των δοκιμών με υπόβαθρο από γρανίτη και ασβεστόλιθο παρατηρήθηκε από τους (Mitsui et al. 1994). Αντιθέτως, διερευνώντας διάφορους τύπους οπτοπλίνθων αργιλικής σύστασης, οι (Stöckl et al. 1986) διαπίστωσαν αύξηση της διατμητικής δυσκαμψίας του αρμού για τα πιο ισχυρά υπόβαθρα, παρατήρηση που επαληθεύεται και από τα πειραματικά αποτελέσματα των (Bei et al. 2004). Η εν λόγω επίδραση, αποδόθηκε από τους ερευνητές στην διαφορετική υδαταπορρόφηση και επιφανειακή μικροτραχύτητα των εξεταζομένων υποβάθρων. Εξ άλλου, στην εξαιρετικώς μικρή επιφανειακή τραχύτητα αποδίδεται και η διαπιστούμενη μεγαλύτερη δυσκαμψία σύνθετων δοκιμών με υπόβαθρο από πυριτικό ασβέστιο. Επομένως, σε αυτές τις περιπτώσεις υποβάθρων το κονίαμα για αυτού του τύπου τα υπόβαθρα να συμπεριφέρεται περισσότερο ως «κόλλα» (Stöckl et al. 1986). Αντίστοιχη είναι η εικόνα για τις διεπιφάνειες ενεμάτων. Πράγματι, οι ελαφρώς υψηλότερες τιμές των ολισθήσεων για

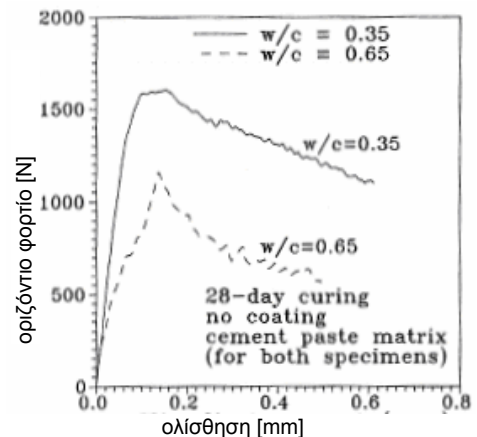
τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή για αργιλικές οπτοπλίνθους σχέση με εκείνες για υπόβαθρα από ασβεστόλιθο, αποδίδονται στην μεγαλύτερη επιφανειακή τραχύτητα των οπτοπλίνθων (Toumbakari 2002).

Αναφορικά με την επίδραση του συνδετικού υλικού στην μορφή των καμπύλων διατμητικής αντίστασης-ολίσθησης, από τους ερευνητές διερευνώνται παράμετροι όπως η θλιπτική αντοχή των κονιαμάτων (Stöckl et al. 1986) και η προσθήκη υλικών [για πρδ. πυριτική παιπάλη (Mitsui et al. 1994) ή ασβέστης]. Σύμφωνα με τους (Stöckl et al. 1986), αύξηση της θλιπτικής αντοχής κονιάματος (η οποία επιτυγχάνεται με μείωση του ασβέστη και της άμμου στην σύνθεση) δημιουργεί πιο δύσκαμπτες διεπιφάνειες. Αυτή η επίδραση είναι εντονότερη στην περίπτωση υποβάθρων από πυριτική άσβεστο. Αντιθέτως, η προσθήκη ασβέστη στο μίγμα οδηγεί σε μια πιο πλάσιμη απόκριση του αρμού και διατήρηση της διατμητικής αντοχής για υψηλότερες τιμές της επιβαλλόμενης μετατόπισης.

Με την προσθήκη πυριτικής παιπάλης στον τσιμεντοπολτό, δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές στο μέγεθος της διατμητικής δύσκαμψιας διεπιφανειών αδρανών και τσιμεντοπολτού (Mitsui et al. 1994). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 86, στο μίγμα με την πυριτική παιπάλη η διατμητική αντίσταση και η αντίστοιχη ολίσθηση αυξήθηκαν αναλογικώς. Διαφοροποιήσεις στην συμπεριφορά των δυο συνθέσεων διαπιστώθηκαν και μετά την αστοχία των διεπιφανειών: στην σύνθεση με την πυριτική παιπάλη, η απώλεια της διατμητικής αντίστασης (της τάξης του 50%) γίνεται απότομα. Αντιθέτως, στην περίπτωση της αμιγούς τσιμεντοπολτού, ο φθιτός κλάδος της καμπύλης τ-s έχει σαφώς πιο μικρή κλίση. Καθώς φαίνεται, η χρήση λεπτόκοκκων υλικών με υψηλή ποζολανική αντιδραστικότητα, όπως η πυριτική παιπάλη, εξαιτίας του σχηματισμού πυκνότερων μικροδομών (υλικού και διεπιφάνειας), οδηγεί σε λιγότερο πλάσιμη απόκριση των αρμών έναντι διατμήσεως. Στην εργασία των (Mitsui et al. 1994), διερευνήθηκε επί πλέον η επίδραση της αύξησης του υδατοτσιμεντοσυντελεστή. Όπως είναι αναμενόμενο, αύξησή του οδηγεί σε πιο ασθενή υλικά και διεπιφανειακή μεταβατική ζώνη, και συνεπώς σε λιγότερο δύσκαμπτους αρμούς. Η εν λόγω επίδραση φαίνεται να περιορίζεται κυρίως στο μέγεθος της διατμητικής αντοχής, με την τιμή της  $s_u$  και την κλίση του φθιτού κλάδου να μην μεταβάλλονται (Εικόνα 87). Αξίζει να σημειωθεί ότι το εύρος των τιμών των ολισθήσεων βρέθηκε να κυμαίνεται από 0.1-0.2mm (Stöckl et al. 1986), (Atkinson et al. 1989), (Vasconcelos et al. 2009) έως 2mm για πιο ασθενή υλικά (Bei et al. 2004), ενώ για



Εικόνα 86. Επιρροή της προσθήκης πυριτικής παιπάλης στην καμπύλη φορτίου-ολίσθησης (Mitsui et al. 1994).



Εικόνα 87. Επιρροή του w/c στην καμπύλη φορτίου-ολίσθησης (Mitsui et al. 1994).

διεπιφάνειες ενεμάτων έχουν καταγραφεί ολισθήσεις με μέγεθος έως 0.5 mm (Toumbakari 2002).

Σχετικώς με την επίδραση των εξεταζομένων παραμέτρων στο άνοιγμα ρωγμής, παρατηρείται ότι το  $w$  μειώνεται σημαντικά με την αύξηση της επιβαλλόμενης  $\sigma$  (Van der Pluijm et al. 2000), (Dias et al. 2007), (Vasconcelos et al. 2009). Επί πλέον, έχουν καταγραφεί υψηλότερα ανοίγματα ρωγμής για υπόβαθρα αργιλικής οπτοπλίνθου έναντι εκείνων για πλίνθους ασβεστοπυριτικής σύστασης (Van der Pluijm et al. 2000). Μεταξύ των παραμέτρων που αναμένεται να επιδρούν στο μέγεθος της διασταλτικότητας, συγκαταλέγονται οι σχετικές ιδιότητες των συνιστώντων υλικών (και κατ'επέκταση ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων) και η αναπτυσσόμενη –μετά την αστοχία– τραχύτητα της διεπιφάνειας.

## 2.11 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν κεφάλαιο της βιβλιογραφικής αναδρομής, περιγράφηκαν οι παράγοντες που βρέθηκαν να επηρεάζουν τον μηχανισμό συνάφειας μεταξύ υλικών με παρόμοια φύση με εκείνη των ενεμάτων. Ειδικότερα, ελλείπει επαρκώς πλήθους μελετών που να αφορούν διεπιφάνειες υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας [μόνον δύο είναι διαθέσιμες των (Miltiadiou 1990, 1998) και (Toumbakari 2002, 2007)], πραγματοποιήθηκε μια προσανατολισμένη ανασκόπηση σε διεπιφάνειες υλικών επισκευής και παλιών σκυροδεμάτων ή υλικών τοιχοποιίας, καθώς θεωρήθηκε ότι τα βασικά ευρήματα αυτών των μελετών επαγωγικά θα ισχύουν και για άλλες διεπιφάνειες παρόμοιας φύσης, όπως είναι οι διεπιφάνειες των υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας. Η μελέτη της υφιστάμενης βιβλιογραφίας απέδειξε ότι υπάρχουν θέματα τα οποία δεν καλύπτονται ή καλύπτονται εν μέρει μόνον από τα διαθέσιμα στοιχεία. Τα κύρια συμπεράσματα από αυτήν την ανασκόπηση συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- (1) Η κατανόηση του μηχανισμού της συνάφειας, η επιρροή των διαφόρων παραμέτρων που τον επηρεάζουν (είτε στο χημικό είτε στο μηχανικό μέρος του) είναι ανεπαρκής. Εξάλλου, η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στην συνάφεια εξαρτάται από τα κατά περίπτωση υλικά.
- (2) Σε αυτό που φαίνεται να συμφωνούν οι ερευνητές είναι ότι ο μηχανισμός συνάφειας είναι κυρίως μηχανικής φύσης. Η διαπίστωση αυτή βασίζεται σε συσχετισμό παρατηρήσεων της μικροδομής και αποτελεσμάτων μηχανικών δοκιμών στην διεπιφανειακή ζώνη.
- (3) Πράγματι, βρέθηκε ότι σε υπόβαθρα που απαντώνται συχνότερα σε τοιχοποιίες, χαρακτηριστικά όπως το ανοιχτό πορώδες, η ικανότητα απορρόφησης ύδατος, και επομένως ο ρόλος της μετακίνησης του ύδατος μεταξύ υπαρχόντων υλικών και υλικών ενίσχυσης, διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο στην ανάπτυξη της συνάφειας. Ωστόσο, οι εργασίες που αναφέρονται στην μελέτη αυτών των διεπιφανειών είναι περιορισμένου πλήθους. Ακόμη πιο περιορισμένο είναι το πλήθος των εργασιών που αφορούν την πειραματική διερεύνηση διεπιφανειών με ενέματα.
- (4) Αναδείχθηκε η επίδραση παραμέτρων στην συνάφεια όπως είναι οι ιδιότητες των επιμέρους υλικών, η ηλικία των υλικών

επισκευής την ημέρα της δοκιμής σε σχέση με την σύσταση των συνδετικών κονιών και των συνθηκών συντήρησής τους.

- (5) Αναφορικά με τις μεθόδους μέτρησης της συνάφειας, δεδομένου του ότι θα πρέπει να προσομοιώνουν την πραγματική εντατική κατάσταση στην οποία θα υποβάλλεται η διεπιφάνεια στην κατασκευή (δηλαδή το αναπτυσσόμενο πεδίο τάσεων της δοκιμής να είναι αντιπροσωπευτικό εκείνου της λειτουργίας), οι δοκιμές εκτίμησης της συνάφειας που φαίνεται να αρμόζουν περισσότερο σε τοιχοποιίες είναι οι δοκιμές εφελκυσμού και απευθείας διάτμησης (χωρίς ή με την παρουσία σταθερής ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$ ).
- (6) Στις δοκιμές εφελκυσμού, η αντίσταση του μηχανικού δεσμού εξαρτάται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών (κυρίως των υποβάθρων), την σύσταση των συνδετικών κονιών (χρήση πλαστικοποιητών και ποζολανών) κτλ.
- (7) Στις δοκιμές διατμήσεως, η επιστράτευση της μέγιστης αντίστασης του μηχανικού δεσμού επιτυγχάνεται για τιμή της ολισθήσεως εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά των υλικών, το μέγεθος της επιβαλλόμενης θλίψης, την τραχύτητα της διεπιφάνειας, κλπ. Πάντως, σημαντικό χαρακτηριστικό του μηχανικού δεσμού της συνάφειας (διαπιστωμένο από όλους τους ερευνητές) είναι ότι μέρος της αντοχής συνάφειας διατηρείται ακόμη και για μεγάλες τιμές των ολισθήσεων, στοιχείο πολύ σημαντικό για την φέρουσα ικανότητα των δομικών στοιχείων.
- (8) Δείκτες, πέρα από την μετρούμενη αντοχή της διεπιφάνειας (που χρησιμοποιείται συνήθως ως ποιοτικό κριτήριο), πρέπει να αποτελούν και άλλα χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης, όπως είναι για παράδειγμα η καμπύλη απόκρισης φορτίου-παραμόρφωσης, η δυσκαμψία της διεπιφανειακής ζώνης, η μικροδομή της κτλ. Άλλωστε, δεν έχει μελετηθεί συστηματικά ο μηχανικός δεσμός της συνάφειας υπό συνθήκες μεγάλων επιβαλλόμενων παραμορφώσεων, κατάσταση πολύ μεγάλης σημασίας και για τον σχεδιασμό των επεμβάσεων εν γένει, και για τις περιπτώσεις ιστορικών κτηρίων υποβαλλόμενων σε σεισμικές δράσεις.
- (9) Η διασπορά στις μετρήσεις της αντοχής διεπιφάνειας για υλικά τοιχοποιίας είναι μεγάλη. Μικρό μέρος της διασποράς οφείλεται στις πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται, με το μεγαλύτερο μέρος να αποδίδεται σε ανομοιογένειες των



υποβάθρων σε επίπεδο υλικού και στην αλληλεπίδραση μεταξύ των επιμέρους υλικών.

- (10) Τέλος, αναφορικά με τις διεπιφάνειες ενεμάτων και υποβάθρων, οι διαθέσιμες έρευνες (Miltiadiou 1990), (Toumbakari 2002) φαίνεται να επαληθεύουν τα συμπεράσματα σχετικά με την επιρροή των διαφόρων παραμέτρων στην συνάφεια. Παρόλα αυτά και δεδομένου του ότι η συνάφεια εξαρτάται από τα κατά περίπτωση υλικά, οι διατιθέμενες μελέτες, αν και καίριες, θεωρείται ότι είναι εξαιρετικώς ελάχιστες. Συνεπώς, απαιτείται μια πιο λεπτομερής και συστηματική εξέταση αυτών των διεπιφανειών που θα αφορά περισσότερο υπόβαθρα και νέες συνθέσεις ενεμάτων, αλλά και την εν-χρόνω εξέλιξη της συμπεριφοράς των διεπιφανειών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 3.1 Η ΑΝΑΓΚΗ

Όπως έχει δειχθεί από την Εισαγωγή ήδη, η ποικιλία των τρόπων δομήσεως, καθώς και του συνδυασμού των υλικών δομήσεως των ιστορικών τοιχοποιιών είναι μεγάλη. Εξ άλλου, ο στόχος της επέμβασης μέσω ενεμάτων σε μίαν ιστορική τοιχοποιία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (κατάσταση δομήματος, στοχευμένη ασφάλεια σε σχέση με τις Μνημειακές Αξίες, κλπ). Έτσι, φαίνεται ότι η επιλογή του υλικού επέμβασης είναι μια διαδικασία «εξατομικευμένη» ή, καλύτερα, «επί μέτρω». Από την άλλη πλευρά, ο Μηχανικός που επεμβαίνει σε ένα συγκεκριμένο έργο, δεν είναι δυνατόν να εκπονεί ερευνητική εργασία με στόχο την επιλογή του κατάλληλου ενέματος και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του συγκεκριμένου ενέματος στην συγκεκριμένη τοιχοποιία.

Έτσι, αναδεικνύεται η ανάγκη να διερευνηθεί συστηματικά η επιτελεσματικότητα ενός μεγάλου πλήθους συνθέσεων ενεμάτων στην συμπεριφορά τριστρωτων τοιχοποιιών διαφορετικής γεωμετρίας και υλικών δομήσεως. Εντούτοις, ο όγκος μιας τέτοιας ερευνητικής προσπάθειας είναι απαγορευτικός, ενώ, όπως είναι φυσικό, δεν είναι δυνατόν να καλυφθούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί παραμέτρων γεωμετρίας και υλικών. Αντιθέτως, μια τέτοια μελέτη πρέπει να εστιαστεί, κυρίως, στην πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των υλικών επέμβασης στους επιμέρους μηχανισμούς βελτίωσης της συμπεριφοράς της ενισχυμένης τοιχοποιίας. Μέσω αυτής της διερεύνησης, αναμένεται να προκύψουν τα στοιχεία για την πρόβλεψη της απόκρισης της ενισχυμένης τοιχοποιίας, καθώς και να ποσοτικοποιηθούν τα κριτήρια για τον σχεδιασμό ενεμάτων επέμβασης. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο μέρος της βιβλιογραφικής αναδρομής, οι μηχανισμοί βελτίωσης της τοιχοποιίας μετά τα ενέματα είναι τρεις και σχετίζονται με: 1) την σημαντική αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της ενδιάμεσης στρώσης, 2) την μικρή βελτίωση χαρακτηριστικών των εξωτερικών στρώσεων, και, βεβαίως, 3) την αποκατάσταση της συνεργασίας μεταξύ των παρειών, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται καθυστέρηση της εμφάνισης κατακορύφων ρωγμών

ανάμεσα στις παρειές μετά την ενίσχυση. Εξ άλλου, η διεπιφάνεια υλικού επέμβασης και υπάρχοντος υλικού ενδέχεται να αποτελέσει ισχυρή ή αδύναμη ζώνη (ανάλογα με την επιτυγχανόμενη συνάφεια) και, επομένως, επηρεάζει την απόκριση της κατασκευής έναντι μονοτονικών και ανακυκλιζόμενων δράσεων, όπως είναι η κρίσιμη για την Χώρα μας δράση του σεισμού.

Έτσι, η προαναφερθείσα μεθοδολογία, η οποία έχει εφαρμοσθεί για την διερεύνηση της επιρροής των διαφόρων συνθέσεων επέμβασης στις μηχανικές ιδιότητες της ενισχυμένης τοιχοποιίας, απεικονίζεται σχηματικώς στην Εικόνα 88 και περιλαμβάνει την παράλληλη εξέταση: σε επίπεδο δομικού στοιχείου τοίχου (μάκρο-κλίμακα), σε επίπεδο υλικού ενδιάμεσης παρειάς και διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ ενεμάτων και υφιστάμενων υλικών (μέσο-κλίμακα), και τέλος, σε επίπεδο ιδιοτήτων του ενέματος και της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης (μίκρο-κλίμακα). Ας σημειωθεί ότι, αντίστοιχες μεθοδολογίες έχουν εφαρμοσθεί κατά το παρελθόν σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων ή κονιαμάτων. Με βάση τα αποτελέσματα των εργασιών που σχετίζονται με την επίδραση των υλικών επέμβασης στα διάφορα επίπεδα ελέγχου, προκύπτουν τα ακόλουθα (βλ. Κεφάλαιο Βιβλιογραφικής Αναδρομής):

**Μακρο-κλίμακα:** Από την πειραματική διερεύνηση σε τοιχίσκους πριν και μετά τα ενέματα, αποδείχθηκε ότι ενέματα με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως είναι τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, είναι ανταγωνιστικά με ισχυρότερα τσιμεντένεμα σε όρους βελτίωσης της μηχανικής αντοχής των τρίστρωτων τοιχοποιιών, διασφαλίζοντας ταυτοχρόνως, μια πιο πλάσιμη απόκριση των τοίχων.

**Μεσο-κλίμακα, Μικρο-κλίμακα:** Τα εν λόγω υλικά βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες της ενδιάμεσης στρώσης [για πρδ. (Miltiadou 1990), (Valluzzi 2004), (Kalagri et al. 2007)] μέσω της εφελκυστικής τους αντοχής (Vintzileou 2007). Εξ άλλου, παρατηρήσεις της μικροδομής<sup>1</sup> σε συνδυασμό με μηχανικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δοκίμια διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρου έδειξαν ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες για τριμερείς συνθέσεις με συμβατική ποζολάνη (με ή χωρίς την προσθήκη πυριτικής άχνης), οφειλόμενες πέρα από την πύκνωση της μικροδομής των ενεμάτων και, κυρίως, στην πύκνωση της μικροδομής της διεπιφάνειας λόγω της εξέλιξης της ποζολανικής α-



**Εικόνα 88.** Σχηματική απεικόνιση επίδρασης των ενεμάτων στην επισκευασμένη τοιχοποιία [βάσει της (Toumbakari 2002)].

<sup>1</sup> Οι παρατηρήσεις της μικροδομής πραγματοποιήθηκαν στις επιφάνειες σύνθετων δοκιμιών ενεμάτων/υποβάθρων, τα οποία είχαν προηγούμενως φορτισθεί.

ντίδρασης (Toumbakari 2002).

Παρά την μεγάλη σημασία του, ο μηχανισμός ανάπτυξης της συνάφειας σε διεπιφάνειες στο εσωτερικό των τοιχοποιιών δεν έχει μελετηθεί επαρκώς, εν αντιθέσει με άλλες διεπιφάνειες όπως εκείνες των σκυροδεμάτων ή κονιαμάτων, για τις οποίες διατίθενται πλούσια πειραματικά αποτελέσματα. Πράγματι, στο δεύτερο μέρος της Βιβλιογραφικής Αναδρομής φάνηκε ότι υπάρχουν θέματα, τα οποία δεν καλύπτονται ή καλύπτονται εν μέρει μόνον από τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία. Έτσι, αποδεικνύεται ότι:

- (1) Παρουσιάζεται ανεπάρκεια αφενός, στην κατανόηση του μηχανισμού της συνάφειας και αφετέρου, στην μελέτη της επιρροής των διαφόρων παραμέτρων.
- (2) Δεν έχει μελετηθεί συστηματικά ο μηχανικός δεσμός της συνάφειας υπό συνθήκες μεγάλων επιβαλλόμενων παραμορφώσεων, κατάσταση πολύ μεγάλης σημασίας για τον σχεδιασμό των επεμβάσεων, εν γένει, και για τις περιπτώσεις ιστορικών κτηρίων υποβαλλόμενων σε σεισμικές καταπονήσεις ιδιαίτερας. Ας σημειωθεί ότι, τα παραπάνω στοιχεία για την απόκριση των διεπιφανειών αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς βρέθηκε ότι, μεταξύ άλλων, τα ενέματα επηρεάζουν την παραμορφωσιμότητα των τοίχων μετά την ενίσχυση.
- (3) Δεν διατίθεται στην διεθνή βιβλιογραφία αξιόπιστο φυσικό προσομοίωμα το οποίο να περιγράφει την συμπεριφορά του μηχανισμού συνάφειας υποβάθρου/ενέματος. Έτσι, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς δομικών στοιχείων ενισχυμένων μέσω ενεμάτων εξακολουθεί έως τις μέρες μας να παραμένει πλήρως εμπειρική. Πρέπει να σημειωθεί ότι το θέμα καθίσταται ιδιαίτερας σημαντικό για την Χώρα μας, δεδομένου ότι οι ιστορικές κατασκευές υποβάλλονται σε σεισμικές δράσεις, έναντι των οποίων απαιτείται ενίσχυση των μνημείων ελεγχόμενης αποτελεσματικότητας.
- (4) Όσον αφορά τα υλικά, οι εργασίες που αφορούν την μελέτη της διεπιφάνειας σε λίθινα υπόβαθρα με μεγάλο πορώδες (τα οποία απαντώνται συχνότερα σε τοιχοποιίες) είναι πολύ περιορισμένου πλήθους και στερούνται συστηματικότητας. Ας σημειωθεί ότι οι διαθέσιμες εργασίες που πραγματοποιούνται την πειραματική διερεύνηση διεπιφανειών με ενέματα, περιορίζονται μόλις στις δύο σε πλήθος (Miltiadou 1990), (Toumbakari 2002). Εξ άλλου, παρουσιάζεται σημαντική

έλλειψη στοιχείων για τις συγκολλητικές ικανότητες (όπως για παράδειγμα η εν-χρόνω ανάπτυξη τους) υδραυλικών ενεμάτων με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, δηλαδή συνθέσεων με τρία συστατικά (τσιμέντο, άσβεστο και ποζολάνη) ή συνθέσεων υδραυλικής ασβέστου, των οποίων η χρήση είναι επιθυμητή σε παραδοσιακές τοιχοποιίες. Έστω υπ' όψη ότι, καθώς η ομογενοποίηση μάζας αποτελεί μια μη αναστρέψιμη επέμβαση στην τοιχοποιία, η χρήση κατάλληλων ενεμάτων (από απόψεως μηχανικών χαρακτηριστικών και ανθεκτικότητας σε διάρκεια) αποτελεί στόχο κεφαλαιώδους σημασίας για τον τομέα των επεμβάσεων σε κατασκευές της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Από αυτήν την άποψη, είναι πολύ σημαντική η επιδιωκόμενη απόδειξη της δυνατότητας για ευρύτερη χρήση των ποζολανών (στις οποίες είναι πλούσια η Χώρα μας) και αναλόγου τύπων υλικών στις επεμβάσεις σε μνημεία και ιστορικά κτίρια, με ταυτόχρονο περιορισμό της χρήσης του τσιμέντου.

Αναδεικνύεται επομένως, η ανάγκη για μια εις βάθος και συστηματική μελέτη των συγκολλητικών ιδιοτήτων διαφόρων τύπων υδραυλικών ενεμάτων και υποβάθρων, με στόχο την παραγωγή βασικής γνώσεως για την αποτελεσματική εφαρμογή των ενεμάτων σε ιστορικές κατασκευές. Από αυτήν την μελέτη θα προκύψουν στοιχεία για τον μηχανισμό της συνάφειας για τις εν λόγω διεπιφάνειες, καθώς και στοιχεία για την τροφοδότηση αναλυτικών προσομοιωμάτων για την εκτίμηση της συνεισφοράς των ενεμάτων στην μηχανική απόκριση της ενισχυμένης τοιχοποιίας.

Στην κάλυψη του διαπιστούμενου κενού σε ότι αφορά την μελέτη του μηχανισμού της συνάφειας για τα υλικά των τοιχοποιιών στοχεύει να συμβάλει η παρούσα ενότητα της Διατριβής. Γι' αυτό, στο Πειραματικό Μέρος της παρούσας εργασίας, μελετήθηκε ο μηχανισμός συνάφειας για διεπιφάνειες διαφόρων τύπων υποβάθρων και τριμερών ενεμάτων και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου. Η μελέτη της συνάφειας πραγματοποιήθηκε σε δύο κατευθύνσεις, σε μικρο- και μεσο-κλίμακα. Σε μικρο-κλίμακα, πραγματοποιήθηκαν παρατηρήσεις της μικροδομής, καθώς και ο ορυκτολογικός χαρακτηρισμός των διεπιφανειών. Σε μεσο-κλίμακα μετρήθηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διεπιφανειών για φορτίσεις, οι οποίες έχει αποδειχθεί ότι είναι κρίσιμες για κατασκευές από τοιχοποιία. Επί πλέον, συμπληρωματικά με τις παρατηρήσεις στην μικροδομή, πραγματοποιήθηκαν μακροσκοπικές παρατηρήσεις για την

κατάσταση του αρμού των ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια των μηχανικών δοκιμών. Στο τέλος, τα αποτελέσματα των δύο προσεγγίσεων συσχετίστηκαν με στόχο να δοθούν ερμηνείες. Έτσι, στις επόμενες ενότητες, παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής των εξεταζομένων υλικών (ενέματα και υπόβαθρα) και των σύνθετων δοκιμών, των πειραματικών διατάξεων και άλλα λοιπά στοιχεία, όπως το πλήρες Πειραματικό Πρόγραμμα των δοκιμών (ΜΕΡΟΣ Ι). Έπειτα, δίδονται τα αποτελέσματα της πειραματικής διερεύνησης, καθώς και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και η ερμηνεία των παρατηρηθεισών συμπεριφορών και τάσεων (ΜΕΡΟΣ ΙΙ).

## ΜΕΡΟΣ Ι: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 3.2 Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

#### 3.2.1 ΕΝΕΜΑΤΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η σύγχρονη τάση διεθνώς είναι η επίτευξη επεμβάσεων με μεγάλη ανθεκτικότητα σε διάρκεια, συνιστώσα της οποίας είναι η χρήση υλικών τα οποία να εξασφαλίζουν φυσικοχημική συμβατότητα με τα υφιστάμενα. Από αυτήν την άποψη, γίνεται προσπάθεια να μειωθεί (μέχρι και μηδενισμού) το ποσοστό του τσιμέντου στις συνθέσεις των ενεμάτων. Αυτή η τάση φαίνεται να ευνοείται από τις μέχρι τώρα δοκιμές σε τοιχοποιία μετά την εφαρμογή των ενεμάτων, καθώς αποδεικνύεται ότι καθοριστική ιδιότητα για την αποτελεσματικότητα της επέμβασης είναι η επιτυγχανόμενη συνάφεια ενέματος/κατά χώραν υλικών. Αναμένεται, λοιπόν, ότι υλικά όπως οι συνθέσεις τσιμέντου-υδράσβεστου-ποζολάνης και οι συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου θα είναι, από την άποψη της συνάφειας, απολύτως ανταγωνιστικά των τσιμεντενεμάτων. Βεβαίως, η επιτυγχανόμενη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας εξαρτάται και από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ενέματος. Επομένως, αναλόγως με τον στόχο της επέμβασης θα πρέπει να χρησιμοποιείται η «κατάλληλη»/βέλτιστη σύνθεση ενέματος. Αυτή, θα επιλεγεί, βάσει καταλλήλων κριτηρίων, από μια «δεξαμενή» διατιθέμενων υλικών. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να διερευνηθεί η χρήση υλικών με εν δυνάμει υδραυλικές ιδιότητες (ποζολάνες, υδραυλική ασβέστος), τα οποία-παράλληλα με την επίτευξη ικανοποιητικής συνάφειας-να εξασφαλίζουν και επαρκώς βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας μετά από την επέμβαση. Εντούτοις, η πλήρης αντικατάσταση του τσιμέντου από μίγματα που περιέχουν μόνο ασβέστη και ποζολάνη, εμφανίζει το μειονέκτημα της πολύ βραδείας ανάπτυξης των μηχανικών αντοχών. Επομένως, η προσθήκη μιας τσιμεντιτικής φάσης φαίνεται να είναι αναγκαία όταν απαιτείται να σχηματισθεί βραχυπρόθεσμα μια ανθεκτική μικροδομή στα υλικά επέμβασης (Paragianni 1998). Η τσιμεντιτική φάση μπορεί να εισαχθεί στις συνθέσεις είτε μέσω της προσθήκης τσιμέντου πόρτλαντ [κυρίως με τις φάσεις του αλίτη ( $C_3S$ ) και του βελίτη ( $C_2S$ )]

είτε με την χρήση φυσικής υδραυλικής ασβέστου (κυρίως μέσω της φάσης  $C_2S$ ).

Στις μέρες μας, η χρήση μικτών συστημάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (τριμερή ενέματα) ή ενεμάτων φυσικών υδραυλικών ασβέστων, είναι συνηθισμένη για την ενίσχυση ιστορικών τοιχοποιιών με την μέθοδο της ομογενοποίησης μάζας με ενέματα. Με αυτού του τύπου τα υλικά αναμένεται να καλύπτονται οι απαιτήσεις σε όρους ανθεκτικότητας, με παράλληλη διατήρηση των επιθυμητών, από πλευράς Πολιτικού Μηχανικού, επιτελεστικότητας σε όρους μηχανικών αντοχών του ενισχυμένου φορέα. Έτσι, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας διερευνήθηκε η επιρροή στην συνάφεια των δυο αυτών τύπων υδραυλικών ενεμάτων: των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και των ενεμάτων φυσικής υδραυλικής ασβέστου. Στα επόμενα δίδεται η λογική σχεδιασμού των συνθέσεων που μελετήθηκαν.

### **3.2.1.1 Μικτό σύστημα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης**

Από τα τέλη της δεκαετίας του 80 ήδη, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τριμερείς συνθέσεις ενεμάτων αποτελούμενες από τσιμέντο Portland (σε περιεκτικότητα από 10 έως 50%-κ.β.), υδράσβεστο, φυσικές ποζολάνες, λεπτόκοκκη άμμο ή/και κεραμάλευρο, ενίοτε, ή/και βιομηχανικά παραπροϊόντα [για πρδ. (Penelis et al. 1988), (Miltiadou 1990), (Toumbakari et al. 1999), (Toumbakari 2002), (Miltiadou 2004)]. Αναλόγως της σύστασης και των ιδιοτήτων των επιμέρους υλικών μιας σύνθεσης, τα μικτά συστήματα τσιμέντου-υδράσβεστου-ποζολάνης είναι δυνατόν να αναπτύξουν μια μεγάλη ποικιλία μηχανικών αντοχών και να εμφανίζουν καλή μηχανική συμπεριφορά. Ας σημειωθεί ότι η ανάπτυξη των μηχανικών ιδιοτήτων των τριμερών συνθέσεων στις πρώτες ημέρες οφείλεται στην ενυδάτωση του τσιμέντου, ενώ το σύστημα ασβέστης-ποζολάνη προσδίδει αντοχές μετά από 2 με 4 εβδομάδες.

#### *Τσιμέντο*

Στο πλαίσιο της παρούσας Διατριβής, η περιεκτικότητα του τσιμέντου που επιλέχθηκε, στηρίχθηκε στα συμπεράσματα της έρευνας των (Toumbakari et al. 1999), (Toumbakari 2002) σχετικά με τον προσδιορισμό ενός ελάχιστου ποσοστού τσιμέντου που απαιτείται σε ενέματα υδρασβέστου και φυσικής συμβατικής ποζολάνης. Από την παραπάνω διερεύνηση, η οποία βασίστηκε στην μελέτη της εξέλιξης με



τον χρόνο της μικροδομής, των μηχανικών ιδιοτήτων και της ανθεκτικότητας, διαπιστώθηκε ότι για τα συγκεκριμένα υλικά και μίγματα απαιτείται ένα περιεχόμενο ποσοστό τσιμέντου της τάξης του 30%-κ.β. για την ανάπτυξη ενεμάτων υψηλής δεισδυτικής ικανότητας (με συμβατή μικροδομή με τα υφιστάμενα υλικά), ενώ ποσοστά τσιμέντου της τάξης του 10% φαίνεται να οδηγούν σε αστάθειες, που σχετίζονται με τις μηχανικές ιδιότητες και την μικροδομή των ενεμάτων στις μεγαλύτερες ηλικίες.

#### *Υδράσβεστος*

Όσον αφορά την επιλογή της υδρασβέστου, είναι γνωστό ότι η παρουσία της είναι απαραίτητη για την αντίδραση των ποζολανικών υλικών και τον σχηματισμό, ένυδρων πυριτικών ή αργιλικών ασβεστίων (C-S-H και C-A-H). Εξ άλλου, η χρήση του ασβέστη είναι επιθυμητή και για λόγους που υπερβαίνουν τις επιλογές καθαρώς δομοστατικού χαρακτήρα, καθώς αποτελεί βασικό συστατικών των τοιχοποιιών και μνημείων.

#### *Ποζολάνες*

Αναφορικά με τις ποζολάνες, επιλέχθηκε να εξετασθούν δυο ποζολάνες που διατίθενται στην αγορά: μια συμβατική (μηλαϊκή γη) και μια τεχνητή ποζολάνη (μετακαολίνης). Ο μετακαολίνης, είναι ένα σχεδόν άμορφο υλικό που προκύπτει από την θερμική κατεργασία του καολίνης σε θερμοκρασίες 450-700° C. Ο καολίνης (ή αλλιώς china clay) είναι ένα ένυδρο πυριτικό αργίλιο που κατά κανόνα βρίσκεται σε προσμίξεις άλλων ορυκτών, όπως πυριτίου, μαρμαρυγικών και άστριων. Η επιλογή του μετακαολίνης ως ποζολανικού υλικού έγινε γιατί αφενός παρουσιάζει λεπτότητα μεγαλύτερη από εκείνη του τσιμέντου και αφετέρου ποζολανική δράση, μεγαλύτερη από αυτή που εμφανίζεται σε συμβατικές ποζολάνες, όπως η μηλαϊκή γη, και μικρότερη από την πυριτική παιπάλη (της οποίας η λεπτότητα και το χρώμα ενδεχομένως, να καθιστούν την εφαρμογή της μη επιθυμητή). Επί πλέον, η διερεύνηση της χρήσης ενός τεχνητού υλικού συμβάλλει στην περαιτέρω αξιοποίησή του, όπως και στην εφαρμογή μιας οικολογικής προσέγγισης ως προς την επιλογή των υλικών επεμβάσεως, καθώς με την χρήση αφενός εναλλακτικών υλικών ως ποζολάνες αποφεύγεται η εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων και αφετέρου υλικών που παράγονται σε σαφώς χαμηλότερη θερμοκρασία έψησης από εκείνη του τσιμέντου, εξοικονομείται σημαντική ποσότητα ενέργειας.

### **3.2.1.2 Σύστημα υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης**

Η φυσική υδραυλική ασβεστος έχει χρησιμοποιηθεί ως υλικό επισκευής σε κονιάματα αποκατάστασης [για πρδ. (Callebaut et al. 2001), (Μοροπούλου 2005)] και ενέματα ενίσχυσης [για πρδ. (Valluzi 2001), (Alvarez 2006), (Miltiadou et al. 2006)] ιστορικών/παραδοσιακών τοιχοποιιών. Σημαντικό στοιχείο για την ανθεκτικότητα αυτών των συνθέσεων, είναι η απουσία βλαβερών προσμίξεων, οι οποίες αντιδρώντας με τα υφιστάμενα υλικά ενδέχεται να οδηγήσουν σε διογκώσεις και, επομένως, σε μικρορηγματώσεις του ενέματος. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τρία έτοιμα μίγματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου τα οποία διατίθενται στην αγορά. Σε μια από τις συνθέσεις προστέθηκε φυσική ποζολάνη με στόχο την εν χρόνω βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της σύνθεσης, και κυρίως, για λόγους ανθεκτικότητας. Σημειώνεται ότι οι παραπάνω συνθέσεις έχουν σχεδιασθεί στο πλαίσιο των εργασιών αποκατάστασης του Καθολικού της Ι.Μ. Δαφνίου [(Kalagri et al. 2007), (Miltiadou et al. 2007)].

### **3.2.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ**

Τα υπόβαθρα επιλέχθηκαν με βάση την συχνότητα εμφάνισής τους σε ιστορικά κτίρια. Έτσι, επιλέχθηκαν πετρώματα με κύριο συστατικό τον ασβεστίτη (μάρμαρο Διονύσου και τεφρός ασβεστόλιθος), δυο ιζηματογενή πετρώματα [ένα ασβεστικό με μεγάλο πορώδες (τραβερτίνης) και ένα πυριτικό αποτελούμενο από χαλαζία, άστριους και συγκολλητικό υλικό (ψαμμίτης)], και δύο είδη συμπαγών οπτόπλινθων. Ειδικότερα, αναφέρεται ότι ο τεφρός ασβεστόλιθος προήλθε από το Καθολικό της Ιεράς Μονής του Όσιου Λουκά, όπου αποτελεί τον συνηθέστερα εμφανιζόμενο λίθο. Αντιστοίχως, ο ψαμμίτης προήλθε από λιθοσωρό του περιβάλλοντος χώρου της Ιεράς Μονής Δαφνίου. Αναφορικώς με τις οπτόπλινθους, χρησιμοποιήθηκαν μια χειροποίητη οπτόπλινθος βυζαντινού τύπου και σύγχρονες οπτόπλινθοι.

### 3.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ-ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

#### 3.3.1 ΕΝΕΜΑΤΑ: ΥΛΙΚΑ-ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

##### 3.3.1.1 Μικτό σύστημα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης

Οι συνθέσεις των ενεμάτων υψηλής δεισδυτικότητας που μελετήθηκαν, περιέχουν τρία υλικά: τσιμέντο Portland CEM I42.5, υδράσβεστο και ποζολάνη (μηλαϊκή γη ή μετακαολίνης) σε κατάλληλες αναλογίες.

##### 3.3.1.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΟΝΙΩΝ: ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

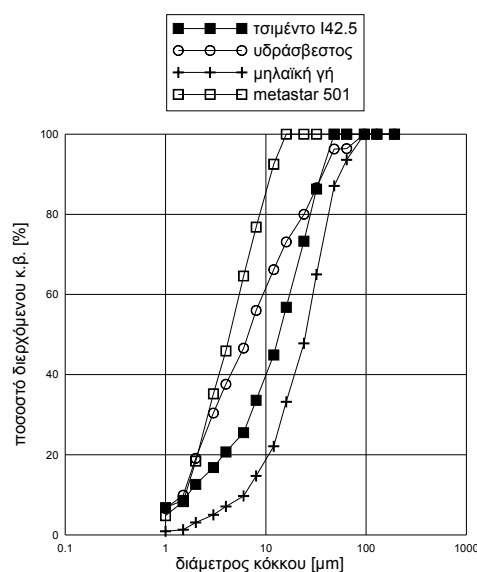
Η χημική ανάλυση και η ειδική επιφάνεια των ποζολανών που χρησιμοποιήθηκαν εδώ, παρατίθενται στον Πίνακα 9, όπως ελήφθησαν από τις σχετικές πηγές. Παρατηρείται ότι ο μετακαολίνης έχει μεγαλύτερη ειδική επιφάνεια σε σχέση με την μηλαϊκή γη. Επί πλέον, είναι μη κρυσταλλικό ποζολανικό υλικό, αργιλοπυριτικής σύστασης με μεγάλη δραστικότητα. Από ορυκτολογικής απόψεως, και η μηλαϊκή γη αποτελείται κυρίως από άμορφο υλικό, με υψηλή περιεκτικότητα σε ενεργό SiO<sub>2</sub> κατά μέσο όρο ίσο με 55% (www.lava.gr).

Πίνακας 9. Χημικές και φυσικές ιδιότητες κονιών.

Χημικές Ιδιότητες		
Χημική ανάλυση [%]	Μετακαολίνης <sup>(1)</sup>	Μηλαϊκή Γη <sup>(3)</sup>
SiO <sub>2</sub>	51.7	60-70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.6	12-15
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.64	3-6
CaO	0.71	2-6
MgO	0.96	1-3
K <sub>2</sub> O	2.27	1-3
Na <sub>2</sub> O	0.04	2-3
TiO <sub>2</sub>	-	0.2-0.6
LOI	1.19	6-10
Φυσικές ιδιότητες		
Ειδική επιφάνεια [m <sup>2</sup> /g]	12 <sup>(2)</sup> -13.8	4.34 <sup>(1)</sup> -7 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> (Moropoulou et al.2004)  
<sup>(2)</sup> (www.imerys.com)  
<sup>(3)</sup> (www.lava.gr)

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των κονιών λήφθηκαν με την μέθοδο διάθλασης ακτινών λέιζερ στο Ερευνητικό Κέντρο της εταιρίας TITAN A.E. στο Καμάρι Βοιωτίας. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 89, η τεχνητή ποζολάνη (μετακαολίνης) παρουσιάζει την μεγαλύτερη λεπτότητα μεταξύ των κονιών που εξετάστηκαν (μέγιστη διάμετρος κόκκου 16μm,



Εικόνα 89. Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιών (Ερευνητικό Κέντρο της TITAN A.E.).

έναντι 48  $\mu\text{m}$  και 96  $\mu\text{m}$ , για το τσιμέντο και την υδρασβεστο αντιστοίχως). Από την άλλη, η μηλαϊκή γη είναι πιο χονδροκόκκη (με μέγιστη διάμετρο στα 96  $\mu\text{m}$ ).

### 3.3.1.1.2 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ-ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, οι τριμερείς συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβεστο-ποζολάνης που διερευνήθηκαν εδώ, περιείχαν τσιμέντο Portland CEM I42.5 με περιεκτικότητα 30% της στερεάς φάσης. Όσον αφορά τις κατά βάρος αναλογίες υδρασβεστο προς ποζολάνη, αυτές επιλέχθηκαν με στόχο την βελτιστοποίηση της ποζολανικής αντίδρασης. Βάσει της σχετικής βιβλιογραφίας, ο βέλτιστος λόγος υδρασβεστο:ποζολάνης [προσδιορισμένος με δοκιμή Chapelle (Largent 1978)] για τον υψηλής δραστηριότητας μετακαολίνη κυμαίνεται μεταξύ 1:1.2 (Kakali et al. 2001), (www.imerys.com) έως 1:2 (Murat 1983), ενώ για συμβατικές ποζολάνες [για πρδ (Λεγάκη 1999), (Toumbakari 2002), (Aggelakorouli et al. 2005), (Mororouli et al. 2004)], με λεπτότητα ανάλογη της μηλαϊκής γης, λαμβάνει μικρότερες τιμές (από 1:2 έως 1:3). Στον Πίνακα 10, παρουσιάζονται οι δυο τριμερείς συνθέσεις που επιλέχθηκαν βάσει κριτηρίου βέλτιστης ποζολανικής αντίδρασης (συνθέσεις G2 και G4, με τον μετακαολίνη και την μηλαϊκή γη, αντιστοίχως). Ας σημειωθεί εδώ ότι, ο μετακαολίνης χρησιμοποιείται ως πρόσθετο υλικό σε σκυροδέματα, καθώς έχει βρεθεί ότι βελτιώνει τις φυσικο-μηχανικές ιδιότητες των μιγμάτων όταν προστίθεται σε ποσοστό της τάξης του 10% με 15%. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αποφασίστηκε να διερευνηθεί η χρήση του και σε μεγαλύτερα ποσοστά. Τέλος, στην περίπτωση της σύνθεσης με την φυσική ποζολάνη, G4, η τιμή του λόγου υδρασβεστο:ποζολάνης καθορίστηκε τελικώς από το κριτήριο της εξίδρωσης. Τα σχετικά στοιχεία παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β.

**Πίνακας 10.** Συνθέσεις ενεμάτων μικτού συστήματος τσιμέντου-υδρασβεστο-ποζολάνης.

κωδικός ενέματος	σύνθεση [%-κ.β.]				λόγος w/s
	Τσιμέντο C	Υδρασβεστος L	Μετακαολίνης MK	Μηλαϊκή Γη LA	
G1	80	20	-	-	0.8
G2	30	35	35	-	1.10
G3	30	47	23	-	1.10
G4	30	20	-	50	0.85
G5	30	35	-	35	0.90

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 10, πέρα από τις συνθέσεις με τους βέλτιστους λόγους υδρασβεστο:ποζολάνης, με τους οποίους

αναμένεται να εξασφαλίζονται τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά, επιλέχθηκαν άλλα δυο ενέματα (συνθέσεις G3 και G5). Καθώς έχει αποδειχθεί ότι η θλιπτική αντοχή των ενεμάτων δεν είναι η βασική ιδιότητα που ελέγχει την συμπεριφορά των τριστρωτων τοιχοποιιών μετά την επέμβαση, η επιλογή των συνθέσεων G3 και G5 έγινε με στόχο την κάλυψη ενός μεγαλύτερου εύρους μηχανικών χαρακτηριστικών στις τριμερείς συνθέσεις, αλλά και για λόγους οικονομίας των ποζολανικών υλικών. Τέλος, εκτός από τα τέσσερα επιλεγμένα τριμερή ενέματα, χρησιμοποιήθηκε και ένα πέμπτο ένεμα ως μίγμα αναφοράς. Πρόκειται για ένα σύνηθες τσιμεντένεμα (το οποίο περιέχει υδράσβεστο σε μικρή περιεκτικότητα 20% κ.β. της στερεάς φάσης), το οποίο αποτελεί τον πλέον συνηθισμένο τύπο ενεμάτων που χρησιμοποιείται σε πρακτικές εφαρμογές μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του '90. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι συνθέσεις των ενεμάτων τσιμέντου-υδράσβεστου-ποζολάνης που τελικώς εξετάστηκαν.

#### *Παρασκευή ενεμάτων*

Τα ενέματα παρασκευάστηκαν με μηχανικό αναδευτήρα (2700 στροφών ανά λεπτό). Η επιλογή της μεθόδου μηχανικής ανάμιξης των ενεμάτων έναντι άλλων μεθόδων (για πρδ. υψηλού στροβιλώδους ή με υπερήχους) έγινε με στόχο να προσομοιωθούν οι μάλλον συνήθεις δυσμενείς συνθήκες παραγωγής ενεμάτων σε ένα εργοτάξιο.

#### *Λόγος w/s*

Ως προς τον προσδιορισμό του λόγου ύδατος προς στερεά (w/s) των συνθέσεων, τα ενέματα σχεδιάστηκαν να διέρχονται διαμέσου κενών μεγέθους 250μm (κριτήριο ίδιας διεισδυτικότητας). Πιο συγκεκριμένα, αρχικώς, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διεισδυτικότητας κατά (EN 1771) σε στήλη άμμου με κλάσμα 1.00÷1.70 mm. Κατόπιν, και με την προϋπόθεση της διέλευσης του ενέματος από την στήλη άμμου, εξετάστηκε η απαίτηση για σταθερότητα/συνεκτικότητα του αιωρήματος. Αυτή η απαίτηση περιελάμβανε τον περιορισμό της εξίδρωσης σε τιμές μικρότερες του 5% (Miltiadou 1990) και την απουσία απόμιξης/διαστρωμάτωσης του μίγματος. Ας σημειωθεί ότι η ικανοποίηση των ελέγχων διεισδυτικότητας και σταθερότητας των συνθέσεων, έγινε με ταυτόχρονη διατήρηση επαρκούς ρευστότητας. Γι' αυτόν τον λόγο, στις εξετασθείσες συνθέσεις χρησιμοποιήθηκε υπερρρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικών πολυμερών (1.2÷1.5%-κ.β.). Στο Παράρτημα Β παρατίθενται αναλυτικώς τα αποτελέσματα των

πραγματοποιηθεισών δοκιμών δεισδυτικότητας, σταθερότητας και ρευστότητας.

### 3.3.1.1.3 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ - ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ

Για τις εξεταζόμενες συνθέσεις, προκειμένου να γίνει ο μηχανικός χαρακτηρισμός των σκληρυμένων ενεμάτων κατά EN 196-1:1994, παρασκευάσθηκαν δοκίμια τσιμεντόπαστας με διαστάσεις 40x40x160 mm<sup>3</sup>, οι οποίες συντηρήθηκαν σε κατάλληλες συνθήκες, όπως διευκρινίζεται εν συνεχεία, μέχρι την ημερομηνία διεξαγωγής των δοκιμών. Τα δοκίμια υποβλήθησαν, αρχικώς, σε κάμψη τριών σημείων σε υδραυλική πρέσσα μεγίστου φορτίου 300KN και, έπειτα, σε θλίψη σε μηχανή μεγίστου φορτίου 3000KN. Οι μετρηθείσες τιμές για την καμπτική και θλιπτική αντοχή των ενεμάτων δίδονται στους Πίνακες 11 και 12. Πραγματοποιήθηκαν δυο σειρές δοκιμών: στην μια, τα δοκίμια συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο (Πίνακας 11) και στην δεύτερη, δοκίμια τριμερών ενεμάτων συντηρήθηκαν σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου (Πίνακας 12). Παράλληλα με τις μηχανικές δοκιμές, μετρήθηκε το βάθος ενανθράκωσης των πηγμάτων με διάλυμα φαινολοφθαλείνης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατίθενται στο Παράρτημα Γ.

Πίνακας 11. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ενεμάτων (συντήρηση σε υγρό θάλαμο).

ηλικία [ημέρες]	G1			G2			G3			G4			G5		
	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$
7	13.3	3.7	-	5.1	1.3	-	3.5	0.7	-	1	0.6	-	-	-	-
28	14.6	3.4	1.47	9.9	2.0	1.26	7.3	2.3	1.25	3.3	1.7	1.38	2.8	0.8	-
60	-	-	-	11.3	1.4	1.23	7.3	0.9	1.16	4.6	1.2	1.18	-	-	-
90	17.9	4.5	1.40	12.4	1.0	1.21	7.7	1.3	1.21	7.6	1.9	1.22	5.7	1.4	-
180	25.9	4.7	1.41	8.1	0.9	1.14	7.1	1.3	1.10	6.9	1.3	1.17	-	-	-
365	24.9	2.3	1.42	4.9	0.3	1.09	2.5	0.1	1.00	3.7	0.4	1.12	-	-	-
365 ημέρες: ενανθρά- κωση[mm]	12 (άνω ίνα)			10.5			17.5			20					

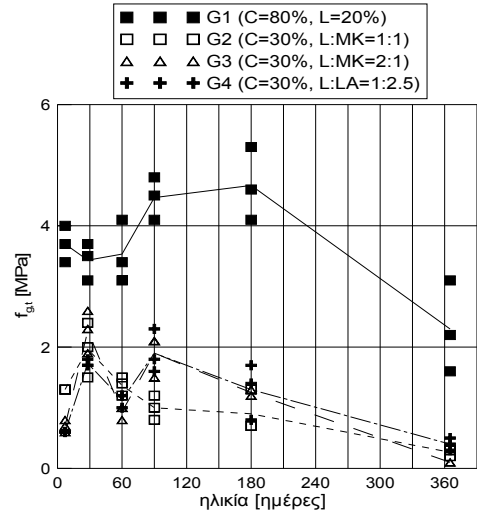
Πίνακας 12. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ενεμάτων (συντήρηση σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου).

ηλικία [ημέρες]	G2			G3			G4		
	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$\rho$
28	11.4	1.9	1.45	7.4	1.4	1.38	2.2	1.3	1.45
90	13.6	1.0	-	-	-	-	7.9	1.9	1.40
230	17.9	3.3	1.40	9.9	2.2	1.34	7.3	1.7	1.38

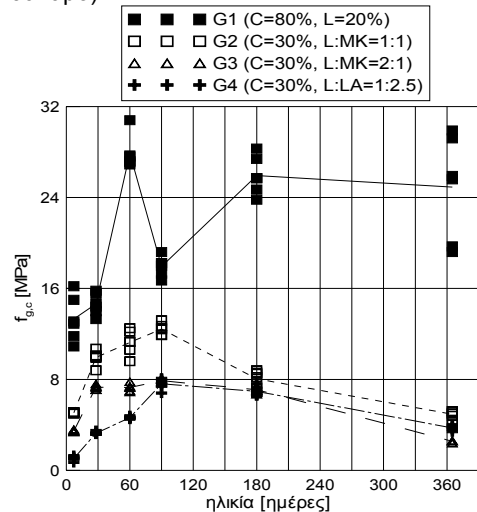
*Ενέματα συντηρηθέντα σε υγρό θάλαμο*

Καθώς φαίνεται στις Εικόνες 90 και 91, όπου έχουν σχεδιαστεί η εν χρόνω εξέλιξη της καμπτικής και θλιπτικής αντοχής των ενεμάτων, το τσιμεντένεμα G1, το τριμερές ένεμα G2 και, έπειτα, τα ενέματα G3, G4 και G5 αναπτύσσουν κατά φθίνουσα σειρά τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Ας σημειωθεί ότι, για τις συνθέσεις του μετακαολίνη, η αύξηση του ποσοστού του ασβέστη στην σύνθεση G3 (από 35% σε 47%) είχε το αναμενόμενο αποτέλεσμα της μείωσης των αντοχών. Παρεμφερής ήταν η επίδραση της αύξησης της περιεκτικότητας σε μηλαϊκή γη για την σύνθεση G5. Όπως άλλωστε αναμένεται, αντίθετη είναι η σειρά για τον λόγο της καμπτικής προς την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων: υψηλότερους λόγους αναπτύσσουν τα τριμερή ενέματα (με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά) έναντι του πιο ισχυρού τσιμεντένεματος ή ακόμη και του τριμερούς ενέματος G2 στις ηλικίες των 28 και 90 ημερών (Εικόνα 92).

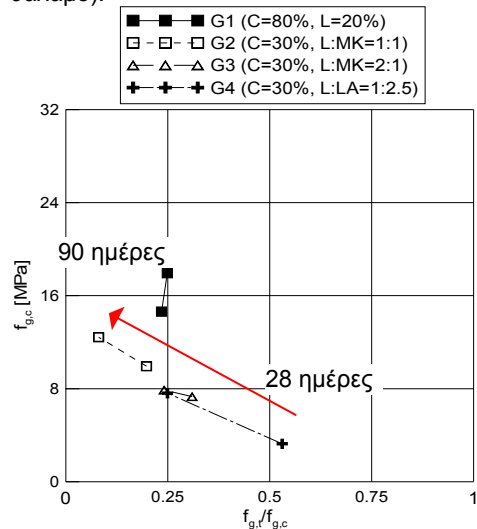
Ως προς την εν χρόνω εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών των συνθέσεων, όπως είναι αναμενόμενο, το ένεμα αναφοράς αναπτύσσει αντοχές από τις πρώτες κιόλας εβδομάδες (Πίνακας 11, Εικόνες 90 και 91). Αντιθέτως, η ποζολανική αντίδραση (για μέγεθος κόκκων των ποζολανών αντίστοιχο με εκείνων του τσιμέντου) συνεισφέρει στην αντοχή των ενεμάτων μετά το πέρας 2-4 εβδομάδων από την παρασκευή τους, με την ανάπτυξη των αντοχών των τριμερών ενεμάτων να συνεχίζεται αρκετές εβδομάδες μετά. Ωστόσο, στα δοκίμια που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο, παρατηρήθηκε μια πτώση στα μηχανικά χαρακτηριστικά των τριμερών συνθέσεων (G2, G3 και G4) στις μεγαλύτερες ηλικίες, συνοδευόμενη από πτώση της πυκνότητά τους. Πράγματι, από την προσεκτική εξέταση της εν χρόνω συμπεριφοράς αυτών των μιγμάτων (Πίνακας 11, Εικόνες 90, 91, 92), διαπιστώνονται τα εξής: 1) στις συνθέσεις του μετακαολίνη, G2 και G3, η θλιπτική αντοχή αυξάνεται κυρίως μεταξύ 7 και 28 ημερών και δευτερευόντως μεταξύ 28 και 90 ημερών, ενώ μετά τις 90 ημέρες η θλιπτική αντοχή σταδιακά μειώνεται, προσεγγίζοντας ένα ποσοστό μείωσης της τάξης του 60 έως 70% στον έναν χρόνο. Για την πιο ευαίσθητη ιδιότητα της καμπτικής αντοχής, η μείωση ξεκινά νωρίτερα (από τις 28 ημέρες) και στην ηλικία του ενός έτους η καμπτική αντοχή πρακτικώς μηδενίζεται. 2) Παρεμφερής είναι η εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών για την σύνθεση με την μηλαϊκή γη. Ας σημειωθεί ότι στην περίπτωση του ενέματος G4, πέρα από κάποιες μικροδιακυμάνσεις, η αύξηση της καμπτικής και θλιπτικής αντοχής πραγματοποιείται σταδιακά μέχρι την ηλικία των τριών μηνών.



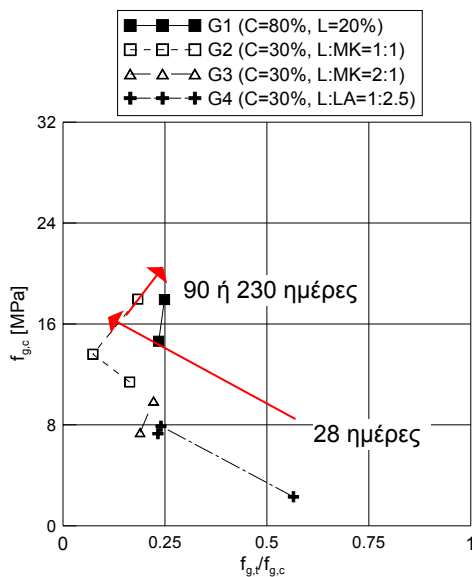
**Εικόνα 90.** Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,t}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο).



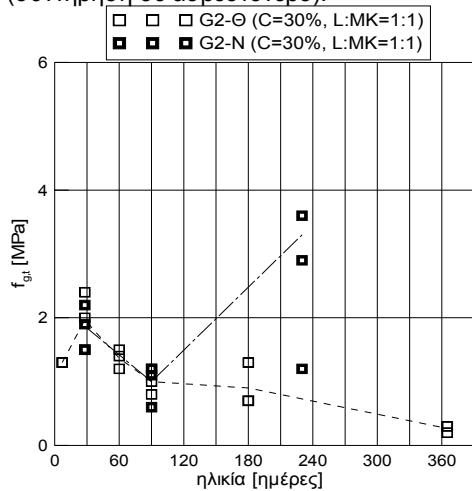
**Εικόνα 91.** Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,c}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο).



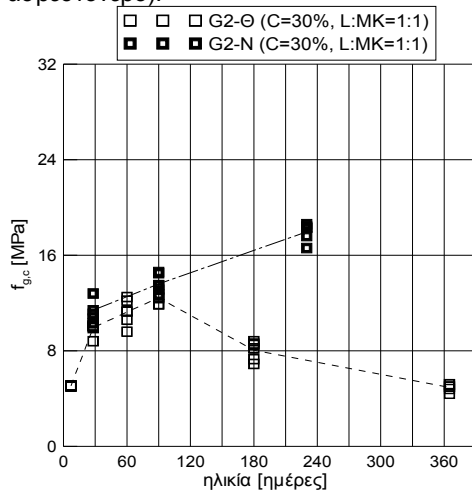
**Εικόνα 92.** Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,c}$  συναρτήσεως του λόγου  $f_{g,t}/f_{g,c}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο).



**Εικόνα 93.** Τριμερή ενέματα: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,c}$  συναρτήσει του λόγου  $f_{g,t} / f_{g,c}$  (συντήρηση σε ασβεστόνερο).



**Εικόνα 94.** Ένεμα G2: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,t}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο και ασβεστόνερο).



**Εικόνα 95.** Ένεμα G2: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,c}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο και ασβεστόνερο).

3) Όσον αφορά τον λόγο της καμπτικής προς την θλιπτική αντοχή των συνθέσεων, αυτός φαίνεται να μειώνεται με τον χρόνο.

*Τριμερή ενέματα συντηρηθέντα σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου*  
 Όπως και στην περίπτωση των δοκιμών που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο, έτσι και εδώ, η σύνθεση G2 ανέπτυξε τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά, με τις συνθέσεις G3 και G4 να ακολουθούν (Πίνακας 12). Εξ άλλου, ίδια παραμένει και η εικόνα για τους λόγους της καμπτικής προς την θλιπτική αντοχή των μιγμάτων (Εικόνα 93). Καθώς φαίνεται από την σύγκριση των σχετικών αποτελεσμάτων των Πινάκων 11 και 12, και των Εικόνων (90, 91) και (94, 95), η συντήρηση των μιγμάτων σε ασβεστόνερο σε σχέση με την συντήρηση των δοκιμών στον υγρό θάλαμο, επέδρασε κυρίως στην βελτίωση της εν χρόνω ανάπτυξης των μηχανικών τους χαρακτηριστικών και δευτερευόντως στην εν χρόνω μεταβολή του λόγου καμπτικής προς θλιπτική αντοχή των μιγμάτων (Εικόνα 93). Όπως και προηγουμένως, για το τριμερή ενέματα με τον μετακαολίνη (συνθέσεις G2 και G3) που συντηρήθηκαν σε διάλυμα υδροξειδίου του ασβεστίου, η μεγαλύτερη αύξηση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών παρατηρήθηκε μεταξύ των ηλικιών των 7 και 28 ημερών. Αντίστοιχη είναι η εικόνα για την σύνθεση της μηλαϊκής γης, με την μεγαλύτερη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της G4 να παρατηρείται μεταξύ 28 και 90 ημερών.

Ως προς τις τιμές της θλιπτικής αντοχής, αξίζει να σημειωθεί ότι η θλιπτική αντοχή του ενέματος G2, προσέγγισε στις 230 ημέρες την θλιπτική αντοχή του ενέματος αναφοράς G1 των 90 ημερών, αποδεικνύοντας την δυνατότητα των τριμερών συνθέσεων, όταν οι συνθήκες συντήρησης είναι κατάλληλες. Σχετικώς, με την πολύ ευαίσθητη μηχανική ιδιότητα της καμπτικής αντοχής, πέρα από κάποιες μικροδιακυμάνσεις στις μετρούμενες τιμές, η καμπτική αντοχή των τριμερών συνθέσεων (που συντηρήθηκαν στο ασβεστόνερο) γενικώς αυξήθηκε (για το ένεμα G2) ή διατηρήθηκε σταθερή (για τα ενέματα G3 και G4). Η διαφορετική εν χρόνω εξέλιξη της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέσεων, πιθανότατα να εξηγείται από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της μικροδομής τους. Η αύξηση στην καμπτική αντοχή του ενέματος G2 αποδίδεται στην σταδιακή πύκνωση της μικροδομής του, χάρις στην ποζολανική αντίδραση και στην λεπτότητα της ποζολάνης. Εξ άλλου, οι (Ambroise et al 1994) απέδειξαν την θετική επίδραση στην μικροδομή (πλούσια σε C-S-H) και στην κατανομή των πόρων (η οποία μετατοπίζεται προς μικρότερες τιμές) κονιαμάτων τσιμέντου-μετακαολίνη όταν έχουν κατάλληλες αναλογίες κονιών. Οι



μικρότερες, αλλά με σταθεροποιητική τάση με τον χρόνο, τιμές της καμπτικής αντοχής για το ένεμα G4 υποδηλώνει μια λιγότερο πυκνή μικροδομή δομή, η οποία ωστόσο είναι ανθεκτική στην μικρορηγμάτωση. Περισσότερα στοιχεία δίδονται στην ενότητα 3.7 της Διατριβής.

*Απόπειρα ερμηνείας της εν-χρόνω μείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών για τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο*

Η παρατηρηθείσα μείωση των μηχανικών αντοχών των ενεμάτων που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο (Εικόνες 90 και 91), μπορεί ενδεχομένως, να αποδοθεί στην δράση δυο παραγόντων: 1) σε μια προοδευτική μικρορηγμάτωση της τσιμεντόπαστας, αλλά και 2) στην απουσία υδρασβέστου διαθέσιμης προς αντίδραση με τις ποζολάνες. Όπως είναι γνωστό, η μικρορηγμάτωση είναι μια εγγενής ιδιότητα των πηγμάτων, η οποία επιτείνεται με την δράση εξωτερικών παραγόντων (μεταβολές στην υγρασία, φόρτιση). Μεταξύ των παραγόντων που προκαλούν μικρορηγμάτωση είναι η συστολή ξήρανσης, καθώς και διάφορες χημικές αντιδράσεις, όπως η ενυδάτωση του τσιμέντου και η ποζολανική αντίδραση.

Από την αναζήτηση στην βιβλιογραφία [βλ. (Toumbakari 2002), (Miltiadiou et al 2007)], διαπιστώθηκε ότι σε παρεμφερείς, με το ένεμα G4, τριμερείς συνθέσεις, οι μετρηθείσες συστολές ξήρανσης δεν συνοδεύονταν από δραματική πτώση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων. Πράγματι, μολονότι μετρήθηκαν ορισμένες μικρές μειώσεις στις τιμές της καμπτικής αντοχής των συνθέσεων, η θλιπτική αντοχή τους εξακολουθούσε να αυξάνεται με τον χρόνο. Στην παρούσα εργασία, παράλληλα με την σημαντική πτώση των μηχανικών ιδιοτήτων των τριμερών ενεμάτων, παρατηρήθηκε μείωση της πυκνότητας των πηγμάτων (με άλλα λόγια απώλεια βάρους) και αύξηση της ζώνης ενανθράκωσης. Πράγματι, από τα αποτελέσματα του Πίνακα 11 και του Παραρτήματος Γ, προκύπτει ότι η απώλεια υλικού μεταξύ 28 και 365 ημερών είναι της τάξης του 15% με 20%, με την ενανθράκωση σε ορισμένες περιπτώσεις να καλύπτει ολόκληρη την διατομή των παστών για την ηλικία του ενός έτους.

Μια τέτοια συμπεριφορά δεν μπορεί παρά να υποδηλώνει ότι στα συγκεκριμένα δοκίμια η ποζολανική αντίδραση και η αντίδραση ενανθράκωσης ελάμβαναν χώρα ταυτοχρόνως και ανταγωνιστικά η μια προς την άλλη [όπως προκύπτει από την ορυκτολογικό χαρακτηρισμό των ενεμάτων G2 και G4 (βλ. § 3.7)]. Επομένως εδώ, η μικρορηγμάτωση πέραν της συστολής ξήρανσης και των χημικών

αντιδράσεων, επιδεινώθηκε λόγω της ενανθράκωσης. Εντούτοις, όπως είναι γνωστό [(Verbeck 1958) παράθεση (Neville 1995)], η ενανθράκωση είναι πολύ μικρή έως και μηδενική για τιμές της σχετικής υγρασίας που προσεγγίζουν το 100%. Αυτό δεν μπορεί παρά να συνεπάγεται ότι οι συνθήκες συντήρησης των δοκιμίων δεν ήταν οι προβλεπόμενες: τουλάχιστον, όσον αφορά την σχετική υγρασία, οι τιμές της RH [%] ήταν σαφώς μικρότερες από τις εκτιμηθείσες. Σε αυτό συνηγορεί και το ότι η απώλεια βάρους των ενεμάτων ήταν αρκετά υψηλή (15 με 20%). Εξ άλλου, με δεδομένο ότι η αυτής της τάξης μεγέθους απώλεια βάρους συνδέεται με χαμηλές τιμές της σχετικής υγρασίας, αναμένεται ότι και η συστολή ξήρανσης των μιγμάτων για τις συγκεκριμένες συνθήκες ήταν μεγαλύτερη από εκείνη των Τουμπακάρη και Μιλτιάδου [(Toumbakari et al. 1999), (Toumbakari 2002), (Miltiadou et al 2007)]. Επομένως, καθώς φαίνεται, οι συνθήκες συντήρησης ήταν εκείνες που επηρέασαν αρνητικά την συμπεριφορά των τριμερών συνθέσεων, οι οποίες και λόγω της μικρότερης περιεκτικότητάς τους σε τσιμέντο, της μεγαλύτερης περιεκτικότητάς τους σε αργιλικές φάσεις [(Wierig 1984) παράθεση (Neville 1995)], αλλά και εξαιτίας της χαμηλότερης διαθεσιμότητας σε  $\text{Ca(OH)}_2$  [(Bier 1987) παράθεση (Neville 1995)] οδήγησαν σε μια λιγότερο ισχυρή μικροδομή, καθώς και μεγαλύτερη ενανθράκωση για αυτές τις συνθέσεις. Αυτή η υπόθεση φαίνεται να είναι σε συμφωνία με την συμπεριφορά των δοκιμίων που συντηρήθηκαν σε ασβεστόνερο: λόγω του βασικού περιβάλλοντος, η ενανθράκωση και η απώλεια μάζας των ενεμάτων στο ασβεστόνερο περιορίστηκε, και έτσι η ποζολανική αντίδραση εξελίχθηκε απρόσκοπτα με τον χρόνο, εξασφαλίζοντας την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων των ενεμάτων (Πίνακας 12, Εικόνες 94 και 95).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να υπογραμμισθεί ότι οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας, όπου τελικώς εισάγονται τα ενέματα, είναι σαφώς ευνοϊκότερες από εκείνες υπό τις οποίες τα πηγματα συντηρήθηκαν στον θάλαμο. Πράγματι, ο μεγάλος όγκος υλικού (λιθωσμάτων) που περιβάλλει τα ενέματα, αποτρέπει την συνεχή τροφοδότηση των υλικών ενίσχυσης με διοξείδιο του άνθρακα, περιορίζοντας έτσι την ένταση και τον χρόνο εξέλιξης της ενανθράκωσης. Επί πλέον, στο εσωτερικό της τοιχοποιίας και οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας αναμένεται να είναι τέτοιες που να επιδρούν λιγότερο αρνητικά στην συστολή (είτε ξήρανσης είτε ενανθράκωσης).

### **3.3.1.1.4 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΜΙΚΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ – ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΥ - ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ**

Για τις εξεταζόμενες τριμερείς συνθέσεις, προκειμένου να γίνει ο ορυκτολογικός χαρακτηρισμός των σκληρυμένων ενεμάτων, από τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον μηχανικό χαρακτηρισμό των ενεμάτων ελήφθησαν τεμάχια από τον πυρήνα της διατομής. Ο ορυκτολογικός χαρακτηρισμός των ενεμάτων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο κρυσταλλογραφίας ακτίνων Χ. Περισσότερα στοιχεία για την πειραματική διάταξη και τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών παρουσιάζονται στις Παραγράφους 3.4.3.1.1 και 3.7, αντιστοίχως.

### **3.3.1.1.5 ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Από την έως τα τώρα παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων της παρούσας Διατριβής:

- (1) Αποδεικνύεται οι τριμερείς συνθέσεις είναι ιδιαίτερα ευπαθείς στις συνθήκες συντήρησης.
- (2) Υπό την προϋπόθεση κατάλληλων συνθηκών συντήρησης, είναι δυνατή η ανάπτυξη συνθέσεων με την χρήση περιορισμένης ποσότητας τσιμέντου και διάφορων ποσοτήτων ασβέστη και ποζολάνης, τα οποία να παρουσιάζουν καλή μηχανική συμπεριφορά και να είναι σε θέση να αναπτύξουν μια μεγάλη ποικιλία αντοχών,.
- (3) Με κριτήριο ότι, η θλιπτική αντοχή γενικώς αποτελεί μια καλή ένδειξη για το αν ο λόγος ασβέστη:ποζολάνη είναι ο βέλτιστος για μια σύνθεση, οι συνθέσεις G2 και G4 αποδεικνύεται ότι προσεγγίζουν σε καλύτερο βαθμό τον βέλτιστο λόγο ασβέστη προς ποζολάνη σε σχέση με τις συνθέσεις G3 και G5.

### **3.3.1.2 Σύστημα υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης**

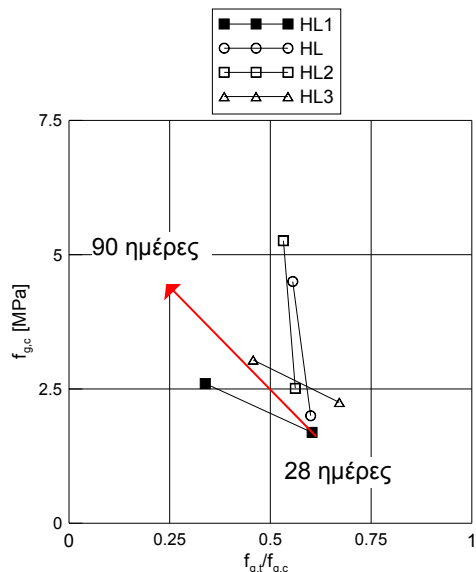
#### **3.3.1.2.1 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ**

Χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα τρία υψηλής διεισδυτικότητας μίγματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου, τα οποία διατίθενται στην αγορά: Albana Calce Albazzana της Degusa (ACAD), NHL5 της St. Astier (NHL5) και Calx Romana της IAR (CR). Οι συνθέσεις των ενεμάτων, όπως μελετήθηκαν από τους (Kalagri et al. 2007) και (Miltiadou et al.

2007), παρουσιάζονται στον Πίνακα 13. Σημειώνεται ότι στο ένεμα HL2 προστέθηκε μια φυσική ποζολάνη (P), με στόχο την βελτίωση της εν χρόνω συμπεριφοράς του μίγματος (σε όρους μηχανικών χαρακτηριστικών και ανθεκτικότητας). Η μέθοδος ανάμιξης των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου επιλέχθηκε ήταν ίδια με εκείνη των (Kalagri et al 2007) και (Miltiadou et al 2007). Έτσι, οι συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου, σε αντίθεση με τα τριμερή ενέματα που παράχθηκαν με μηχανικό αναδευτήρα, παρασκευάστηκαν σε αναμικτήρα υψηλού στροβιλώδους (11000 στροφές ανά λεπτό).

Πίνακας 13. Συνθέσεις και μηχανικά χαρακτηριστικά ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου

Συνθέσεις ενεμάτων [%-κ.β.]												
Ένεμα		ACAD			NHL5			CR		P		
HL1 (Kalagri et al. 2007)		100			-			-		-		
HL (Miltiadou et al. 2007)		-			100			-		-		
HL2 (Miltiadou et al. 2007)		-			90			-		10		
HL3 (Kalagri et al. 2007)		-			-			100		-		
Αντοχή σε θλίψη και κάμψη των ενεμάτων [MPa]												
Ηλικία (ημέρες)	HL1 (Kalagri et al. 2007)			HL			HL2 (Miltiadou et al. 2007)			HL3 (Kalagri et al. 2007)		
	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$f_{g,t}/f_{g,c}$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$f_{g,t}/f_{g,c}$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$f_{g,t}/f_{g,c}$	$f_{g,c}$	$f_{g,t}$	$f_{g,t}/f_{g,c}$
28	1.69	1.02	0.60	2.0	1.2	0.60	2.51	1.41	0.56	2.25	1.51	0.67
90	2.60	0.88	0.34	4.5	2.5	0.56	5.26	2.80	0.53	3.04	1.39	0.46
180	2.49	0.65	0.26				6.04	2.44	0.40	2.88	1.08	0.38



Εικόνα 96. Ενέματα υδραυλικής ασβέστου: Εν-χρόνω εξέλιξη της  $f_{g,c}$  συναρτήσεως του λόγου  $f_{g,t}/f_{g,c}$  (συντήρηση σε υγρό θάλαμο).

### 3.3.1.2.2 ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ-ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ

Η διαδικασία χαρακτηρισμού των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου από μηχανικής άποψης, περιελάμβανε την μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής από κάμψη και της θλιπτικής αντοχής κατά (EN 196-1:1994) στις ηλικίες των 28, 90 και 180 ημερών. Οι αντοχές σε κάμψη και θλίψη των ενεμάτων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 96, γενικώς, παρατηρείται ότι τα εξεταζόμενα ενέματα αναπτύσσουν λόγους καμπτικής προς θλιπτική αντοχή που κυμαίνονται μεταξύ 0.25 και 0.70, με τιμές που μειώνονται με την ηλικία. Ας σημειωθεί ότι, για τις εν λόγω συνθέσεις, η θλιπτική αντοχή των ενεμάτων δεν υπερβαίνει τα 6.5 MPa. Επί πλέον, η θλιπτική αντοχή όλων των ενεμάτων αυξάνεται μεταξύ 28 και 90 ημερών. Σημειώνεται ότι η προσθήκη ποζολάνης (σε ποσοστό 10%-κ.β.) στην σύνθεση HL2, οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της θλιπτικής αντοχής σε σχέση με την σύνθεση HL (χωρίς την ποζολάνη), συνοδευόμενη από αύξηση της καμπτικής αντοχής. Αντιθέτως, στην περίπτωση των ενεμάτων HL1 και HL3 παρατηρείται πτώση της καμπτικής αντοχής (κατά 30-35%) μεταξύ

28 και 180 ημερών. Ενδεχομένως, η διαφορετική εν-χρόνω εξέλιξη της μηχανικής συμπεριφοράς των συνθέσεων, να εξηγείται από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά της μικροδομής τους. Τα σχετικά στοιχεία μελετώνται στην Παράγραφο 3.7 της Διατριβής.

### 3.3.2 ΥΠΟΒΑΘΡΑ

Για όλα τα υλικά υποβάθρου που χρησιμοποιήθηκαν, μετρήθηκαν τα κύρια φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Το φαινόμενο πορώδες και η φαινόμενη πυκνότητα προσδιορίστηκαν κατά ASTM C97-02. Η εφελκυστική αντοχή από κάμψη και η θλιπτική αντοχή των υποβάθρων μετρήθηκαν κατά (EN196-1: 1994), στις ίδιες διατάξεις στις οποίες μετρήθηκαν και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων. Τα αποτελέσματα των δοκιμών για τα υλικά των υποβάθρων παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στον Πίνακα 14.

Πίνακας 14. Κύρια φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων.

υπόβαθρο	$f_{b,c}$ [MPa]	$f_{b,t}$ [MPa]	$n$ [%]	$\rho_{db}$ [t/m <sup>3</sup> ]
μάρμαρο Διονύσου	83/70 <sup>(1), (2)</sup>	8.7/- <sup>(3)</sup>	0.2	2.69
Τεφρός ασβεστόλιθος	102/81 <sup>(2), (4)</sup>		0.2 <sup>(5)</sup>	2.68 <sup>(5)</sup>
τραβερτίνης	12.1÷95.5	4.0÷21.5	16.8÷2.9	1.94÷2.48
ψαμμίτης	6.5 <sup>(5)</sup> -15.0		30.4 <sup>(5)</sup>	1.67 <sup>(5)</sup>
Οπτόπλινθος Α	12.2		21.4	1.77
Οπτόπλινθος Β	26.0 <sup>(5)</sup>		32.5 <sup>(5)</sup>	1.74 <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Οι τιμές έχουν ληφθεί από τις εργασίες των (Vardoulakis et al. 2001), (Exadaktylos et al. 2001), (Kourkoulis et al. 1999)  
<sup>(2)</sup> Οι δυο τιμές αναφέρονται στην αντοχή του μαρμάρου κατά την ισχυρή και ασθενή διεύθυνση  
<sup>(3)</sup> Αναξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα  
<sup>(4)</sup> (ΙΓΜΕ 1997)  
<sup>(5)</sup> (ΔΙΤΕΑ 2008)

#### Μάρμαρο Διονύσου-Τεφρός Ασβεστόλιθος

Η θλιπτική αντοχή του μαρμάρου Διονύσου [(Kourkoulis et al 1999), (Vardoulakis et al 2001), (Exadaktylos et al 2001)] είναι ίση με 83 N/mm<sup>2</sup> και 70 N/mm<sup>2</sup> στην ισχυρή και ασθενή διεύθυνσή του, αντιστοίχως. Η εφελκυστική αντοχή στην ισχυρή διεύθυνση του μαρμάρου προέκυψε ίση με 8.7 N/mm<sup>2</sup>. Επί πλέον, μετρήθηκε το φαινόμενο πορώδες του μαρμάρου το οποίο βρέθηκε ίσο με 0.2%.

Σύμφωνα με δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από το (ΙΓΜΕ 1997), η θλιπτική αντοχή του τεφρού ασβεστόλιθου είναι ίση με 102 N/mm<sup>2</sup> και 81 N/mm<sup>2</sup>, στην ισχυρή και ασθενή διεύθυνση αντιστοίχως. Στην παρούσα μελέτη, η θλιπτική αντοχή του λίθου μετρήθηκε σε κυβικά δοκίμια διαστάσεων 40×40×40mm<sup>3</sup>. Αυτό έγινε με σκοπό να μετρηθούν

οι μηχανικές ιδιότητες των υποβάθρων σε δοκίμια με διαστάσεις παραπλήσιες με εκείνες των σύνθετων δοκιμίων. Αποτέλεσμα αυτής της επιλογής ήταν η απουσία ασυνεχειών στα δοκίμια του τεφρού ασβεστόλιθου που εξετάστηκαν, με συνέπεια να μετρηθούν σαφώς υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής (~225MPa) από εκείνες του (IGME 1997).

#### *Τραβερίτης-Ψαμμίτης*

Ως προς τον τραβερίτη, πρέπει να αναφερθεί ότι είναι ποικίλλουσας ποιότητας. Οι φυσικο-μηχανικές ιδιότητές του επηρεάζονται από την παρουσία μεγάλου ποσοστού πόρων, καθώς και από αργιλικές ασυνέχειες. Πράγματι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 14, σχετικές δοκιμές έδειξαν μεγάλο εύρος τιμών για την αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη (μεταξύ 4.0 MPa και 21.5 MPa) και για την θλιπτική αντοχή (από 12.1 MPa έως 95.5 MPa), καθώς και του φαινόμενου πορώδους (από 2.9% έως 16.8%). Ως προς τον ψαμμίτη, το τεμάχιο που χρησιμοποιήθηκε περιείχε υγιή (εσωτερικώς) και διαβρωμένα (εξωτερικώς) τμήματα. Τούτο αποτυπώθηκε, άλλωστε, στις σχετικώς χαμηλές και με μεγάλη διασπορά μετρηθείσες τιμές της θλιπτικής αντοχής [κυμαινόμενες μεταξύ 6.5 MPa (ΔΙΤΕΑ 2008) και 15.0 MPa]. Εξ άλλου, την διασπορά στα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης επέτεινε η περιεχόμενη υγρασία των λίθων κατά την δοκιμή θλίψης. Επομένως, είναι αναμενόμενο ότι αυτή η ποικιλία στις ιδιότητες του διατιθέμενων τεμαχίων τραβερίτη και ψαμμίτη να επηρεάσει τον τύπο αστοχίας και την τιμή της αντοχής της διεπιφάνειας των αντίστοιχων σύνθετων δοκιμίων.

#### *Οπτόπλιθοι Α και Β*

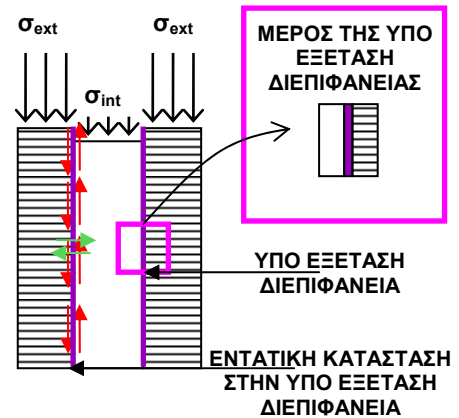
Από χειροποίητες οπτόπλιθους βυζαντινού τύπου διαστάσεων  $200 \times 150 \times 30 \text{mm}^3$  (οπτόπλιθος Α) και σύγχρονες οπτόπλιθους διαστάσεων  $400 \times 400 \times 50 \text{mm}^3$  (Β) ελήφθησαν κυβικά δοκίμια. Βεβαίως, το πάχος των οπτόπλιθων ήταν αυτό που καθόρισε την διάσταση της ακμής κύβου: τα δοκίμια των οπτόπλιθων Α είχαν διαστάσεις  $30 \times 30 \times 30 \text{mm}^3$  και τα δοκίμια των Β  $40 \times 40 \times 40 \text{mm}^3$ . Έτσι, η θλιπτική αντοχή και το φαινόμενο πορώδες των δυο χρησιμοποιούμενων οπτόπλιθων μετρήθηκε ίσο με 12.2 MPa και 21.4% για τις συμπαγείς οπτόπλιθους βυζαντινού τύπου (οπτόπλιθοι Α) και 26.0 MPa και 32.5% για τις σύγχρονες οπτόπλιθους (οπτόπλιθοι Β).

### 3.4 ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

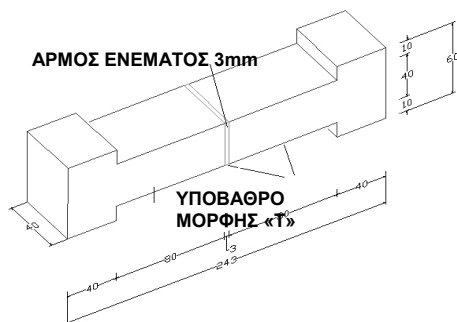
#### 3.4.1 Η ΕΠΙΛΟΓΗ

Στο Κεφάλαιο 2 - ΜΕΡΟΣ Ι της Βιβλιογραφικής Αναδρομής, φάνηκε ότι, καθώς ένας από τους ρόλους των ενεμάτων ενίσχυσης είναι να διεισδύσουν σε υπάρχοντα κενά και ρωγμές ανάμεσα στις παρειές μιας τρίστρωτης τοιχοποιίας και να βελτιώσουν/αποκαταστήσουν την συνεργασία αυτών των παρειών, ο σχεδιασμός των ενεμάτων θα πρέπει να γίνεται με κριτήριο την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της συνάφειας, όπως και της εφελκυστικής αντοχής των ενεμάτων. Άλλωστε, η ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς τρίστρωτων τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα υπό κατακόρυφα θλιπτικά φορτία, έδειξε ότι οι διεπιφάνειες ανάμεσα στις παρειές των τοιχίσκων (βλ. Εικόνα 97), αναλόγως της καθ' ύψος θέσης τους, υποβάλλονται σε σύνθετη καταπόνηση με την ανάπτυξη: 1) διαμητικών τάσεων λόγω της διαφορετικής παραμορφωσιμότητας των στρώσεων (με την παρουσία, μάλλον, μικρής ορθής θλιπτικής τάσης οφειλόμενη στην διόγκωση της ενδιάμεσης στρώσης) και 2) εφελκυστικές τάσεις λόγω των οριζοντίων ωθήσεων της ενδιάμεσης στρώσης στις εξωτερικές παρειές. Γι' αυτούς τους λόγους, στο πλαίσιο της παρούσας Διατριβής αποφασίστηκε να εξετασθεί η συμπεριφορά των διεπιφανειών για αυτά τα δύο είδη φόρτισης (εφελκυσμός και διάτμηση με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου).

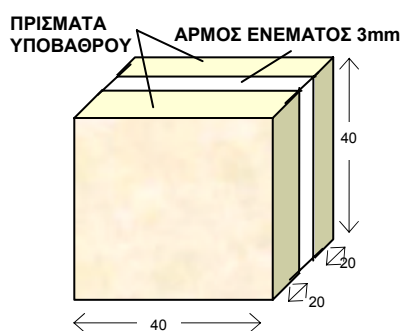
Για την μελέτη της συμπεριφοράς μιας τέτοιας διεπιφάνειας, όπως εκείνης της Εικόνας 97, συνήθως χρησιμοποιούνται δοκίμια μέσης κλίμακας. Μέσω αυτών των δοκιμών, πρακτικώς, διερευνάται η συνάφεια σε ένα μικρό τμήμα της «πραγματικής» διεπιφάνειας (βλ. Εικόνα 97). Βεβαίως, ο τοπικός καταστατικός νόμος συνάφειας που προκύπτει από τέτοιες δοκιμές χρήζει ολοκλήρωσης, προκειμένου να προκύψει η συμπεριφορά της «πραγματικής» διεπιφάνειας. Έτσι, στην παρούσα Διατριβή, για την διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας διεπιφανειών υπαρχόντων υλικών τοιχοποιίας (υπόβαθρα) και υλικών επισκευής (ενέματα), κατασκευάσθηκαν σύνθετα δοκίμια αποτελούμενα από δυο τεμάχια υποβάθρου, τα οποία ήταν συνδεδεμένα μεταξύ τους με έναν αρμό ενέματος σταθερού πάχους αντίστοιχου με το εύρος ρωγμών. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε πάχος ίσο με 3mm. Όπως φαίνεται στις Εικόνες 98 και 99, όπου απεικονίζεται η γεωμετρία



Εικόνα 97. Σχηματική απεικόνιση αναπτυσσομένων τάσεων και παραμορφώσεων στην διεπιφάνεια μεταξύ των παρειών της τρίστρωτης τοιχοποιίας.



**Εικόνα 98.** Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές του εφελκυσμού.



**Εικόνα 99.** Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές διάτμησης.

των σύνθετων δοκιμών για τις μηχανικές δοκιμές, επιλέχθηκαν σχετικώς μικρές διαστάσεις διεπιφάνειας υποβάθρων/ενεμάτων ( $40 \times 40 \text{ mm}^2$  και  $35 \times 45 \text{ mm}^2$ ). Οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκαν τα δοκίμια αυτών των διαστάσεων συνοψίζονται στα παρακάτω:

- (1) Είναι προφανές ότι, τα πειραματικά αποτελέσματα σε δοκίμια μακροκλίμακας (για πρδ. τοιχάρια), δεν εξαρτώνται μόνον από την μηχανική συμπεριφορά της διεπιφάνειας, αλλά από εκείνη του δοκιμίου. Αντιθέτως, με την πραγματοποίηση δοκιμών σε δοκίμια μέσης κλίμακας, λαμβάνονται καμπύλες τάσεως-μετακίνησης, οι οποίες θεωρούνται ως καταστατικοί νόμοι της τοπικής συνάφειας-μετακίνησης. Οι καταστατικοί νόμοι τοπικής συνάφειας-μετακίνησης είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση του φυσικού φαινομένου και την αποτίμηση της επίδρασης διαφόρων παραμέτρων σε αυτό το φαινόμενο.
- (2) Καθώς η κατασκευή μικρότερων δοκιμών είναι ευκολότερη, με την χρήση δοκιμών μεσοκλίμακας μπορεί να εξετασθεί η επίδραση περισσότερων παραμέτρων στην συνάφεια.
- (3) Επίσης, η κατανομή των διατμητικών τάσεων (σε δοκιμές διάτμησης) σε διεπιφάνειες με σχετικώς μικρές διαστάσεις, είναι όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη και έτσι, αποφεύγεται η παρουσία αδρανών περιοχών. Ας σημειωθεί ότι, αποφασίστηκε τα δοκίμια για τα δυο είδη δοκιμών (εφελκυσμός και διάτμηση) να έχουν περίπου τις ίδιες διαστάσεις διεπιφάνειας, ώστε να μην υπεισέρχεται στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων η επίδραση του φαινομένου κλίμακας.
- (4) Εξ άλλου, τα δοκίμια μέσης κλίμακας αποτελούν τον ενδιάμεσο «κρίκο» μεταξύ των δοκιμών σε μικρο- και μακρο-κλίμακα, επιτρέποντας έτσι την άμεση συσχέτιση και ερμηνεία όλων των αποτελεσμάτων μεταξύ τους.
- (5) Τέλος, από την βιβλιογραφική ανασκόπηση φάνηκε ότι παρόμοιες διαστάσεις είχαν χρησιμοποιηθεί στις μελέτες άλλων διεπιφανειών (σκυροδεμάτων, υλικών τοιχοποιίας), καθώς και στην περίπτωση των διεπιφανειών ενεμάτων. Άλλωστε, με την επιλογή των διαστάσεων σε επίπεδο μεσοκλίμακας, είναι εφικτή η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των διατιθέμενων εργασιών (Miltiadou 1990), (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) με εκείνα της παρούσας εργασίας.

Στα επόμενα περιγράφονται οι λεπτομέρειες κατασκευής των σύνθετων δοκιμών, καθώς και οι πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν.

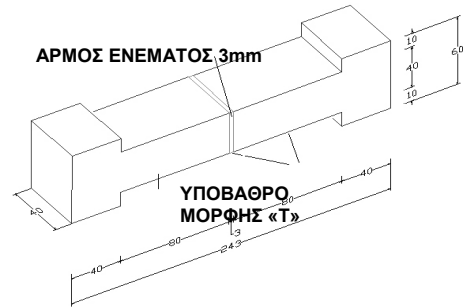


### 3.4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

#### 3.4.2.1 Δοκίμια Μηχανικών Δοκιμών

##### 3.4.2.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των δοκιμών του άμεσου εφελκυσμού (Katsaragakis 1987), καθόρισε την μορφή των σύνθετων δοκιμών, και κατ' επέκταση τον τρόπο παρασκευής τους. Έτσι, για την προετοιμασία των σύνθετων δοκιμών μορφής διπλού ταυ (βλ. Εικόνα 100), αρχικώς, τα υπόβαθρα έπρεπε να διαμορφωθούν σε μορφή «Τ». Γι' αυτό, τεμάχια μαρμάρου Διονύσου και τραβερτίνη κόπηκαν σε ειδικά κοπτήρια (Εικόνες 101 και 102) σε ορθογωνικά πρίσματα δυο διαστάσεων:  $40 \times 40 \times 65$  [ $\text{mm}^3$ ] και  $40 \times 40 \times 80$  [ $\text{mm}^3$ ]. Προκειμένου να σχηματισθούν τα μορφής «Τ» δοκίμια υποβάθρων της Εικόνας 100, κάθε ορθογωνικό πρίσμα με διαστάσεις  $40 \times 40 \times 65$  [ $\text{mm}^3$ ] συγκολλήθηκε εγκάρσιως με πρίσμα διαστάσεων  $40 \times 40 \times 80$  [ $\text{mm}^3$ ]. Τα δυο πρίσματα συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με εποξειδική ρητίνη δυο συστατικών (SIKADUR 3-1). Στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμών με υπόβαθρο από σπτόπλινθο, το πάχος των σπτόπλινθων ήταν εκείνο που οδήγησε στην γεωμετρία του δοκιμίου: οι διαστάσεις των σπτόπλινθων δεν επέτρεπαν να κατασκευαστεί δοκίμιο μορφής ταυ αποκλειστικά από σπτόπλινθο. Έτσι, επελέγη σύνθετο στοιχείο, όπου η σπτόπλινθος ενσωματώνεται σε μια βάση κονιάματος. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 103, το δοκίμιο του υποβάθρου από σπτόπλινθο αποτελείται από δυο τμήματα: το τμήμα Α, που είναι το πλακίδιο της σπτόπλινθος με διαστάσεις  $35 \times 45 \times 25$  [ $\text{mm}^3$ ] και το τμήμα Β, που είναι η βάση με το κονίαμα μορφής «Τ». Για την διαμόρφωση του τμήματος Β, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ο ξυλότυπος της Εικόνας 104. Και σε αυτήν την περίπτωση, τα δυο τμήματα, Α και Β, συγκολλήθηκαν μεταξύ τους με εποξειδική ρητίνη. Με αυτόν τον τρόπο, επετεύχθη η μορφή δοκιμίου την οποία απαιτεί η μέθοδος των θραυσμάτων, χωρίς να επηρεάζεται η διεπιφάνεια σπτόπλινθου και ενέματος. Ας σημειωθεί ότι, καθώς στα πειράματα εφελκυσμού υπεισέρχονται πολλές αβεβαιότητες σχετικά με την ευθυγραμμία του εφελκυστικού φορτίου, δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή κατά την συγκόλληση των διαφόρων τμημάτων των υποβάθρων, έτσι ώστε να απαλειφθούν - όσο είναι δυνατόν- εκκεντρότητες που θα μπορούσαν να οφείλονται στην γεωμετρία των σύνθετων δοκιμών, όπως είναι η απουσία της



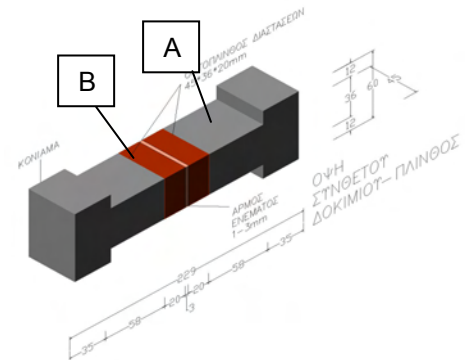
Εικόνα 100. Τυπικό σύνθετο δοκίμιο από λίθο για τις δοκιμές του εφελκυσμού.



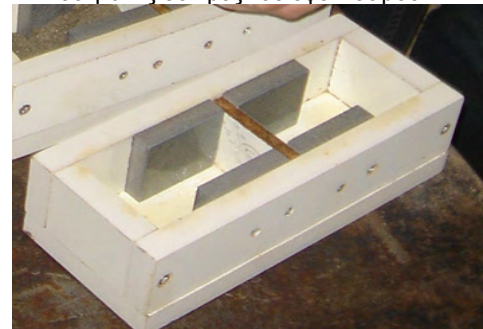
Εικόνα 101. Κοπή τεμαχίων υποβάθρων σε ειδικά κοπτήρια (ΦΑΣΗ 1).



Εικόνα 102. Κοπή τεμαχίων υποβάθρων σε ειδικά κοπτήρια (ΦΑΣΗ 2).



Εικόνα 103. Τυπικό σύνθετο δοκίμιο από πλίνθο για τις δοκιμές του εφελκυσμού.



Εικόνα 104. Ξυλότυπος τμήματος Α.



**Εικόνα 105.** Χρήση αεροστάθμης για την κατασκευή δοκιμίων υποβάθρων.



**Εικόνα 106.** Χρήση γωνιάς για την κατασκευή δοκιμίων υποβάθρων.



**Εικόνα 107.** Μηχανική τράχυνση «προσώπου» δοκιμίου υποβάθρου.



**Εικόνα 108.** Καθαρισμός «προσώπου» δοκιμίου υποβάθρου με πεπιεσμένο αέρα.



**Εικόνα 109.** Προετοιμασία σύνθετου δοκιμίου εφελκυσμού.



**Εικόνα 110.** Έγχυση ενέματος στον αρμό του σύνθετου δοκιμίου.

ορθογωνικότητας και της επιπεδότητας των διατομών. Για αυτό τον σκοπό, χρησιμοποιήθηκαν βοηθητικά μέσα, όπως αεροστάθμης (Εικόνα 105) και γωνίες (Εικόνα 106). Για να προσομοιωθεί η τραχύτητα στις εσωτερικές στρώσεις των τρίστρωτων τοιχοποιιών, η επιφάνεια (το πρόσωπο) των δοκιμίων του υποβάθρου στο οποίο θα γινόταν η έγχυση του ενέματος, τραχύνθηκε με μηχανικά μέσα (Εικόνα 107). Η επιφάνεια επαφής καθαρίστηκε με πεπιεσμένο αέρα (Εικόνα 108) και έπειτα τα τεμάχια των υποβάθρων συντηρήθηκαν για τουλάχιστον δύο εβδομάδες στον υγρό θάλαμο σε συνθήκες 95% R.H. και 20°C.

Έπειτα, ακολούθησε η προετοιμασία των σύνθετων δοκιμίων υποβάθρων/ενεμάτων, η οποία παρουσιάζεται στις Εικόνες 109 έως 112. Αξίζει να τονισθεί ότι ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στην κατασκευή όσο το δυνατόν πιο άρτιων και ορθογωνισμένων σύνθετων δοκιμίων. Γι' αυτό, καθ' όλη την διάρκεια της εισαγωγής του ενέματος στον αρμό και της συντήρησης, τα σύνθετα δοκίμια διατηρήθηκαν σε οριζόντια θέση, ενώ γύρω από το σύνθετο δοκίμιο μορφώθηκε ένα σύστημα περισφιγξης αποτελούμενο από μεταλλικές ράβδους και ελάσματα (Εικόνα 109). Ας σημειωθεί ότι, οι μεταλλικές ράβδοι τοποθετήθηκαν περί το μέσον του ύψους του σύνθετου δοκιμίου, έτσι ώστε ο άξονας της περισφιγξης να ταυτίζεται με εκείνον του σύνθετου δοκιμίου. Με αυτόν τον τρόπο, αποκλείστηκε το ενδεχόμενο στροφής του δοκιμίου κατά την περισφιξη, και εξασφαλίστηκε, επομένως, σταθερό το πάχος του αρμού καθ' όλον το ύψος της διατομής του ενέματος. Για την διαμόρφωση του αρμού του ενέματος, περιμετρικά σε τρεις πλευρές του σύνθετου δοκιμίου εφαρμόσθηκε υδατοστεγανή αυτοκόλλητη ταινία. Για την έγχυση του ενέματος στον (3mm πάχους) αρμό του σύνθετου δοκιμίου, χρησιμοποιήθηκαν σύριγγες μιας χρήσης, χωρητικότητας 10 και 20ml (Εικόνα 110). Ιδιαίτερη μέριμνα ελήφθη για την αποφυγή εισαγωγής αέρα στον αρμό του ενέματος κατά την έγχυση. Για τον λόγο αυτό, η εφαρμογή του ενέματος με την σύριγγα πραγματοποιήθηκε αργά και σε δυο φάσεις: αρχικά εγχύθηκε η μισή ποσότητα του ενέματος, η οποία συμπυκνώθηκε με την βοήθεια μεταλλικού σύρματος. Ακολούθησε η έγχυση της υπόλοιπης ποσότητας του ενέματος με την ίδια διαδικασία. Ας σημειωθεί ότι από ορισμένες δοκιμαστικές εγχύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε σύνθετα δοκίμια οπτοπλίνθου/ενεμάτων, διαπιστώθηκε ότι λόγω του σχετικά υψηλού αρχικού ρυθμού υδαταπορρόφησης (ΑΡΥ) των οπτόπλινθων, αυτές απορροφούσαν μεγάλη ποσότητα ύδατος από το ένεμα. Αυτό είχε ως



αποτέλεσμα την συσσωμάτωση των κονιών τοπικώς, και επομένως, την μη πλήρωση του αρμού του ενέματος για αυτά τα σύνθετα δοκίμια. Για αυτό τον λόγο, κρίθηκε σκόπιμο, πριν από κάθε έγχυση, να εμβαπτίζεται σε ύδωρ η επιφάνεια των υπόβαθρων της οπτόπλινθου στην οποία θα γινόταν η έγχυση του ενέματος.

Τέλος, τα σύνθετα δοκίμια συντηρήθηκαν, αρχικώς, σε συνθήκες περιβάλλοντος με την βοήθεια νωπής λινάσας και μεμβράνης που δεν επιτρέπει την εξάτμιση (Εικόνες 111 και 112) και τελικώς, τοποθετήθηκαν στον υγρό θάλαμο, σε συνθήκες 95% R.H. και 20°C, μέχρι την ημερομηνία διεξαγωγής των δοκιμών.

#### 3.4.2.1.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Στην περίπτωση των δοκιμών της διάτμησης, τα τεμάχια των υποβάθρων κόπηκαν σε ορθογωνικά πρίσματα διαστάσεων 40x40x20 [mm<sup>3</sup>]. Μολονότι, για την προετοιμασία και παρασκευή των σύνθετων δοκιμών της διάτμησης (Εικόνα 113) ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με εκείνη των δοκιμών του εφελκυσμού, σε αυτήν την περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκε το σύστημα περισφιγξης με τις μεταλλικές ράβδους και τα ελάσματα. Αντ' αυτού, τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν των δοκιμών δυο άκαμπτα πρίσματα ως «οδηγοί» (βλ. Εικόνα 114).

#### 3.4.2.2 Δοκίμια Μικροδομής: Εγκιβωτισμός Δειγμάτων-Κατασκευή και στίλβωση λεπτών τομών

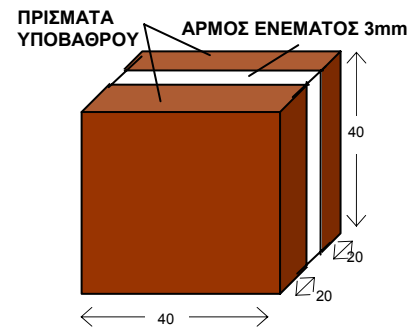
Για την κατασκευή των δοκιμών που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της μικροδομής, εφαρμόστηκε η ίδια διαδικασία με εκείνη που ακολουθήθηκε για τα δοκίμια των μηχανικών δοκιμών. Σημειώνεται ότι ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στην συντήρηση των δοκιμών της μικροδομής, με στόχο να διασφαλισθεί η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος σε επιθυμητά επίπεδα (RH≈90%) και επομένως να αποφευχθεί όσο το δυνατόν η δράση της ενανθράκωσης στον αρμό του ενέματος, όπως αυτή περιγράφηκε στην Ενότητα §3.3.1.1.3. Έτσι, μέχρι την ημερομηνία διεξαγωγής των δοκιμών, τα σύνθετα δοκίμια συντηρήθηκαν σε ξηραντήρα, στον πυθμένα του οποίου είχε τοποθετηθεί νερό. Έπειτα, τα σύνθετα δοκίμια εμβαπτίστηκαν σε διάλυμα ακετόνης, προκειμένου να διακοπεί η διαδικασία ενυδάτωσης των συνδετικών κονιών. Ακολούθησε ο εγκιβωτισμός των σύνθετων δοκιμών σε πλαστικότυπο χρησιμοποιώντας ένα σύστημα εποξειδωτικής ρητίνης-σκληρυντή. Ακολούθως, κατασκευάστηκαν τα



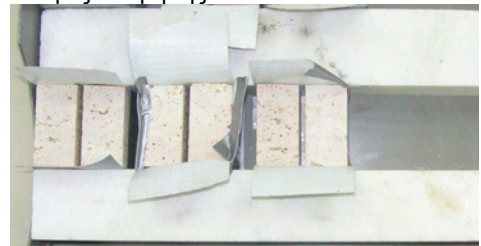
Εικόνα 111. Συντήρηση σύνθετων δοκιμών με νωπή λινάσσα.



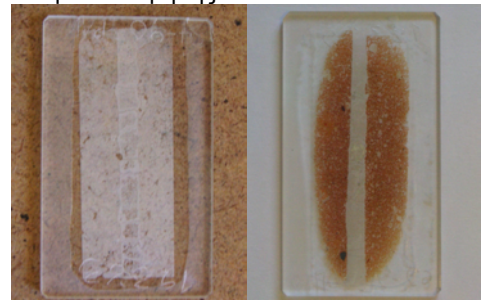
Εικόνα 112. Συντήρηση σύνθετων δοκιμών με νωπή λινάσσα και υδατοστεγανή μεμβράνη.



Εικόνα 113. Τυπικό σύνθετο δοκίμιο για τις δοκιμές διάτμησης.



Εικόνα 114. Προετοιμασία σύνθετου δοκιμίου διάτμησης.



Εικόνα 115. Σύνθετα δοκίμια για τις παρατηρήσεις της μικροδομής.

δοκίμια λεπτών τομών (Εικόνα 115): Το εγκιβωτισμένο στην ρητίνη δοκίμιο, αρχικώς, κόπηκε εγκαρσίως του αρμού του ενέματος (περί το μέσον του δοκιμίου) έτσι ώστε η υπό κατασκευή λεπτή τομή να περιλαμβάνει το λιθόσωμα, την διεπιφάνεια και το ένεμα. Κατόπιν, η αποκοπτόμενη επιφάνεια του τμήματος του δοκιμίου που κόπηκε, επικολλήθηκε σε ύαλο μεγέθους 45x25 [mm<sup>2</sup>]. Στην συνέχεια, το μεγαλύτερο τμήμα επικολλημένου στην ύαλο δοκιμίου αποκόπηκε με μικροτόμο. Τέλος, ακολούθησε η λείανση των λεπτών τομών δειγμάτων σε οριζόντιο, υδρόψυκτο, μονοαξονικά περιστρεφόμενο τροχό, χρησιμοποιώντας σταδιακά λειαντικούς τροχούς με λεπτότερους λειαντικούς κόκκους (χαρτιά καρβιδίου του πυριτίου, ονομαστικής πυκνότητας κόκκων 220, 400, 600, 800, 1000, 1200 και 2000). Μετά την λείανση, πραγματοποιήθηκε στίλβωση των δειγμάτων σε οριζόντιο, μονοαξονικά περιστρεφόμενο τροχό χωρίς ψύξη. Η στίλβωση έγινε σε δύο υφασμάτινους τροχούς: ο πρώτος περιείχε κόκκους διαμαντιού διαμέτρου 3μm και ο δεύτερος κόκκους διαμαντιού διαμέτρου 1μm. Πριν και κατά την διάρκεια επαφής του δείγματος με το ύφασμα του τροχού, αποχύνονταν περιοδικά αιθανόλη, που λειτουργούσε ως λιπαντικό μέσο. Μετά το τέλος κάθε βήματος (λείανση ή στίλβωση), ακολουθούσε καθαρισμός (με νερό και διάλυμα αιθανόλης) και ξήρανση (σε ρεύμα θερμού αέρα) του δείγματος.

Σημειώνεται ότι, κατά την προετοιμασία της λεπτής τομής δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή, ώστε κατά την επιλογή του τεμαχίου ελέγχου από το οποίο θα προέκυπτε η λεπτή τομή:

- (1) να μην περιέχονται ιδιαιτέρως εύθρυπτα τμήματα,
- (2) η επιφάνεια του τεμαχίου ελέγχου να είναι κατά το δυνατόν επίπεδη, και τέλος,
- (3) να επιτυγχάνεται επιτυχής εγκιβωτισμός του δοκιμίου ελέγχου στην ρητίνη και σε ικανοποιητικό βάθος, έτσι ώστε κατά την διαδικασία τομής και λείανσης να διασφαλίζεται η ομοιόμορφη συμπεριφορά του υλικού.

### 3.4.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

#### 3.4.3.1 Μελέτη της μικροδομής των διεπιφανειών

Η εξέταση της μικροδομής των διεπιφανειών έγινε με την χρήση οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης, σε λεπτές τομές δοκιμίων που περιελάμβαναν το λιθόσωμα, την διεπιφάνεια και το ένεμα. Η μελέτη της μικροδομής πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών/Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, με την βοήθεια οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης στις ηλικίες των 28 και 90 ημερών. Από τους διενεργηθέντες ελέγχους προέκυψαν πληροφορίες για:

- (1) την μορφολογία και την ποιότητα της διεπιφανειακής ζώνης (πόροι αέρα, ρηγματώσεις, συνδετικό υλικό)
- (2) την σύσταση των επιμέρους συστατικών του ενέματος (κρύσταλλοι πορτλανδίτη, ένυδρα ασβεστοπυριτικά ή ασβεσταργιλικά συστατικά)
- (3) τον βαθμό ενυδάτωσης και εισχώρησης του ενέματος (και των προϊόντων ενυδάτωσης) στην επιφάνεια του υπόβαθρου

Τέλος, τα ορυκτολογικά συστατικά των ενυδατωμένων ενεμάτων (στις ηλικίες των 7, 28, 60 και 90 ημερών) προσδιορίστηκαν με την βοήθεια περίθλασης ακτίνων Χ.

##### 3.4.3.1.1 ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

Ο ορυκτολογικός χαρακτηρισμός των ενεμάτων πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο κρυσταλλογραφίας ακτίνων Χ (τύπος Siemens D5000) (Εικόνα 116). Γενικώς, για την πειραματική μελέτη κρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών υλικών απαιτείται ακτινοβολία, με μήκος κύματος συγκρίσιμο με τις αποστάσεις μεταξύ των ατόμων στον κρύσταλλο. Αυτή είναι και η βασική προϋπόθεση, ώστε η ακτινοβολία να αλληλεπιδράσει με τα άτομα των εξεταζομένων ενώσεων. Μεταξύ των κυμάτων, τα ηλεκτρομαγνητικά είναι τα πιο κατάλληλα για το σκοπό αυτό. Το μήκος κύματός τους πρέπει να είναι της τάξης του 1-2 Å, με αντίστοιχες ενέργειες της τάξης των 12 KeV, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές των ακτίνων Χ. Μεγαλύτερα μήκη κύματος δε δίνουν ικανοποιητική ανάλυση, ενώ μικρότερα δε μπορούν να περιθλαστούν, παρά μόνο για πολύ μικρές γωνίες πρόσπτωσης.



Εικόνα 116. Συσκευή μεθόδου XRD.

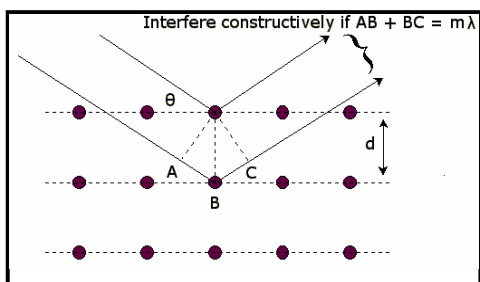
Όταν οι ακτίνες X προσπίπτουν σε κρυσταλλικά/πολυκρυσταλλικά σώματα, μόνο για ορισμένα μήκη κύματος και ορισμένες κατευθύνσεις της προσπίπτουσας, παρατηρούνται έντονα μέγιστα της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Η συνθήκη διεύθυνσης μιας δέσμης ακτίνων X είναι βάθους της τάξης των 10 μm, που αντιστοιχεί σε περίπου 50000 πλεγματικές αποστάσεις. Επομένως, τα φάσματα που λαμβάνονται, καθορίζονται τόσο από τη διάταξη των ατόμων στο πλέγμα, όσο και από το είδος τους, και το φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της δομής και της σύστασης ενός πολυκρυσταλλικού δείγματος. Σύμφωνα με τον νόμο του Bragg (Εικόνα 117) ισχύει ότι:

**Εξίσωση 1 (Νόμος Bragg)**

$$2d\sin\theta = n\lambda$$

όπου,  
 $\theta$  η γωνία μεταξύ προσπίπτουσας ακτινοβολίας X και κρυσταλλικού επιπέδου,  
 $\lambda$  το μήκος κύματος

- (1) Οι ακτίνες X ανακλώνται κατοπτρικά από άτομα σε οποιοδήποτε επίπεδο.
- (2) Προκύπτει εποικοδομητική συμβολή, όταν η διαφορά φάσης μεταξύ των δεσμών που ανακλώνται από δύο διαδοχικά παράλληλα επίπεδα είναι ένα ακέραιο πολλαπλάσιο n του μήκους κύματος  $\lambda$  (Εξίσωση 1).



Εικόνα 117. Σχηματική Αναπαράσταση της Συμβολής Σύμφωνων Ακτίνων X από Δύο Επίπεδα της Δομής (Νόμος του Bragg).



Εικόνα 118. Δειγματοφορέας.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν οι συνθήκες περίθλασης, για όλες τις οικογένειες κρυσταλλικών επιπέδων του υλικού, το δοκίμιο τοποθετείται σε κατάλληλο δειγματοφορέα (Εικόνα 118) στο κέντρο του γωνιόμετρου, στο επίπεδο ανάκλασης των ακτίνων X. Με τον τρόπο αυτό, η επιφάνεια του δοκιμίου εκτίθεται μονίμως σε μονοχρωματική ακτινοβολία, μήκους κύματος  $\lambda$ , ενώ η γωνία  $\theta$  αυξάνεται συνεχώς, με επιλεγμένο βήμα και μεταξύ προεπιλεγμένων τιμών. Σημειώνεται ότι δεν περιστρέφεται μόνο το δοκίμιο, αλλά και ο ανιχνευτής, και μάλιστα κατά γωνία  $2\theta$ , ώστε ανά πάσα στιγμή να ανιχνεύει τις ανακλώμενες ακτίνες. Έτσι, το καταγραφικό δίνει διάγραμμα που αποτυπώνει την ένταση της ανακλώμενης ακτινοβολίας I, συναρτήσει της γωνίας  $2\theta$ . Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται διάγραμμα περίθλασης ακτίνων X και κάθε κορυφή του αντιστοιχεί σε γωνία  $2\theta$ , στην οποία παρατηρείται η μέγιστη ανάκλαση, δηλ. ικανοποιείται η συνθήκη του Bragg. Στις ενδιάμεσες θέσεις μεταξύ δύο κορυφών καταγράφεται ο θόρυβος που προέρχεται, είτε από το ίδιο το όργανο, είτε από δευτερεύουσα ακτινοβολία (λόγω διάχυσης, ανάκλασης ή φθορισμού). Συχνά επίσης, παρατηρείται οι κορυφές να έχουν κάποιο εύρος, γεγονός που οφείλεται, είτε στην ύπαρξη ατελειών, είτε στην πιθανότητα να μην είναι μονοχρωματική η ακτινοβολία. Με βάση την εξίσωση (1) είναι δυνατόν να υπολογιστεί το μήκος d κάθε ομάδας πλεγματικών επιπέδων, στην οποία αντιστοιχεί η κάθε κορυφή του διαγράμματος. Το περιθλασίμετρο που χρησιμοποιήθηκε διαθέτει άνοδο Cu και το μήκος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας είναι  $\lambda=1.5406 \text{ \AA}$ . Η ακτινοβολία

διέρχεται από μια σειρά σχισμών και διαφραγμάτων. Οι σχισμές, πριν το δοκίμιο, καθορίζουν το εύρος της ακτινοβολίας που θα προσπέσει στο δοκίμιο και οι σχισμές, μετά από αυτό, το εύρος της ακτινοβολίας που θα εισαχθεί στο μετρητή. Το φιλτράρισμα της ακτινοβολίας γίνεται με φίλτρο Ni. Η χρησιμοποιούμενη ακτινοβολία εκτός από την παραπάνω τιμή του μήκους κύματος είχε και τα εξής χαρακτηριστικά:  $V=40$  KV και  $I=40$  mA. Η γωνία  $2\theta$  (θ η γωνία της συνθήκης Bragg) έλαβε τις τιμές μεταξύ  $5^\circ$  και  $55^\circ$ , ενώ το βήμα που εφαρμόστηκε ήταν σε όλες τις περιπτώσεις  $0.03^\circ / \text{sec}$ .

#### 3.4.3.1.2 ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ ΜΕΣΩ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΣΑΡΩΣΗΣ (SEM)

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (Scanning Electron Microscope–SEM) χρησιμοποιείται για την παρατήρηση επιφανειών και σε συνδυασμό με το κατάλληλο σύστημα μικροανάλυσης για τη στοιχειακή ανάλυση συγκεκριμένων περιοχών της υπό παρατήρηση εικόνας. Το μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία ήταν του τύπου Jeol 6380LV.

Πρόκειται για μία από τις αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιείται με σκοπό τη μελέτη τόσο των κατανεμημένων, όσο και των εντοπισμένων ιδιοτήτων διαφόρων κλάσεων υλικών. Οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται στην αλληλεπίδραση ακτινοβολίας σωματιδίων με το δείγμα και στη δυνατότητα παρατήρησης των δευτερευουσών ακτινοβολιών σωματιδίων που προκύπτουν, πίσω-σκεδαζόμενων ηλεκτρονίων, ακτίνων X, καθώς και φωτονίων διαφόρων ενεργειών. Τα σήματα αυτά προέρχονται από έναν καθορισμένο όγκο εκπομπής μέσα στο δείγμα, διαφορετικό για κάθε είδους αλληλεπίδραση. Τελικά, μετά από επεξεργασία του αναλυτικού σήματος, λαμβάνονται πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με την επιφάνεια του δείγματος .

Στην πράξη, μια ηλεκτρονική δέσμη μικρής διαμέτρου σαρώνει μια ορθογώνια περιοχή της επιφάνειας του δοκιμίου. Συγχρόνως, και σε απόλυτο συγχρονισμό, σαρώνεται μια αντίστοιχη επιφάνεια φθορίζουσας οθόνης που βρίσκεται στο άκρο ενός καθοδικού σωλήνα (Cathode Ray Tube – CRT). Όταν τα ηλεκτρόνια της δέσμης προσπίπτουν στην επιφάνεια του δοκιμίου διεγείρουν μια μικρή μάζα γύρω από το σημείο της σύγκρουσης και προκαλούν τη δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων χαμηλής ενέργειας (δευτερογενή ηλεκτρόνια). Η ένταση (δηλαδή ο αριθμός ανά μονάδα χρόνου) των δευτερογενών ηλεκτρονίων που εκπέμπονται σχετίζεται κυρίως με την κλίση της επιφάνειας του δοκιμίου ως προς τον άξονα της προσπίπτουσας



δέσμης. Τα ηλεκτρόνια αυτά συλλέγονται από ανιχνευτή και η παραγόμενη τάση ενισχύεται και διοχετεύεται στον καθοδικό σωλήνα. Η ένταση της δέσμης που προσπίπτει πάνω στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα μεταβάλλεται ηλεκτρονικώς, ανάλογα με την ένταση της δέσμης των δευτερογενών ηλεκτρονίων. Έτσι, επάνω στην φθορίζουσα οθόνη σχηματίζεται ανάγλυφη η εικόνα της επιφάνειας που σαρώνεται πάνω στο δοκίμιο. Όταν η σάρωση είναι πολύ αργή παρατηρείται απλώς μια φωτεινή κηλίδα μεταβλητής έντασης να σαρώνει την οθόνη, όταν όμως η ταχύτητα της σάρωσης αυξηθεί πάνω από ένα όριο, τότε εμφανίζεται η εικόνα. Τα αποτελέσματα από την εξέταση των δειγμάτων με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο παρουσιάζονται με την μορφή εικόνων μορφολογίας επιφανείας και κατανομής φάσεων καθώς επίσης και με τα χαρακτηριστικά φάσματα ακτίνων Χ είτε την απεικόνιση κατανομής των διαφόρων στοιχείων επί της επιφάνειας του δείγματος.

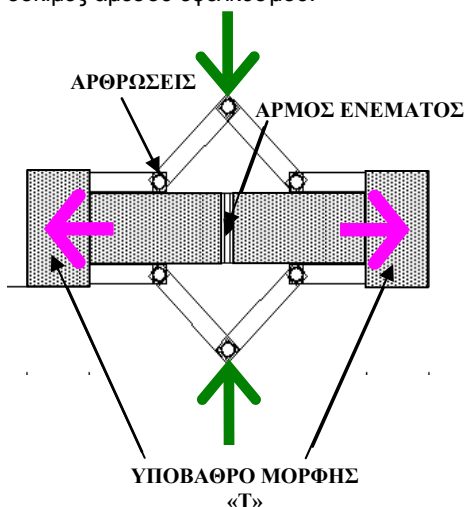
### 3.4.3.2 Μελέτη των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών

#### 3.4.3.2.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Για την μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής συνάφειας της διεπιφάνειας ενεμάτων και υποβάθρων, χρησιμοποιήθηκε (μετά από κατάλληλη τροποποίηση της διάταξης και των δοκιμών) η μέθοδος των θραυσμάτων (Tassios et al. 1989). Αυτή η πειραματική διάταξη (Εικόνα 119) χρησιμοποιείται για την επιβολή άμεσου εφελκυσμού (Katsaragakis 1987) σε δοκίμια μορφής διπλού ταυ (Εικόνα 120). Στο δοκίμιο τοποθετούνται τρι-αρθρωτές μεταλλικές πλάκες. Στην κορυφή τους, εφαρμόζεται θλιπτικό φορτίο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 20. Χάρη στην μορφή των πλακών, το θλιπτικό μετατρέπεται στο πέλμα του ταυ –και συνεπώς στην μεσαία διατομή του αρμού ενέματος- σε ομοιόμορφο εφελκυστικό φορτίο (Εικόνα 120). Το μέγεθος του εφελκυστικού φορτίου εξαρτάται από τις διαστάσεις των μεταλλικών πλακών, καθώς και από την γεωμετρία του δοκιμίου (ύψος του κορμού του διπλού ταυ). Γι' αυτό είναι απαραίτητη η ακριβής μέτρηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των δοκιμών πριν την διεξαγωγή κάθε δοκιμής. Τα δοκίμια φορτίστηκαν μέσω υδραυλικής πρέσσας (μεγίστου φορτίου 300KN). Μια δυναμοκυψέλη DBBSE (μεγίστου φορτίου 10 KN) στερεώθηκε στην πρέσσα και συνδέθηκε με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο μεταφέρονταν οι μετρήσεις του επιβαλλόμενου φορτίου.



Εικόνα 119. Πειραματική διάταξη για τις δοκιμές άμεσου εφελκυσμού.



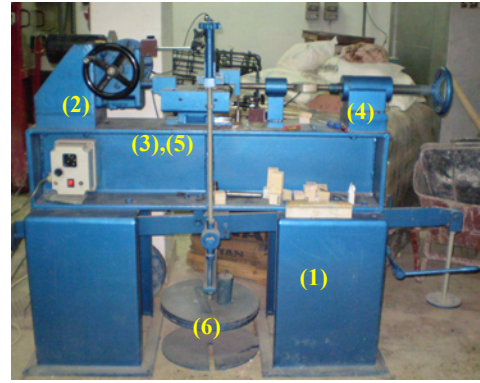
Εικόνα 120. Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο.



### 3.4.3.2.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Προκειμένου να μετρηθεί η αντοχή συνάφειας διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων έναντι διάτμησης (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου), κατασκευάστηκε μια διάταξη τύπου διατμητικού κιβωτίου (Εικόνα 121). Πιο συγκεκριμένα, η διάταξη αποτελείται από (1) ένα πλαίσιο στήριξης, του οποίου το οριζόντιο τμήμα είναι κατασκευασμένο από μεταλλική δοκό μορφής διπλού ταυ. Εγκαρσίως της δοκού έχουν συγκολληθεί μεταλλικά ελάσματα για να ενισχυθεί η δοκός στην εγκάρσια διεύθυνση. Η δοκός εδράζεται πάνω σε δύο κοιλοδοκούς. Πάνω στην δοκό εδράζεται (2) το σύστημα επιβολής οριζόντιας ολίσθησης, (3) ο οδηγός-φορείο πάνω στον οποίο ολισθαίνει το κάτω τμήμα της σκάφης, (4) το σύστημα αντίστασης της οριζόντιας ολίσθησης του άνω τμήματος της σκάφης, (5) η σκάφη μεγάλης δυσκαμψίας μέσα στην οποία τοποθετείται το δοκίμιο και τέλος (6) το σύστημα επιβολής κατακόρυφων φορτίων.

Ειδικότερα, η επιβολή της οριζόντιας ολίσθησης, γίνεται με σύστημα ατέρμονα κοχλία (διαμέτρου 40mm και βήματος 7mm)-κορώννας. Ο ατέρμονας κοχλίας λειτουργεί ως μειωτήρας. Η κίνηση του μειωτήρα γίνεται με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ρεύματος (DC motor) και αυτόματο σύστημα συνεχούς ελέγχου, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η κίνηση της σκάφης με σταθερή ταχύτητα. Το σύστημα χειρισμών της συσκευής περιλαμβάνει την επιλογή τριών ταχυτήτων: 0.5, 1.0 και 2.0 mm/min, όπως επίσης και την δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας με ποτενσιόμετρο. Επί πλέον, λόγω της ύπαρξης ηλεκτρομαγνητικού συμπλέκτη με τον οποίο επιτυγχάνεται η απενεργοποίηση της συμπλοκής των δύο μειωτήρων, υπάρχει δυνατότητα χειροκίνητης μετακίνησης του κοχλία. Αναφέρεται ότι, οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγιναν για ρυθμό επιβολής ολίσθησης ίσο με 0.5mm/min. Ο οδηγός-φορείο (3) πάνω στον οποίο ολισθαίνει η σκάφη, έχει δυνατότητα ανάληψης κατακόρυφου φορτίου έως 50KN. Η αντίδραση της οριζόντιας δύναμης (4) εξασφαλίζεται με την κατασκευή διάταξης που φαίνεται στην Εικόνα 121. Η μέτρηση της αντίστασης ολίσθησης μετράται με την βοήθεια δυναμοκυψέλης (μεγίστου φορτίου 10 KN), που συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή, στον οποίο μεταφέρονται οι μετρήσεις. Σημειώνεται εδώ, ότι τα συστήματα (2) και (4) βρίσκονται στον ίδιο νοητό άξονα, ο οποίος διέρχεται από το μέσον του ύψους του δοκιμίου. Τέλος, η επιβολή του κατακόρυφου φορτίου (6) γίνεται με την βοήθεια ζυγού στον οποίο αναρτώνται βάρη. Για την καταγραφή των



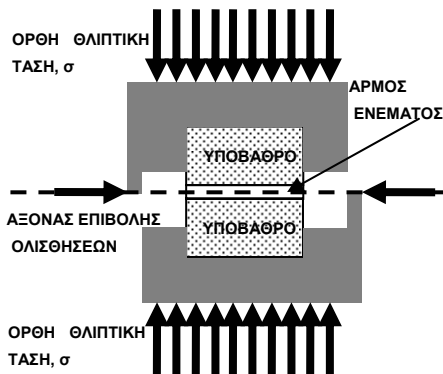
Εικόνα 121. Πειραματική διάταξη για τις δοκιμές διατμήσεως.



Εικόνα 122. Καταγραφικά παραμορφώσεων.

επιβαλλόμενων οριζόντιων ολισθήσεων ( $s$ ) και κατακόρυφων ανυψώσεων (εγκάρσιες διογκώσεις,  $w$ ) του δοκιμίου τοποθετούνται LVDTs σε κατάλληλες θέσεις (Εικόνα 122).

Η λειτουργία της διάταξης που περιγράφηκε στα παραπάνω απεικονίζεται σχηματικώς στην Εικόνα 123. Συνοψίζοντας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 123, επιβάλλονται οριζόντιες ολισθήσεις στο σύνθετο δοκίμιο περί το μέσον του ύψους του δοκιμίου (με μηδενική εκκεντρότητα). Ταυτόχρονα το δοκίμιο υποβάλλεται σε ορθή ένταση, η οποία διατηρείται σταθερή καθ' όλην την διάρκεια της δοκιμής. Η αντίσταση ολίσθησης ( $\tau$ ), η οριζόντια ολίσθηση ( $s$ ) και η εγκάρσια διογκωση ( $w$ ) καθ'όλην την διάρκεια της δοκιμής καταγράφονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 123. Σχηματική απεικόνιση των φορτίσεων στο σύνθετο δοκίμιο.

### 3.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ-ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

Οι παράμετροι που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, είναι:

- (1) Ο τύπος του υποβάθρου (και κυρίως η επίδραση των φυσικο-μηχανικών χαρακτηριστικών του): Επιλέχθηκε να εξετασθεί η συνάφεια υδραυλικών ενεμάτων με διάφορους τύπους υποβάθρων, που απαντώνται συχνά σε ιστορικές τοιχοποιίες. Εξετάστηκαν δύο μεταμορφωμένα πετρώματα με κύριο συστατικό τον ασβεστίτη (μάρμαρο Διονύσου και τεφρός ασβεστόλιθος), δυο ιζηματογενή πετρώματα [ένα ασβεστιτικό με μεγάλο πορώδες (τραβερίνης) και ένα πυριτικό αποτελούμενο από χαλαζία, άστριους και συγκολλητικό υλικό (ψαμμίτης)], και δύο τύποι συμπαγών οπτόπλινθων.
- (2) Ο τύπος των συγκολλητικών υλικών: Μεταξύ των συνθέσεων που εξετάστηκαν στην § 3.3.1.2, μόνο τα ενέματα G1 (C=80% κ.β., L=20% κ.β.), G2 (C=30% κ.β., L=35% κ.β., MK=35% κ.β.) και G4 (C=30% κ.β., L=20% κ.β., LA=50% κ.β.) επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση. Υπενθυμίζεται ότι το ένεμα G3 δεν μελετάται, καθώς οι αρχικές δοκιμές έδειξαν ότι ο λόγος ποζολάνης προς υδράσβεστο δεν ήταν ο βέλτιστος. Πέραν των τριμερών ενεμάτων και του τσιμεντενέματος, στα πειράματα διάτμησης, εξετάστηκε η συνάφεια τεσσάρων ενεμάτων υψηλής διεισδυτικότητας υδραυλικής ασβέστου με ή χωρίς την παρουσία φυσικής ποζολάνης (Miltiadiou et al. 2006 και 2007). Αυτά τα ενέματα είχαν μελετηθεί στο πλαίσιο της μελέτης αποκατάστασης του Καθολικού της Ι.Μ. Δαφνίου.
- (3) Η ηλικία των σύνθετων δοκιμίων: Με στόχο να διερευνηθεί η εν-χρόνω ανάπτυξη των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών μεταξύ ενεμάτων και υποβάθρων, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για ηλικίες ενέματος 28, 60, 90 και 180 ημερών. Η επιλογή αυτού του εύρους των ηλικιών έγινε για να εκτιμηθούν τα χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας στις πρώτες μέρες-πληροφορία που είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τους Μηχανικούς που εφαρμόζουν ενέματα στο εργοτάξιο-, να διαπιστωθούν οι μεταβολές σε βάθος χρόνου και οι λόγοι στους οποίους αυτές αποδίδονται. Με την επιλογή και των ενδιαμέσων ηλικιών, ήταν δυνατή η καταγραφή της εξέλιξης του φαινομένου συναρτήσει του χρόνου.

(4) Στην περίπτωση των δοκιμών διάτμησης, μια πρόσθετη παράμετρος λήφθηκε υπόψη: το μέγεθος της επιβαλλόμενης (στην διεπιφάνεια) ορθής θλιπτικής τάσης,  $\sigma$ . Τρεις τιμές της εν λόγω παραμέτρου εξετάστηκαν: 0.1, 0.3 και 0.6MPa. Οι δυο πρώτες τιμές ανταποκρίνονται σε τιμές θλιπτικών τάσεων που αναπτύσσονται συχνά σε τοιχοποιίες λόγω κατακορύφων φορτίων (κυρίως λόγω του ιδίου βάρους). Η, ασυνήθιστα για τοιχοποιίες, υψηλή τιμή  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ , υιοθετήθηκε με στόχο να συμπληρωθεί η εικόνα της επιρροής της παραμέτρου  $\sigma_n$  στην συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων.

Προκειμένου να μειωθεί ο μεγάλος όγκος των δοκιμών που θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν, έγινε μια επιλογή ανάμεσα σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των παραπάνω παραμέτρων με βάση τα ακόλουθα κριτήρια: (1) το πλήθος των δοκιμών να περιορισθεί σε ένα ευλόγως μικρότερο πλήθος δοκιμών, που ωστόσο (2) θα δίνει μια όσο το δυνατόν πιο ξεκάθαρη εικόνα της επίδρασης στην συνάφεια όλων των υπό διερεύνηση παραμέτρων. Έτσι, όλες οι συνθέσεις εξετάστηκαν για τις ηλικίες των 28 και 90 ημερών. Επί πλέον, εξετάστηκαν και οι ηλικίες των 60 και 180 ημερών για τις συνθέσεις με ποζολάνη, καθώς η συνεισφορά της ποζολανικής αντίδρασης επιστρατεύεται με μια σχετική καθυστέρηση, αλλά είναι ενεργός για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αναφορικά με τον τύπο των υποβάθρων, κατά κύριο λόγο οι ιστορικές τοιχοποιίες δεν είναι κατασκευασμένες από μάρμαρο. Αντιθέτως, συχνά απαντώνται λιθοσώματα με χαμηλότερα φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως είναι οι πωρόλιθοι, οι ψαμμίτες ή οι οπτόπλινθοι, τα οποία απαντώνται σε βυζαντινά και μεταβυζαντινά μνημεία. Γι' αυτό επιλέχθηκε να εξετασθεί η συνάφεια των υλικών ενίσχυσης κυρίως με τα υπόβαθρα του τραβερτίνη, του ψαμμίτη και των οπτόπλινθων. Σχετικώς με τις δοκιμές διατμήσεως, η τιμή  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$  υιοθετήθηκε ως η κύρια τιμή για την ορθή θλιπτική τάση. Συνεπώς, για αυτήν την τιμή της  $\sigma_n$  εξετάστηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί ενεμάτων και υποβάθρων. Επί πλέον, ορισμένοι συνδυασμοί ενεμάτων και υποβάθρων εξετάστηκαν για τιμές της  $\sigma_n$  ίσες με 0.1MPa και 0.6MPa. Οι συνδυασμοί που τελικώς πραγματοποιήθηκαν για τις δυο κατηγορίες πειραμάτων (εφελκυσμού και διάτμησης) παρουσιάζονται στους Πίνακες 15, 16 και 17. Συνολικώς παρασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν σε εφελκυσμό 111 και σε διάτμηση 198 σύνθετα δοκίμια.

**Πίνακας 15.** Συνδυασμοί ενεμάτων/υποβάθρων για τις δοκιμές του εφελκυσμού (3 ή 6 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων).

υπόβαθρο	ηλικία [ημέρες]	Συνθέσεις		
		G1	G2	G4
μάρμαρο Διονύσου	28	+	+	+
	60		+	+
	90	+	+	+
	180		+	+
τραβερίνης	28	+	+	+
	60		+	+
	90	+	+	+
	180		+	+
οπτόπλινθος	28	+	+	+
	60		+	+
	90	+	+	+
	180	+	+	+

**Πίνακας 16.** Συνδυασμοί τριμερών ενεμάτων/υποβάθρων για τις δοκιμές της διάτμησης (3 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων).

υπόβαθρο	ηλικία [ημέρες]	συνθέσεις								
		G1			G2			G4		
		σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa
μάρμαρο Διονύσου	28		+			+			+	
	60									
	90		+			+			+	
	180									
τραβερίνης	28	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	60					+			+	
	90	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	180					+			+	
οπτόπλινθος A	28	+	+		+	+	+			
	60					+			+	
	90	+	+						+	
	180							+	+	+

**Πίνακας 17.** Συνδυασμοί ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου/υποβάθρων για τις δοκιμές της διάτμησης (2 ή 3 δοκίμια ανά συνδυασμό παραμέτρων).

υπόβαθρο	ηλικία [ημέρες]	Συνθέσεις											
		HL			HL1			HL2			HL3		
		σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa
τραβερίνης	28		+										
	60												
	90		+										
	180												
τεφρός ασβεστόλιθος	28					+			+			+	
	60												
	90												
	180					+			+			+	
ψαμμίτης	28					+			+			+	
	60												
	90					+	+		+	+		+	+
	180					+			+			+	
οπτόπλινθος B	28					+			+			+	
	60												
	90												
	180					+			+			+	

Με στόχο την συσχέτιση της μικροδομής της διεπιφάνειας με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της, πραγματοποιήθηκε μελέτη της μικροδομής της διεπιφάνειας ενέματος/λιθοσώματος σε δοκίμια τα οποία δεν είχαν υποστεί μηχανική καταπόνηση και συνεπώς η διεπιφάνεια τους ήταν αδιατάρακτη. Η μελέτη της μικροδομής πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Μεταλλογνωσίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών/ Τομέας Μεταλλουργίας και Τεχνολογίας Υλικών, με την βοήθεια οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης στις ηλικίες των 28 και 90 ημερών. Η επιλογή των δυο ηλικιών επιτρέπει την μελέτη της εν χρόνω μεταβολής της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης. Λόγω του μικρού μεγέθους των χαρακτηριστικών που εξετάζονται, επαρκεί η εξέταση της μικροδομής της διεπιφάνειας ενός μόνον σύνθετου δοκιμίου ενέματος/λιθοσώματος για κάθε συνδυασμό παραμέτρων. Τέλος, προσδιορίστηκαν με την βοήθεια περίθλασης ακτίνων Χ τα ορυκτολογικά συστατικά των ενυδατωμένων ενεμάτων (σε ηλικίες 7, 28, 60 και 90 ημερών).

Στον Πίνακα 18 δίδεται σε πινακοποιημένη μορφή το πλήρες Πειραματικό Πρόγραμμα της Παρούσας Διατριβής με το πλήθος των δοκιμών ανά φάση του Προγράμματος, όπως αυτό παρουσιάστηκε στις παραπάνω ενότητες (§ 3.2 έως § 3.5).

Πίνακας 18. Πειραματικό Πρόγραμμα (Πλήθος δοκιμών 725).

<b>ΒΗΜΑ 1. ΕΝΕΜΑΤΑ: ΥΓΡΗ ΦΑΣΗ (87 δοκιμές)</b>																					
<b>ΕΝΕΣΙΜΟΤΗΤΑ</b>		<b>G1</b>			<b>G2</b>			<b>G3</b>			<b>G4</b>			<b>G5</b>							
ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑ		9			10			3			9			8							
ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ (ΕΞΙΔΡΩΣΗ/ΑΠΟΜΙΞΗ)		9			10			3			9			8							
ΡΕΥΣΤΟΤΗΤΑ		3			3						3										
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		<b>21</b>			<b>23</b>			<b>6</b>			<b>21</b>			<b>16</b>							
<b>ΒΗΜΑ 2. ΕΝΕΜΑΤΑ: ΣΤΕΡΕΑ ΦΑΣΗ (295 δοκιμές)</b>																					
ηλικία [ημέρες]	<b>ΒΗΜΑ 2-1</b>												<b>ΒΗΜΑ 2-2</b>								
	<b>ΥΓΡΟΣ ΘΑΛΑΜΟΣ</b>						<b>ΑΣΒΕΣΤΟΝΕΡΟ</b>						<b>XRD</b>								
	<b>G1</b>		<b>G2</b>		<b>G3</b>		<b>G4</b>		<b>G5</b>		<b>G2</b>		<b>G3</b>		<b>G4</b>		<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G4</b>		
	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>	<i>f<sub>g,c</sub></i>	<i>f<sub>g,t</sub></i>					
7	5	3	5	3	5	3	5	3									1	1	1		
28	6	3	5	3	5	3	5	3	6	3	6	3	6	3	6	3			1	1	
60			6	3	6	3	5	3									1			1	
90	5	3	5	3	5	3	5	3	6	3	6	3			6	3	1	1	1	1	
180	6	3	6	3	6	3	6	3													
230											6	3	6	3	6	3					
365	6	3	6	3	6	3	6	3													
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>28</b>	<b>15</b>	<b>33</b>	<b>18</b>	<b>33</b>	<b>18</b>	<b>32</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	
<b>ΒΗΜΑ 3. ΣΥΝΘΕΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ</b>																					
<b>ΒΗΜΑ 3-1. ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ</b> (34 δοκιμές)									<b>ΒΗΜΑ 3-2-1. ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ</b> (111 δοκιμές)												
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>		<b>G1</b>			<b>G2</b>			<b>G4</b>			<b>G1</b>			<b>G2</b>			<b>G4</b>				
ηλικία [5εφάρη] [ημέρες]	28	M	T	OA	M	T	OA	M	T	OA	M	T	OA	M	T	O	M	T	OA		
	60	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	
	90	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	
	180														3	3	3	3	3	3	
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>12</b>		
<b>ΒΗΜΑ 3-2-2. ΔΙΑΤΜΗΣΗ (ΤΡΙΜΕΡΗ ΕΝΕΜΑΤΑ)</b> (123 δοκιμές)																					
<b>ΕΝΕΜΑ</b>		<b>G1</b>						<b>G2</b>						<b>G4</b>							
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>		<b>M</b>	<b>T</b>		<b>OA</b>		<b>M</b>	<b>T</b>		<b>OA</b>		<b>M</b>	<b>T</b>		<b>OA</b>						
<b>σ [MPa]</b>		0.3	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6	0.3	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6
ηλικία [ημέρες]	28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
	60								3			3				3				3	
	90	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				3	3	3	3		3	
	180								3							3			3	3	3
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	
<b>ΒΗΜΑ 3-2-2. ΔΙΑΤΜΗΣΗ (ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ)</b> (75 δοκιμές)																					
<b>ΕΝΕΜΑ</b>		<b>HL1</b>			<b>HL</b>		<b>HL2</b>			<b>HL3</b>											
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ</b>		<b>TA</b>	<b>Ψ</b>		<b>OB</b>		<b>T</b>	<b>TA</b>	<b>Ψ</b>		<b>OB</b>		<b>TA</b>	<b>Ψ</b>		<b>OB</b>					
<b>σ [MPa]</b>		0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.3	0.3				
ηλικία [ημέρες]	28	3	3		3	3	3	3			3	3	3			3					
	90		3	2					3	2			3	2							
	180	3	3		3	3	3	3			3	3	3			3					
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>6</b>				

## ΜΕΡΟΣ II: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 3.6 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο της Διατριβής, γίνεται η παρουσίαση και η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του κυρίου Πειραματικού Μέρους, όπως αυτό περιγράφηκε στα παραπάνω. Εδώ, παρουσιάζονται μόνον παρατηρήσεις από την μελέτη της μικροδομής και ορισμένα τυπικά αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών των σύνθετων δοκιμίων. Τα πλήρη στοιχεία με τις σχετικές παρατηρήσεις της μικροδομής παρουσιάζονται συγκεντρωμένα στην Τελική Έκθεση του Ερευνητικού Προγράμματος ΠΕΒΕ «Κ. Καραθεοδωρή» (Βιντζηλαίου κα. 2009). Αντιστοίχως, για τις μηχανικές δοκιμές των σύνθετων δοκιμίων ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στα Παραρτήματα Δ και Ε της παρούσας εργασίας. Αυτή η επιλογή έγινε, λόγω του μεγάλου πλήθους δοκιμών, ώστε η παρουσίαση εντός του σώματος της Διατριβής να είναι σαφέστερη και να επιτρέπει την κατανόηση των συναχθέντων συμπερασμάτων. Βεβαίως, όλα τα στοιχεία που περιλαμβάνονται εδώ τεκμηριώνονται και ελέγχονται μέσω λεπτομερών στοιχείων που δίνονται στα οικεία Παραρτήματα.

Έτσι, αρχικώς παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικού χαρακτηρισμού των ενεμάτων και οι παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης στα πηγματα και στην διεπιφανειακή ζώνη ενεμάτων/υποβάθρων για τις εξετασθείσες ηλικίες. Έπειτα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών. Καταρχάς, αναφέρονται τα κριτήρια απόρριψης δοκιμών των πειραμάτων εφελκυσμού και διάτμησης. Επί του αποδεκτού δείγματος γίνεται στατιστική επεξεργασία (εύρεση μέσου όρου, διασποράς και συντελεστή μεταβλητότητας) και αξιολογούνται τα σχετικά αποτελέσματα. Έπειτα, παρουσιάζονται και σχολιάζονται ξεχωριστά τα αποτελέσματα για τα δυο είδη των μηχανικών δοκιμών, καθώς και η επιρροή στην συνάφεια των παραμέτρων που εξετάστηκαν [τύπος υποβάθρου, συγκολλητικές ιδιότητες ενεμάτων, ηλικία και μέγεθος της ορθής θλιπτικής τάσης (για τα πειράματα της διάτμησης)]. Τέλος, ερμηνεύεται η εν-χρόνω μεταβολή (πτώσεις στις μεγαλύτερες ηλικίες) των μηχανικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων



και γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των μηχανικών χαρακτηριστικών με τις οπτικές παρατηρήσεις.

### **3.7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ**

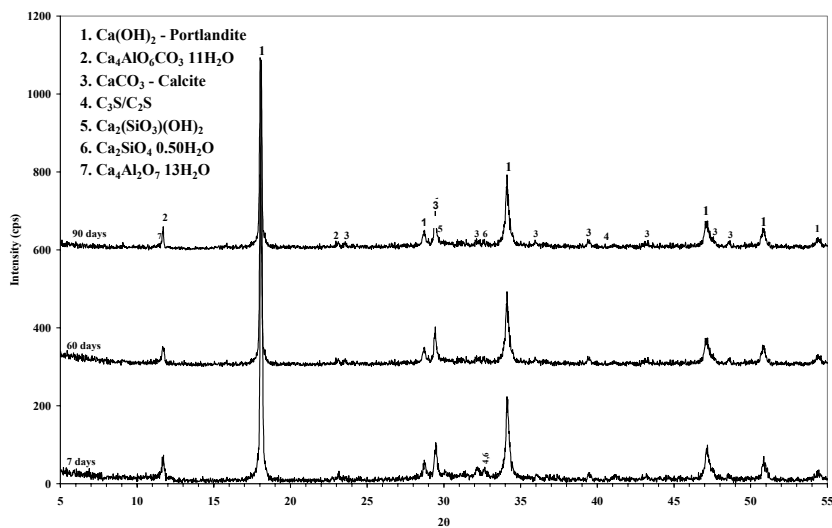
Στα παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα και οι παρατηρήσεις για την ορυκτολογική σύσταση και την μικροδομή των ενεμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης ενεμάτων/υποβάθρων μέσω της Μεθόδου Κρυσταλλογραφίας με ακτίνες Χ, της Οπτικής και Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας. Έμφαση δίδεται στα σημεία εκείνα που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με τον μηχανισμό συνάφειας. Ας σημειωθεί ότι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μόνον για τα ενέματα τσιμέντου-ασβέστη-ποζολάνης [συνθέσεις G1 (C=80%, L=20%), G2 (C=30%, L:MK=1:1) και G4 (C=30%, L:LA=1:2.5)]. Έτσι, όπως θα φανεί και από τα παρακάτω, τα αποτελέσματα της μελέτης της μικροδομής καταρχήν φαίνεται να επιβεβαιώνουν τις ποιοτικές προβλέψεις για την επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων στα χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής μεταβατικής ζώνης (βλ. §2.8.1.3) και κατ' επέκταση στην αναπτυσσόμενη συνάφεια.

### 3.7.1 ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΡΙΜΕΡΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

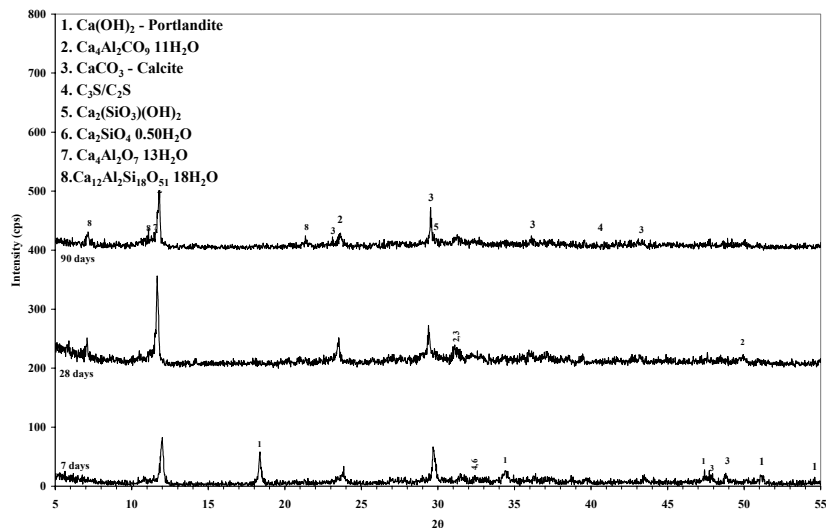
Στον Πίνακα 19 δίδονται συγκεντρωμένα τα συστατικά των συνθέσεων που ανιχνεύθηκαν μέσω της μεθόδου περίθλασης ακτίνων Χ σε πήγματα των ενεμάτων για διάφορες ηλικίες συντήρησης των δοκιμίων στον υγρό θάλαμο. Όπως προαναφέρθηκε, τα δοκίμια ελήφθησαν από τον πυρήνα ορθογωνικών πρισμάτων τσιμεντόπαστας, καθώς σε αυτά τα τεμάχια αναμένεται η ενανθράκωση να είναι μικρότερη εκείνης των εξωτερικών στιβάδων των πρισμάτων. Τα σχετικά ακτινογραφήματα, μέσω των οποίων έγινε η ταυτοποίηση των προϊόντων, παρουσιάζονται στις Εικόνες 124 έως 126. Στα επόμενα, σχολιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανά σύνθεση και δίνονται ορισμένες τάσεις για την εν χρόνω μεταβολή των ανιχνευόμενων κρυσταλλικών/ημί-άμορφων συστατικών. Ας σημειωθεί ότι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση του θέματος (όπου θα διαπιστώνονταν για πρδ. η παρουσία του  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  και σε άμορφη φάση) θα περιελάμβανε την σύγκριση των αποτελεσμάτων της μεθόδου XRD με εκείνα της μεθόδου θερμοστατικής ανάλυσης (DTA/TG), ωστόσο αυτή η διερεύνηση υπερβαίνει την επιδιωκόμενη, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, εμβάθυνση στα θέματα χημείας. Γι' αυτό άλλωστε και δεν πραγματοποιήθηκαν οι σχετικές μετρήσεις.

**Πίνακας 19.** Κύρια ορυκτολογικά συστατικά ενεμάτων για τις ηλικίες των 7, 28, 60 και 90 ημερών.

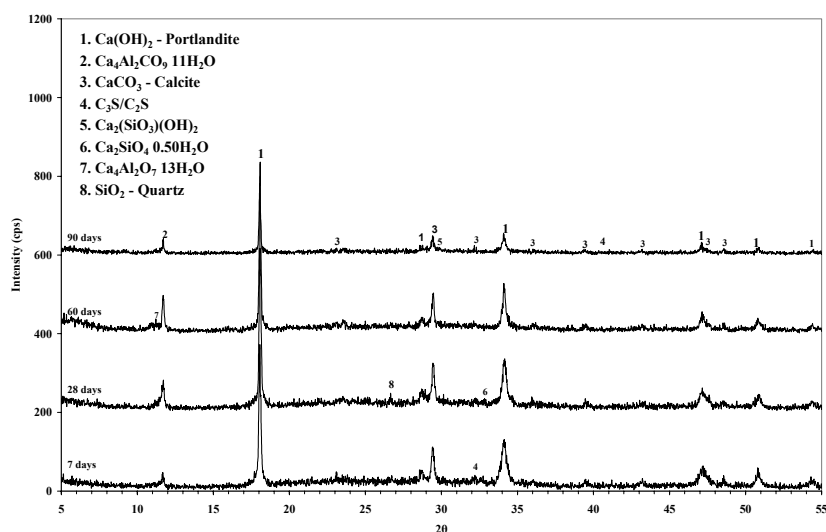
Ένεμα G1 7, 60 και 90 ημέρες	Ένεμα G2 7, 28 και 90 ημέρες	Ένεμα G4 7, 28, 60 και 90 ημέρες
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ : κύρια φάση (προϊόν ενυδάτωσης ή προσθήκης) $\text{CaCO}_3$ : λόγω μερικής ενανθράκωσης $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{C}_3\text{S}$ , $\text{C}_2\text{S}$ : μέχρι τις 7 ημέρες (πλήρης ενυδάτωση βελίτη στις 60 ημέρες) CSH: 60 και 90 ημέρες (προϊόν ενυδάτωσης αλίτη, βελίτη) $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ $\text{C}_4\text{ACcH}_{11}$	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ : πλήρης κατά-νάλωση στις 28 ημέρες $\text{CaCO}_3$ : λόγω μερικής ενανθράκωσης $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{C}_3\text{S}$ , $\text{C}_2\text{S}$ : μέχρι τις 7 ημέρες (πλήρης ενυδάτωση βελίτη στις 90 ημέρες) CSH: 28 και 90 ημέρες (προϊόν ενυδάτωσης αλίτη, βελίτη και ποζολανικής αντίδρασης) $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ $\text{C}_4\text{ACcH}_{11}$ : κύρια φάση	$\text{Ca}(\text{OH})_2$ : κύρια φάση $\text{CaCO}_3$ : λόγω μερικής ενανθράκωσης $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $\text{C}_3\text{S}$ , $\text{C}_2\text{S}$ : δεν εμφανίζονται στις 60 ημέρες CSH: 60 και 90 ημέρες (προϊόν ενυδάτωσης αλίτη, βελίτη και ποζολανικής αντίδρασης) $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ $\text{C}_4\text{ACcH}_{11}$



**Εικόνα 124.** Ακτινογραφήματα Περιθλασης Ακτίνων Χ (XRD) ενέματος G1 (7, 60 και 90 ημέρες).



**Εικόνα 125.** Ακτινογραφήματα Περιθλασης Ακτίνων Χ (XRD) ενέματος G2 (7, 28 και 90 ημέρες).



**Εικόνα 126.** Ακτινογραφήματα Περιθλασης Ακτίνων Χ (XRD) ενέματος G4 (7, 28, 60 και 90 ημέρες).

*Σύνθεση G1 (C=80%, L=20%)*

Από το ακτινογράφημα της Εικόνας 124, διαπιστώνεται ότι ο πορτλανδίτης [ $1: \text{Ca}(\text{OH})_2$ ] είναι το κύριο ορυκτολογικό προϊόν της συνθέσεως G1 σε όλες τις ηλικίες που μελετήθηκαν. Αυτό το προϊόν, είναι συστατικό της αρχικής σύνθεσης (σε περιεκτικότητα 20%-κ.β.), αλλά αποτελεί, όπως είναι γνωστό από την χημεία του τσιμέντου, παραγόμενο προϊόν προερχόμενο από την ενυδάτωση των κύριων ορυκτολογικών συστατικών του τσιμέντου. Εξ άλλου, μέχρι την ηλικία των 7 ημερών, ανιχνεύονται οι φάσεις  $\text{C}_3\text{S}$  και  $\text{C}_2\text{S}$  του τσιμέντου (αλίτης, βελίτης), με τον βελίτη να έχει ενυδατωθεί πλήρως στις 60 ημέρες. Επομένως, σε συνδυασμό με την χαμηλή ένταση των κορυφών στα σχετικά ακτινογραφήματα της Εικόνας 124, η χημική αντίδραση ενυδάτωσης των ασβεστοπυριτικών συστατικών του τσιμέντου φαίνεται να εξελίσσεται με τον χρόνο δίνοντας τις αναμενόμενες, από την βιβλιογραφία, άμορφες ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις C-S-H. Επί πλέον, ανιχνεύονται ένυδρες ασβεσταργιλικές ενώσεις [7:  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$ ] σε κρυσταλλική μορφή, οφειλόμενες στην παρουσία αργιλικού τριασβεστίου στο χρησιμοποιηθέν τσιμέντο (Εικόνα 124). Αυτές οι ενώσεις θεωρούνται θερμοδυναμικά ασταθείς/ευμετάβλητες φάσεις, που σε συνήθεις θερμοκρασίες μετατρέπονται σταδιακά στην σταθερότερη (και με μεγαλύτερη πυκνότητα) ένωση του  $\text{C}_3\text{AH}_6$  και σε πορτλανδίτη (Matschei et al. 2007), (Glasser et al. 1999). Ας σημειωθεί ότι αυτή η μεταβολή συνοδεύεται από την αύξηση του πορώδους του πήγματος και ρηγμάτωση, εξαιτίας της οποίας παρατηρείται μείωση των αντοχών του πήγματος. Παρόλα αυτά, όπως φαίνεται από τα ακτινογραφήματα της Εικόνας 124, στην σύνθεση G1 δεν ανιχνεύθηκε  $\text{C}_3\text{AH}_6$ , παρατήρηση που εξηγείται από το ότι παρουσία CH ευνοείται ο σχηματισμός  $\text{C}_4\text{AH}_{13}$  έναντι του  $\text{C}_3\text{AH}_6$ . Εξ άλλου, έχει βρεθεί ότι παρουσία  $\text{CO}_2$  στα μίγματα, προερχόμενα από την ατμόσφαιρα ή την σταδιακή διαλυτοποίηση του περιεχόμενου  $\text{CaCO}_3$ , επηρεάζεται η απρόσκοπτη ενυδάτωση της αργιλικής φάσης. Έτσι, καθυστερεί η ενυδάτωση της αργιλικής φάσης, επιταχύνεται εκείνη του αλίτη και του βελίτη (Kakali et al. 2001), αλλά όπως και πριν, επιβραδύνεται ο μετασχηματισμός των  $\text{C}_4\text{AH}_x$  σε  $\text{C}_3\text{AH}_6$  (Feldman et al. 1965). Ταυτοχρόνως, από τις πρώτες μέρες ήδη, σχηματίζεται ένυδρο μονοανθρακικό αργιλικό ασβέστιο,  $\text{C}_4\text{ACcH}_{11}$  [για πρδ. (Feldman et al. 1965), (Kakali et al. 2001), (Hawkins et al. 2003), (Matschei et al. 2007)]. Το τελευταίο προϊόν θεωρείται από ορισμένους ερευνητές σταθερό παρουσία καλσίτη (Matschei et al. 2007), ενώ από άλλους ότι αποσυντίθεται σε  $\text{Al}(\text{OH})_3$  και  $\text{CaCO}_3$  [συγκεντρωμένα στους (Roy et al.

2006)]. Έτσι, στην Εικόνα 124, επισημαίνεται η παρουσία της ένωσης [2:  $C_4A\bar{C}CH_{11}$  ή  $C_4ACcH_{11}$ ], καθώς και του ασβεστίτη [3: Cc] από την ηλικία των 7 ημερών ήδη, που υποδηλώνει την ταυτόχρονη εκδήλωση των παραπάνω δύο δράσεων. Όπως προαναφέρθηκε, οι δύο δράσεις οφείλονται στην παρουσία της υδρασβέστου. Μολονότι φαίνεται ότι η ποσότητα της ένωσης  $C_4ACcH_{11}$  μάλλον αυξάνεται με τον χρόνο από την δράση του ασβεστίτη στις  $CAH_x$  (η περιεκτικότητα του οποίου διατηρείται πρακτικώς σταθερή), τα συμπεράσματα για την εξέλιξη του φαινομένου δεν είναι καταληκτικά, αφενός γιατί στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας δεν διερευνήθηκαν τα ορυκτολογικά συστατικά των συνθέσεων σε μεγαλύτερες των 90 ημερών ηλικίες, και αφετέρου τίθεται ένα θέμα επαναληψιμότητας των αποτελεσμάτων. Τέλος, σημειώνεται ότι η γρήγορη ενυδάτωση των τριασβεστίων και διασβεστίων, μπορεί να αποδοθεί πέρα από την λεπτότητα του τσιμέντου (μέγιστη διάμετρος κόκκου  $48\mu m$ ) και στην επίδραση του  $CaCO_3$ .

#### *Σύνθεση G2 (C=30%, L:MK=1:1)*

Παρεμφερέ, αλλά με χαμηλότερο βαθμό κρυσταλλικότητας και/ή μικρότερες ποσότητες, είναι τα προϊόντα της σύνθεσης του μετακαολίνη. Εξ άλλου, από την σχετική βιβλιογραφία [βλ. για πρδ. (Murat 1983), (Ambroise et al. 1994), (Bakolas et al. 2008), (Siddique 2008)] σε θέματα χημείας του συγκεκριμένου μετακαολίνη, προκύπτει ότι το εν λόγω υλικό είναι ένα άμορφο υλικό με υψηλή ποζολονικότητα, το οποίο αντιδρά σχετικώς γρήγορα με την υδράσβεστο. Από αυτή την αντίδραση παράγεται ένυδρη ασβεστοπυριτική γέλη (C-S-H) και ένυδρες ασβεσταργιλικές ενώσεις ( $C_4AH_{13}$ ,  $C_2ASH_8$ ,  $C_3AH_6$ ).

Όπως φαίνεται στα ακτινογραφήματα της Εικόνας 125 για την σύνθεση G2, ο πορτλανδίτης ανιχνεύεται μόνον στην ηλικία των 7 ημερών. Αντιθέτως, στις 28 ημέρες το  $Ca(OH)_2$  έχει καταναλωθεί πλήρως, έχοντας αντιδράσει με τον μετακαολίνη. Ας σημειωθεί ότι μέχρι την ηλικία των 90 ημερών ανιχνεύονται μόνον οι ενώσεις [7: $C_4AH_{13}$ ] και [8: $C_2ASH_8$ ], μαζί με ορισμένες ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις. Αυτά τα συστατικά αποτελούν προϊόντα της ποζολανικής αντίδρασης, καθώς και της ενυδάτωσης των φάσεων του τσιμέντου. Όπως στην περίπτωση της σύνθεσης G1, έτσι και για την σύνθεση του μετακαολίνη διαπιστώνεται η από νωρίς παρουσία ασβεστίτη, η ποσότητα του οποίου φαίνεται να διατηρείται σε σταθερά επίπεδα έως την ηλικία των 90 ημερών. Αντιστοίχως, η ένωση [2: $C_4A\bar{C}CH_{11}$  ή  $C_4ACcH_{11}$ ] -η οποία

αποτελεί την κύρια φάση του ενέματος για όλες τις ηλικίες- αρχικώς, αυξάνεται μεταξύ 7 και 28 ημερών, και έπειτα μειώνεται. Έχει βρεθεί ότι σε συνθέσεις μετακαολίνη/υδράσβεστο με κ.β. αναλογία κονιών ίση με 1:1, η εν λόγω φάση δεν ανιχνεύεται σε μεγαλύτερες ηλικίες (Bakolas et al. 2008). Υποδηλώνεται επομένως, ότι το εν λόγω προϊόν δεν αποτελεί ενανθρακωμένη φάση, αλλά ενδιάμεσο προϊόν της χημικής αντίδρασης του μετακαολίνη ( $AS_2$ ) με την υδράσβεστο. Ωστόσο, για τους ίδιους λόγους με πριν (επαναληψιμότητα, απουσία στοιχείων σε μεγαλύτερη ηλικία), το εν λόγω θέμα χρήζει μεγαλύτερης διερεύνησης.

#### *Σύνθεση G4 (C=30%, L:LA=1:2.5)*

Η ορυκτολογική σύσταση του ενέματος G4 διερευνήθηκε για τις ηλικίες των 7, 28, 69 και 90 ημερών, όπως φαίνεται από τα ακτινογραφήματα της Εικόνας 126. Πιο συγκεκριμένα, ο πορτλανδίτης είναι η κύρια ανιχνευόμενη ορυκτολογική φάση, η ποσότητα του οποίου φαίνεται να αυξάνεται μεταξύ 7 και 28 ημερών εξαιτίας της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Όπως είναι αναμενόμενο, σε μεγαλύτερες ηλικίες η ποσότητα του πορτλανδίτη μειώνεται εξαιτίας της κατανάλωσής του από την μηλαϊκή γη και του σχηματισμού, κυρίως, C-S-H. Επισημαίνεται η πλήρης ενυδάτωση των ασβεστοπυριτικών συστατικών του τσιμέντου μέχρι την ηλικία των 60 ημερών και η επακόλουθη ανίχνευση ένυδρων ασβεστοπυριτικών ενώσεων στις ηλικίες των 60 και 90 ημερών. Τέλος, και εδώ, η μικρή παρουσία ασβεστίτη [3:  $CaCO_3$ ], η οποία μειώνεται με τον χρόνο, συνδυάζεται με την ανίχνευση της ένωσης [2:  $C_4A\bar{C}CH_{11}$  ή  $C_4ACcH_{11}$ ], η οποία και εδώ σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται να μειώνεται μεταξύ 28 και 90 ημερών.

#### **3.7.1.1 Συμπεράσματα Ορυκτολογικής Μελέτης**

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης, μέσω ακτίνων Χ, των συνθέσεων G1 (C=80%, L=20%), G2 (C=30%, L:MK=1:1) και G4 (C=30%, L:LA=1:2.5) για τις ηλικίες των 7, 28, 60 και 90 ημερών. Τα κύρια συμπεράσματα αυτής της διερεύνησης συνοψίζονται στα παρακάτω:

- (1) Οι χημικές αντιδράσεις ενυδάτωσης του τσιμέντου και ποζολανικής αντίδρασης εξελίσσονται με τον χρόνο δίδοντας αναμενόμενα, από την βιβλιογραφία, προϊόντα: άμορφα ένυδρα πυριτικά ασβέστια [C-S-H] και ένυδρα ασβεσταργιλικά συστατικά σε κρυσταλλική μορφή [C-A-H και C-A-S-H]. Σε όλες τις συνθέσεις, σημειώνεται η ανίχνευση ασβεστίτη [ $CaCO_3$ ] και

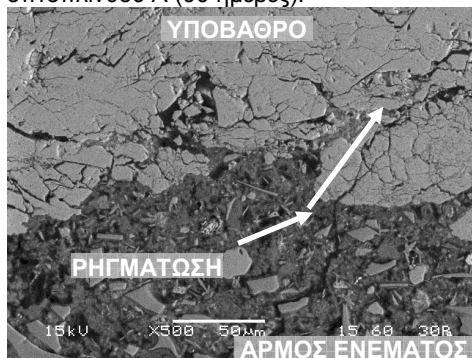
ένυδρου μονοανθρακικού αργιλικού ασβεστίου [ $C_4ACcH_{11}$ ] από την ηλικία των 7 ημερών. Η παρουσία αυτών των συστατικών υποδηλώνει ότι ταυτοχρόνως με τις υπόλοιπες αντιδράσεις λαμβάνει χώρα μερική ενανθράκωση των συστατικών των ενεμάτων, όπως της υδρασβέστου και των ένυδρων ασβεσταργιλικών προϊόντων (προερχόμενα από την ενυδάτωση των αργιλικών φάσεων του τσιμέντου ή/και της ποζολανικής αντίδρασης). Καθώς ο σχηματισμός της ένωσης [ $C_4ACcH_{11}$ ] ενδεχομένως να αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν ενυδάτωσης, θεωρείται ότι το ζήτημα χρήζει περαιτέρω διερεύνησης. Στην περίπτωση που ο σχηματισμός της [ $C_4ACcH_{11}$ ] οφείλεται σε μερική ενανθράκωση, τότε φαίνεται να επιβεβαιώνεται η παρατήρηση της (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2005) ότι ανταγωνιστικά με την ποζολανική αντίδραση λαμβάνει χώρα μερική ενανθράκωση των (ένυδρων ασβεσταργιλικών) συστατικών των ενεμάτων που στην προκειμένη περίπτωση οφείλεται σε δυσμενείς συνθήκες συντήρησης. Αυτή η παρατήρηση φαίνεται να είναι σε συμφωνία με την επιχειρούμενη ερμηνεία για την εν-χρόνω πτώση των μηχανικών χαρακτηριστικών των συγκεκριμένων μιγμάτων, όπως παρουσιάστηκε στην παράγραφο 3.3.1.1.3.

- (2) Όσον αφορά το χρησιμοποιούμενο τσιμέντο, η ενυδάτωση των κυρίων φάσεων του (αλίτης και βελίτης) συμβαίνει γρήγορα. Αυτό αποδίδεται στην υψηλή λεπτότητά του και στην δράση του [ $CaCO_3$ ]. Επί πλέον, τονίζεται η σχετικώς έντονη παρουσία της αργιλικής φάσης  $C_3A$  στο τσιμέντο, η οποία ενυδατώνεται με μεγάλη ταχύτητα και συνδέεται με την ανάπτυξη πρώιμων αντοχών. Εξαιτίας της επιτάχυνσης των αντιδράσεων ενυδάτωσης του τσιμέντου αναμένεται η από νωρίς εμφάνιση ρηγματώσεων στα ενέματα.
- (3) Σχετικά με την τριμερή σύνθεση με τον μετακαολίνη, η ποζολανική αντίδραση μετακαολίνη και υδρασβέστου λαμβάνει χώρα σχετικά γρήγορα (λόγω της μεγάλης λεπτότητας και δραστικότητας της τεχνητής ποζολάνης). Για τα δοκίμια που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο από τις 28 ημέρες ήδη, προκύπτει ότι η υδράσβεστος έχει καταναλωθεί πλήρως αντιδρώντας με τον διαθέσιμο μετακαολίνη.
- (4) Όσον αφορά την σύνθεση με την φυσική ποζολάνη, και σε αυτήν την περίπτωση προκύπτει ότι η ποζολανική αντίδραση φαίνεται να συμβαίνει μάλλον ανταγωνιστικά με την μερική

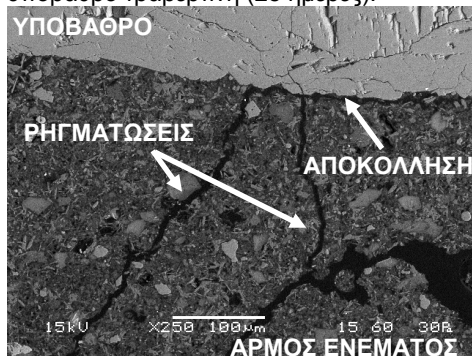
ενανθράκωση της υδρασβέστου ή/και των ένυδρων ασβεσταργλικών συστατικών, επιδρώντας αρνητικά στην μακρο- και μικρο-δομή του εξεταζόμενου ενέματος (το ένεμα είναι ορατώς εύθρυπτο).



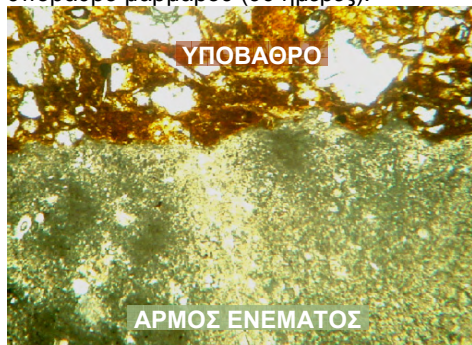
Εικόνα 127. Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε οπτόπλινθου Α (90 ημέρες).



Εικόνα 128. Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο τραβερτίνη (28 ημέρες).



Εικόνα 129. Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο μαρμάρου (90 ημέρες).



Εικόνα 130. Λήψη OEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου Α (28 ημέρες // x100).

### 3.7.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΛΕΠΤΩΝ ΤΟΜΩΝ

Στα παρακάτω παρουσιάζονται και σχολιάζονται τα κύρια αποτελέσματα της μελέτης της μικροδομής των ενεμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης με την χρήση οπτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης. Καθώς τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την ορυκτολογική σύσταση των ενεμάτων είναι σε συμφωνία με τις παρατηρήσεις που έγιναν με την μέθοδο περίθλασης με ακτίνες Χ, δεν σχολιάζονται περαιτέρω. Η περιγραφή των λοιπών αποτελεσμάτων γίνεται με βάση τις παραμέτρους που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (τύπος υποβάθρου, τύπος συνδετικής κονίας και ηλικία δοκιμής).

#### 3.7.2.1 Επιρροή υποβάθρου

Ως προς την επίδραση του τύπου του υποβάθρου στην μικροδομή των ενεμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης, προκύπτει ότι σε όλα τα δοκίμια των 90 ημερών παρατηρήθηκαν διαμπερείς ρηγματώσεις (έως 5-10 µm) στον αρμό των ενεμάτων ανεξαρτήτως του τύπου του υποβάθρου (Εικόνες 127-130), οφειλόμενες στον τρόπο παρασκευής των δοκιμίων της μικροδομής και σε συστολή ξήρανσης. Τονίζεται ότι η συστολή ξήρανσης των πηγμάτων τελικώς δεν αποφεύχθηκε, δεδομένου και των υψηλών τιμών του υδατοσιμεντοσυντελεστή, παρά την ειδική μέριμνα που λήφθηκε για την συντήρηση των εν λόγω δοκιμίων (§3.4.2.2). Η εκδήλωση των ρηγματώσεων οφείλεται στην ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων στα ενέματα. Αυτές οι ρηγματώσεις τείνουν να εκτονώνονται δια μέσου των πόρων/ασυνεχειών του υποβάθρου [(υπόβαθρα: οπτόπλινθος, τραβερτίνης), Εικόνες 127, 128] ή/και της διεπιφάνειας (υπόβαθρα: μάρμαρο, τραβερτίνης), με αποτέλεσμα την αποκόλλησή τους από αυτά (Εικόνα 129). Ας σημειωθεί ότι η συνάφεια που επιτυγχάνεται για τα σύνθετα δοκίμια της οπτόπλινθου (βλ. Εικόνα 130) είναι καλύτερη από εκείνη του τραβερτίνη ή του μαρμάρου, εξαιτίας της διαπιστωθείσας μεγαλύτερης μικροτραχύτητας της οπτόπλινθου στην επιφάνεια έγχυσης του ενέματος, καθώς και της διείσδυσης των ενεμάτων στην πορώδη μάζα της οπτόπλινθου και της καλύτερης πρόσφυσης με αυτήν. Με δεδομένο το μεγαλύτερο πορώδες του τραβερτίνη, αναμένεται καλύτερη εικόνα,



από άποψη συνεκτικότητας ενέματος και υποβάθρου, για τα δοκίμια του τραβερίτη σε σχέση εκείνα του μαρμάρου. Εντούτοις, σε μικροσκοπική κλίμακα δεν παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο υποβάθρων στην συνάφεια των πηγμάτων/υποβάθρων. Καθώς φαίνεται, η μικρή ανοχή των υποβάθρων με μικρό πορώδες απέτρεψε την εκτόνωση των αναπτυσσομένων εσωτερικών τάσεων στην μάζα των ενεμάτων διαμέσου των πόρων του υποβάθρου και οδήγησε στην εκτόνωση αυτών, κυρίως, κατά μήκος της διεπιφανείας ενεμάτων και υποβάθρων (αποκόλληση), και δευτερευόντως μέσω των πόρων του υποβάθρου (Εικόνα 131). Αυτή η συμπεριφορά, αναμένεται να επιδρά αρνητικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια των σύνθετων δοκιμίων του τραβερίτη.

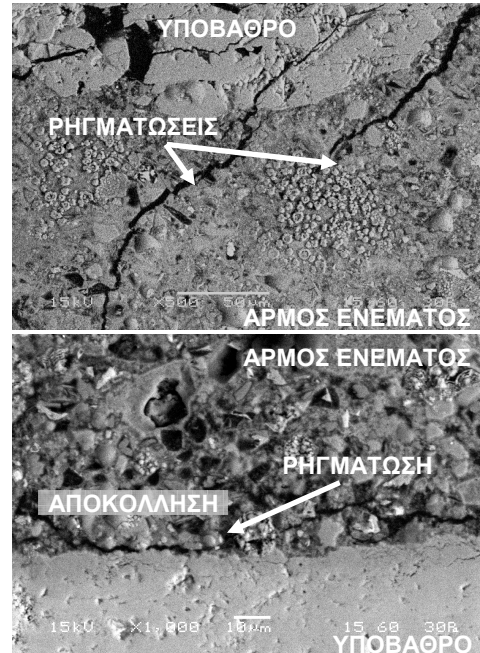
Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο που προέκυψε από την μελέτη της διεπιφανειακής ζώνης των σύνθετων δοκιμίων μέσω του ηλεκτρικού μικροσκοπίου σάρωσης, είναι η απουσία χημικής αντίδρασης για όλους τους συνδυασμούς υποβάθρων και ενεμάτων στις εξετασθείσες ηλικίες. Βεβαίως, ένα τέτοιο ενδεχόμενο δεν δύναται να αποκλειστεί στην περίπτωση των δοκιμίων της οπτόπλινθου για μεγαλύτερες, ωστόσο, ηλικίες. Εξ άλλου, δεν διαπιστώθηκε επικάθιση των κρυστάλλων  $Ca(OH)_2$  με οποιονδήποτε προσανατολισμό, όπως περιγράφηκε στην σχετική ενότητα της βιβλιογραφικής αναδρομής. Εντούτοις, η μεγαλύτερη πύκνωση της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης σε σχέση με την μάζα σε ορισμένα δοκίμια, για πρδ. των ενεμάτων G1 και G4, αποδίδεται στην συγκέντρωση των λεπτόκοκκων συστατικών πλησίον του υποβάθρου οφειλόμενο στο «φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας» (Εικόνα 132). Ας επισημανθεί ότι το φαινόμενο αυτό δεν διαπιστώθηκε στην περίπτωση των συνθέσεων του μετακαολίνη. Τέλος, όσον αφορά την επιρροή στην ορυκτολογική σύσταση των ενεμάτων, όπως είναι αναμενόμενο λόγω της απουσίας χημικής αλληλεπίδρασης με τα υπόβαθρα, δεν διαπιστώνονται διαφορές στα συστατικά τους αναλόγως του υποβάθρου (βλ. Παράγραφο 3.7.1).

### 3.7.2.2 Συνδετική κονία

Σε αυτήν την παράγραφο παρουσιάζονται ανά σύνθεση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των πηγμάτων.

#### Σύνθεση G1 (C=80%, L=20%)

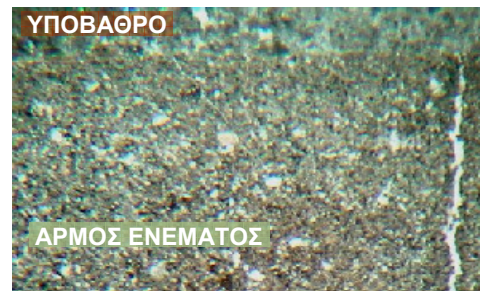
Από την Εικόνες 133 και 134, προκύπτει ότι σε μικρο-κλίμακα, το ένεμα αναφοράς παρουσιάζει πυκνή δομή με μέγιστη διάμετρο πόρων,



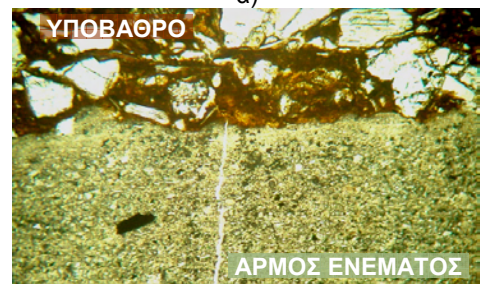
Εικόνα 131. Λήψεις SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο τραβερίτη (28 ημέρες).



Εικόνα 132. Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο τραβερίτη (90 ημέρες).

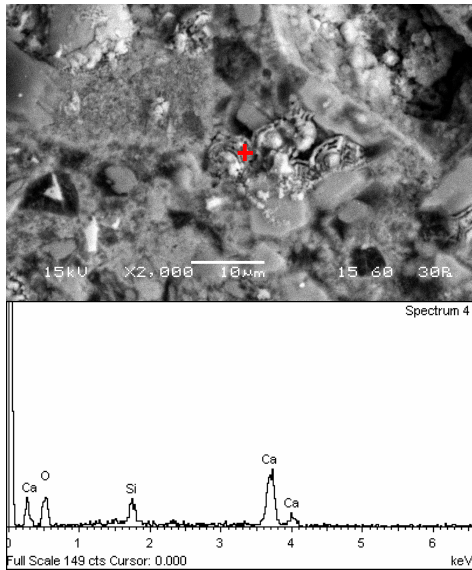


α)



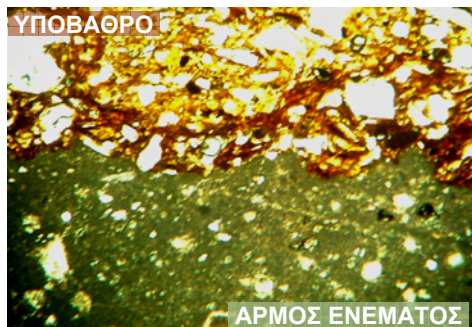
β)

Εικόνα 133. Λήψεις OEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο α) τραβερίτη (28 ημέρες // x63) και β) οπτόπλινθου Α (90 ημέρες // x100).



Εικόνα 134. Λήψη SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο τραβερίτη (90 ημέρες).

η οποία δεν ξεπερνά τα 10 μm. Μολονότι η σύσταση του πήγματος εμφανίζεται ομοιόμορφη, όπως προαναφέρθηκε, δεν απουσιάζουν ρηγματώσεις από την μάζα του τσιμεντενέματος (για πρδ. στην περίπτωση υποβάθρων με τραβερίτη και οπτόπλινθο). Ως προς τα προϊόντα ενυδάτωσης της σύνθεσης, από την στοιχειομετρική ανάλυση σε πόρους του πήγματος διαπιστώνεται η παρουσία βελονοειδών κρυστάλλων C-S-H (Εικόνα 134) και επιμηκών πρισματικών ή βελονοειδούς μορφής κρυστάλλων C-A-H και C-A-S-H. Όσον αφορά την συνάφεια, το εν λόγω ένεμα παρουσιάζει ανάμεσα σε όλες τις συνθέσεις την καλύτερη συνεκτικότητα με τα υπόβαθρα σε μικροκλίμακα. Παρ' όλο που το τσιμεντένεμα σε μικροκλίμακα φαίνεται να εξασφαλίζει την υψηλότερη συνεκτικότητα μεταξύ υποβάθρων και πήγματος, εντούτοις, δεν θεωρείται συμβατό σε όρους πορώδους με τα πορώδη υλικά μιας τοιχοποιίας.



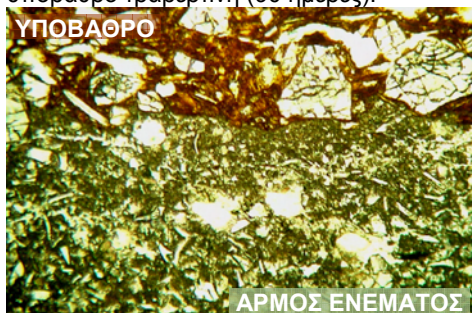
Εικόνα 135. Λήψεις OEM: Ένεμα G2 σε οπτόπλινθο A (90 ημέρες // x63).

#### Σύνθεση G2 (C=30%, L:MK=1:1)

Η δομή του τριμερούς ενέματος με τον μετακαολίνη, εμφανίζεται λιγότερο πυκνή από εκείνη του ενέματος αναφοράς. Πράγματι, στην μάζα του πήγματος εμφανίζονται πόροι σαφώς μεγαλύτερης διαμέτρου, έως 150-200 μm (σύγκριση Εικόνων 133 και 135). Εν γένει, η σύσταση του ενέματος είναι ομοιόμορφη και η πρόσφυση με τα υπόβαθρα ικανοποιητική για την ηλικία των 28 ημερών, ενώ διαπιστώνεται η παρουσία ρηγματώσεων στην μάζα του πήγματος και αποκολλήσεων στην διεπιφάνεια με τα ασβεστιτικά υπόβαθρα σε μεγαλύτερη ηλικία. Επί πλέον, στην ηλικία των τριών μηνών, αναπτύσσονται δευτερογενείς ρηγματώσεις στην διεπιφάνεια περιοχών πλουσίων σε ένυδρες ασβεσταργιλικές ενώσεις (Εικόνα 136). Όπως διαπιστώθηκε από τον ορυκτολογικό χαρακτηρισμό των πηγμάτων μέσω της μεθόδου της περίθλασης ακτίνων Χ, έτσι και εδώ, από την στοιχειομετρική ανάλυση φαίνεται ότι πρόκειται για φάσεις που έχουν μερικώς ενανθρακωθεί. Υπενθυμίζεται ότι τα συγκεκριμένα συστατικά ενδεχομένως να αποτελούν ενδιάμεση μετασταθή φάση προϊόντων ενυδάτωσης μετακαολίνη. Τέλος, η προστιθέμενη υδράσβεστος έχει καταναλωθεί πλήρως από τον μετακαολίνη, από την ηλικία ήδη των 28 ημερών, σχηματίζοντας βελονοειδείς κρυστάλλους C-S-H, αλλά κυρίως βελονοειδείς και πρισματικούς κρυστάλλους ασβεσταργιλικής σύστασης (C-A-H και C-A-S-H). Επομένως, στην ηλικία των 90 ημερών δεν υπάρχει διαθέσιμη υδράσβεστος προκειμένου να αντιδράσει με τον μετακαολίνη.



Εικόνα 136. Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο τραβερίτη (90 ημέρες).



Εικόνα 137. Λήψη OEM: Ένεμα G4 σε οπτόπλινθο A (90 ημέρες // x63).



**Σύνθεση G4 (C=30%, L:LA=1:2.5)**

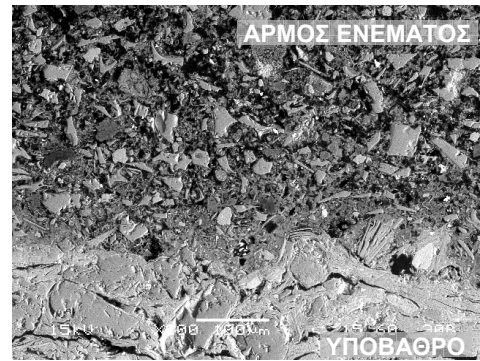
Όπως φαίνεται στις Εικόνες 137 και 138, η τριμερής σύνθεση με την φυσική ποζολάνη εμφανίζει παρόμοια μορφολογικά στοιχεία και πορώδες με την σύνθεση του μετακαολίνης. Επί πλέον, η περιεχόμενη ποζολάνη ανιχνεύεται με την μορφή πλακοειδών και πρισματικών κρυστάλλων SiO<sub>2</sub> και πλαγιόκλαστων μεγέθους 30 μm, οι οποίοι μέχρι την εξεταζόμενη ηλικία των τριών μηνών δεν έχουν αντιδράσει με την υδράσβεστο (Εικόνα 139).

**3.7.2.3 Ηλικία**

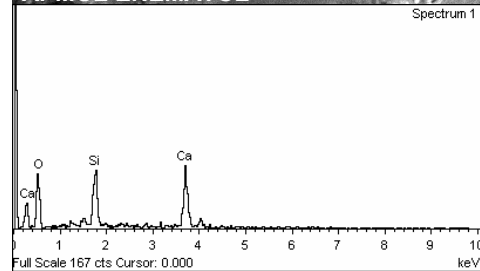
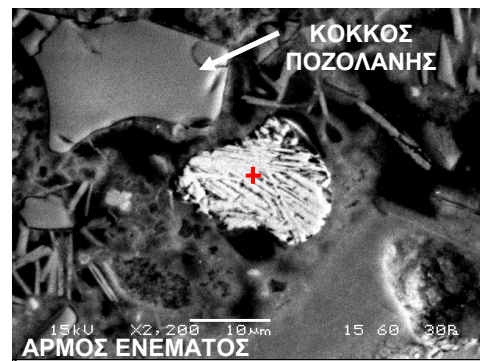
Όσον αφορά την επιρροή της ηλικίας στην μικροδομή των ενεμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης, διαπιστώνεται η ταυτόχρονη εξέλιξη δυο φαινομένων, που, όπως θα συζητηθεί στις οικείες ενότητες της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων των μηχανικών δοκιμών (§ 3.8.3.6 και § 3.8.4.7), αναμένεται να επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο την αναπτυσσόμενη συνάφεια υποβάθρων/ενεμάτων και την ανθεκτικότητά της στον χρόνο.

Από την μια, όπως αναμένετο από την σχετική βιβλιογραφία, παρατηρείται μια προοδευτική πύκνωση της μικροδομής των ενεμάτων με τον χρόνο. Αυτή η πύκνωση απεικονίζεται σαφώς για πρδ. στις Εικόνες 139 και 140, όπου διαπιστώνεται ο σχηματισμός ένυδρων ασβεστοπυριτικών (C-S-H) και ασβεσταργλικών συστατικών (C-A-H και C-A-S-H) σε πόρους όλων των πηγμάτων. Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση της σύνθεσης αναφοράς G1, ο σχηματισμός των παραπάνω συστατικών αποδίδεται αποκλειστικά στην ενυδάτωση των φάσεων του τσιμέντου. Αντιθέτως, στις τριμερείς συνθέσεις, τα παραπάνω προϊόντα προέρχονται, επιπροσθέτως, και από την αντίδραση των πυριτικών και αργλικών συστατικών των ποζολανών με την διαθέσιμη υδράσβεστο. Εξ άλλου, σε αυτές τις συνθέσεις παρατηρήθηκε μέσω του ορυκτολογικού χαρακτηρισμού των πηγμάτων με την μέθοδο περίθλασης ακτίνων X (XRD), μια σταδιακή εν χρόνω μείωση της περιεκτικότητας της -προστιθέμενης ή παραγόμενης από την ενυδάτωση του τσιμέντου- υδρασβέστου.

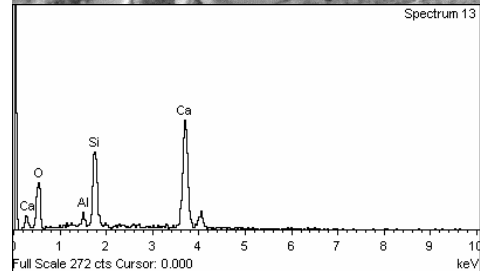
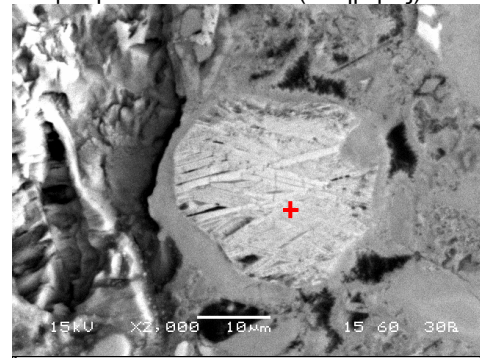
Από την άλλη, υπογραμμίζεται μια διακριτή εξέλιξη της ρηγμάτωσης στον αρμό των ενεμάτων (για πρδ. Εικόνες 127, 128, 129, 131, 133), η οποία αναμένεται να επιδρά αρνητικά στην ανθεκτικότητα των ενεμάτων, καθώς και στην συνάφεια με το υπόβαθρο. Ας σημειωθεί ότι, βεβαίως, η παρουσία ρηγματώσεων ευνοεί την συνεχή τροφοδότηση των πηγμάτων με διοξείδιο του άνθρακα, με επακόλουθη επιτάχυνση της ενανθράκωσης, τοπικώς. Επομένως, διαπιστώνεται ότι στην αρχική



Εικόνα 138. Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου (28 ημέρες).



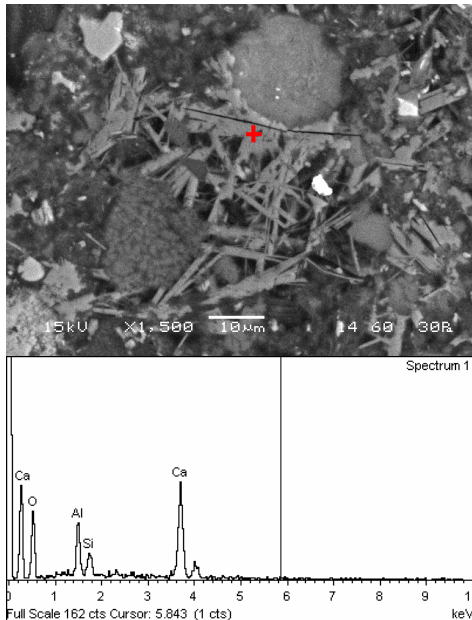
Εικόνα 139. Λήψη SEM: Ένεμα G4 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (28 ημέρες).



Εικόνα 140. Λήψη SEM: Ένεμα G1 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου A (90 ημέρες).

συστολή των νωπών πηγμάτων, προστίθεται μια βαθμιαία αύξηση των ρηγματώσεων, οι οποίες, καθώς φαίνεται, εκκινούν από την μάζα των ενεμάτων και διαδίδονται προς το υπόβαθρο. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, η πυκνότητα και το εύρος αυτών των ρηγματώσεων ποικίλλουν αναλόγως του τύπου του ενέματος και του υποβάθρου. Καθώς οι εν λόγω ρωγμές είναι διαμπερείς στην μάζα των ενεμάτων και εντοπίζονται μόνον σε ορισμένες θέσεις του αρμού, δεν μπορεί παρά να οφείλονται σε συστολή ξήρανσης. Σε αυτό συνηγορεί και το ότι στις περιοχές των ρηγματώσεων, το συνδετικό υλικό παρουσιάζει σχετικώς έντονη ενανθράκωση.

Ας επισημανθεί ότι στην ηλικία των τριών μηνών, στην μάζα του πήγματος της τριμερούς σύνθεσης με τον μετακαολίνη, πέρα από τις όποιες ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης, εμφανίζονται οι δευτερογενείς ρηγματώσεις της Εικόνας 141. Καθώς φαίνεται, η γένεση αυτών των ρηγματώσεων συμβαίνει σε διεπιφάνειες περιοχών πλουσίων σε ένυδρες ασβεσταργλικές ενώσεις, οι οποίες φαίνεται να έχουν ενανθρακωθεί μερικώς. Η παρουσία αυτών των μικρορηγματώσεων ενδέχεται είτε να αποδοθεί στην ενανθράκωση των παραπάνω ενώσεων είτε να αποτελεί την συνέπεια της με τον χρόνω αντικατάστασης της αλουμίνας από πυρίτιο στις μετασταθείς ενώσεις των ενυδατωμένων προϊόντων του μετακαολίνη, η οποία συνοδεύεται με μεταβολές του όγκου του πήγματος.



**Εικόνα 141.** Λήψη SEM: Ένεμα G2 σε υπόβαθρο οπτόπλινθου Α (90 ημέρες).

### 3.7.2.4 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την παράγραφο της Διατριβής περιγράφηκαν τα κύρια συμπεράσματα των παρατηρήσεων για την μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης ενεμάτων τσιμέντου-ασβέστη-ποζολάνης (G1, G2 και G4) και υποβάθρων για τις ηλικίες των 28 και 90 ημερών. Αυτά τα συμπεράσματα φαίνεται να επιβεβαιώνουν, εν γένει, τις ποιοτικές προβλέψεις για την αναπτυσσόμενη συνάφεια σε διεπιφάνειες υλικών με παρεμφερή φυσικά χαρακτηριστικά, όπως παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.8.1.3 της Βιβλιογραφικής Αναδρομής. Ειδικότερα, από τους διενεργηθέντες ελέγχους προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- (1) Αποδείχθηκε ότι για τις μελετηθείσες ηλικίες δεν λαμβάνει χώρα αντίδραση των ενεμάτων με τα υπόβαθρα, χωρίς ωστόσο αυτό να αποκλείεται για τα δοκίμια της οπτόπλινθου Α σε μεγαλύτερη ηλικία. Αντιθέτως, ο μηχανισμός συνάφειας είναι κυρίως μηχανικής φύσης και σχετίζεται με την αλληλεμπλοκή των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων με το υπόβαθρο.

- (2) Αναδεικνύεται, έτσι, ο ρόλος της επιφανειακής τραχύτητας στην αναπτυσσόμενη συνάφεια. Επομένως, σε όρους τραχύτητας, για το ίδιο ένεμα αναμένονται, κατά φθίνουσα σειρά, υψηλότερες τιμές συνάφειας για τα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α, έπειτα από τραβερτίνη και τέλος, από μάρμαρο.
- (3) Ωστόσο, πέρα από την τραχύτητα σημαντική επίδραση στην συνάφεια ενεμάτων και υποβάθρων αναμένεται να διαδραματίζει το πορώδες του υποβάθρου (το οποίο σχετίζεται με την ιδιότητα της πρόσφυσης των ενεμάτων με το υπόβαθρο), καθώς και η ανοχή του υποβάθρου στις συστολο/διαστολές του ενέματος. Με δεδομένο το μεγαλύτερο πορώδες του τραβερτίνη, αναμένεται καλύτερη εικόνα, από άποψη συνεκτικότητας ενέματος και υποβάθρου, για τα δοκίμια του τραβερτίνη σε σχέση εκείνα του μαρμάρου. Εντούτοις, σε μικροσκοπική κλίμακα δεν παρουσιάζεται μεγάλη διαφορά μεταξύ των δύο υποβάθρων στην συνάφεια των πηγμάτων/υποβάθρων, καθώς η μικρή ανοχή σε συστολο/διαστολές των υποβάθρων με μικρό πορώδες απέτρεψε την εκτόνωση των αναπτυσσομένων στην μάζα των ενεμάτων εσωτερικών τάσεων και οδήγησε στην εκτόνωση αυτών κατά μήκος της διεπιφάνειας ενεμάτων και υποβάθρων. Έτσι, αναδεικνύεται η απαίτηση για φυσική συμβατότητα του ενέματος με το υπόβαθρο.
- (4) Όσον αφορά την εμφάνιση ρηγματώσεων στον αρμό των ενεμάτων (οφειλόμενη στην υψηλή ταχύτητα των αντιδράσεων ενυδάτωσης του τσιμέντου και της ποζολανικής αντίδρασης στην περίπτωση της συνθέσεως με τον μετακαολίνη, καθώς και σε συστολή ξήρανσης), όπως είναι φυσικό, αναμένεται να διαδραματίσει αρνητικό ρόλο στην αναπτυσσόμενη συνάφεια.
- (5) Επισημαίνεται η μη διαπίστωση προτίμησης των κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διάστρωσή τους στο υπόβαθρο (epitaxy growth), χωρίς αυτό το ενδεχόμενο να αποκλείεται να παρουσιαστεί σε βασικό περιβάλλον συντήρησης.
- (6) Ας σημειωθεί ότι, η παρουσία ενανθρακωμένων φάσεων (οφειλόμενες είτε στο περιβάλλον διοξείδιο του άνθρακα είτε στην διαλυτοποίηση του ανθρακικού ασβεστίου της προστιθέμενης υδρασβέστου) σε περιοχές ρηγματώσεων, ενδεχομένως να σχετίζεται και με την αντικατάσταση των

μεγάλων κρυστάλλων πορτλανδίτη με συστατικά μικρότερου μεγέθους (Monteiro et al. 1986), (§2.8.1.2.1).

- (7) Σχετικώς με την επιρροή του τύπου των ενεμάτων στην συνάφεια, από τις παρατηρήσεις της μικροδομής αναμένεται καλύτερη συνάφεια για το ένεμα αναφοράς σε σχέση με τα τριμερή ενέματα. Βεβαίως, τα αποτελέσματα αναμένεται να αλλοιωθούν εξαιτίας των ρηγματώσεων από τις χημικές αντιδράσεις και τις ελλειπείς συνθήκες συντήρησης. Εξ άλλου, σε όρους πορώδους, τα τριμερή ενέματα είναι περισσότερο συμβατά με τα πορώδη υλικά της τοιχοποιίας σε σχέση με το ένεμα αναφοράς.
- (8) Τέλος, υπογραμμίζεται η έλλειψη υδρασβέστου για να αντιδράσει με τον διαθέσιμο μετακαολίνη στην τριμερή σύνθεση G2 μετά τις 28 ημέρες. Αντιθέτως, για την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη, η ποζολανική αντίδραση αναμένεται να εξελίσσεται και μετά το πέρας των 90 ημερών. Συνεπώς, δεδομένης και της συστολής ξήρανσης, δεν αναμένεται σημαντική εν χρόνω αύξηση της αντοχής συνάφειας για τα σύνθετα δοκίμια με την σύνθεση του μετακαολίνη, σε αντίθεση με τα δοκίμια της μηλαϊκής γης.

### 3.7.3 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΕΝ-ΧΡΟΝΩ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΣΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, και έπειτα από την παρουσίαση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων της μικροδομής των ενεμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης, επιχειρείται μια εμπειρισταωμένη πλέον ερμηνεία για την εν χρόνω εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών (θλιπτική και καμπτική αντοχή) των ενεμάτων (τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης) για τα δύο είδη συνθηκών συντήρησης, όπως παρουσιάστηκαν στις παραγράφους §3.3.1.1.3 και 3.3.1.2.2.

#### *Ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης*

Όσον αφορά τα δοκίμια των ενεμάτων που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο, η μελέτη σε μικρο-κλίμακα των ενεμάτων επιβεβαιώνει την αρχική ερμηνεία για την επιρροή των συνθηκών συντήρησης (συστολή, ενανθράκωση) στην εν χρόνω μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών των τριμερών συνθέσεων. Επισημαίνεται ότι, ένδειξη της δράσης της συστολής ξήρανσης στις τσιμεντόπαστες αποτελεί η μη αύξηση της θλιπτικής αντοχής των πηγμάτων σε μεγαλύτερες ηλικίες.

Έτσι, ως προς την τριμερή σύνθεση με τον μετακαολίνη, η διαπιστωθείσα αύξηση της θλιπτικής αντοχής του πήγματος (έως τις 90 ημέρες) αποδίδεται στην σταδιακή πύκνωση της μικροδομής του πηγματος εξαιτίας των χημικών αντιδράσεων της ενυδάτωσης του τσιμέντου και της ποζολανικής αντίδρασης. Η τελευταία αντίδραση λαμβάνει σχετικώς γρήγορα, καθώς όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα της ορυκτολογικής μελέτης των ενεμάτων, η διαθέσιμη υδράσβεστος έχει καταναλωθεί ήδη από τις 28 ημέρες. Συνεπώς, η συνεισφορά της ποζολανικής αντίδρασης μεταξύ 28 και 90 ημερών αποδίδεται στην παραγόμενη, από την ενυδάτωση του τσιμέντου, υδράσβεστο. Ας σημειωθεί ότι η επιρροή των συνθηκών συντήρησης αποτυπώνεται ξεκάθαρα στην εν χρόνω εξέλιξη των τιμών της καμπτικής αντοχής, η οποία, όπως είναι γνωστό, ως ιδιότητα είναι πιο ευπαθής στην μικρορηγμάτωση. Υπενθυμίζεται ότι μετά τις 28 ημέρες διαπιστώνεται σταδιακή μείωση της καμπτικής αντοχής της συνθέσεως G2 (Πίνακας 11). Πράγματι, όπως προέκυψε από τον ορυκτολογικό χαρακτηρισμό και τις παρατηρήσεις της μικροδομής, από νωρίς εμφανίζονται ρηγματώσεις στο εξεταζόμενο ένεμα λόγω των υψηλών ταχυτήτων αντίδρασης, οφειλόμενες στην σύσταση των κονιών και τις αναλογίες σύνθεσης, η παρουσία των οποίων είναι πιο πυκνή στην ηλικία των 90 ημερών εξαιτίας της συστολής ξήρανσης, καθώς και των αρκετά υψηλών τιμών του υδατοτσιμεντοσυντελεστή. Η επιρροή των παραπάνω δράσεων φαίνεται να περιορίζεται στην περίπτωση των συντηρημένων σε ασβεστόνερο δοκιμίων, κάτι που αποτυπώνεται στην απρόσκοπτη αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της εν λόγω σύνθεσης. Πράγματι, καθώς οι συνθήκες υγρασίας είναι σταθερές δεν δημιουργούνται ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης. Από την άλλη, η σταθερή παροχή υδρασβέστου οδηγεί σε περαιτέρω εξέλιξη - ανεμπόδιση από την ενανθράκωση- της ποζολανικής αντίδρασης.

Αντίστοιχη είναι η εικόνα για την σύνθεση της μηλαϊκής γης που συντηρήθηκε στον υγρό θάλαμο. Ωστόσο, καθώς σε αυτήν την περίπτωση η ποζολανική αντίδραση συμβαίνει σχετικώς αργά, δεν αναμένεται η από νωρίς εμφάνιση σημαντικού ποσοστού ρηγματώσεων στο σώμα του ενέματος. Αυτό επιβεβαιώνεται από το ότι η καμπτική αντοχή σε αυτό το ένεμα αυξάνεται ανεμπόδιστα μέχρι τις 90 ημέρες. Βεβαίως, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα της μικροδομής σε μεγαλύτερη ηλικία, η επίδραση των συνθηκών συντήρησης είναι αντίστοιχη με εκείνη στην σύνθεση του μετακαολίνη.

*Ενεμάτα υδραυλικής ασβέστου-ποζολάνης*

Παρ' όλο που δεν πραγματοποιήθηκε διερεύνηση της μικροδομής των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, φαίνεται ότι η περαιτέρω αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της σύνθεσης HL2 (με ποζολάνη σε ποσοστό 10%-κ.β.) σε σχέση με την σύνθεση HL (χωρίς την ποζολάνη), οφείλεται στο ότι το εν λόγω ένεμα έχει μια μικροδομή που σταδιακά πυκνώνει (λόγω της ποζολανικής αντίδρασης) και ταυτοχρόνως βελτιώνεται η ανθεκτικότητα του μίγματος [με την κατανάλωση των κρυστάλλων  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. Αντιθέτως, η παρατηρούμενη πτώση της καμπτικής αντοχής των ενεμάτων HL1 και HL3 δείχνει μια μικροδομή που είναι λιγότερο ανθεκτική στην μικρορηγμάτωση.



## 3.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

### 3.8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Στο παρόν μέρος της Διατριβής παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που αφορούν την μηχανική συμπεριφορά των διεπιφανειών μεταξύ υδραυλικών ενεμάτων και υποβάθρων έναντι εφελκυσμού (§ 3.8.3) και διάτμησης (§ 3.8.4). Η παρουσίαση, καθώς και η αξιολόγηση των σχετικών πειραματικών στοιχείων, γίνεται με στόχο να αναδειχθεί ο βαθμός επίδρασης των υπό διερεύνηση παραμέτρων [δλδ. τύπος υποβάθρου, σύσταση συνδετικής κονίας, ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής, μέγεθος ορθής θλιπτικής τάσης (για τις δοκιμές διάτμησης)] στην απόκριση των διεπιφανειών ή/και των σύνθετων. Ωστόσο, όπως προέκυψε από την βιβλιογραφική αναδρομή, η διασπορά στα πειράματα της συνάφειας είναι, εν γένει, υψηλή. Εξ άλλου, ακόμη μεγαλύτερη είναι η διασπορά στις τιμές των παραμορφώσεων για τις δοκιμές διατμήσεως, όπως θα φανεί στην οικεία ενότητα. Έτσι, προκειμένου, να αναδειχθεί και να αξιολογηθεί η επίδραση των εξεταζομένων παραμέτρων στην συνάφεια διεπιφανειών υποβάθρων/ενεμάτων, χωρίς ωστόσο να αλλοιώνεται η εικόνα από την παρατηρηθείσα διασπορά, αποφασίστηκε να ορισθούν κάποια γενικά κριτήρια για την απόρριψη ή διατήρηση δοκιμών, τα οποία αναφέρονται στα παρακάτω (βλ. § 3.8.2). Στην πραγματικότητα η τελική απόρριψη έγινε μετά από λεπτομερή μελέτη όλων των αποτελεσμάτων και από την συνολικότερη σύγκρισή τους (βλ. Ενότητες § 3.8.3 και § 3.8.4, Παραρτήματα Δ και Ε). Παρ' όλα αυτά, στα εν λόγω Παραρτήματα, παρατίθεται το σύνολο των αποτελεσμάτων των δοκιμών για ενδεχόμενη αξιοποίησή τους σε μελλοντικές διερευνήσεις στις οποίες θα εφαρμοστούν διαφορετικά κριτήρια απόρριψης δοκιμών.

### 3.8.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ ΔΟΚΙΜΩΝ

#### 3.8.2.1 Δοκιμές Εφελκυσμού

Τα κριτήρια για την μη αποδοχή των δοκιμών εφελκυσμού προέκυψαν μετά από την λεπτομερή μακροσκοπική παρατήρηση της διεπιφάνειας, του αρμού του ενέματος και του τρόπου αστοχίας -σε συνδυασμό με την τιμή της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας- όλων των σύνθετων δοκιμών για κάθε σειρά δοκιμών. Αυτά τα κριτήρια, όπως απεικονίζονται στις Εικόνες 142÷144, συνοψίζονται στα παρακάτω:



Εικόνα 142. Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίου απόρριψης δοκιμών (1).



Εικόνα 143. Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίων απόρριψης δοκιμών (2α, 2β, 2γ).



Εικόνα 144. Δοκιμές εφελκυσμού: Φωτογραφική απεικόνιση κριτηρίου απόρριψης δοκιμών (3).

(1) Απουσία κοινών συνθηκών προετοιμασίας των δοκιμών σε επίπεδο μηχανικής τράχυνσης της επιφάνειας των υποβάθρων (Εικόνα 142): Σε ορισμένα δοκίμια<sup>1</sup>, διαπιστώθηκαν σαφώς χαμηλότερες τιμές για την εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας σε σχέση με τα άλλα δοκίμια της ίδιας σειράς. Η προσεκτική εξέταση της διεπιφάνειας των δοκιμών έδειξε ότι το επίπεδο τράχυνσης του υποβάθρου ήταν χαμηλότερο στα δοκίμια που εμφάνισαν τις μικρότερες τιμές συνάφειας. Έτσι, μολονότι οι τιμές της εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών, των οποίων το υπόβαθρο έχει τραχυνθεί μηχανικά σε μικρότερο βαθμό, αποτελούν ελάχιστη ένδειξη για την αντοχή μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου στο εσωτερικό της τοιχοποιίας, δεν χρησιμοποιούνται περαιτέρω, καθώς τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών υστερούν σε σχέση με τις λοιπές δοκιμές. Με άλλα λόγια, η αποδοχή τους θα έδινε μια λανθασμένη εικόνα για το επίπεδο αντοχών των συγκεκριμένων διεπιφανειών.

(2) Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ένεμα στον αρμό (Εικόνα 143): Αυτό το κριτήριο στηρίζεται σε παρατηρήσεις που έγιναν σχετικά με α) την μη πλήρωση -με ένεμα- του αρμού του σύνθετου δοκιμίου<sup>2</sup>, β) την εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων αέρα στον αρμό<sup>3</sup> και γ) την ενανθράκωση στο εσωτερικό του αρμού του ενέματος σε σύνθετα δοκίμια του τραβερτίνη<sup>4</sup>. Ας σημειωθεί ότι το κριτήριο 2γ, δεν αναφέρεται στις περιπτώσεις όπου η ενανθράκωση εμφανίζεται περιμετρικά στον αρμό του ενέματος.

(3) Ο τύπος αστοχίας του σύνθετου δοκιμίου (Εικόνα 144): Όταν η αστοχία εμφανίζεται μακριά από την ζώνη της διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου (για πρδ. στο υπόβαθρο, κοντά στην σύνδεση των δύο μελών του ταυ) τα αποτελέσματα της εν λόγω δοκιμής δεν χαρακτηρίζουν την διεπιφάνεια και επομένως, δεν χρησιμοποιούνται περαιτέρω στην κατασκευή του φυσικού προσομοιώματος. Παρόλα αυτά, αν σε μια σειρά σύνθετων δοκιμών ενέματος/υποβάθρου, κάποιος από τα δοκί-

<sup>1</sup> Σύνθετα δοκίμια: Δ5, Δ6 (G2/μάρμαρο, 60 ημέρες) και Δ2 (G4/τραβερτίνης, 60 ημέρες)

<sup>2</sup> Σύνθετα δοκίμια: Δ1(G2/οπτόπλινθος, 28 ημέρες), Δ1 (G2/τραβερτίνης, 28 ημέρες) και Δ1, Δ2 (G2/οπτόπλινθος, 60 ημέρες)

<sup>3</sup> Σύνθετα δοκίμια: Δ1, Δ3 (G4/τραβερτίνης, 90 ημέρες)

<sup>4</sup> Σύνθετα δοκίμια: Δ1, Δ3 (G4/τραβερτίνης, 90 ημέρες)

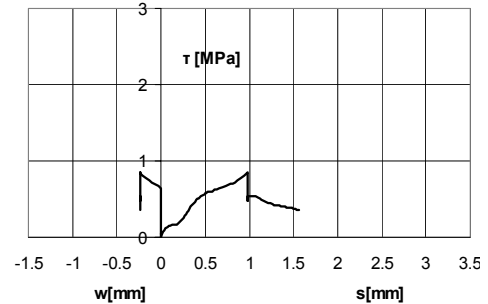
μια αστοχεί στο υπόβαθρο, αλλά η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του είναι ίδια ή μεγαλύτερη από εκείνες των άλλων δυο δοκιμών της ίδιας σειράς, τότε η τιμή που αντιστοιχεί σε αστοχία του υποβάθρου δεν απορρίπτεται. Αντιθέτως, χρησιμοποιείται ως κάτω όριο του μέσου όρου της εφελκυστικής αντοχής της συγκεκριμένης σειράς δοκιμών. Στηριζόμενοι στην τελευταία παρατήρηση, αναφέρεται ότι δεν απορρίπτονται οι δοκιμές της σποτοπλίνθου.

Στο Παράρτημα Δ, αναφέρονται λεπτομερώς οι δοκιμές οι οποίες απορρίφθηκαν βάσει των προαναφερθέντων κριτηρίων.

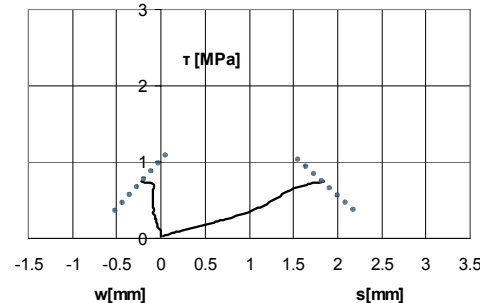
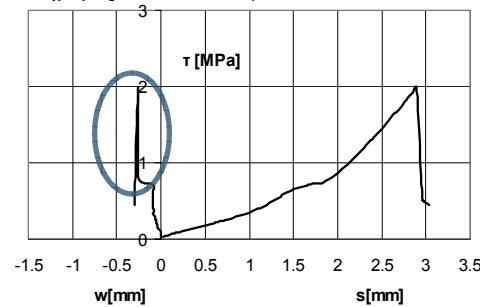
### 3.8.2.2 Δοκιμές Διατμήσεως

Παρεμφερή κριτήρια απόρριψης δοκιμών με εκείνα των δοκιμών εφελκυσμού (§ 3.8.2.1), θεσπίστηκαν και στην περίπτωση των δοκιμών διατμήσεως. Ειδικότερα, σε ότι αφορά το Κριτήριο (3), και προκειμένου να αξιοποιηθούν τα πειραματικά στοιχεία των σύνθετων δοκιμών που αστόχησαν μερικώς ή εξ ολοκλήρου στο υπόβαθρο (βλ. οικεία ενότητα: για πρδ. τα σύνθετα δοκίμια της σποτοπλίνθου Α με το ένεμα αναφοράς και τα τριμερή ενέματα), μελετήθηκαν λεπτομερώς οι πειραματικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) των εν λόγω δοκιμών. Ας επισημανθεί ότι, η απόκριση μιας διεπιφάνειας, η οποία υποβάλλεται σε διάτμηση, χαρακτηρίζεται από καμπύλες με μορφή όπως εκείνη της Εικόνας 145. Αντιθέτως, οι καμπύλες (τ-s) και (τ-w) των σύνθετων δοκιμών που αστόχησαν μερικώς ή πλήρως στο υπόβαθρο, έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό ότι μετά από μια ορισμένη στάθμη της επιστρατευόμενης διατμητικής αντίστασης, και καθώς η τ αυξάνεται, το άνοιγμα ρωγμής δεν μεταβάλλεται (βλ. για πρδ. Εικόνα 146α). Προφανώς, έως αυτήν την στάθμη της διατμητικής αντίστασης, η συμπεριφορά των δοκιμών που αστοχούν με τον τύπο αστοχίας S, δεν διαφέρει από εκείνη των δοκιμών που αστοχούν στην διεπιφάνεια (βλ. Εικόνα 145) και επομένως, ο αρχικός κλάδος των πειραματικών καμπύλων (τ-s) και (τ-w) μπορεί να αξιοποιηθεί περαιτέρω για την περιγραφή της συμπεριφοράς της διεπιφάνειας των εν λόγω δοκιμών (βλ. Εικόνα 146β). Σημειώνεται ότι για λόγους ορθότητας, η παραπάνω διαδικασία εφαρμόζεται καθολικά και στα άλλα δοκίμια [δλδ. και σε εκείνα τα δοκίμια που δεν αστόχησαν μερικώς ή εξ' ολοκλήρου στο υπόβαθρο (βλ. για πρδ. Εικόνες 147α και 148α)].

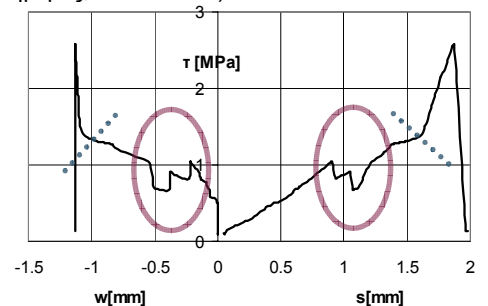
Επί πλέον, εφαρμόστηκαν και άλλες διαδικασίες για την διόρθωση των πειραματικών καμπυλών των δοκιμών της διάτμησης. Έτσι, καθώς σε



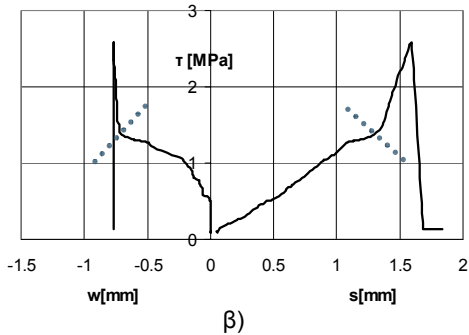
Εικόνα 145. Τυπική μορφή καμπυλών (τ-s) και (τ-w) διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων (Δοκιμή 2. Ένεμα G2/τραβερίνης, 28 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).



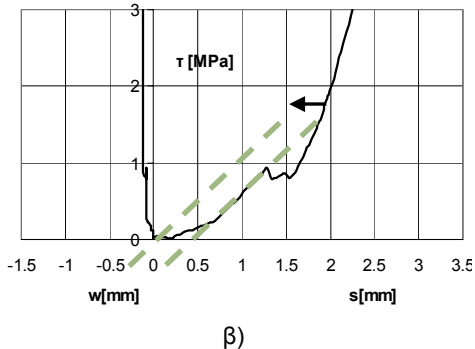
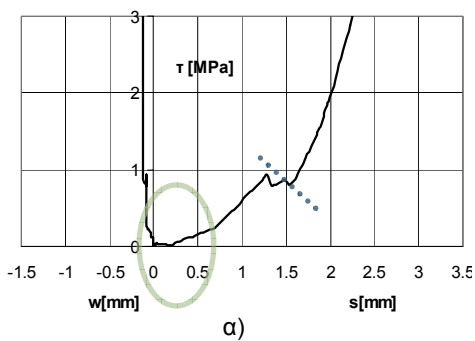
Εικόνα 146. α) Τυπική μορφή καμπυλών (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμών που αστόχησαν στο υπόβαθρο. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για την περιγραφή της απόκρισης της διεπιφάνειας (Δοκιμή 2. Ένεμα G2/σποτόπλινθος Α, 28 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ).



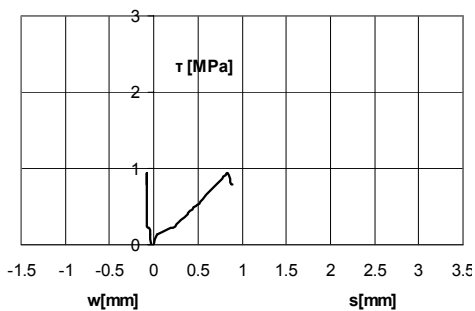
Εικόνα 146. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για την περιγραφή της απόκρισης της διεπιφάνειας (Δοκιμή 2. Ένεμα G2/σποτόπλινθος Α, 28 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ).



**Εικόνα 147.** α) Αρχικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμίων. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για την περιγραφή της απόκρισης της διεπιφάνειας (Δοκιμή 3. Ένεμα G2/τραβερίνης, 28 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).



**Εικόνα 148.** α) Αρχικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμίων. β) Τροποποιημένες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) (Δοκιμή 3. Ένεμα G2/τραβερίνης, 90 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ).



**Εικόνα 149.** Τελικές καμπύλες (τ-s) και (τ-w) των σύνθετων δοκιμίων της Εικόνας 148.

ορισμένες καμπύλες (βλ. Εικόνα 147α) εμφανίσθηκαν τοπικές ανωμαλίες, αυτές εξομαλύνθηκαν καταλλήλως (Εικόνα 147β). Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι, για τις χαμηλότερες στάθμες της διατμητικής τάσης (βλ. Εικόνα 148α), η τ δεν αυξανόταν με την αύξηση της επιβαλλόμενης ολίσθησης. Προφανώς, αυτή η συμπεριφορά σχετίζεται με την κακή εφαρμογή αυτών των δοκιμών εντός της πειραματικής διάταξης. Γι' αυτό, σε αυτήν την περίπτωση, οι πειραματικές καμπύλες μετατέθηκαν παραλλήλως, κατά το μέγεθος αυτής της ολίσθησης (βλ. Εικόνα 148β). Στις Εικόνες 148 και 149, παρουσιάζεται σχηματικώς η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας.

### 3.8.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

#### 3.8.3.1 Εισαγωγικά

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται και σχολιάζονται συνοπτικά τα αποδεκτά -βάσει των κριτηρίων της §3.8.2.1- αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού ανά ηλικία δοκιμής. Για τα πλήρη στοιχεία ανά δοκιμή, ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στα δελτία των δοκιμών εφελκυσμού που βρίσκονται στο Παράρτημα Δ: Ενότητα Δ.3. Έτσι, η παρούσα ενότητα ξεκινά με την παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων σε πινακοποιημένη μορφή (Πίνακες 20 έως 23) και ορισμένων στατιστικών στοιχείων (τυπική απόκλιση, συντελεστής μεταβλητότητας, μέγιστες/ελάχιστες τιμές). Έπειτα, περιγράφονται οι παρατηρηθέντες τρόποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμών έναντι εφελκυσμού. Κατόπιν, με στόχο να αναδειχθεί ο βαθμός επιρροής των υπό εξέταση παραμέτρων (τύπος υποβάθρου, τύπος συνδετικής κονίας και ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής) στην εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών, περιγράφεται η επιρροή της κάθε μιας από αυτές τις παραμέτρους α) στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών και β) στις μέσες τιμές της αναπτυσσόμενης εφελκυστικής αντοχής. Επί πλέον, δίδονται ορισμένες παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος που θεωρείται ότι συνδέονται με την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και την παρατηρηθείσα διασπορά. Σημειώνεται ότι, οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις επιβεβαιώνουν εν γένει τα αποτελέσματα της μελέτης της μικροδομής. Με βάση την παραπάνω παρουσίαση ανά παράμετρο, δίδονται πιθανές ερμηνείες για τις παρατηρηθείσες διαπιστώσεις και υπογραμμίζονται οι παραμένουσες ασάφειες. Στην τελευταία ενότητα συγκρίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας με εκείνα της σχετικής βιβλιογραφίας.

### 3.8.3.2 Αποτελέσματα Δοκιμών Εφελκυσμού

Πίνακας 20. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 28 ημερών (33 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες]	G1			G2			G4			
28	(C=80%,L=20%)			(C=30%,L:MK=1:1)			(C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]	10.00			0.50			4.50			
ενανθράκωση [mm]	δεν μετρήθηκε			δεν μετρήθηκε			δεν μετρήθηκε			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκίμιου	11.80			0.00			4.00		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
f <sub>bt</sub> [MPa]	Δ1	0.76	1.85	0.89	0.85	0.74 <sup>(2)</sup>	0.91 <sup>(2)</sup>	0.51	0.27 <sup>(2)</sup>	0.82
	Δ2	0.89	1.65	0.93	0.97	1.17	0.84	0.23	1.58	0.97
	Δ3	1.14	1.20	0.74	1.29	1.44	<sup>(1)</sup>	0.24	1.38	0.86
	Δ4					1.46	0.60			
	Δ5					1.03	0.73			
	Δ6					1.69	0.81			
στατιστική επεξεργασία	m	<b>0.93</b>	<b>1.57</b>	<b>0.85</b>	<b>1.04</b>	<b>1.36</b>	<b>0.75</b>	<b>0.33</b>	<b>1.48</b>	<b>0.88</b>
	σ	<b>0.19</b>	<b>0.33</b>	<b>0.10</b>	<b>0.23</b>	<b>0.26</b>	<b>0.11</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.08</b>
	cv	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.19</b>	<b>0.14</b>	<b>0.49</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>
πλήθος δοκιμών		3	3	3	3	6	6	3	3	3
τύπος αστοχίας	Δ1	ITZ(G)	S	S	Z	G	G	ITZ	S	S
	Δ2	ITZ(G)	S	S	Z(ITZ)	G	S	ITZ	Z	S
	Δ3	ITZ	ITZ+G	S	Z	G	(*)	ITZ	Z	S
	Δ4					Z(G)	S			
	Δ5					G(ITZ)	S			
	Δ6					Z	S			
ενανθράκωση [mm]	Δ1	4.0	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
	Δ2	2.0	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
	Δ3	2.5	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
	Δ4					0.0	0.0			
	Δ5					0.0	0.0			
	Δ6					0.0	0.0			
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγμάτωση-πόροι-υφή		πορώδες επάνω, συμπαγές στην βάση								
σταθερότητα ενέματος		έντονη απόμιξη καθ' ύψος του αρμού			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

f<sub>bt</sub>: εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκίμιου σε [MPa]  
 Δi: αύξων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)  
 m: μέση τιμή i-δοκιμών  
 σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
 cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
 M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
 T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
 O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
 (1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
 (2) μη αποδεκτή δοκιμή

Πίνακας 21. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 60 ημερών (30 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες]	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
60										
εξίδρωση [%]				0.50			4.50			
ενανθράκωση [mm]				1.10			2.50			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκι- μίου	0.00			3.20					
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
<b>f<sub>bt</sub> [MPa]</b>	Δ1				1.72	1.05	0.41 <sup>(2)</sup>	0.41	1.28	0.63
	Δ2				1.18	1.14	0.46 <sup>(2)</sup>	0.40	0.95 <sup>(2)</sup>	0.88
	Δ3				1.33	1.03	0.78	0.28	1.32	0.84
	Δ4				<sup>(1)</sup>	1.29	0.81		1.65	
	Δ5				0.84 <sup>(2)</sup>	2.28	0.67		1.04	
	Δ6				0.35 <sup>(2)</sup>	1.03	0.72 <sup>(2)</sup>		1.35	
<b>στατιστική επεξεργασία</b>	<b>m</b>				<b>1.41</b>	<b>1.30</b>	<b>0.75</b>	<b>0.36</b>	<b>1.33</b>	<b>0.78</b>
	<b>σ</b>				<b>0.28</b>	<b>0.49</b>	<b>0.11</b>	<b>0.07</b>	<b>0.22</b>	<b>0.13</b>
	<b>cv</b>				<b>0.20</b>	<b>0.37</b>	<b>0.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>
<b>πλήθος δοκιμών</b>				6	6	6	3	6	3	
<b>τύπος αστοχίας</b>	Δ1				G(S)	G	άδειος	ITZ	Z(G)	S
	Δ2				G(S)	G	άδειος	ITZ	ITZ	S
	Δ3				Z	G(S)	S	ITZ	Z	S
	Δ4				(*)	S	S		ITZ	
	Δ5				ITZ	G	S		Z	
	Δ6				ITZ	Z	S+G		Z	
<b>ενανθράκωση [mm]</b>	Δ1				0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0
	Δ2				0.0	0.0	0.0	2.5	0.5	0.0
	Δ3				0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0
	Δ4				3.0	<0.5	0.0		1.0	
	Δ5				1.5	<0.5	0.0		1.0	
	Δ6				4.0	<0.5	0.0		1.0	
<b>μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγματώσεις-πόροι-υφή</b>				T: πόροι Δ1,Δ2,Δ3 και ρηγματώσεις στα Δ2,Δ3,Δ5.			M:εύθρυπτος αρμός, T:ρηγματώσεις στο Δ1 και πόροι στο Δ6			
<b>σταθερότητα ενέματος</b>				δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			

f<sub>bt</sub>: εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκιμίου σε [MPa]  
 Δi: αύξων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)  
 m: μέση τιμή i-δοκιμών  
 σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
 cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
 M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
 T: υπόβαθρο από τραβερίνη  
 O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
 (1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
 (2) μη αποδεκτή δοκιμή

Πίνακας 22. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 90 ημερών (30 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες] 90	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]	10.00			0.50			4.50			
ενανθράκωση [mm]	δεν μετρήθηκε			1.60			δεν μετρήθηκε			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκιμίου	11.80			0.00			2.50		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1	1.05	1.34	0.59	1.09	1.54	0.96	0.45	1.22	0.64
	Δ2	0.75	1.39	0.91	1.03	2.06	0.55	0.33	0.47 <sup>(2)</sup>	0.98
	Δ3	0.75	1.50	0.65	0.88	1.57	0.86	0.37	0.57 <sup>(2)</sup>	0.46
	Δ4								1.70	
	Δ5								2.03	
	Δ6								1.09	
στατιστική επεξεργασία	m	<b>0.85</b>	<b>1.41</b>	<b>0.72</b>	<b>1.00</b>	<b>1.72</b>	<b>0.79</b>	<b>0.38</b>	<b>1.51</b>	<b>0.69</b>
	σ	<b>0.17</b>	<b>0.08</b>	<b>0.17</b>	<b>0.11</b>	<b>0.29</b>	<b>0.21</b>	<b>0.06</b>	<b>0.43</b>	<b>0.26</b>
	cv	<b>0.20</b>	<b>0.06</b>	<b>0.24</b>	<b>0.11</b>	<b>0.17</b>	<b>0.27</b>	<b>0.16</b>	<b>0.29</b>	<b>0.38</b>
πλήθος δοκιμών		3	3	3	3	3	3	3	6	3
τύπος αστοχίας	Δ1	Z	Z	S	Z	G	S	Z	G	S
	Δ2	Z	Z	S	Z	ITZ(G)	S	ITZ	G	S
	Δ3	ITZ	Z	S	ITZ	ITZ(G)	S	Z	G	S
	Δ4								Z	
	Δ5								Z	
	Δ6								Z	
ενανθράκωση [mm]	Δ1	4.5	<0.5	0.0	3.0	<0.5	0.0	4.0	0.5	<0.5
	Δ2	5.0	<0.5	0.0	2.0	<0.5	0.0	3.0	0.5	<0.5
	Δ3	3.5	<0.5	0.0	2.0	<0.5	0.0	5.0	0.5	<0.5
	Δ4								0.0	
	Δ5								1.0	
	Δ6								0.0	
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγμάτωση-πόροι-υφή		πορώδες επάνω, συμπαγές στην βάση			T: πόροι και ρηγματώσεις Δ1 συμπαγές ένεμα			M:εύθρυπτος αρμός, T:ρηγματώσεις, πόροι, ενανθρακωμένος αρμός εσωτερικά (Δ1-3, 5)		
σταθερότητα ενέματος		έντονη απόμιξη καθ' ύψος του αρμού			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)

m: μέση τιμή i-δοκιμών

σ: τυπική απόκλιση δείγματος

cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)

M: υπόβαθρο από μάρμαρο

T: υπόβαθρο από τραβερτίνη

O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο

(1) αρμός ενέματος μη πλήρης

(2) μη αποδεκτή δοκιμή

Πίνακας 23. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 180 ημερών (18 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες]	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
180				0.50			4.50			
εξίδρωση [%]										
ενανθράκωση [mm]										
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκιμίου				0.00			4.00		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1				1.12	1.54	(1)	-	1.70	0.84
	Δ2				0.76	1.23 <sup>(2)</sup>	1.13	0.43	2.03	1.08
	Δ3				0.79	1.95	0.94	0.75	1.09	0.70
στατιστική επεξεργασία	m				<b>0.89</b>	<b>1.57</b>	<b>1.04</b>	<b>0.59</b>	<b>1.61</b>	<b>0.87</b>
	σ				<b>0.20</b>	<b>0.36</b>	<b>0.13</b>	<b>0.23</b>	<b>0.48</b>	<b>0.19</b>
	cv				<b>0.22</b>	<b>0.23</b>	<b>0.13</b>	<b>0.38</b>	<b>0.30</b>	<b>0.22</b>
πλήθος δοκιμών					3	3	3	3	3	3
τύπος αστοχίας	Δ1				Z	G(ITZ)		ITZ	ITZ(S)	S
	Δ2				Z	S(G)	S	ITZ	ITZ	S
	Δ3				ITZ(Z)	G	S	ITZ	Z	S
ενανθράκωση [mm]	Δ1				2.0	<0.5	0.0	9.0	3.5	1.0
	Δ2				0.0	<0.5	0.0	5.0	1.5	1.0
	Δ3				0.0	<0.5	0.0	5.0	9.0	1.0
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγματώση-πόροι-υφή					T: πόροι και ρηγματώσεις Δ1, Δ2			M:εύθρυπτος αρμός, T: πόρος στο Δ3		
σταθερότητα ενέματος					δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκιμίου σε [MPa]  
 Δi: αύξων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)  
 m: μέση τιμή i-δοκιμών  
 σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
 cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
 M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
 T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
 O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
 (1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
 (2) μη αποδεκτή δοκιμή

### 3.8.3.3 Στατιστική Επεξεργασία Πειραματικών Αποτελεσμάτων Δοκιμών Εφελκυσμού: Συντελεστής Μεταβλητότητας

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 20 έως 23, τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού παρουσίασαν συντελεστές μεταβλητότητας σχετικά υψηλούς, οι οποίοι πάντως βρίσκονται εντός των ορίων της βιβλιογραφίας (§ 2.9.4). Οι χαμηλότερες τιμές του συντελεστή διασποράς (~6%) καταγράφηκαν στα σύνθετα δοκίμια τραβερτίνη/τριμερούς ενέματος με μετακασλίνη (στις 90 ημέρες) και οι υψηλότερες τιμές (~50%) στα δοκίμια μαρμάρου/τριμερούς ενέματος

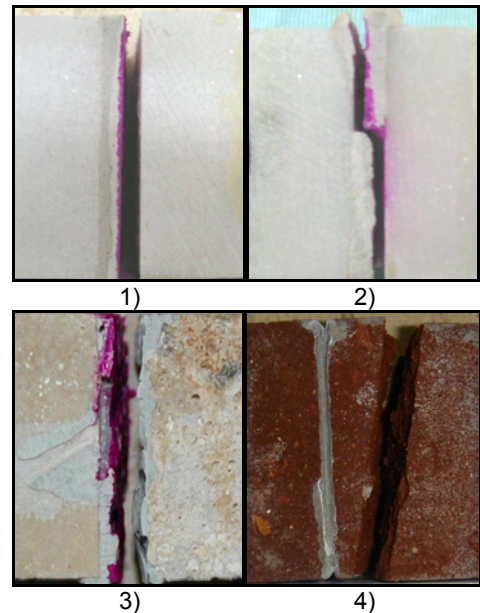


μηλαϊκής γης (στις 28 ημέρες). Εν γένει, οι τιμές του συντελεστή διασποράς για το τσιμεντένεμα και το ένεμα με τον μετακαολίνη είναι της τάξης του 20% (ανεξάρτητα από τον τύπο του υποβάθρου και την ηλικία δοκιμής), ενώ για το ένεμα της μηλαϊκής γης ο συντελεστής μεταβλητότητας κυμαίνεται μεταξύ 10 και 50%, με επικρατέστερη τιμή εκείνη του 30%. Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας (άρα και της διασποράς) που εμφανίστηκαν εδώ, μπορούν να αποδοθούν, πέρα από την διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες των ενεμάτων [που ωστόσο είναι μικρότερες του 10% (βλ. Παράρτημα Γ)]: α) σε σφάλματα που οφείλονται στην πειραματική διάταξη (ορθογωνικότητα δοκιμίων, εκκεντρότητες στην επιβολή του φορτίου κα.), β) στην διασπορά στις φυσικο-μηχανικές ιδιότητες των υποβάθρων, ιδιαίτερος στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων με υπόβαθρο από οπτόπλινθο και τραβερτίνη, αλλά και γ) στην επίδραση αυτών των ιδιοτήτων στην κατάσταση του ενέματος και της διεπιφάνειας των σύνθετων δοκιμίων (ενανθράκωση και μικρορηγματώσεις στο ένεμα, αποκόλληση του ενέματος από το υπόβαθρο κα.).

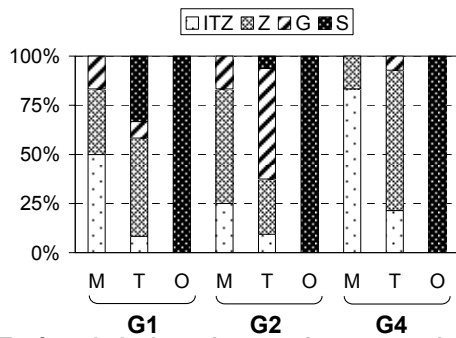
### 3.8.3.4 Τύποι Αστοχίας Σύνθετων Δοκιμίων

Στις δοκιμές εφελκυσμού, παρατηρήθηκαν τέσσερις διαφορετικοί τύποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων (Εικόνα 150):

- (1) Τύπος ITZ (αστοχία στην διεπιφανειακή ζώνη): Το ένεμα αποκολλάται από το υπόβαθρο κατά μήκος της μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου, ενώ ο αρμός του παραμένει κολλημένος στην άλλη διεπιφάνεια με το υπόβαθρο. Με άλλα λόγια, το επίπεδο αστοχίας εμφανίζεται στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου.
- (2) Τύπος Z: Είναι παρεμφερής τύπος αστοχίας με τον τύπο ITZ. Σε αυτήν την περίπτωση όμως, πρακτικώς το μισό του αρμού του ενέματος παραμένει κολλημένο στο ένα πλακίδιο του υποβάθρου, ενώ το υπόλοιπο μισό είναι κολλημένο στο δεύτερο πλακίδιο.
- (3) Τύπος G ή E: Η αστοχία συμβαίνει εντός του αρμού του ενέματος (εφελκυστική αστοχία του ενέματος).
- (4) Τύπος S ή Y: Αστοχία του υποβάθρου.



Εικόνα 150. Τύποι Αστοχίας δοκιμών εφελκυσμού: 1) ITZ, 2) Z, 3) G, 4) S.



**Εικόνα 151.** Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι εφελκυσμού των σύνθετων δοκιμίων, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου (για όλες τις ηλικίες).



**Εικόνα 152.** Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμίων μαρμάρου /ενέματος G1.



**Εικόνα 153.** Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμίων μαρμάρου /ενέματος G2.



**Εικόνα 154.** Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμίων τραβερτίνη /ενέματος G1 ή G4.



**Εικόνα 155.** Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμίων τραβερτίνη /ενέματος G2.

### 3.8.3.5 Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας: Αποτελέσματα/Παρατηρήσεις

#### 3.8.3.5.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

##### Τύπος Αστοχίας

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 151, όπου παρουσιάζονται οι τύποι αστοχίας ανά τύπο υποβάθρου και ενέματος για όλες τις ηλικίες διεξαγωγής των δοκιμών εφελκυσμού, τα σύνθετα δοκίμια αστόχησαν ανάλογα με το υπόβαθρο ως εξής:

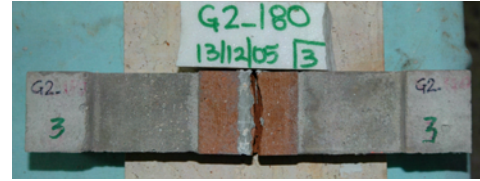
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΜΑΡΜΑΡΟ:** Τα δοκίμια αστοχούν είτε στην διεπιφάνεια υποβάθρου/ενέματος (αστοχία τύπου ITZ ή Z) είτε στον αρμό του ενέματος (αστοχία τύπου G), με τρόπο αστοχίας εξαρτώμενο κυρίως από τον τύπο του ενέματος. Έτσι, σε σύνθετα δοκίμια με το ένεμα αναφοράς G1 (C=80%, L=20%) και το τριμερές ένεμα με την φυσική ποζολάνη G4 (C=30%, L:LA=1:2.5), ο αρμός των ενεμάτων τείνει να αποκολλάται από το υπόβαθρο κατά μήκος μιας διεπιφάνειας [(αστοχία τύπου ITZ), Εικόνα 152)]. Στην περίπτωση του τσιμεντένεματος, ο εν λόγω τύπος αστοχίας συνοδεύεται, σε ορισμένες από τις δοκιμές, με τοπική εφελκυστική αστοχία του αρμού του ενέματος. Αντιστοίχως, τα σύνθετα δοκίμια με το τριμερές ένεμα G2 (C=30%, L:MK=1:1) αστοχούν είτε στην διεπιφάνεια [αστοχία τύπου ITZ ή τύπου Z (Εικόνα 153)] είτε λόγω εφελκυστικής αστοχίας του ενέματος του αρμού (αστοχία τύπου G).

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ:** Τα δοκίμια παρουσιάζουν (αμιγώς ή σε συνδυασμό) όλους τους τύπους αστοχίας (Εικόνα 151). Η συχνότητα εμφάνισης του κάθε τύπου αστοχίας διαφοροποιείται αναλόγως της σύνθεσης του ενέματος, όπως θα δειχθεί στις οικείες ενότητες, σε συνδυασμό με την ποικιλία στα φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου (πορώδες, εφελκυστική αντοχή) και την ηλικία. Παρόλα αυτά, σύνθετα δοκίμια με το ένεμα αναφοράς και την σύνθεση της μηλαϊκής γης τείνουν γενικώς να αστοχούν περισσότερο με την μορφή αστοχίας Z (Εικόνα 154), ενώ σε εκείνα με την σύνθεση του μετακαολίνη η κύρια μορφή αστοχίας είναι η εφελκυστική αστοχία του αρμού (τύπος αστοχίας G, Εικόνα 155).

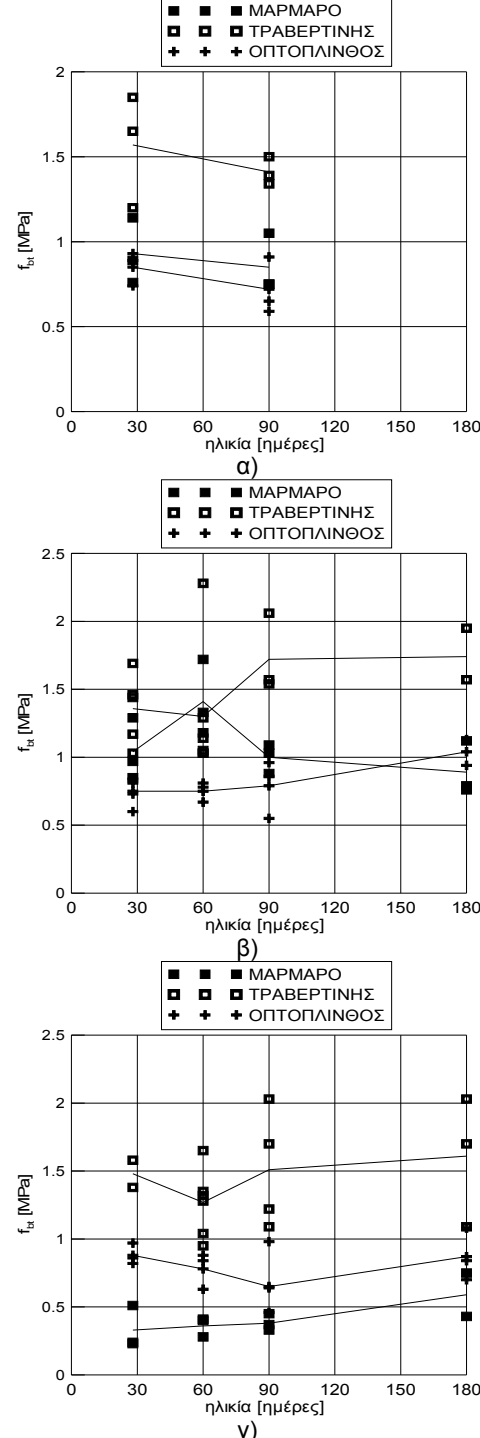
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟ Α:** Τα δοκίμια αστοχούν λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του υποβάθρου (αστοχία S), ανεξαρτήτως του τύπου του ενέματος και της ηλικίας διεξαγωγής (Εικόνα 156, Πίνακες 21 έως 23).

**Εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$**

Στις Εικόνες 157α έως 157γ απεικονίζεται, ανά σύνθεση ενέματος, η εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών με τα τρία υπόβαθρα (μάρμαρο Διονύσου, τραβερτίνη, οπτόπλινθος Α) συναρτήσει της ηλικίας διεξαγωγής της δοκιμής. Εν γένει, η διασπορά στις πειραματικές τιμές της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας για τον τραβερτίνη, εκφρασμένη μέσω του συντελεστή μεταβλητότητας, είναι αντίστοιχη με αυτήν που διαπιστώνεται για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου (Εικόνες 157, Πίνακες 20 έως 23). Αναφέρεται ότι οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας για τα δοκίμια του τραβερτίνη παρατηρήθηκαν για το ένεμα G2 στις 60 ημέρες (~40%) και για τα δοκίμια του μαρμάρου για την σύνθεση G4 στις 28 ημέρες (~50%). Επί πλέον, επισημαίνεται ότι οι μέσες τιμές της εφελκυστικής αντοχής για τις διεπιφάνειες του τραβερτίνη είναι τουλάχιστον κατά 50% υψηλότερες από αυτές που μετρήθηκαν για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου. Η επίδραση του τύπου του υποβάθρου στην συνάφεια αναδεικνύεται σε μεγαλύτερο βαθμό στην περίπτωση της σύνθεσης με την μηλαϊκή γη, G4: η εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών του τραβερτίνη προκύπτει έως 4.5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για το μάρμαρο, και μάλιστα για την μικρότερη ηλικία των 28 ημερών. Ας επισημανθεί ότι για αυτήν την ηλικία εν λόγω ένεμα δεν έχει αναπτύξει πλήρως τα μηχανικά χαρακτηριστικά του (Πίνακες 11, 12). Εξ άλλου, στην περίπτωση των δοκιμών από μάρμαρο, οι μέσες τιμές της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος τιμών που κυμαίνεται από 0.33 MPa (για το ένεμα G4 στις 28 ημέρες) έως 1.41 MPa (για το ένεμα G2 στις 60 ημέρες). Φαίνεται, επομένως, ότι για αυτόν τον τύπο υποβάθρου αναδεικνύονται σε μεγαλύτερο οι διαφορές ανάμεσα στα υλικά επέμβασης. Εξ άλλου, από τα σχετικά στοιχεία (Εικόνες 157, Πίνακες 20 έως 23 ) προκύπτει ότι οι τιμές της  $f_{bt}$  διαφοροποιούνται ισχυρώς ανάλογα με τον τύπο του ενέματος, αλλά και την ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής, η επίδραση των οποίων θα συζητηθεί λεπτομερώς στις αντίστοιχες ενότητες. Σχετικώς με τις διεπιφάνειες του τραβερτίνη, η μέση τιμή της  $f_{bt}$  είναι της τάξης των 1.5 MPa για όλες τις συνθέσεις, καθώς και τις ηλικίες διεξαγωγής των δοκιμών. Όσον αφορά την μέση εφελκυστική αντοχή των σύνθετων δοκιμών ( $f_{bt, fictitious}$ ) της οπτοπλίνθου Α, όπως φαίνεται στις Εικόνες 157, είναι περίπου ίση με 0.80 MPa. Έτσι, καθώς για αυτά τα δοκίμια η αστοχία παρουσιάστηκε στο υπόβαθρο, είναι προφανές ότι η  $f_{bt}$  της διεπιφάνειας οπτόπλινθων/ενεμάτων είναι μεγαλύτερη από την προτεινόμενη τιμή.



**Εικόνα 156.** Τυπική μορφή αστοχίας σε εφελκυσμό σύνθετων δοκιμών οπτοπλίνθου Α.



**Εικόνα 157.** Εν-χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμών ενέματος α)G1, β)G2 και γ) G4.

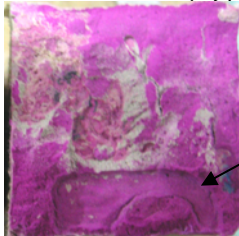




Εικόνα 158. Διατομή θραύσης σύνθετων δοκιμίων τραβερίνη/G1-Απόμιξη ενέματος.



Εικόνα 159. Απόμιξη ενέματος G1.



ΠΟΡΟΣ

Εικόνα 160. Πόροι στον αρμό του ενέματος G2 σε σύνθετα δοκίμια με τραβερίνη.



Εικόνα 161. Διατομή θραύσης σύνθετων δοκιμίων μαρμάρου/ενέματος G2.



Εικόνα 162. Ρωγμές πλαστικής συστολής σε σύνθετα δοκίμια τραβερίνη/G2.

### Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Η έλλειψη σταθερότητας και συνεκτικότητας του ενέματος αναφοράς είναι προφανής για όλα τα σύνθετα δοκίμια της εν λόγω σύνθεσης (βλ. Εικόνες 158 και 159). Εξ άλλου, σε όλα τα δοκίμια του ενέματος αναφοράς, και ιδιαιτέρως σε αυτά με υπόβαθρο το τραβερίνη (βλ. Παράρτημα Δ: § Δ.3), παρατηρήθηκε πτώση της στάθμης του ενέματος κατά την συντήρηση (πρακτικώς ίση με την εξίδρωση). Σημειώνεται δε ότι, η άνω ζώνη του αρμού του ενέματος εμφανίζεται περισσότερο εύθρυπτη στην περίπτωση των δοκιμίων του μαρμάρου. Ως προς τα τριμερή ενέματα G2 και G4, μακροσκοπικά, αυτά τα πηγματα φαίνονται σχετικώς συμπαγή. Όπως στην περίπτωση του τσιμεντενέματος, ο αρμός της σύνθεσης G4 στα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο το μάρμαρο μοιάζει να είναι εύθρυπτος. Ας σημειωθεί η ύπαρξη πόρων (της τάξης του 10% της διατομής του αρμού στην περίπτωση δοκιμίων με το τριμερές ένεμα του μετακαολίνη) μόνο στα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο τον τραβερίνη (Εικόνα 160).

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ: Μακροσκοπικά, δεν παρατηρήθηκαν, εν γένει, ρηγματώσεις στον αρμό του τσιμεντενέματος λόγω συστολής ξήρανσης. Αναφορικά με τα τριμερή ενέματα G2 και G4, δεν διαπιστώθηκαν ρηγματώσεις για τα σύνθετα δοκίμιά τους με υπόβαθρο από μάρμαρο ή οπτόπλινθο. Σε μεγαλύτερες ηλικίες, σημειώνεται η παρουσία συνεχών και διακριτών ρωγμών στην επιφάνεια θραύσης των σύνθετων δοκιμίων μαρμάρου/G2 (που αστόχησαν με τον τύπο Z) που υποδηλώνουν έντονη συστολή ξήρανσης του ενέματος (Εικόνα 161). Στην περίπτωση των δοκιμίων με τραβερίνη/G2, οι ρωγμές αυτές αποτελούν ενίοτε επέκταση των ασυνεχειών του υποβάθρου (Εικόνα 162). Πιο συμπαγής είναι ο αρμός του ενέματος G4 στα υπόβαθρα με τραβερίνη από ότι σε εκείνα του μαρμάρου, εμφανίζοντας όμως έντονες ασυνέχειες (Εικόνα 163).

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Για την μέτρηση του ύψους της ζώνης ενανθράκωσης, χρησιμοποιήθηκε διάλυμα φαινολφθαλεΐνης, αν και η εν λόγω μέθοδος εκτίμησης υποεκτιμά το βάθος της τσιμεντόπαστας που πραγματικά έχει ενανθρακωθεί (Parrott 1987), (Lo et al. 2002). Από την παρατήρηση της επιφάνειας θραύσης των σύνθετων δοκιμίων υποβάθρων/ενεμάτων διαπιστώθηκε η ύπαρξη ζωνών ενανθράκωσης για όλους τους τύπους ενεμάτων και ασβεστολιθικών υποβάθρων, με αυξανόμενο με τον χρόνο μέγεθος (βλ. Πίνακες 20 έως 23).

Εντούτοις, η μορφή και οι τιμές αυτής της ζώνης εξαρτώνται εντόνως

από τον τύπο του υποβάθρου και της συγκολλητικής κονιάς. Παρ' όλα αυτά αναφέρεται ότι οι υψηλότερες τιμές της ζώνης ενανθράκωσης μετρήθηκαν για τα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου (της τάξης των 4mm για τις 90 ημέρες για τα ενέματα G1 και G4, 2mm για το G2), έναντι εκείνων με τραβερτίνη (συνήθως μικρότερο από 0.5mm). Τέλος, σημειώνονται οι ασυνήθιστα υψηλές τιμές ενανθράκωσης των δοκιμίων τραβερτίνη/G4 στις 180 ημέρες, σε συνδυασμό με την ύπαρξη μιας μεγάλης ενανθρακωμένης ζώνης (ως δέσμη) μέσα στον αρμό του ενέματος (Εικόνα 164).

### 3.8.3.5.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

#### Τύπος Αστοχίας

Προκειμένου να αναδειχθεί η επιρροή του τύπου του ενέματος στον τρόπο αστοχίας έναντι εφελκυσμού των σύνθετων δοκιμίων υποβάθρου/ενεμάτων, σε αυτήν την ενότητα δεν αναφέρονται οι περιπτώσεις δοκιμών στις οποίες η αστοχία εμφανίστηκε στο υπόβαθρο (ορισμένα δοκίμια με τον τραβερτίνη και όλα τα δοκίμια με την οπτόπλινθο Α ανεξαρτήτως της συνθέσεως και της ηλικίας). Έτσι, δοκίμια με το:

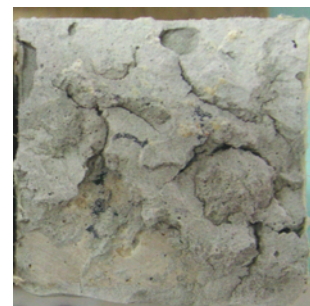
ΕΝΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ αστοχούν κυρίως στην διεπιφανειακή ζώνη, εμφανίζοντας (αναλόγως του υποβάθρου) έναν από τους δύο τύπους αστοχίας ITZ ή Z. Ο επικρατέστερος τρόπος αστοχίας είναι ο τύπος ITZ για τα δοκίμια του μαρμάρου και Z για εκείνα του τραβερτίνη.

ΤΡΙΜΕΡΕΣ ΕΝΕΜΑ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗ, έχουν ως συνηθέστερες μορφές αστοχίας τον τύπο Z και την εφελκυστική αστοχία του αρμού του ενέματος, G. Μολονότι ο τύπος αστοχίας δεν φαίνεται να διαφοροποιείται ισχυρώς αναλόγως του υποβάθρου, η πλειονότητα των σύνθετων δοκιμίων του μαρμάρου αστοχούν με τον τύπο Z. Αντιθέτως, στα δοκίμια του τραβερτίνη η αστοχία εμφανίζεται, κυρίως, στον αρμό του ενέματος.

ΤΡΙΜΕΡΕΣ ΕΝΕΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΗΛΑΪΚΗ ΓΗ, τείνουν να αστοχούν κατά μήκος μιας (τύπος ITZ) ή δυο (τύπος Z) διεπιφανειών, για τα δοκίμια του μαρμάρου και του τραβερτίνη, αντιστοίχως.

#### Εφελκυστική Αντοχή $f_{bt}$

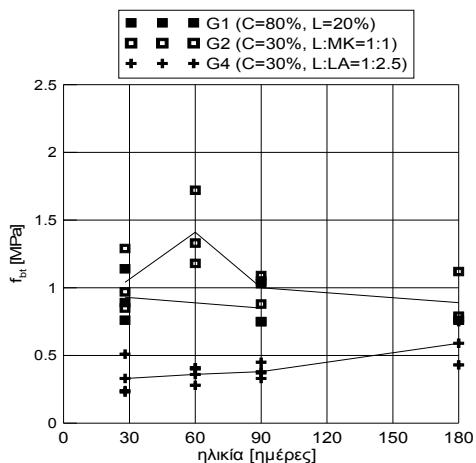
Στις Εικόνες 165α έως 165γ, ανά τύπο υποβάθρου παρουσιάζεται η εν χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας για τα τρία εξεταζόμενα ενέματα. Μια πρώτη διαπίστωση είναι ότι, οι μεγαλύτερες



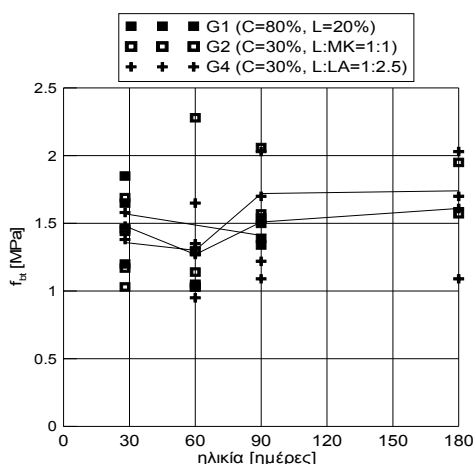
Εικόνα 163. Ρηγματώσεις στα σύνθετα δοκίμια τραβερτίνη/G4.



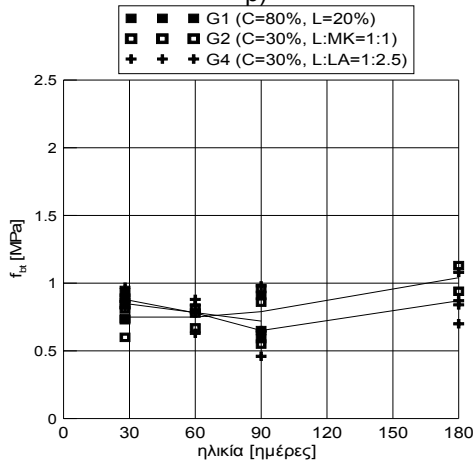
Εικόνα 164. Ενανθράκωση σε διατομή αρμού τραβερτίνη/τριμερούς ενέματος μηλαϊκής γης.



α)



β)



γ)

**Εικόνα 165.** Εν-χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου, β)τραβερίνη και γ) οπτοπλίνθου Α.

τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας εμφανίζονται για το τριμερές ένεμα της μηλαϊκής γης (έως 50% και 30% για τα δοκίμια του μαρμάρου και του τραβερίνη, αντιστοίχως). Αντιθέτως, για τα πιο ισχυρά ενέματα G1 και G2, ο συντελεστής μεταβλητότητας εν γένει είναι μικρότερος του 25%. Ως προς την τιμή της  $f_{bt}$ , διαφορές ανάμεσα στους τρεις τύπους των ενεμάτων είναι εμφανείς μόνον για τις διεπιφάνειες του ισχυρού υποβάθρου (μάρμαρο). Πράγματι, η  $f_{bt}$  των διεπιφανειών του μαρμάρου με το τριμερές ένεμα του μετακαολίνη λαμβάνει τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από εκείνες που μετρήθηκαν στις διεπιφάνειες του τσιμεντένεματος, παρόλο που το τελευταίο έχει υψηλότερα χαρακτηριστικά. Εξ άλλου, αν προς στιγμή αγνοηθεί το γεγονός του διαφορετικού ρυθμού ανάπτυξης των αντοχών της διεπιφάνειας για τα ενέματα G1 και G4, διαπιστώνεται ότι και σε αυτήν την περίπτωση η «τελική» αντοχή  $f_{bt}$  των δύο ενεμάτων είναι παρόμοια, παρόλο που οι μηχανικές ιδιότητες του τσιμεντένεματος G1 είναι εμφανώς υψηλότερες από εκείνες του ενέματος G4 (βλ. Πίνακες 11, 12). Αντιθέτως, στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων του τραβερίνη, δεν παρατηρούνται πρακτικώς μεγάλες διαφορές στην τιμή της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας για τις διάφορες συνθέσεις ενεμάτων. Ιδιαίτερη βαρύτητα έχει η παρατήρηση ότι, τα δυο τριμερή ενέματα είναι ανταγωνιστικά σε όρους εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας με το ένεμα αναφοράς από τις πρώτες κιόλας ημέρες. Αν εξαιρεθούν ορισμένες μικροδιακυμάνσεις με τον χρόνο, όλα τα ενέματα αναπτύσσουν τιμές της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  της τάξης των 1.5 MPa. Ως προς την πορώδη οπτόπλινθο Α, τα σύνθετα δοκίμια με τα ενέματα αστοχούν στο υπόβαθρο για όλες τις εξεταζόμενες παραμέτρους. Επομένως, για αυτά τα δοκίμια δεν αναδεικνύεται η επιρροή του τύπου του ενέματος στην εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών. Δεν πρέπει όμως να παραβλεφθεί το γεγονός ότι, τα τριμερή ενέματα, παρ' όλο που έχουν σαφώς χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από το τσιμεντένεμα, αναπτύσσουν (όπως και το ένεμα αναφοράς) εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$  μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή του υποβάθρου ήδη από την ηλικία του ενός μήνα.

#### Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Υπενθυμίζεται ότι το τσιμεντένεμα G1 παρουσιάζει έντονη απόμειξη (βλ. Παράρτημα Β): μεγάλες τιμές στην εξίδρωση, καθίζηση των κόκκων του τσιμέντου στον πυθμένα του ογκομετρικού σωλήνα μέτρησης της εξίδρωσης και «ρηγματώσεις» καθ' ύψος του. Η ίδια εικόνα εμφανίστηκε σε όλα τα

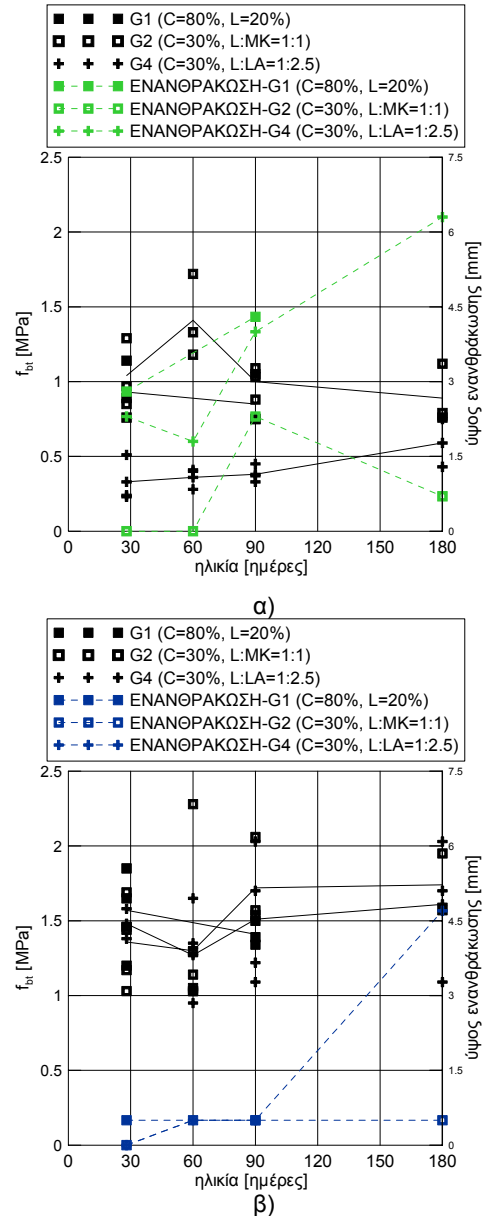
σύνθετα δοκίμια αυτής της σύνθεσης. Λόγω της απόμιξης του τσιμεντενέματος, η άνω ζώνη του αρμού (η πιο λευκή και πλούσια σε υδράσβεστο) είναι σαν πούδρα και θρυμματίζεται εύκολα, ενώ η κάτω (πλούσια σε τσιμέντο) είναι πιο πυκνή και σαφώς πιο συμπαγής. Σημειώνεται ότι αυτό το φαινόμενο είναι πιο έντονο στην περίπτωση των υποβάθρων από μάρμαρο. Αναφέρεται ότι στα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου, παρουσιάστηκαν χαμηλότερες τιμές της εξίδρωσης (Παράρτημα Δ: § Δ.3). Μακροσκοπικά, τα ενέματα G2 και G4 έχουν ομοιόμορφη σύσταση, αν και ο αρμός του ενέματος G4 στα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο το μάρμαρο φαίνεται εύθρυπτος. Διαπιστώνεται η παρουσία μεγάλου μεγέθους πόρων μόνο σε ορισμένα σύνθετα δοκίμια τριμερών ενεμάτων με υπόβαθρο τον τραβερτίνη).

**ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ:** Από τα δελτία των δοκιμών του εφελκυσμού στο Παράρτημα Δ, φαίνεται ότι, πλην δυο δοκιμών (μάρμαρο 28, τραβερτίνης 90), δεν εμφανίζονται ρηγματώσεις στους αρμούς του ένεμα αναφοράς. Αντιθέτως, για το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη, είναι ξεκάθαρη η παρουσία ρηγματώσεων λόγω συστολής ξήρανσης στα δοκίμια με το μάρμαρο για τις μεγαλύτερες ηλικίες (90 και 180 ημέρες). Στην περίπτωση του τραβερτίνη, διακρίνονται δυο είδη ρηγματώσεων: α) ρηγματώσεις σε θέσεις ασυνεχειών του υποβάθρου, οι οποίες παρουσιάζονται από την ηλικία των 28 ημερών και β) ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης, οι οποίες είναι εντονότερες μετά τους δυο μήνες. Παρεμφερής είναι η εικόνα για την σύνθεση της μηλαϊκής γης, χωρίς ωστόσο τα χείλη των ρωγμών να είναι τόσο αδρά όσο στην περίπτωση της σύνθεσης με τον μετακαολίνη.

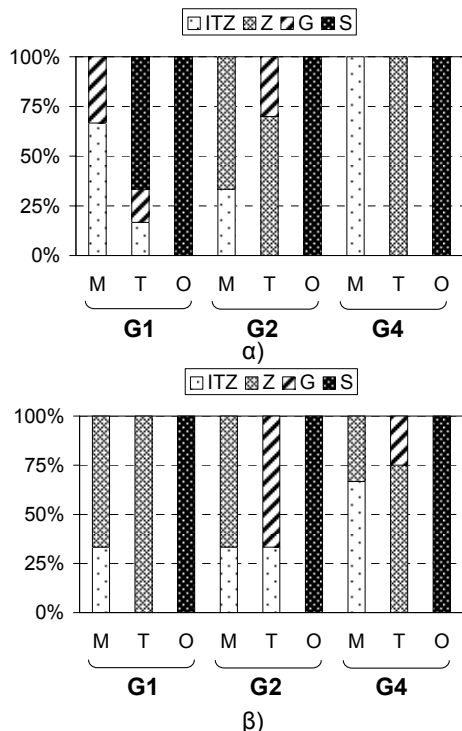
**ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ:** Από την Εικόνα 166 προκύπτει ότι, μέχρι τις 90 ημέρες οι υψηλότερες τιμές της ζώνης ενανθράκωσης εμφανίζονται, συστηματικώς, για τα δοκίμια του μαρμάρου με τις συνθέσεις G1 και G4. Μικρότερη κατά 50% είναι η μετρηθείσα ενανθράκωση για το τριμερές ένεμα του μετακαολίνη. Από την άλλη, στα σύνθετα δοκίμια του τραβερτίνη δεν μετρήθηκαν αξιόλογα βάθη ενανθράκωσης, εκτός από την περίπτωση της συνθέσεως G4 στις 180 ημέρες.

**3.8.3.5.3 ΗΛΙΚΙΑ**

Καθώς με τον χρόνο αυτό που διαφοροποιείται είναι οι ιδιότητες του ενέματος, η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σχετικά με την επιρροή της ηλικίας στον τύπο αστοχίας, στην τιμή της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας και στον αρμό του ενέματος, γίνεται με βάση την σύνθεση του υλικού επέμβασης.



**Εικόνα 166.** Εν χρόνω εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας (μαύρο χρώμα) και του βάθους ενανθράκωσης για τα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο α) από μάρμαρο (πράσινο χρώμα) και β) από τραβερτίνη (μπλε χρώμα).



Εικόνα 167. Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι εφελκυσμού των σύνθετων δοκιμίων, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για την ηλικία των α) 28 ημερών και β) 90 ημερών.

### Τύπος Αστοχίας

Όπως και πριν, σχολιάζονται μόνον τα αποτελέσματα για τα ασβεστολιθικά υποβάθρα. Επί πλέον, η παρουσίαση των σχετικών στοιχείων επιλέχθηκε να γίνει μόνον για δυο ηλικίες διεξαγωγής δοκιμών: τις 28 και τις 90 ημέρες. Αυτή η επιλογή έγινε γιατί σε αυτές τις ηλικίες διατίθενται στοιχεία για όλες τις συνθέσεις των ενεμάτων. Εξ άλλου, με την επιλογή αυτών των ηλικιών καλύπτεται η συμπεριφορά των δοκιμίων τόσο στα αρχικά όσο και σε μεταγενέστερα στάδια. Έτσι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 167α και 167β, στην ηλικία των:

- (1) 28 ημερών, αναλόγως του υποβάθρου και της συνθέσεως του ενέματος, η πλειονότητα των σύνθετων δοκιμίων αστοχεί με τις μορφές αστοχίας ITZ και Z (ορισμένες φορές σε συνδυασμό με εφελκυστική αστοχία του ενέματος). Για υποβάθρο από μάρμαρο, τα δοκίμια με τις συνθέσεις G1 και G4 αστοχούν, εν γένει, κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ITZ. Στην περίπτωση του τραβερτίνη, όλα τα δοκίμια της G4 αστοχούν με τον τύπο Z, ενώ εκείνα με το ένεμα αναφοράς αστοχούν με τον τύπο ITZ σε συνδυασμό με G. Στην περίπτωση της σύνθεσης με τον μετακαολίνη, η συνηθέστερη μορφή αστοχίας είναι ο τύπος Z για όλα τα υποβάθρα.
- (2) τριών μηνών, δεν διαπιστώνονται σημαντικές διαφορές στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων από μάρμαρο. Αντιθέτως, στα σύνθετα δοκίμια με τον τραβερτίνη φαίνεται να ισχυροποιούνται οι διεπιφάνειες με τις τριμερείς συνθέσεις, καθώς αυξάνεται το ποσοστό των δοκιμίων που αστοχούν στον αρμό του ενέματος.

### Εφελκυστική Αντοχή $f_{bt}$

Σχετικώς με την εν χρόνως ανάπτυξη της αντοχής των διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων παρατηρήθηκαν τα ακόλουθα, αναλόγως του υλικού επέμβασης (βλ. Εικόνα 157, Πίνακες 20 έως 23):

- (1) Για το ένεμα αναφοράς G1(C=80%, L=20%), η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας των ασβεστολιθικών υποβάθρων σταθεροποιείται μετά την ηλικία του ενός μηνός. Ας σημειωθεί ότι, η παρατηρούμενη αμελητέα πτώση της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών του μαρμάρου μεταξύ της 28ης και 90ης ημέρας (από 0.93 MPa σε 0.85 MPa αντιστοίχως) ευρίσκεται εντός των ορίων διασποράς των πειραματικών αποτελεσμάτων, τα οποία αφορούν μια ιδιότητα ιδιαίτερως ευαίσθητη όπως είναι η εφελκυστική αντοχή. Αντίστοιχη είναι η



εικόνα για την μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών του τραβερίτη, η τιμή της οποίας από τα 1.57 MPa την 28η ημέρα μειώνεται στα 1.41 MPa την 90η ημέρα.

- (2) Για την τριμερή σύνθεση G2 (C=30%, L:MK=1:1), η εικόνα είναι παρεμφερής με εκείνη για τις διεπιφάνειες του ενέματος αναφοράς. Πράγματι, μολονότι η εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών μαρμάρου/G2 παρουσιάζεται βελτιωμένη μεταξύ 28ης και 60ης ημέρας, μετά την ηλικία των 60 ημερών η  $f_{bt}$  εμφανίζει μια μη αναμενόμενη πτώση (με σταθεροποιητική τάση ωστόσο). Στην περίπτωση των δοκιμών του τραβερίτη, διαπιστώνεται μια μικρή αλλά σταδιακή αύξηση της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας με τον χρόνο. Έτσι, η αύξηση της  $f_{bt}$  είναι της τάξης του 15-20%: από 1.36 MPa την 28η ημέρα, ανέρχεται στα 1.72 MPa την 90η ημέρα και μετά σταθεροποιείται στα 1.74 MPa στις 180 ημέρες.
- (3) Για το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη (G4, C=30%, L:LA=1:2.5), καταγράφεται μια συνεχής αύξηση της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας με το μάρμαρο μεταξύ της 28ης και 180ης ημέρας της τάξης του 80% (από 0.33 MPa σε 0.59 MPa). Σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις διεπιφάνειες των ενεμάτων G1(C=80%, L=20%) και G2 (C=30%, L:MK=1:1), όπου η εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$  μεταξύ μαρμάρου και ενεμάτων G1 και G2 (C=30%, L:MK=1:1) είναι περίπου ίση με 1 MPa και αναπτύσσεται μέχρι την 90η ημέρα, οι διεπιφάνειες μαρμάρου/G4 ισχυροποιούνται ακόμα και μετά τις 180 ημέρες. Αύξηση παρατηρήθηκε και στις τιμές της  $f_{bt}$  για τις διεπιφάνειες του εν λόγω ενέματος με τον τραβερίτη. Εντούτοις, σε αυτήν την περίπτωση η αύξηση μεταξύ 28ης και 180ης ημέρας είναι μια τάξη μεγέθους μικρότερη (~8%) από εκείνη για το μάρμαρο.

#### *Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Από την μακροσκοπική παρατήρηση των αρμών, δεν διαπιστώθηκε μεταβολή των εν λόγω χαρακτηριστικών που να σχετίζεται με την ηλικία διεξαγωγής των δοκιμών.

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ: Όπως προαναφέρθηκε, μόνον στα τριμερή ενέματα παρουσιάζονται ρηγματώσεις, η μορφή των οποίων και η ηλικία εμφάνισής τους ποικίλλει αναλόγως του υποβάθρου. Αναφέρεται ότι οι

ρωγμές λόγω συστολής ξήρανσης, είναι εμφανείς μετά τις 90 και 60 ημέρες για τα δοκίμια του μαρμάρου και του τραβερτίνη, αντιστοίχως.

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Από τους Πίνακες 20 έως 23 και την Εικόνα 158, προκύπτει αύξηση του ύψους ενανθράκωσης στα δοκίμια του μαρμάρου με τον χρόνο, η οποία είναι εντονότερη για όλα τα ενέματα μεταξύ 28 και 90 ημερών. Για τα δοκίμια του τραβερτίνη, τα βάθη ενανθράκωσης δεν υπερβαίνουν τα 0.5mm, εκτός των δοκιμίων της συνθέσεως G4 για τις 180 ημέρες.

### **3.8.3.6 Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας: Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων /Πιθανές Ερμηνείες**

Στην παρούσα ενότητα, επιχειρείται να ερμηνευθούν τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού. Σε αυτήν την προσπάθεια, συνεκτιμώνται τα συμπεράσματα/παρατηρήσεις των δοκιμών φυσικο-μηχανικού χαρακτηρισμού των υποβάθρων και των ενεμάτων, καθώς και εκείνα της μελέτης της μικροδομής των ενεμάτων και των διεπιφανειακών ζωνών. Βεβαίως, δεν πρέπει να αγνοείται το γεγονός ότι, οι παρατηρήσεις της μικροδομής αφορούν μόνον ένα πολύ μικρό μέρος από την ευρύτερη διατομή των δοκιμίων του εφελκυσμού. Εξ άλλου, δεδομένης της υψηλής διασποράς των αποτελεσμάτων, η οποία όπως προαναφέρθηκε είναι εγγενής στα πειράματα εφελκυσμού, καθώς και του μικρού πλήθους δοκιμών ανά εξεταζόμενη παράμετρο (3 ή 6 δοκίμια), η ερμηνεία των αποτελεσμάτων οφείλει να γίνει με μια σχετική επιφύλαξη, αναδεικνύοντας ωστόσο τις γενικότερες τάσεις.

#### **3.8.3.6.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ**

##### *Τύπος Αστοχίας*

Η επικράτηση του τύπου αστοχιών ITZ και Z στα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου, φαίνεται να ερμηνεύεται από το αδιαπέρατο του υποβάθρου και τον σχηματισμό πηγμάτων με σχετικά υψηλές τιμές του λόγου w/s. Όπως είναι γνωστό, οι υψηλές τιμές του υδατοσιμεντοσυντελεστή σε ένα πήγμα συνδέονται αφενός, με τον σχηματισμό ασθενέστερων διεπιφανειών (στην γεινίαση του πηγματος με το μη πορώδες υπόβαθρο) και αφετέρου, με την εμφάνιση έντονων φαινομένων συστολής ξήρανσης στα πηγματα. Στην ανάπτυξη διεπιφανειών με όχι τόσο πυκνή δομή θεωρείται ότι αποδίδεται η αστοχία των σύνθετων δοκιμίων του μαρμάρου κατά μήκος μιας διεπιφάνειας υποβάθρου και

ενέματος. Ως προς τον τύπο αστοχίας Z, όπως άλλωστε προέκυψε από την μελέτη της μικροδομής των σύνθετων δοκιμίων, καθώς η εκτόνωση των εσωτερικών τάσεων του πήγματος παρεμποδίζεται από το υπόβαθρο, διαμπερείς μικρορηγματώσεις σχηματίζονται κάθετα στον αρμό του ενέματος οι οποίες τείνουν να εκτονώνονται κατά μήκος των ασθενέστερων διεπιφανειών του μαρμάρου. Αυτές οι μικρορηγματώσεις αποτελούν σημεία εκκίνησης των ρηγματώσεων, οι οποίες κατά την καταπόνηση μορφώνουν τον τύπο αστοχίας Z. Εξ άλλου, στην παραπάνω ερμηνεία συνηγορεί ο σχηματισμός αδρών επιφανειών στα χείλη των ρωγμών σε ορισμένα δοκίμια που αστόχησαν με τον τύπο αστοχίας Z στις μεγαλύτερες ηλικίες (των τριών και έξι μηνών). Ας σημειωθεί ότι, συνήθως ο τύπος αστοχίας Z εμφανίζεται στα πιο ισχυρά ενέματα (G1 και G2), στα οποία αναμένεται ο σχηματισμός πρώιμων ρηγματώσεων εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων των αντιδράσεων (ενυδάτωσης και ποζολανικής αντίδρασης), (βλ. ενότητα μικροδομής). Στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων με ασβεστιτικά υπόβαθρα/σύνθεσης αναφοράς G1, η εμφάνιση του τύπου αστοχίας Z, ενδεχομένως να συνδέεται και με την παρατηρηθείσα απόμιξη του εν λόγω ενέματος.

Ως προς τα δοκίμια του τραβερίνη, με τεμάχια υποβάθρου διαφορετικής ποιότητας από εκείνων της μικροδομής, ο τύπος αστοχίας Z οφείλεται, μεταξύ άλλων, και στην παρουσία ρηγματώσεων λόγω πλαστικής συστολής. Τέλος, η εφελκυστική αστοχία του υποβάθρου για τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου, εξηγείται από τον σχηματισμό ισχυρών διεπιφανειών με το εν λόγω υπόβαθρο. Οφείλεται δε, στην πρόσφυση, διείσδυση και την ισχυρή αλληλεμπλοκή των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων με το υπόβαθρο, όπως άλλωστε διαπιστώθηκε και από την διερεύνηση με οπτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της διεπιφανειακής ζώνης.

#### *Εφελκυστική Αντοχή $f_{bt}$*

Από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εφελκυσμού, καθίσταται προφανές ότι οι διεπιφάνειες των πιο ασθενών και πορωδών υποβάθρων (τραβερίνης και οπτόπλινθος Α) εμφανίζουν βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με εκείνες του ισχυρότερου υποβάθρου (μάρμαρο Διονύσου). Η καλύτερη συμπεριφορά των διεπιφανειών του τραβερίνη και της οπτοπλίνθου, αποτυπώνεται στις υψηλότερες τιμές της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  που ανέπτυξαν τα σύνθετα δοκίμιά τους για όλες τις εξετασθείσες συνθέσεις ενεμάτων και ηλικίες. Εξ άλλου, αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από τους εμφανιζόμενους

τρόπους αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων των εν λόγω υποβάθρων. Πράγματι, τα δοκίμια των πιο «μαλακών» υποβάθρων παρουσιάζουν έναν από τους τύπους αστοχίας Z, G (κυρίως για τον τραβερίνη) και S (για την οπτόπλινθο A), ενώ τα δοκίμια του ισχυρότερου μαρμάρου αστόχησαν κατά μήκος των διεπιφανειών τους (τύποι ITZ και Z). Η βελτιωμένη συμπεριφορά των διεπιφανειών τραβερίνη ή οπτοπλίνθου A/ενεμάτων φαίνεται να εξηγείται από την μεγαλύτερη επιφανειακή μικροτραχύτητα και τις υψηλότερες τιμές του πορώδους αυτών των υποβάθρων σε σχέση με το μάρμαρο, που οδήγησε σε καλύτερη πρόσφυση και αλληλεμπλοκή του συνδετικού υλικού με τα υπόβαθρα. Σε αυτήν την ερμηνεία φαίνεται να συνηγορούν οι παρατηρήσεις της Μικροδομής<sup>1</sup> (§ 3.7). Πράγματι, σε μικροκλίμακα τα σύνθετα δοκίμια των οπτόπλινθων A εμφάνισαν καλύτερη δομή (περιορισμός ρηγματώσεων και απουσία αποκολλήσεων από το υπόβαθρο) σε σχέση με τα δοκίμια του τραβερίνη και του μαρμάρου. Ωστόσο, καθώς τα τεμάχια του τραβερίνη που χρησιμοποιήθηκαν για τις δοκιμές εφελκυσμού ήταν «χειρότερης» ποιότητας (υψηλότερο πορώδες και χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά) σε σχέση με εκείνα των δοκιμίων για την μελέτη της μικροδομής<sup>2</sup>, αναμένεται να εμφανίζουν (σε μικροκλίμακα) καλύτερη εικόνα από εκείνη των δοκιμίων της μικροδομής. Αναμένεται, με άλλα λόγια, καλύτερη πρόσφυση, μηχανική αλληλεμπλοκή και διείδυση του ενέματος στο υπόβαθρο, καθώς και απουσία ή περιορισμός αποκολλήσεων του αρμού του ενέματος από το υπόβαθρο (εξαιτίας της μεγαλύτερης ανοχής αυτών των τεμαχίων). Έτσι, φαίνεται να εξηγείται η καλύτερη εικόνα των δοκιμίων του τραβερίνη σε σχέση με εκείνων του μαρμάρου. Στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων του τραβερίνη, οι υψηλότερες τιμές της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  ενδεχομένως να σχετίζονται και με την

<sup>1</sup> Σε μικρο-κλίμακα αποδείχθηκε ότι ο μηχανισμός συνάφειας των εξεταζομένων διεπιφανειών (εώς την ηλικία των τριών μηνών) αποδίδεται στην πρόσφυση των ενεμάτων με τα υπόβαθρα και στην μηχανική αλληλεμπλοκή των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων και των υποβάθρων, υπογραμμίζοντας έτσι, μεταξύ άλλων, την θετική-αναμενόμενη από την οικεία βιβλιογραφία [για πρδ. (Lawrence and Cao) παράθεση (Hendry 1998)] - επίδραση της επιφανειακής τραχύτητας [μηχανικής ή φυσικής (λόγω του πορώδους)] των υποβάθρων στην αναπτυσσόμενη συνάφεια. Επί πλέον, μεταξύ άλλων, αναδείχθηκε η απαίτηση για φυσική συμβατότητα υποβάθρου και υλικών επέμβασης, καθώς χαρακτηριστικά του υποβάθρου, όπως είναι το ανοιχτό πορώδες και άρα, η επακόλουθη ανοχή του υποβάθρου στις συστολοδιαστολές του αρμού, επιδρούν καταλυτικά στην ανθεκτικότητα του ενέματος (ρηγματώσεις) και της διεπιφανειακής ζώνης (αποκολλήσεις).

<sup>2</sup> Όπως προαναφερθηκε, η χρήση διαφορετικής ποιότητας τραβερίνη για τα δυο είδη δοκιμών έγινε για κατασκευαστικούς λόγους, καθώς και για να αναδειχθεί ο ρόλος του υποβάθρου στην αναπτυσσόμενη συνάφεια.

υψηλότερη -σε σχέση με το μάρμαρο- υδαταπορρόφηση του τραβερίτη<sup>1</sup>. Εξ άλλου, κατά την έγχυση των ενεμάτων στον αρμό, παρατηρήθηκε μετακίνηση μικρής ποσότητας ύδατος από το νωπό ένεμα στο υπόβαθρο. Αυτή η απομάκρυνση ύδατος, προκάλεσε αφενός τοπική μείωση του περιεχόμενου νερού στην διεπιφάνεια και αφετέρου διείσδυση των κονιών στους πόρους του υποβάθρου. Καθώς, τα υψηλής δεισδυτικότητας ενέματα περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού, αυτή η μείωση δεν επιδρά αρνητικά στην εξέλιξη της διαδικασίας ενυδάτωσης των κονιών. Αντιθέτως, θεωρείται ότι οδηγεί σε μια μείωση του πορώδους, τοπικώς, και άρα, σε περιορισμό του φαινομένου της ανένδοτης επιφάνειας, σχηματίζοντας έτσι πυκνότερες δομές στην διεπιφάνεια ενέματος/τραβερίτη.

Ένα ακόμη θέμα προς ερμηνεία, είναι η παρατηρηθείσα παρόμοια συμπεριφορά έναντι εφελκυσμού των διεπιφανειών μεταξύ τραβερίτη και ενεμάτων, ιδιαίτως στην περίπτωση των ενεμάτων G1 και G4. Εξ άλλου, σε αυτές τις συνθέσεις αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνεται και από τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών τους (τύπος αστοχίας Z ή ITZ). Ωστόσο, αν και τα σύνθετα δοκίμια με το τριμερές ένεμα G2 (C=30%, L:MK=1:1) παρουσίασαν για όλες τις ηλικίες υψηλότερες τιμές εφελκυστικής αντοχής σε σχέση με τα ενέματα G1 και G4 (με κύρια μορφή αστοχίας την εφελκυστική αστοχία του αρμού, τύπος G), αυτή η διαφορά δεν είναι τόσο μεγάλη όπως στην περίπτωση των διεπιφανειών του μαρμάρου. Αυτή η παρατήρηση υποδηλώνει ότι οι ιδιότητες του τραβερίτη είναι εκείνες που καθορίζουν τελικώς την συμπεριφορά των διεπιφανειών. Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου, καθώς και για τα δοκίμια του μαρμάρου με τα πιο ισχυρά ενέματα G1 και G2. Με άλλα λόγια φαίνεται, ότι «η μέγιστη τιμή της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας ενεμάτων/υποβάθρων περιορίζεται αναλόγως του υποβάθρου».

#### *Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Η διαπίστωση ότι οι αρμοί του ενέματος των σύνθετων δοκιμών με το μάρμαρο είναι περισσότερο εύθρυπτοι, θεωρείται ότι σχετίζεται με το αδιαπέρατο του υποβάθρου, με το οποίο απετράπη η μετακίνηση ύδατος από το ένεμα προς το υπόβαθρο. Εξ άλλου, σε αυτό συνηγορεί η ύπαρξη

<sup>1</sup> Αυτή η ερμηνεία δεν αφορά τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α. Σημειώνεται ότι η έγχυση των ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου πραγματοποιήθηκε για κορεσμένες συνθήκες του υποβάθρου.

πλεονάζουσας ποσότητας ύδατος στο άνω τμήμα των σύνθετων δοκιμίων με το μάρμαρο, οφειλόμενη στην εξίδρωση των ενεμάτων. Έτσι, σε αυτά τα πηγμάτα η διατήρηση υψηλών τιμών του υδατοσιμεντοσυντελεστή φαίνεται να δημιουργήσει λιγότερο πυκνές δομές πηγμάτων και να επέδρασε αρνητικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια και στον τρόπο αστοχίας των οικείων δοκιμίων.

Η ύπαρξη μεγάλης διαμέτρου πόρων μόνον στα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο τον τραβερίνη, αποδίδεται στην διαδικασία έγχυσης του ενέματος στον αρμό των σύνθετων δοκιμίων, καθώς και στο πορώδες του συγκεκριμένου υπόβαθρου: η χρήση συριγγών μιας χρήσης, από την μια, δεν εισήγαγε το ένεμα στον αρμό με την ανάλογη πίεση που προβλέπεται από την τεχνική της ομογενοποίησης μάζας και από την άλλη, επέτρεπε την εισαγωγή αέρα σε αυτόν παρόλη την διαδικασία συμπίκνωσης που ακολουθήθηκε.

**ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ:** Η παρουσία συνεχών/διακριτών ρωγμών στην επιφάνεια θραύσης των σύνθετων δοκιμίων μαρμάρου/G2 σε μεγαλύτερες ηλικίες (που αστόχησαν με τον τύπο Z) υποδηλώνουν έντονη συστολή ξήρανσης του ενέματος οφειλόμενη στην υψηλή περιεκτικότητα σε νερό. Ο σχηματισμός τους θεωρείται, όπως θα σχολιαστεί στην οικεία ενότητα, ότι επέδρασε αρνητικά στην εν χρόνω ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών του μαρμάρου. Αντιθέτως, στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων τραβερίνη και ενεμάτων, οι παρατηρηθείσες ρηγματώσεις, καθώς αποτελούν ενίοτε επέκταση των ασυνεχειών του υποβάθρου, θεωρείται ότι οφείλονται σε πλαστική συστολή. Ας σημειωθεί ότι αυτές οι ασυνέχειες, καθώς σχηματίζονται πρώιμα, δεν αναμένεται να επιδρούν αρνητικά στο μέγεθος της αναπτυσσόμενης εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$ .

**ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ:** Οι υψηλότερες τιμές για το βάθος ενανθράκωσης στα δοκίμια του μαρμάρου, φαίνεται να σχετίζεται με το χαμηλό πορώδες του υποβάθρου. Είναι προφανές ότι η παρουσία μιας πιο πορώδους περιοχής στην άνω ζώνη του αρμού του ενέματος, ισχυροποίησε την αντίδραση της ενανθράκωσης  $[Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + H_2O]$ . Αντιθέτως, στα σύνθετα δοκίμια του τραβερίνη, αν και το υπόβαθρο ήταν πιο πορώδες και επομένως η παροχή σε διοξείδιο του άνθρακα διαμέσου του υποβάθρου αναμένεται να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με εκείνη διαμέσου του μαρμάρου, ωστόσο, η μετακίνηση ποσοτήτων ύδατος και κονιών, από τα ενέματα προς το υπόβαθρο, οφειλόμενη στο μεγάλο πορώδες του λίθου, ήταν εκείνη που απέτρεψε την καταγραφή μεγαλύτερων τιμών ενανθράκωσης για τα δοκίμια του τραβερίνη. Πράγματι, η μετακίνηση ποσοτήτων ύδατος από τα ενέματα μέσω του

υποβάθρου στο περιβάλλον, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή αρμών ενεμάτων που είναι πιο συμπαγείς από εκείνους του μαρμάρου. Επομένως, τα ενέματα στα σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο τον τραβερτίνη είχαν, τελικώς, μικρότερο υδατοσιμεντοσυντελεστή (άρα και μειωμένη συστολή ξήρανσης) και πυκνότερη δομή, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πιο ανθεκτικοί στην ενανθράκωση. Σημειώνεται ότι οι ασυνήθιστα υψηλές τιμές ενανθράκωσης των δοκιμίων τραβερτίνη/G4 στις 180 ημέρες, σε συνδυασμό με την ύπαρξη μιας μεγάλης ενανθρακωμένης ζώνης (ως δέσμη) μέσα στον αρμό του ενέματος, αποδίδονται στην ποιότητα του λίθου, που λόγω του υψηλού πορώδους του επέτρεψε την είσοδο αέρα στον αρμό του ενέματος και επιτάχυνε την αντίδραση της ενανθράκωσης.

### 3.8.3.6.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

#### *Τύπος Αστοχίας*

Ανά τύπο υποβάθρου, η αντικατάσταση μέρους τουτσιμέντου του ενέματος αναφοράς (κατά 50%-κ.β.) από φυσική ποζολάνη παρόμοιας λεπτότητας, δεν επέδρασε δραστικά στον τρόπο με τον οποίο τείνουν να αστοχούν τα σύνθετα δοκίμια τους (για τα δοκίμια με το μάρμαρο: αστοχία ITZ, για τα δοκίμια με τον τραβερτίνη: αστοχία Z). Παρ' όλα αυτά, σημειώνεται ότι, στην περίπτωση του ισχυρότερου υποβάθρου (μάρμαρο), οι διεπιφάνειες με το ένεμα με τα χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά (σύνθεση με την μηλαϊκή γη) εμφανίζονται ασθενέστερες σε σχέση με εκείνες του ενέματος αναφοράς, όπως άλλωστε επαληθεύεται από την μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$ . Αντιθέτως, στην περίπτωση της σύνθεσης G2, αν και το εν λόγω ένεμα έχει χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από το ένεμα αναφοράς, η παρουσία του λεπτότερου και πιο δραστικού μετακαολίνης φαίνεται να ισχυροποιεί (σε μικρότερες ηλικίες) τις διεπιφάνειες με το μάρμαρο, χωρίς ωστόσο αυτό να ισχύει για τις μεγαλύτερες ηλικίες (εξαιτίας των φαινομένων ρηγμάτωσης στον αρμό του ενέματος). Ωστόσο, η θετική επίδραση της χρήσης του μετακαολίνης, σε σχέση με το ένεμα αναφοράς, αναδεικνύεται περισσότερο στην περίπτωση των δοκιμίων με τον τραβερτίνη. Πράγματι, σε αυτό το υπόβαθρο η χρήση του μετακαολίνης θεωρείται ότι περιόρισε το φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας, σχηματίζοντας διεπιφάνειες που είναι ισχυρότερες από το ίδιο το ένεμα. Αυτό τεκμηριώνεται από το ότι η πλειονότητα των σύνθετων δοκιμίων τραβερτίνη/G2 αστόχησε κυρίως με τον τύπο αστοχίας G. Ως προς τα δοκίμια της οπτοπλίνθου A, ο σχηματισμός ισχυρών διεπιφανειών και αρμών για όλους τους τύπους των ενεμάτων,

σε συνδυασμό με το χαμηλής ποιότητας υπόβαθρο οδήγησαν στην εμφάνιση του τύπου αστοχίας S.

#### *Εφελκυστική Αντοχή $f_{bt}$*

Αν και από την μελέτη της μικροδομής των διεπιφανειών (§ 3.7) προκύπτει καλύτερη συνεκτικότητα για το ένεμα αναφοράς σε σχέση με τα τριμερή ενέματα, κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να επαληθεύεται από τα αποτελέσματα των δοκιμών του εφελκυσμού. Πράγματι, αν προς στιγμή αγνοηθεί η επιρροή του χρόνου στις τιμές της εφελκυστικής αντοχής για τις εξεταζόμενες διεπιφάνειες, είναι ιδιαίτερα παράδοξη, αλλά μείζονος σημασίας, η διαπίστωση ότι τα τριμερή ενέματα, τα οποία εμφανίζουν λιγότερο πυκνή μικροδομή και χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά (Πίνακες 11 και 12), είναι ανταγωνιστικά σε όρους εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  με το πιο ισχυρό ένεμα αναφοράς G1. Ας σημειωθεί ότι ανάλογα είναι τα αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού της βιβλιογραφίας για διαφορετικούς συνδυασμούς υποβάθρων και σύστασης υλικών επέμβασης (§ 2.7 και § 2.8.3.2). Η ερμηνεία αυτής της διαπίστωσης φαίνεται να συνδέεται με μια πιο λεπτομερή εξέταση της διεπιφανειακής ζώνης, η οποία υπερβαίνει το αντικείμενο αυτής της εργασίας. Ωστόσο, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι οι παρατηρήσεις τις μικροδομής αφορούν μια πολύ μικρή περιοχή σε αντίθεση με τις μηχανικές δοκιμές που σχετίζονται με την συμπεριφορά μια ευρύτερης ζώνης. Επομένως, κατά την μετάβαση από μικροκλίμακα σε μεσοκλίμακα δεν συνεκτιμώνται αθροιστικώς τα φαινόμενα όπως είναι απόμιξη του μίγματος κα. Εξ άλλου, η καλύτερη συμπεριφορά των τριμερών ενεμάτων πιστεύεται ότι σχετίζεται και με την δημιουργία πηγμάτων τα οποία (σε μικροσκοπική κλίμακα) αν και έχουν μια λιγότερο πυκνή δομή σε σχέση με το ένεμα αναφοράς, αυτή η δομή ήταν περισσότερο συμβατή σε όρους πορώδους, ιδιαίτερως με τα πιο πορώδη υπόβαθρα, αποτρέποντας μεταξύ άλλων και τον σχηματισμό ρηγματώσεων αποκόλλησης με το υπόβαθρο.

Ως προς την επιρροή του τύπου της ποζολάνης, αυτή φαίνεται να εξαρτάται από τον τύπο του υποβάθρου, καθώς και την ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής (η επιρροή της ηλικίας θα συζητηθεί διεξοδικά στην επόμενη παράγραφο). Έτσι, στα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου φαίνεται ότι ο πιο λεπτός και δραστικός μετακαολίνης αφενός μείωσε σημαντικά την επίδραση της ανένδοτης επιφάνειας (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής) και αφετέρου, λόγω της μεγαλύτερης δραστηριότητάς του, κατανάλωσε την διαθέσιμη υδράσβεστο σχηματίζοντας ταχέως ένυδρες ασβεστοπυριτικές και ασβεσταργιλικές ενώσεις (βλ. Μελέτη



Ορυκτολογική Σύστασης Ενεμάτων) με τις οποίες εξασφαλίστηκε η πρώιμη μηχανική αλληλεμπλοκή και πρόσφυση υποβάθρου και συνθέσεως G2. Αντιθέτως, για την πιο χονδρόκοκκη και λιγότερο δραστική μηλαϊκή γη, η ισχυροποίηση της μικροδομής του ενέματος και της διεπιφανειακής ζώνης, αν και συμβαίνει βραδύτερα, ωστόσο εξελίσσεται ακόμα και σε μεγαλύτερες ηλικίες (βλ. Μελέτη Ορυκτολογική Σύστασης Ενεμάτων, Μελέτη Μικροδομής). Η διαπίστωση ότι στις εξετασθείσες ηλικίες η σύνθεση της μηλαϊκής γης είναι λιγότερο πυκνή από εκείνη της G2, αποτυπώνεται (πέρα από την σύγκριση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους) στο εύθρυπτο των αρμών της σύνθεσης G4. Εξ άλλου, πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως παρατηρήθηκε σε ορισμένα σύνθετα δοκίμια, η μηλαϊκή γη δεν είναι πάντα σε θέση να περιορίζει το φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας.

Στην περίπτωση του τραβερίνη και της οπτόπλινθου Α, μελέτες σε θέματα συνάφειας ανέδειξαν ότι η επιρροή των ποζολανών στην συνάφεια με τα πορώδη υπόβαθρα είναι πολλαπλή (§2.8.1.2.2): δεν περιορίζεται μόνον στην ποζολανική αντίδραση (και άρα την πύκνωση της μικροδομής με την κατανάλωση κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διεπιφανειακή ζώνη) και στην μείωση του φαινομένου της ανένδοτης επιφάνειας, αλλά σχετίζεται και με άλλες ιδιότητες της ποζολάνης όπως το μέγεθος των κόκκων της, την ικανότητά της να βελτιώνει την εργασιμότητα, την συγκράτηση ύδατος, την διατήρηση της συνεκτικότητας και σταθερότητας του πηγματος (σε συνάρτηση βεβαίως με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου), καθώς και της δραστηριότητας της ποζολάνης. Στην χαμηλότερη δραστηριότητα της μηλαϊκής γης έναντι του μετακαολίνης, αλλά και στις μικρότερες τιμές του υδατοσιμεντοσυντελεστή της σύνθεσης G4 σε σχέση με την σύνθεση G2, φαίνεται να αποδίδεται η άμβλυνση των διαφορών στα μηχανικά χαρακτηριστικά των διεπιφανειών για τα υπόβαθρα με το μεγαλύτερο πορώδες (τραβερίνης και οπτόπλινθος Α). Ας σημειωθεί ότι και τα δυο αυτά στοιχεία της σύνθεσης G4, σχετίζονται με τον περιορισμό της μικρορηγματώσεως (πρώιμης ή λόγω συστολής ξήρανσης) στον αρμό του ενέματος.

#### *Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

**ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ:** Η εμφάνιση ρηγματώσεων στα πηγματα διαπιστώθηκε ήδη κατά την μελέτη της μικροδομής των σύνθετων δοκιμίων. Αναλόγως της αιτίας δημιουργίας τους, διακρίθηκαν δυο ειδών ρηγματώσεις: ρηγματώσεις που σχετίζονται με πλαστική συστολή και ρηγματώσεις που οφείλονται σε υψηλές ταχύτητες αντίδρασης (ενυδάτωση τσιμέντου

και ποζολανική αντίδραση για την σύνθεση με τον μετακαολίνη), οι οποίες επιδεινώνονται λόγω συστολής ξήρανσης για τις μεγαλύτερες ηλικίες (για πρῶ. στο G2).

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Όπως προαναφέρθηκε, για το βάθος της ενανθρακωμένης ζώνης μετρήθηκαν μεγαλύτερες τιμές για το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη και κατόπιν για το τσιμεντένεμα. Υπενθυμίζεται ότι αυτή η διαπίστωση αφορά μόνον τα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου, καθώς για τα πιο πορώδη υπόβαθρα (τραβερίνης και οπτόπλινθος Α) ο σχηματισμός πιο συμπαγών αρμών θεωρείται ότι απέτρεψε την αποσύνθεση των δομών όλων των ενεμάτων. Σε ότι αφορά την ερμηνεία αυτής της παρατήρησης, στην περίπτωση του τριμερούς ενέματος με την μηλαϊκή γη, τα υψηλά βάθη ενανθράκωσης θεωρείται ότι σχετίζονται με τον σχηματισμό μάλλον μιας πιο ασθενούς μικροδομής ευάλωτης στην μικρορηγμάτωση. Άλλωστε αυτό επιβεβαιώνεται, μακροσκοπικώς και μικροσκοπικώς, από το εύθρυπτο των οικείων αρμών. Εξ άλλου, στην παραπάνω ερμηνεία φαίνεται να συνηγορούν και οι σχετικώς μικρές τιμές της καμπτικής αντοχής του εν λόγω ενέματος (της τάξης των 2 MPa στις 90 ημέρες). Ως προς το ένεμα αναφοράς, καθώς το εν λόγω ένεμα έχει αρκετά ισχυρή μικροδομή, οι υψηλές τιμές για το βάθος ενανθράκωσης θεωρείται ότι σχετίζονται αποκλειστικώς με την διαπιστωθείσα απόμιξη του μίγματος και τον επακόλουθο σχηματισμό, στην άνω περιοχή του αρμού του ενέματος, μιας ζώνης πλούσιας σε υδράσβεστο επιρρεπή στην ενανθράκωση.

### 3.8.3.6.3 ΗΛΙΚΙΑ

#### *Τύπος Αστοχίας*

Η διαπίστωση ότι δεν διαφοροποιούνται σημαντικά οι τρόποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων μεταξύ 28 και 90 ημερών, υποδηλώνει έμμεσα ότι εν γένει, η όποια βελτίωση της αντοχής των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων αποδιδόμενη σε βελτίωση των χαρακτηριστικών των ενεμάτων και πύκνωση της μικροδομής περιορίζεται από την αλληλεπίδραση μεταξύ υποβάθρου και ενεμάτων (ρηγματώσεις λόγω εκτόνωσης τάσεων κα.). Παρ' όλα αυτά, στην περίπτωση του πιο πορώδους τραβερίνη, η αύξηση του πλήθους των δοκιμίων που αστοχούν στον αρμό του ενέματος, σε συνδυασμό με την εν χρόνω αύξηση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$ , αναδεικνύει την ισχυροποίηση των διεπιφανειών για αυτού του τύπου το υπόβαθρο. Σημειώνεται δε, ότι σε αυτήν την περίπτωση η παρουσία

ρηγματώσεων στον αρμό των ενεμάτων (λόγω πλαστικής συστολής), δεν φαίνεται να επιδρά στην εξέλιξη της αναπτυσσόμενης  $f_{bt}$ .

#### *Εφελκυστική Αντοχή $f_{bt}$*

ΕΝΕΜΑ G1: Η επίτευξη της μέγιστης τιμής της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών του ενέματος αναφοράς με όλα τα υπόβαθρα από την ηλικία των 28 ημερών αποδίδεται στο ότι, η ενυδάτωση του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου συμβαίνει σχετικώς ταχέως, όπως άλλωστε προέκυψε και από την μελέτη της ορυκτολογικής σύστασης της σύνθεσης. Η εμφάνιση υψηλών ταχυτήτων για τις αντιδράσεις ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου θεωρείται ότι σχετίζεται με την μεγάλη λεπτότητα του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου (μέγιστη διάμετρος κόκκου 48μm). Ένας ακόμη λόγος που ενδεχομένως να εξηγεί την πρώιμη ανάπτυξη των αντοχών των διεπιφανειών του τσιμεντένεματος, ο οποίος οφείλει να διερευνηθεί, είναι η περιεκτικότητα του τσιμέντου σε φάση  $C_3A$ . Ας σημειωθεί ότι και οι δυο προαναφερθέντες λόγοι επιφέρουν τον σχηματισμό πρώιμων ρηγματώσεων στο πήγμα. Αυτές οι ρηγματώσεις αναμένεται να ενταθούν σε μεγαλύτερες ηλικίες λόγω μη επαρκούς συντήρησης, ερμηνεία που επιβεβαιώνεται από την μελέτη της μικροδομής των σχετικών διεπιφανειών στην ηλικία των 90 ημερών. Εξ άλλου, στην ανάπτυξη ρηγματώσεων πιθανόν να οφείλεται η μη περαιτέρω αύξηση της εφελκυστικής αντοχής συνάφειας των διεπιφανειών με το τσιμεντένεμα.

ΕΝΕΜΑ G2: Βάσει της μελέτης των ακτινογραφημάτων περίθλασης ακτινών-Χ και των παρατηρήσεων της μικροδομής (Παράγραφος 3.7), η εξασφάλιση της πρόσφυσης και της μηχανικής αλληλεμπλοκής μεταξύ υποβάθρων και ενέματος G2 αποδίδεται, πέρα από την ενυδάτωση του περιεχόμενου τσιμέντου, στην κατανάλωση κρυστάλλων πορτλανδίτη από την ποζολάνη και στον αρχικό σχηματισμό (από την 28η ημέρα) άμορφων C-S-H και C-A-S-H. Αποτέλεσμα αυτής της δράσης, είναι η ανάπτυξη εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  με τιμές ίσες ή και μεγαλύτερες από εκείνες που μετρήθηκαν στις διεπιφάνειες του τσιμεντένεματος. Ας επισημανθεί ότι, η παρατηρηθείσα μη αναμενόμενη πτώση (με σταθεροποιητική τάση ωστόσο) της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών μαρμάρου/G2 μετά την ηλικία των 60 ημερών, δεν μπορεί να αποδοθεί αποκλειστικά στην διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Άλλωστε και η καμπτική αντοχή του ενέματος G2, που συντηρήθηκε ακόμα και στο βασικό περιβάλλον, παρουσίασε πτώση μεταξύ της 28ης και 90ης

ημέρας (Πίνακας 12). Επομένως, η ερμηνεία αυτής της παρατήρησης δεν θα μπορούσε να εξηγηθεί μόνον από έλλειψη διαθέσιμης υδρασβέστου ή φαινόμενα ενανθράκωσης ή τον σχηματισμό των δευτερογενών ρηγματώσεων στο σώμα του πήγματος G2. Σε αυτό συνηγορεί η διαπίστωση ότι, στις διεπιφάνειες του τραβερίνη δεν παρατηρήθηκε ανάλογη πτώση στην τιμή της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$ . Αν δε συνεκτιμηθούν και οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος G2, η παρατηρηθείσα μείωση της εφελκυστικής αντοχής στις διεπιφάνειες του ενέματος G2 με το μάρμαρο πιστεύεται ότι σχετίζεται περισσότερο με τις υψηλότερες τελικές τιμές του υδατοσιμεντοσυντελεστή του ενέματος στα δοκίμια του μαρμάρου και την μικρή ανοχή αυτού του υποβάθρου. Αυτές οι παράμετροι θεωρείται ότι επιδείνωσαν τις προϋπάρχουσες πρώιμες μικρορηγματώσεις (οφειλόμενες στις υψηλές ταχύτητες αντίδρασης των συνδετικών της κονιών).

ΕΝΕΜΑ G4: Για το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη, η καταγραφόμενη συνεχής αύξηση της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών μεταξύ της 28ης και 180ης ημέρας αποδίδεται στην πύκνωση της μικροδομής του ίδιου του ενέματος λόγω της ποζολανικής αντίδρασης (η οποία είναι βραδύτερη για την χονδρόκοκκη ποζολάνη της μηλαϊκής γης), και άρα και της διεπιφανειακής ζώνης (βλ. Ενότητα Μικροδομής). Σε αντίθεση με αυτό που συμβαίνει στις διεπιφάνειες των ενεμάτων G1(C=80%, L=20%) και G2 (C=80%, L:MK=1:1), όπου η εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$  μεταξύ μαρμάρου ή τραβερίνη και ενεμάτων G1 και G2 (C=80%, L:MK=1:1) αναπτύσσεται μέχρι την 90η ημέρα, οι διεπιφάνειες της σύνθεσης G4, ιδιαιτέρως με το μάρμαρο, αναμένεται να ισχυροποιηθούν ακόμα και μετά τις 180 ημέρες λόγω της πιο αργής ποζολανικής αντίδρασης της πιο χονδρόκοκκης μηλαϊκής γης, αλλά και της παρουσίας υδρασβέστου. Άλλωστε, το ίδιο συνέβη και με τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ίδιου του ενέματος, G4, το οποίο συντηρήθηκε στον υγρό θάλαμο. Εντούτοις, δεν πρέπει να αμεληθεί η επίδραση της διαπιστωθείσας ενανθράκωσης του αρμού του ενέματος, η οποία όπως διαπιστώθηκε στις προηγούμενες ενότητες συμβαίνει ανταγωνιστικά με την ποζολανική αντίδραση. Επομένως, ενδεχομένως η εν χρόνω βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών της μηλαϊκής γης να ήταν ακόμα μεγαλύτερες απουσία φαινομένων ενανθράκωσης.

*Μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι οι συνθήκες συντήρησης του αρμού των ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια (με την υδατοστεγανή αυτοκόλλητη ταινία), είναι μια ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ των συνθηκών συντήρησης στον υγρό θάλαμο και στο ασβεστόνερο. Επομένως, τα φαινόμενα της ενανθράκωσης, αν και λαμβάνουν χώρα (και στο εσωτερικό του αρμού, όπως διαπιστώθηκε από την μελέτη της μικροδομής), δεν είναι τόσο έντονα όσο στην περίπτωση των δοκιμών των πηγμάτων. Μένει ωστόσο να διερευνηθεί ποσοτικά η επιρροή τους στην αναπτυσσόμενη συνάφεια.

*Διερεύνηση της επιρροής της ενανθρακωμένης ζώνης του ενέματος στην εν χρόνω ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών*

Όπως προαναφέρθηκε, παρατηρήθηκε πτώση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  κυρίως στην περίπτωση του ισχυρού υποβάθρου (μάρμαρο) τόσο σε μικρές όσο και σε μεγαλύτερες ηλικίες. Αυτή η πτώση, σε ορισμένες περιπτώσεις, συνοδεύεται από αύξηση της ζώνης ενανθράκωσης (§3.8.3.5, Εικόνα 166). Γι' αυτό, αποφασίστηκε να διερευνηθεί η επιρροή του ύψους της ζώνης ενανθράκωσης στην αναπτυσσόμενη συνάφεια. Στο πλαίσιο αυτής της διερεύνησης αμελήθηκε η συνεισφορά της ενανθρακωμένης ζώνης στην παραλαβή του εφελκυστικού φορτίου. Θεωρήθηκε δε, ότι το επιβαλλόμενο φορτίο παραλαμβάνεται από μια μειωμένη διατομή με διαστάσεις ίσες με τις διαστάσεις του ενέματος που δεν έχει ενανθρακωθεί. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του ύψους της ζώνης ενανθράκωσης (με την χρήση διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης) είναι μάλλον χονδροειδής και, εν γένει, υποεκτιμά το βάθος ενανθράκωσης. Επομένως, το μέγεθος της μειωμένης διατομής υπερεκτιμάται σε σχέση με το πραγματικό και άρα, μέσω της παρούσας διερεύνησης, η εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας για την μειωμένη διατομή προκύπτει μικρότερη από εκείνη που θα προέκυπτε μέσω μιας πιο λεπτομερούς μεθόδου μέτρησης της ενανθράκωσης.

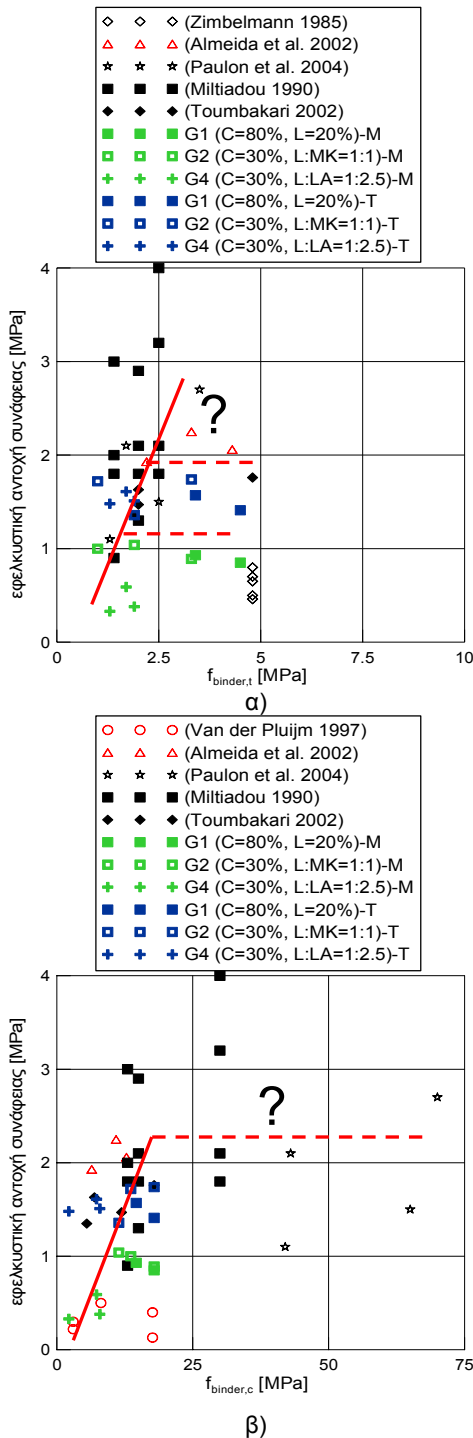
Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης παρουσιάζονται στους Πίνακες Δ-5, Δ-6, Δ-7 και Δ-8 του Παραρτήματος Δ. Φαίνεται ότι, δεν παρατηρείται ουσιαστική επίδραση στην τάξη μεγέθους της προκύπτουσας αντοχής, αν αγνοηθεί η συνεισφορά της ενανθρακωμένης ζώνης στην ανάληψη του εφελκυστικού φορτίου. Οι μεταβολές κυμαίνονται μεταξύ 0 και 13%, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις να εμφανίζονται για τα σύνθετα δοκίμια 1) μάρμαρου/ενέματα G1 και G4 (στις 90 και 180 ημέρες αντιστοίχως), και 2) τραβερίνη/G4 (στις 180 ημέρες). Άρα, η μείωση με τον χρόνο

της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  δεν εξηγείται παρά την αγνόηση της ενανθρακωμένης ζώνης. Αντιθέτως, όπως προαναφέρθηκε, οι μειώσεις στην εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων σχετίζονται περισσότερο με τις ρηγματώσεις στον αρμό του ενέματος και την αποκόλληση του ενέματος από το υπόβαθρο, η επιρροή των οποίων ωστόσο δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί εδώ.

### 3.8.3.7 Σύγκριση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας

Σ' αυτήν την ενότητα, καταρχάς, πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης με πειραματικά δεδομένα προηγούμενων ερευνών πάνω στα ενέματα. Από τις σχετικές εργασίες, οι οποίες έχουν περιγραφεί αναλυτικώς στην ενότητα της βιβλιογραφικής αναδρομής διαπιστώνονται τα εξής (βλ. συγκεντρωμένα στον Πίνακα 7, Εικόνα 168): Δοκιμές σε διεπιφάνειες μεταξύ διαφόρων ξηρών λίθων και ενεμάτων τα οποία περιείχαν 50% -κ.β. τσιμέντο, υδράσβεστο και πυριτική άχνη (Miltiadou 1990), ανέπτυξαν τιμές εφελκυστικής αντοχής αναλόγως με τον τύπο του υποβάθρου, που κυμαινόταν μεταξύ 0.8 και 1.6 MPa την 28η ημέρα. Οι τιμές εμπίπτουν στο εύρος τιμών που επιτεύχθηκαν από τα τριμερή ενέματα της παρούσας εργασίας, τα οποία είχαν μικρότερη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (30% αντί του 50%) και πιο χονδροκόκκες ποζολάνες (μηλαϊκή γη και μετακαολίνη) από την πυριτική άχνη. Στην ίδια εργασία, ένα ένεμα με σύνθεση 75% τσιμέντο και 25% ασβέστη, με παραπλήσια δηλαδή σύνθεση με το ένεμα αναφοράς G1, ανέπτυξε εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας μεταξύ 1.1 έως 3 MPa στις 28 ημέρες. Επί πλέον, τα αποτελέσματα της (Toumbakari 2002) βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Πράγματι, η εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών τριμερών συνθέσεων με ασβεστολιθικό υπόβαθρο κυμαινόταν μεταξύ 1.35 έως 1.63 MPa, ενώ για το ένεμα αναφοράς (ίδιας σύνθεσης με το G1) ήταν ίση με 1.76 MPa στις 60 ημέρες.

Επιπροσθέτως, επαληθεύεται η διαπιστωθείσα -βάσει της σχετικής βιβλιογραφίας- καλύτερη σχέση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  με την καμπτική (και άρα εφελκυστική) αντοχή, αντί της θλιπτικής αντοχής, των συνδετικών υλικών. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 168, όπου απεικονίζονται οι διαθέσιμες πειραματικές τιμές (της βιβλιογραφίας και της παρούσας εργασίας) της  $f_{bt}$  για όλες τις υπό εξέταση ηλικίες και διεπιφάνειες υποβάθρων/ενεμάτων ή κονιαμάτων συναρτήσεως της θλιπτικής αντοχής των πηγμάτων, προκύπτει πρακτικώς γραμμική σχέ-



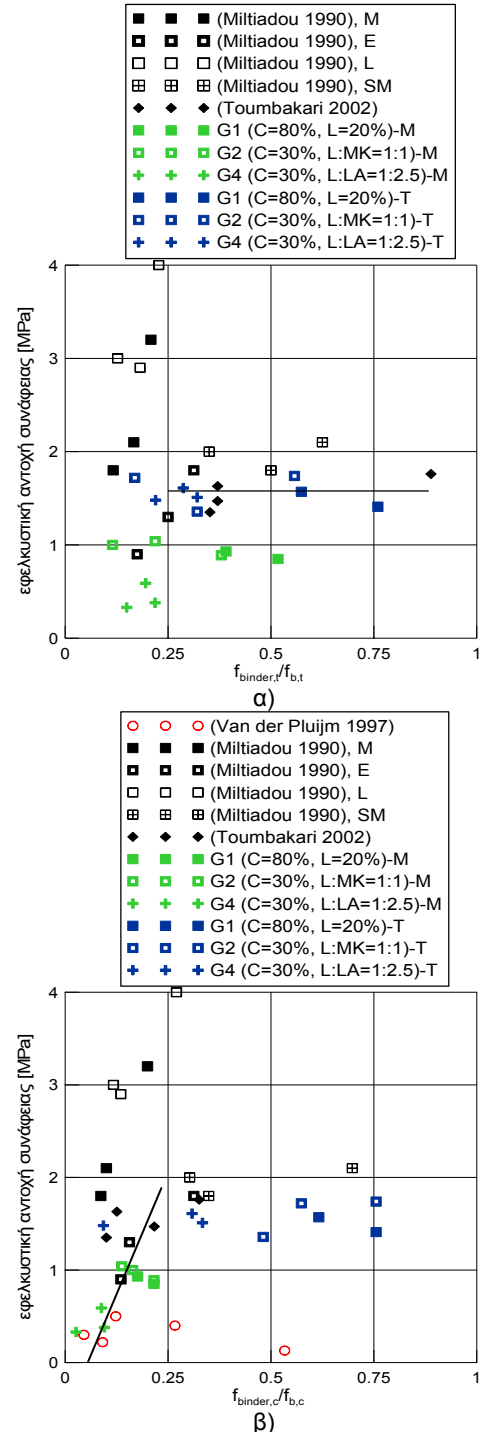
Εικόνα 168. Επιρροή της α) καμπτικής και β) θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.

ση των δύο μεγεθών για τιμές της θλιπτικής αντοχής έως ~20MPa. Αύξηση στις τιμές της  $f_{binder,c}$  δεν επιφέρει περαιτέρω αύξηση στην εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$ . Εξ άλλου, η μεγαλύτερη επίδραση της καμπτικής αντοχής στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας φαίνεται στην Εικόνα 168, ιδιαίτερα για τιμές της  $f_{binder,t}$  έως 2.5MPa. Ας επισημανθεί σε αυτό το σημείο ότι, η επίδραση των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών επέμβασης στην εφελκυστική αντοχή των διεπιφανειών, καθώς και η μέγιστη αναπτυχθείσα τιμή της  $f_{bt}$ , φαίνεται να καθορίζεται από τον εκάστοτε τύπο του υποβάθρου. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές στις Εικόνες 169, όπου συσχετίζεται η  $f_{bt}$  με την σχετική θλιπτική και καμπτική «αντοχή» πηγματος/υποβάθρου, αντιστοίχως. Έτσι, η επίδραση των σχετικών μηχανικών χαρακτηριστικών στην  $f_{bt}$  φαίνεται να περιορίζεται για τιμές των λόγων  $f_{binder,t}/f_{b,t}$  και  $f_{binder,c}/f_{b,c}$  έως ~0.25. Για μεγαλύτερες τιμές αυτών των λόγων, η εφελκυστική αντοχή  $f_{bt}$  πρακτικώς σταθεροποιείται σε μια τιμή. Αυτή η τιμή της  $f_{bt}$ , με εξαίρεση τις υψηλές τιμές της (Miltiadou 1990) για το υπόβαθρο E, μάλλον καθορίζεται από τον τύπο του υποβάθρου (φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά, επιφανειακή-φυσική τραχύτητα), αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες όπως οι συνθήκες συντήρησης (συστολή, ενανθράκωση). Έτσι, φαίνεται ότι σε υπόβαθρα με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά είναι δυνατή η επίτευξη τιμών εφελκυστικής αντοχής διεπιφάνειας της τάξης των 1.5 με 2.0 MPa. Αυτό είναι εφικτό, με την χρήση ενεμάτων με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά (όπως είναι οι τριμερείς συνθέσεις).

### 3.8.3.8 Συμπεράσματα

Στο παρόν τμήμα της Διατριβής, αποτιμήθηκε η επιτελεσματικότητα έναντι εφελκυσμού τριμερών ενεμάτων για δεδομένους τύπους υποβάθρων σε σύγκριση με ένα τσιμεντένεμα αναφοράς, το οποίο ικανοποιεί τα ίδια κριτήρια διεσδυτικότητας. Με βάση την παραπάνω προσέγγιση, σε εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- (1) Είναι δυνατή η ανάπτυξη τριμερών ενεμάτων υψηλής διεσδυτικότητας με την χρήση περιορισμένης ποσότητας τσιμέντου (30%-κ.β.) και διάφορων ποσοτήτων ασβέστη και ποζολάνης, τα οποία να παρουσιάζουν ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά και να είναι σε θέση να αναπτύξουν μεγάλη ποικιλία αντοχών.
- (2) Ως προς την εφελκυστική αντοχή διεπιφανειών μεταξύ ενεμάτων και υποβάθρων, τα τριμερή ενέματα που μελετήθηκαν μπορούν να αναπτύξουν εφελκυστική αντοχή



Εικόνα 169. Επίρροη του λόγου α)  $f_{binder,c}/f_{b,c}$  και β)  $f_{binder,t}/f_{b,t}$  στην εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας.

συγκρίσιμη με εκείνη των τσιμεντενεμάτων. Τούτο οφείλεται, κυρίως, στην βελτιωμένη δομή της διεπιφανειακής ζώνης και στην κατάλληλη μικροδομή των ενεμάτων. Εννοείται ότι άλλοι τύποι ενεμάτων ή τριμερή ενέματα με διαφορετική λογική σχεδιασμού από αυτήν που υιοθετήθηκε στην παρούσα εργασία, ενδέχεται να εμφανίσουν διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά.

- (3) Όπως αναμένετο, οι διάφορες συνθέσεις που μελετήθηκαν σε αυτήν την ενότητα, παρουσίασαν διαφορετική εν χρόνω συμπεριφορά: εν γένει, για την ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών με τις τριμερείς συνθέσεις απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα σε σχέση με την σύνθεση τσιμέντου-ασβέστη.
- (4) Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας, η οποία αναπτύσσεται από το ένεμα αναφοράς και τα τριμερή ενέματα (όπως αυτά μελετήθηκαν εδώ), ελέγχεται από τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου και, κυρίως, από την επιφανειακή μικροτραχύτητα και το πορώδες του. Εξ άλλου, η βελτιωμένη συμπεριφορά των διεπιφανειών των πιο πορωδών υποβάθρων αποδίδεται στην καλύτερη διείσδυση των ενεμάτων σε αυτά και στην επίτευξη καλύτερης μηχανικής αλληλεμπλοκής ενεμάτων και υποβάθρων και πρόσφυσης, η οποία αποδεικνύεται ανθεκτική στον χρόνο.
- (5) Η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας στις 28 ημέρες για το υπόβαθρο του μαρμάρου είναι συγκρίσιμη (περίπου 1 MPa) για τα ενέματα G1 και G2. Πρακτικώς, δεν παρατηρείται αύξηση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{bt}$  με τον χρόνο για αυτές τις συνθέσεις. Αντιθέτως, για το ένεμα G4 αναμένεται περαιτέρω αύξηση της αντοχής διεπιφάνειας εξαιτίας της ποζολανικής αντίδρασης, η οποία -όπως προέκυψε από τις παρατηρήσεις της μικροδομής- αναμένεται να εξελιχθεί και σε μεγαλύτερη ηλικία.
- (6) Υψηλότερες τιμές της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας (>1.50 MPa) παρατηρούνται για τα υπόβαθρα από τραβερτίνη. Εν χρόνω αύξηση της αντοχής  $f_{bt}$  εμφανίζεται για τα τριμερή ενέματα G2 και G4, η οποία προσεγγίζει τις τιμές 1.75 MPa και 1.65 MPa, αντιστοίχως στην ηλικία των 180 ημερών.
- (7) Η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/οπτοπλίνθου είναι μεγαλύτερη από 0.80 MPa.



### 3.8.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ

#### 3.8.4.1 Εισαγωγικά

Στην παρούσα ενότητα συνοψίζονται τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης για τις διάφορες παραμέτρους που εξετάστηκαν και αναδεικνύονται τα βασικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς έναντι διατμήσεως των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων υδραυλικών ενεμάτων και υπαρχόντων υλικών. Έτσι, αυτή η ενότητα ξεκινά με την παρουσίαση σε πινακοποιημένη μορφή (Πίνακες 24 έως 32) των αποτελεσμάτων των δοκιμών διατμήσεως ανά τύπο υποβάθρου (τύποι αστοχίας σύνθετων δοκιμίων, διατμητική αντοχή  $\tau_{u,f}$ , συντελεστής τριβής  $\mu_{u,f}$ , ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η  $\tau_{u,f}$  και το αντίστοιχο άνοιγμα ρωγμής, παραμένουσα διατμητική αντοχή  $\tau_{res,f}$ , παραμένων συντελεστής τριβής  $\mu_{res,f}$ ) και ορισμένων στατιστικών στοιχείων. Οι αντίστοιχες πειραματικές καμπύλες επισυνάπτονται σε ηλεκτρονική μορφή. Δεδομένης της υψηλής διασποράς των αποτελεσμάτων και προκειμένου να αναδειχθεί η επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων σε αυτά τα αποτελέσματα, στους Πίνακες 33 και 34 δίδονται οι μέσες τιμές των παραπάνω μεγεθών. Ας σημειωθεί ότι, ο Πίνακας 33 περιλαμβάνει τα στοιχεία για τις διεπιφάνειες ενεμάτων/υποβάθρων<sup>1</sup>, ενώ ο Πίνακας 34 αναφέρεται στα δοκίμια που αστόχησαν στο υπόβαθρο (μερικώς ή εξ ολοκλήρου). Έπειτα, περιγράφονται οι μορφές αστοχίας σε διάτμηση των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων και ορισμένες από τις τυπικές καμπύλες επιστρατευόμενης διατμητικής τάσης ( $\tau$ ) συναρτήσεως της επιβαλλόμενης ολίσθησης ( $s$ ) και της εγκάρσιας διόγκωσης ( $w$ ). Για την παρουσίαση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διάτμησης, ακολουθείται η ίδια λογική με εκείνη των δοκιμών του εφελκυσμού. Έτσι, με στόχο να αναδειχθεί η επιρροή των παραμέτρων που διερευνήθηκαν εδώ, τα σχετικά στοιχεία παρουσιάζονται και οι παρατηρηθείσες τάσεις ερμηνεύονται για κάθε παράμετρο ξεχωριστά. Σε ό,τι αφορά την περιγραφή των μακροσκοπικών παρατηρήσεων στον αρμό των ενεμάτων, αυτή επικεντρώνεται στα ενέματα υδραυλικής

<sup>1</sup> Τα μεγέθη των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων διεπιφάνειες ( $\tau_u$ ,  $s_u$  και  $w_u$ ) έχουν προκύψει μετά από επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων (βλ. Παράρτημα Ε). Αναφέρεται ότι, εν γένει, τα πειραματικά αποτελέσματα που αφορούν τα δοκίμια που αστόχησαν στην διεπιφάνεια δεν έχουν υποστεί τροποποιήσεις.

ασβέστου, καθώς για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις είναι αντίστοιχες με εκείνες των δοκιμών του εφελκυσμού. Τέλος, συγκρίνονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας με εκείνα της βιβλιογραφίας.

### 3.8.4.2 Αποτελέσματα Δοκιμών Διατμήσεως

Πίνακας 24. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από μάρμαρο Διονύσου (18 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	G4	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ	0.300	1.000	0.910	0.618	0.050	0.167
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Δ	0.340	1.130	0.489	0.040	0.160	0.533
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Δ	0.150	0.500	0.212	0.058	0.060	0.200
		<b>m</b>			<b>0.263</b>	<b>0.877</b>	<b>0.537</b>	<b>0.239</b>	<b>0.090</b>	<b>0.300</b>
		<b>σ</b>			<b>0.100</b>	<b>0.333</b>	<b>0.351</b>	<b>0.329</b>	<b>0.061</b>	<b>0.203</b>
		<b>cv</b>			<b>0.380</b>	<b>0.379</b>	<b>0.655</b>	<b>1.377</b>	<b>0.676</b>	<b>0.676</b>
28	G2	0.3	Δ1	Δ	1.290	4.300	1.231	0.988	0.230	0.767
			Δ2 <sup>(2)</sup>	Δ	0.910	3.030	0.974	0.786	0.350	1.167
			Δ3 <sup>(2)</sup>	Δ	0.420	1.400	0.519	0.042		
		<b>m</b>			<b>0.873</b>	<b>2.910</b>	<b>0.908</b>	<b>0.605</b>	<b>0.290</b>	<b>0.967</b>
		<b>σ</b>			<b>0.436</b>	<b>1.454</b>	<b>0.361</b>	<b>0.498</b>	<b>0.085</b>	<b>0.283</b>
		<b>cv</b>			<b>0.499</b>	<b>0.500</b>	<b>0.397</b>	<b>0.823</b>	<b>0.293</b>	<b>0.293</b>
28	G1	0.3	Δ1 <sup>(3), (4)</sup>	Δ	0.430	1.430	0.701	0.242	0.150	0.500
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	0.570	1.900	0.904	0.333	0.250	0.830
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.420	1.400	0.456	0.000	0.320	1.070
		<b>m</b>			<b>0.473</b>	<b>1.577</b>	<b>0.687</b>	<b>0.192</b>	<b>0.240</b>	<b>0.800</b>
		<b>σ</b>			<b>0.084</b>	<b>0.280</b>	<b>0.224</b>	<b>0.172</b>	<b>0.085</b>	<b>0.286</b>
		<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.178</b>	<b>0.327</b>	<b>0.898</b>	<b>0.356</b>	<b>0.358</b>
90	G4	0.3	Δ1	Δ	0.500	1.667	0.646	0.002	0.140	0.467
			Δ2	Δ	0.670	2.233	0.939	0.120	0.120	0.400
			Δ3	Δ	0.650	2.167	0.554	0.032	0.270	0.900
		<b>m</b>			<b>0.607</b>	<b>2.022</b>	<b>0.713</b>	<b>0.051</b>	<b>0.177</b>	<b>0.589</b>
		<b>σ</b>			<b>0.093</b>	<b>0.310</b>	<b>0.201</b>	<b>0.061</b>	<b>0.081</b>	<b>0.271</b>
		<b>cv</b>			<b>0.153</b>	<b>0.153</b>	<b>0.282</b>	<b>1.195</b>	<b>0.461</b>	<b>0.461</b>
90	G2	0.3	Δ1	Δ	0.520	1.733	0.705	0.095	0.260	0.867
			Δ2	Δ	0.640	2.133	0.767	0.056	0.360	1.200
			Δ3	Δ	0.470	1.567	0.607	0.110	0.320	1.067
		<b>m</b>			<b>0.543</b>	<b>1.811</b>	<b>0.693</b>	<b>0.087</b>	<b>0.313</b>	<b>1.044</b>
		<b>σ</b>			<b>0.087</b>	<b>0.291</b>	<b>0.081</b>	<b>0.028</b>	<b>0.050</b>	<b>0.168</b>
		<b>cv</b>			<b>0.161</b>	<b>0.161</b>	<b>0.116</b>	<b>0.320</b>	<b>0.161</b>	<b>0.161</b>
90	G1	0.3	Δ1	Δ	0.700	2.333	0.673	0.012		
			Δ2	Δ	0.670	2.233	0.812	0.119	0.120	0.400
			Δ3	Δ	0.450	1.500	0.650	0.040	0.230	0.767
		<b>m</b>			<b>0.607</b>	<b>2.022</b>	<b>0.712</b>	<b>0.057</b>	<b>0.175</b>	<b>0.583</b>
		<b>σ</b>			<b>0.137</b>	<b>0.455</b>	<b>0.088</b>	<b>0.055</b>	<b>0.078</b>	<b>0.259</b>
		<b>cv</b>			<b>0.225</b>	<b>0.225</b>	<b>0.123</b>	<b>0.973</b>	<b>0.444</b>	<b>0.444</b>

(1) εύθρυπτος αρμός ενέματος  
 (2) μη αποδεκτή δοκιμή  
 (3) έντονη απόμιξη τσιμεντενέματος  
 (4) μη επαρκής τράχυνση υποβάθρου

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 188

Πίνακας 25. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τεφρό ασβεστόλιθο (18 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL1	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ						
			Δ2	Δ	0.220	0.733	0.709	0.019	0.210	0.700
			Δ3	Δ	0.200	0.667	0.605		0.190	0.633
		<b>m</b>			<b>0.210</b>	<b>0.700</b>	<b>0.657</b>	<b>0.019</b>	<b>0.200</b>	<b>0.667</b>
		<b>σ</b>			<b>0.014</b>	<b>0.047</b>	<b>0.074</b>		<b>0.014</b>	<b>0.047</b>
	<b>cv</b>			<b>0.067</b>	<b>0.067</b>	<b>0.112</b>		<b>0.071</b>	<b>0.071</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL2	0.3	Δ1	Δ	0.350	1.167	0.834	0.140	0.220	0.733
			Δ2	Δ	0.290	0.967	0.361		0.240	0.800
			Δ3	Δ	0.330	1.100	1.009	0.001	0.250	0.833
		<b>m</b>			<b>0.323</b>	<b>1.078</b>	<b>0.735</b>	<b>0.071</b>	<b>0.237</b>	<b>0.789</b>
		<b>σ</b>			<b>0.031</b>	<b>0.102</b>	<b>0.335</b>	<b>0.098</b>	<b>0.015</b>	<b>0.051</b>
	<b>cv</b>			<b>0.094</b>	<b>0.094</b>	<b>0.456</b>	<b>1.394</b>	<b>0.065</b>	<b>0.065</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL3	0.3	Δ1	Δ	0.270	0.900	0.306	0.000	0.220	0.733
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Δ						
			Δ3	Δ	0.320	1.067	0.309	0.021	0.220	0.733
		<b>m</b>			<b>0.295</b>	<b>0.983</b>	<b>0.308</b>	<b>0.011</b>	<b>0.220</b>	<b>0.733</b>
		<b>σ</b>			<b>0.035</b>	<b>0.118</b>	<b>0.002</b>	<b>0.015</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
	<b>cv</b>			<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.007</b>	<b>1.414</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL1	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ						
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Δ						
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Δ						
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL2	0.3	Δ1	Δ	0.410	1.367	0.295		0.260	0.867
			Δ2	Δ	0.320	1.067	0.375		0.230	0.767
			Δ3	Δ	0.320	1.067	0.168		0.260	0.867
		<b>m</b>			<b>0.350</b>	<b>1.167</b>	<b>0.279</b>		<b>0.250</b>	<b>0.833</b>
		<b>σ</b>			<b>0.052</b>	<b>0.173</b>	<b>0.104</b>		<b>0.017</b>	<b>0.058</b>
	<b>cv</b>			<b>0.148</b>	<b>0.148</b>	<b>0.374</b>		<b>0.069</b>	<b>0.069</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL3	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ						
			Δ2	Δ	0.313	1.043	0.902		0.260	0.867
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Δ						
	<b>m</b>			<b>0.313</b>	<b>1.043</b>	<b>0.902</b>		<b>0.260</b>	<b>0.867</b>	

<sup>(1)</sup> το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης

Πίνακας 26. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-28 ημέρες (30 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
28	G4	0.1	Δ1 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.770	7.700	1.263	0.150	0.350	3.500		
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ+ (τΥ)	0.640	6.400	0.799	0.359	0.310	3.100		
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.560	5.600	0.788	0.002	0.340	3.400		
		<b>m</b>			<b>0.657</b>	<b>6.567</b>	<b>0.950</b>	<b>0.170</b>	<b>0.333</b>	<b>3.333</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.106</b>	<b>1.060</b>	<b>0.271</b>	<b>0.179</b>	<b>0.021</b>	<b>0.208</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.161</b>	<b>0.161</b>	<b>0.285</b>	<b>1.053</b>	<b>0.062</b>	<b>0.062</b>		
		0.3	Δ1 <sup>(2),(3)</sup>	Δ								
			Δ2 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.490	1.630	1.206	0.093	0.190	0.630		
			Δ3 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.410	1.370	0.459	0.019	0.180	0.600		
		<b>m</b>			<b>0.450</b>	<b>1.500</b>	<b>0.833</b>	<b>0.056</b>	<b>0.185</b>	<b>0.615</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.057</b>	<b>0.184</b>	<b>0.528</b>	<b>0.052</b>	<b>0.007</b>	<b>0.021</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.126</b>	<b>0.123</b>	<b>0.634</b>	<b>0.934</b>	<b>0.038</b>	<b>0.034</b>		
		0.6	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ	0.820	1.370	1.265	0.281	0.400	0.670		
			Δ2 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.870	1.450	1.188	0.063	0.400	0.670		
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.700	1.160	0.860	0.057	0.350	0.580		
		<b>m</b>			<b>0.797</b>	<b>1.327</b>	<b>1.104</b>	<b>0.134</b>	<b>0.383</b>	<b>0.640</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.087</b>	<b>0.150</b>	<b>0.215</b>	<b>0.128</b>	<b>0.029</b>	<b>0.052</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.110</b>	<b>0.113</b>	<b>0.195</b>	<b>0.955</b>	<b>0.075</b>	<b>0.081</b>		
		28	G2	0.1	Δ1 <sup>(3),(4)</sup>	Z	1.160	11.600	1.106	0.291	0.320	3.200
					Δ2 <sup>(3)</sup>	Z (τΥ)	1.920	19.200	1.323	0.252	-	-
	Δ3 <sup>(3)</sup>			Z	1.720	17.200	1.066	0.118	0.230	2.300		
<b>m</b>					<b>1.600</b>	<b>16.000</b>	<b>1.165</b>	<b>0.220</b>	<b>0.275</b>	<b>2.750</b>		
<b>σ</b>					<b>0.394</b>	<b>3.940</b>	<b>0.138</b>	<b>0.091</b>	<b>0.064</b>	<b>0.636</b>		
<b>cv</b>					<b>0.246</b>	<b>0.246</b>	<b>0.119</b>	<b>0.412</b>	<b>0.231</b>	<b>0.231</b>		
0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>			Δ	1.300	4.330	1.678	0.697	-	-		
	Δ2 <sup>(3)</sup>			Z	2.120	7.060	2.080	1.045	-	-		
	Δ3 <sup>(3),(5)</sup>			Z	1.040	3.470	1.374	0.546	0.170	0.570		
<b>m</b>					<b>1.487</b>	<b>4.953</b>	<b>1.711</b>	<b>0.763</b>	<b>0.170</b>	<b>0.570</b>		
<b>σ</b>					<b>0.564</b>	<b>1.874</b>	<b>0.354</b>	<b>0.256</b>				
<b>cv</b>					<b>0.379</b>	<b>0.378</b>	<b>0.207</b>	<b>0.336</b>				
0.6	Δ1 <sup>(5),(6)</sup>			Z	1.420	2.360	2.077	0.011	0.380	0.630		
	Δ2 <sup>(5),(6)</sup>			Z	0.840	1.400	0.980	0.230	0.350	0.580		
	Δ3 <sup>(3)</sup>			Z	2.590	4.310	1.871	1.131	-	-		
<b>m</b>					<b>1.617</b>	<b>2.690</b>	<b>1.643</b>	<b>0.457</b>	<b>0.365</b>	<b>0.605</b>		
<b>σ</b>					<b>0.891</b>	<b>1.483</b>	<b>0.583</b>	<b>0.594</b>	<b>0.021</b>	<b>0.035</b>		
<b>cv</b>					<b>0.551</b>	<b>0.551</b>	<b>0.355</b>	<b>1.298</b>	<b>0.058</b>	<b>0.058</b>		
28	G1			0.1	Δ1	ITZ	0.12					
					Δ2 <sup>(7)</sup>		>6.23					
			Δ3 <sup>(7)</sup>	ITZ	0.12							
		0.3	Δ1	Δ	1.410	4.700	1.602	0.814	0.250	0.830		
			Δ2 <sup>(7)</sup>	-	0.37	1.230						
			Δ3	Δ	0.800	2.670	1.051	0.536	0.470	1.570		
		<b>m</b>			<b>1.105</b>	<b>3.685</b>	<b>1.327</b>	<b>0.675</b>	<b>0.360</b>	<b>1.200</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.431</b>	<b>1.435</b>	<b>0.390</b>	<b>0.197</b>	<b>0.156</b>	<b>0.523</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.390</b>	<b>0.390</b>	<b>0.294</b>	<b>0.291</b>	<b>0.432</b>	<b>0.436</b>		
		0.6	Δ1	Δ (τΥ)	4.580	7.630	2.153	0.849				
			Δ2	Δ (τZ)	0.970	1.620	1.055	0.739	0.230	0.380		
			Δ3 <sup>(8)</sup>									
		<b>m</b>			<b>2.775</b>	<b>4.625</b>	<b>1.604</b>	<b>0.794</b>	<b>0.230</b>	<b>0.380</b>		
		<b>σ</b>			<b>2.553</b>	<b>4.250</b>	<b>0.776</b>	<b>0.078</b>				
		<b>cv</b>			<b>0.920</b>	<b>0.919</b>	<b>0.484</b>	<b>0.098</b>				
		28	HL	0.3	Δ1 <sup>(6)</sup>	Δ	0.540	1.800	1.005	0.050	0.210	0.700
					Δ2 <sup>(6)</sup>	Δ	0.450	1.500	0.552	0.016	0.180	0.600
					Δ3 <sup>(6)</sup>	Δ	0.530	1.770	0.895	0.239	0.210	0.700
				<b>m</b>			<b>0.507</b>	<b>1.690</b>	<b>0.817</b>	<b>0.102</b>	<b>0.200</b>	<b>0.667</b>
				<b>σ</b>			<b>0.049</b>	<b>0.165</b>	<b>0.236</b>	<b>0.120</b>	<b>0.017</b>	<b>0.058</b>
<b>cv</b>					<b>0.097</b>	<b>0.098</b>	<b>0.289</b>	<b>1.182</b>	<b>0.087</b>	<b>0.087</b>		

<sup>(1)</sup> ύπαρξη φυσαλίδων στον αρμό του ενέματος σε θέσεις πύρων του υποβάθρου  
<sup>(2)</sup> το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης  
<sup>(3)</sup> μηδενική ενανθράκωση  
<sup>(4)</sup> μικρορρηγμάτωση αρμού  
<sup>(5)</sup> μη επαρκής τράχυνση  
<sup>(6)</sup> ενανθράκωση ≤1mm  
<sup>(7)</sup> μη ομοιογενής σύσταση αρμού  
<sup>(8)</sup> μηδενική ορθή τάση

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 190

Πίνακας 27. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-90 ημέρες (30 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G4	0.1	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ+Υ	1.430	14.300	1.361	0.449	0.250	2.500	
			Δ2 <sup>(2)</sup>								
			Δ3	Δ	0.900	9.000	0.544	0.271	0.140	1.400	
		<b>m</b>			<b>1.165</b>	<b>11.650</b>	<b>0.953</b>	<b>0.360</b>	<b>0.195</b>	<b>1.950</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.375</b>	<b>3.748</b>	<b>0.578</b>	<b>0.126</b>	<b>0.078</b>	<b>0.778</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.322</b>	<b>0.322</b>	<b>0.607</b>	<b>0.350</b>	<b>0.399</b>	<b>0.399</b>	
		0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ+Ζ	0.850	2.860	0.985	0.485	0.130	0.433	
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	1.160	3.870	1.555	0.436	0.120	0.400	
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.920	3.070	1.052	0.556	0.180	0.600	
		<b>m</b>			<b>0.977</b>	<b>3.267</b>	<b>1.197</b>	<b>0.492</b>	<b>0.143</b>	<b>0.478</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.163</b>	<b>0.533</b>	<b>0.312</b>	<b>0.060</b>	<b>0.032</b>	<b>0.107</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.166</b>	<b>0.163</b>	<b>0.260</b>	<b>0.123</b>	<b>0.224</b>	<b>0.224</b>	
		0.6	Δ1	Δ	1.280	2.130	0.572	0.001	0.310	0.510	
			Δ2	Δ+Ζ	0.670	1.120	0.524	0.015	0.460	0.770	
			Δ3	Δ	1.010	1.680	0.703	0.002	0.100	0.170	
<b>m</b>			<b>0.987</b>	<b>1.643</b>	<b>0.600</b>	<b>0.006</b>	<b>0.290</b>	<b>0.483</b>			
<b>σ</b>			<b>0.306</b>	<b>0.506</b>	<b>0.093</b>	<b>0.008</b>	<b>0.181</b>	<b>0.301</b>			
<b>cv</b>			<b>0.310</b>	<b>0.308</b>	<b>0.155</b>	<b>1.302</b>	<b>0.624</b>	<b>0.623</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G2	0.1	Δ1 <sup>(4)</sup>	Z (Υ)	1.890	18.900	1.632	0.221	0.002		
			Δ2 <sup>(4)</sup>	Z (Υ)	3.000	30.000	2.247	0.122	0.002		
			Δ3 <sup>(4)</sup>	Z	3.050	30.500	1.683	0.004	0.002		
		<b>m</b>			<b>2.647</b>	<b>26.467</b>	<b>1.854</b>	<b>0.116</b>	<b>0.002</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.656</b>	<b>6.558</b>	<b>0.341</b>	<b>0.109</b>	<b>0.000</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.248</b>	<b>0.248</b>	<b>0.184</b>	<b>0.939</b>	<b>0.000</b>		
		0.3	Δ1 <sup>(5)</sup>	Δ (Υ)	0.980	3.270	1.205	0.523	-	-	
			Δ2 <sup>(5)</sup>	Δ (Ζ)	0.870	2.900	1.157	0.384	0.180	0.600	
			Δ3 <sup>(5)</sup>	Δ+Ζ	0.670	2.230	0.856	0.270	0.340	1.130	
		<b>m</b>			<b>0.840</b>	<b>2.800</b>	<b>1.073</b>	<b>0.392</b>	<b>0.260</b>	<b>0.865</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.157</b>	<b>0.527</b>	<b>0.189</b>	<b>0.127</b>	<b>0.113</b>	<b>0.375</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.187</b>	<b>0.188</b>	<b>0.176</b>	<b>0.323</b>	<b>0.435</b>	<b>0.433</b>	
		0.6	Δ1 <sup>(6)</sup>	Δ	0.940	1.570	0.748	0.047	0.510	0.850	
			Δ2 <sup>(7)</sup>	Δ (Υ)	1.130	1.880	0.805	0.212	0.470	0.780	
			Δ3 <sup>(7)</sup>	Δ+Ζ (Υ)	1.470	2.450	1.374	0.539	0.250	0.420	
<b>m</b>			<b>1.180</b>	<b>1.967</b>	<b>0.976</b>	<b>0.266</b>	<b>0.410</b>	<b>0.683</b>			
<b>σ</b>			<b>0.269</b>	<b>0.446</b>	<b>0.346</b>	<b>0.250</b>	<b>0.140</b>	<b>0.231</b>			
<b>cv</b>			<b>0.228</b>	<b>0.227</b>	<b>0.355</b>	<b>0.941</b>	<b>0.341</b>	<b>0.338</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G1	0.1	Δ1	Δ	0.550	5.500	0.649	0.184	0.400	4.000	
			Δ2	Δ (τΖ)	0.730	7.300	0.601	0.072	0.410	4.100	
			Δ3	Z	0.550	5.500	0.507	0.045	0.200	2.000	
		<b>m</b>			<b>0.610</b>	<b>6.100</b>	<b>0.586</b>	<b>0.100</b>	<b>0.337</b>	<b>3.367</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.104</b>	<b>1.039</b>	<b>0.072</b>	<b>0.074</b>	<b>0.118</b>	<b>1.185</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.170</b>	<b>0.170</b>	<b>0.123</b>	<b>0.735</b>	<b>0.352</b>	<b>0.352</b>	
		0.3	Δ1 <sup>(8)</sup>	Δ+Ζ	4.340	14.467	2.400	0.000	-	-	
			Δ2	Δ	0.570	1.900	0.758	0.660	0.310	1.030	
			Δ3	Z	0.580	1.933	0.556	0.891	0.200	0.670	
		<b>m</b>			<b>1.830</b>	<b>6.100</b>	<b>1.238</b>	<b>0.517</b>	<b>0.255</b>	<b>0.850</b>	
		<b>σ</b>			<b>2.174</b>	<b>7.246</b>	<b>1.011</b>	<b>0.462</b>	<b>0.078</b>	<b>0.255</b>	
		<b>cv</b>			<b>1.188</b>	<b>1.188</b>	<b>0.817</b>	<b>0.894</b>	<b>0.305</b>	<b>0.299</b>	
		0.6	Δ1	Δ+Ζ	1.470	2.450	1.455	0.480	0.330	0.550	
			Δ2	Δ	0.850	1.420	0.539	0.373	0.650	1.080	
			Δ3	Z	0.910	1.520	0.576	0.032	0.580	0.970	
<b>m</b>			<b>1.077</b>	<b>1.797</b>	<b>0.857</b>	<b>0.295</b>	<b>0.520</b>	<b>0.867</b>			
<b>σ</b>			<b>0.342</b>	<b>0.568</b>	<b>0.519</b>	<b>0.234</b>	<b>0.168</b>	<b>0.280</b>			
<b>cv</b>			<b>0.318</b>	<b>0.316</b>	<b>0.605</b>	<b>0.793</b>	<b>0.324</b>	<b>0.323</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	HL	0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ	0.510	1.700	0.336	0.003	0.240	0.800	
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	0.610	2.030	0.594	0.002	0.280	0.933	
			Δ3 <sup>(7)</sup>	Δ	0.560	1.870	0.599	0.085	0.210	0.700	
		<b>m</b>			<b>0.560</b>	<b>1.867</b>	<b>0.510</b>	<b>0.030</b>	<b>0.243</b>	<b>0.811</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.050</b>	<b>0.165</b>	<b>0.150</b>	<b>0.048</b>	<b>0.035</b>	<b>0.117</b>	
<b>cv</b>			<b>0.089</b>	<b>0.088</b>	<b>0.295</b>	<b>1.588</b>	<b>0.144</b>	<b>0.144</b>			

<sup>(1)</sup> εύθρυστος αρμός

<sup>(2)</sup> το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης

<sup>(3)</sup> ενανθράκωση ≤0.5mm

<sup>(4)</sup> μηδενική ενανθράκωση

<sup>(5)</sup> μικρορρηγμάτωση αρμού

<sup>(6)</sup> ενανθράκωση ≤10mm

<sup>(7)</sup> ενανθράκωση ≤1mm

<sup>(8)</sup> μη ομοιόμορφη σύσταση αρμού

Πίνακας 28. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-60 και 180 ημέρες (12 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
60	G4	0.3	Δ1 <sup>(2)</sup>	Δ	0.600	2.000	0.944	0.083	0.250	0.830	
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ (τZ)	0.690	2.300	0.676	0.404	-	-	
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Z	0.620	2.070	0.959	0.307	0.280	0.930	
			<b>m</b>			<b>0.637</b>	<b>2.123</b>	<b>0.860</b>	<b>0.265</b>	<b>0.265</b>	<b>0.880</b>
			<b>σ</b>			<b>0.047</b>	<b>0.157</b>	<b>0.159</b>	<b>0.165</b>	<b>0.021</b>	<b>0.071</b>
			<b>cv</b>			<b>0.074</b>	<b>0.074</b>	<b>0.185</b>	<b>0.622</b>	<b>0.080</b>	<b>0.080</b>
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
60	G2	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Z	2.260	7.530	1.739	0.063	-	-	
			Δ2	Z	1.370	4.570	1.368	0.569	-	-	
			Δ3	Z	1.350	<b>4.500</b>	1.383	0.418	-	-	
			<b>m</b>			<b>1.660</b>	<b>5.533</b>	<b>1.497</b>	<b>0.350</b>		
			<b>σ</b>			<b>0.520</b>	<b>1.730</b>	<b>0.210</b>	<b>0.260</b>		
			<b>cv</b>			<b>0.313</b>	<b>0.313</b>	<b>0.140</b>	<b>0.742</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
180	G4	0.3	Δ1 <sup>(4),(6)</sup>	Δ	0.560	1.870	0.548	0.002	0.230	0.770	
			Δ2 <sup>(5),(6)</sup>	Δ	0.660	2.200	0.404	0.043	0.290	0.970	
			Δ3 <sup>(5),(6)</sup>	Δ	0.730	2.430	0.839	0.261	0.240	0.800	
			<b>m</b>			<b>0.650</b>	<b>2.167</b>	<b>0.597</b>	<b>0.102</b>	<b>0.253</b>	<b>0.847</b>
			<b>σ</b>			<b>0.085</b>	<b>0.281</b>	<b>0.222</b>	<b>0.139</b>	<b>0.032</b>	<b>0.108</b>
			<b>cv</b>			<b>0.131</b>	<b>0.130</b>	<b>0.371</b>	<b>1.365</b>	<b>0.127</b>	<b>0.127</b>
180	G2	0.3	Δ1	Z (τY)	0.980	3.270	1.527	0.619	0.340	1.130	
			Δ2	Z (τY)	1.100	3.670	1.827	0.674	0.260	0.870	
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ+Z	0.500	1.670	0.709	0.103	0.280	0.930	
			<b>m</b>			<b>0.860</b>	<b>2.870</b>	<b>1.354</b>	<b>0.465</b>	<b>0.293</b>	<b>0.977</b>
			<b>σ</b>			<b>0.317</b>	<b>1.058</b>	<b>0.579</b>	<b>0.315</b>	<b>0.042</b>	<b>0.136</b>
			<b>cv</b>			<b>0.369</b>	<b>0.369</b>	<b>0.427</b>	<b>0.677</b>	<b>0.142</b>	<b>0.139</b>

(1) μικρότερο ύψος αρμού  
(2) ενανθράκωση ≤1mm  
(3) ενανθράκωση ≤2mm  
(4) ενανθράκωση ≤10mm  
(5) ενανθράκωση ≤4mm  
(6) εύθρυπτος αρμός

Πίνακας 29. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-28 ημέρες (9 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
28	HL1	0.3	Δ1	Δ	0.350	1.167	1.313	0.754	0.180	0.600	
			Δ2	Δ	0.230	0.767	0.666	0.291	0.120	0.400	
			Δ3	Δ	0.450	1.500	0.960	0.320	0.250	0.833	
			<b>m</b>			<b>0.343</b>	<b>1.144</b>	<b>0.980</b>	<b>0.455</b>	<b>0.183</b>	<b>0.611</b>
			<b>σ</b>			<b>0.110</b>	<b>0.367</b>	<b>0.324</b>	<b>0.259</b>	<b>0.065</b>	<b>0.217</b>
			<b>cv</b>			<b>0.321</b>	<b>0.321</b>	<b>0.331</b>	<b>0.570</b>	<b>0.355</b>	<b>0.355</b>
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
28	HL2	0.3	Δ1	Δ+Y	1.220	4.067	2.559	1.445	0.370	1.233	
			Δ2	Δ+Y	0.860	2.867	1.909	1.262	0.270	0.900	
			Δ3	Δ+Y	1.080	3.600	2.141	3.888	0.130	0.433	
			<b>m</b>			<b>1.053</b>	<b>3.511</b>	<b>2.203</b>	<b>2.198</b>	<b>0.257</b>	<b>0.856</b>
			<b>σ</b>			<b>0.181</b>	<b>0.605</b>	<b>0.329</b>	<b>1.466</b>	<b>0.121</b>	<b>0.402</b>
			<b>cv</b>			<b>0.172</b>	<b>0.172</b>	<b>0.150</b>	<b>0.667</b>	<b>0.470</b>	<b>0.470</b>
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
28	HL3	0.3	Δ1	Δ+Y	1.000	3.333	3.054	2.059	0.180	0.600	
			Δ2	Δ+Y	1.260	4.200	2.342	1.803	0.250	0.833	
			Δ3	Δ+Y	0.990	3.300	2.263	1.986	0.150	0.500	
			<b>m</b>			<b>1.083</b>	<b>3.611</b>	<b>2.553</b>	<b>1.949</b>	<b>0.193</b>	<b>0.644</b>
			<b>σ</b>			<b>0.153</b>	<b>0.510</b>	<b>0.436</b>	<b>0.132</b>	<b>0.051</b>	<b>0.171</b>
			<b>cv</b>			<b>0.141</b>	<b>0.141</b>	<b>0.171</b>	<b>0.068</b>	<b>0.265</b>	<b>0.265</b>

Πίνακας 30. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από φαμμίτη-90 και 180 ημέρες (24 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	HL1	0.3	Δ1	Δ+Υ	0.800	2.667	1.406	0.130	0.230	0.767
			Δ2	Δ+Υ	1.100	3.667	1.800	0.588	0.300	1.000
			Δ3	Δ+Υ	0.910	3.033	1.950	0.708	0.160	0.533
		<b>m</b>			<b>0.937</b>	<b>3.122</b>	<b>1.719</b>	<b>0.475</b>	<b>0.230</b>	<b>0.767</b>
		<b>σ</b>			<b>0.152</b>	<b>0.506</b>	<b>0.281</b>	<b>0.305</b>	<b>0.070</b>	<b>0.233</b>
		<b>cv</b>			<b>0.162</b>	<b>0.162</b>	<b>0.163</b>	<b>0.642</b>	<b>0.304</b>	<b>0.304</b>
		0.6	Δ1	Δ+Υ	0.700	1.167	1.106	0.001	0.360	0.600
			Δ2	Δ(+Υ)	0.640	1.067	0.467	0.017	0.300	0.500
		<b>m</b>			<b>0.670</b>	<b>1.117</b>	<b>0.787</b>	<b>0.009</b>	<b>0.330</b>	<b>0.550</b>
		<b>σ</b>			<b>0.042</b>	<b>0.071</b>	<b>0.452</b>	<b>0.011</b>	<b>0.042</b>	<b>0.071</b>
<b>cv</b>			<b>0.063</b>	<b>0.063</b>	<b>0.574</b>	<b>1.257</b>	<b>0.129</b>	<b>0.129</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	HL2	0.3	Δ1	Υ	1.390	4.633	2.078	0.872	0.180	0.600
			Δ2	Υ	1.470	4.900	2.512	0.969	0.300	1.000
			Δ3	Υ	1.160	3.867	1.979	0.990	0.500	1.667
		<b>m</b>			<b>1.340</b>	<b>4.467</b>	<b>2.190</b>	<b>0.944</b>	<b>0.327</b>	<b>1.089</b>
		<b>σ</b>			<b>0.161</b>	<b>0.536</b>	<b>0.284</b>	<b>0.063</b>	<b>0.162</b>	<b>0.539</b>
		<b>cv</b>			<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.129</b>	<b>0.067</b>	<b>0.495</b>	<b>0.495</b>
		0.6	Δ1	Υ	1.220	2.033	2.211	1.443	0.120	0.200
			Δ2	Υ	1.314	2.190	2.315	0.279	0.350	0.583
		<b>m</b>			<b>1.267</b>	<b>2.112</b>	<b>2.263</b>	<b>0.861</b>	<b>0.235</b>	<b>0.392</b>
		<b>σ</b>			<b>0.066</b>	<b>0.111</b>	<b>0.074</b>	<b>0.823</b>	<b>0.163</b>	<b>0.271</b>
<b>cv</b>			<b>0.052</b>	<b>0.052</b>	<b>0.032</b>	<b>0.956</b>	<b>0.692</b>	<b>0.692</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	HL3	0.3	Δ1	Υ	1.270	4.233	2.397	0.000	0.220	0.733
			Δ2	Υ	1.450	4.833	1.958	0.823	0.120	0.400
			Δ3	Υ	1.480	4.933	2.206	0.003	0.140	0.467
		<b>m</b>			<b>1.400</b>	<b>4.667</b>	<b>2.187</b>	<b>0.275</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>
		<b>σ</b>			<b>0.114</b>	<b>0.379</b>	<b>0.220</b>	<b>0.474</b>	<b>0.053</b>	<b>0.176</b>
		<b>cv</b>			<b>0.081</b>	<b>0.081</b>	<b>0.101</b>	<b>1.723</b>	<b>0.331</b>	<b>0.331</b>
		0.6	Δ1	Υ	1.350	2.250	2.027	1.291	0.180	0.300
			Δ2	Υ	1.230	2.050	2.026	1.229	0.170	0.283
		<b>m</b>			<b>1.290</b>	<b>2.150</b>	<b>2.027</b>	<b>1.260</b>	<b>0.175</b>	<b>0.292</b>
		<b>σ</b>			<b>0.085</b>	<b>0.141</b>	<b>0.001</b>	<b>0.044</b>	<b>0.007</b>	<b>0.012</b>
<b>cv</b>			<b>0.066</b>	<b>0.066</b>	<b>0.000</b>	<b>0.035</b>	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL1	0.3	Δ1	Δ	0.370	1.233	1.094		0.160	0.533
			Δ2	Δ	0.450	1.500	0.923	0.194	0.160	0.533
			Δ3	Δ	0.500	1.667	1.319	0.954	0.160	0.533
		<b>m</b>			<b>0.440</b>	<b>1.467</b>	<b>1.112</b>	<b>0.574</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>
		<b>σ</b>			<b>0.066</b>	<b>0.219</b>	<b>0.199</b>	<b>0.537</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>cv</b>			<b>0.149</b>	<b>0.149</b>	<b>0.179</b>	<b>0.936</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL2	0.3	Δ1	Υ	1.570	5.233	2.481		0.320	1.067
			Δ2	Υ	1.630	5.433	2.299		0.280	0.933
			Δ3	Υ	1.490	4.967	2.173		0.330	1.100
		<b>m</b>			<b>1.563</b>	<b>5.211</b>	<b>2.318</b>		<b>0.310</b>	<b>1.033</b>
		<b>σ</b>			<b>0.070</b>	<b>0.234</b>	<b>0.155</b>		<b>0.026</b>	<b>0.088</b>
<b>cv</b>			<b>0.045</b>	<b>0.045</b>	<b>0.067</b>		<b>0.085</b>	<b>0.085</b>		
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	HL3	0.3	Δ1	Υ	1.440	4.800	2.557	1.157	0.190	0.633
			Δ2	Υ	1.380	4.600	3.292	4.051	0.200	0.667
			Δ3	Δ+Υ	1.020	3.400	1.865	1.197	0.290	0.967
		<b>m</b>			<b>1.280</b>	<b>4.267</b>	<b>2.571</b>	<b>2.135</b>	<b>0.227</b>	<b>0.756</b>
		<b>σ</b>			<b>0.227</b>	<b>0.757</b>	<b>0.714</b>	<b>1.659</b>	<b>0.055</b>	<b>0.184</b>
<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.177</b>	<b>0.278</b>	<b>0.777</b>	<b>0.243</b>	<b>0.243</b>		

Πίνακας 31. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα (39 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>				
28	G2	0.1	Δ1	Y	2.310	23.100	2.698	0.093	0.100	1.000				
			Δ2	Y	1.980	19.800	2.895	0.258	0.440	4.400				
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Y	1.650	16.500	2.552	0.263	0.040	0.400				
		m		<b>1.980</b>	<b>19.800</b>	<b>2.715</b>	<b>0.205</b>	<b>0.193</b>	<b>1.933</b>					
		σ		<b>0.330</b>	<b>3.300</b>	<b>0.172</b>	<b>0.097</b>	<b>0.216</b>	<b>2.157</b>					
		cv		<b>0.167</b>	<b>0.167</b>	<b>0.063</b>	<b>0.473</b>	<b>1.116</b>	<b>1.116</b>					
		0.3	Δ1 <sup>(4)</sup>	Y	1.510	5.030	2.546	0.795						
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Y	1.250	4.170	1.847	0.201						
			Δ3	Y	1.070	3.560	2.552	1.159						
		m		<b>1.277</b>	<b>4.253</b>	<b>2.315</b>	<b>0.718</b>							
		σ		<b>0.221</b>	<b>0.739</b>	<b>0.405</b>	<b>0.484</b>							
		cv		<b>0.173</b>	<b>0.174</b>	<b>0.175</b>	<b>0.673</b>							
		0.6	Δ1	Y	1.370	2.280	3.145	1.296						
			Δ2	Y	1.150	1.920	1.747	0.717						
			Δ3 <sup>(4)</sup>	Y	1.060	1.770	2.151	1.153	0.420					
m		<b>1.193</b>	<b>1.990</b>	<b>2.348</b>	<b>1.055</b>	<b>0.420</b>								
σ		<b>0.159</b>	<b>0.262</b>	<b>0.719</b>	<b>0.302</b>									
cv		<b>0.134</b>	<b>0.132</b>	<b>0.306</b>	<b>0.286</b>									
28	G1	0.1	Δ1	Y+Δ	0.540	5.400	1.792	0.392	0.140	1.400				
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.700	17.000	3.441	0.679	0.620	6.200				
			Δ3	Y+Δ	0.740	7.400	1.896	0.453						
		m		<b>0.993</b>	<b>9.933</b>	<b>2.376</b>	<b>0.508</b>	<b>0.380</b>	<b>3.800</b>					
		σ		<b>0.620</b>	<b>6.201</b>	<b>0.923</b>	<b>0.151</b>	<b>0.339</b>	<b>3.394</b>					
		cv		<b>0.624</b>	<b>0.624</b>	<b>0.389</b>	<b>0.298</b>	<b>0.893</b>	<b>0.893</b>					
		0.3	Δ1	Y	0.370	1.233	0.558	0.001						
			Δ2	Y	0.390	1.300	1.280	0.062	0.200	0.667				
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Y	1.420	4.733	1.503	0.037	0.210	0.700				
		m		<b>0.727</b>	<b>2.422</b>	<b>1.114</b>	<b>0.033</b>	<b>0.205</b>	<b>0.683</b>					
		σ		<b>0.601</b>	<b>2.002</b>	<b>0.494</b>	<b>0.031</b>	<b>0.007</b>	<b>0.024</b>					
		cv		<b>0.826</b>	<b>0.826</b>	<b>0.444</b>	<b>0.920</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>					
		60	G4	0.3	Δ1	Y	1.490	4.970	3.508	1.180	0.940	3.133		
					Δ2	Y	0.970	3.230	3.106	1.282	0.370	1.233		
					Δ3	Y	1.450	4.830	2.499	0.928	0.080	0.267		
m				<b>1.303</b>	<b>4.343</b>	<b>3.038</b>	<b>1.130</b>	<b>0.463</b>	<b>1.544</b>					
σ				<b>0.289</b>	<b>0.967</b>	<b>0.508</b>	<b>0.182</b>	<b>0.438</b>	<b>1.458</b>					
cv				<b>0.222</b>	<b>0.223</b>	<b>0.167</b>	<b>0.161</b>	<b>0.944</b>	<b>0.944</b>					
60	G2			0.3	Δ1	Y	1.510	5.030	3.589	0.004	0.180	0.600		
					Δ2	Y	1.760	5.870	3.053	0.679	-	-		
					Δ3	Y	1.770	5.900	2.874	0.470	0.060	0.200		
				m		<b>1.680</b>	<b>5.600</b>	<b>3.172</b>	<b>0.384</b>	<b>0.120</b>	<b>0.400</b>			
				σ		<b>0.147</b>	<b>0.494</b>	<b>0.372</b>	<b>0.346</b>	<b>0.085</b>	<b>0.283</b>			
				cv		<b>0.088</b>	<b>0.088</b>	<b>0.117</b>	<b>0.899</b>	<b>0.707</b>	<b>0.707</b>			
				90	G4	0.3	Δ1 <sup>(2)</sup>	Y	1.290	4.300	1.844	0.978	0.180	0.600
							Δ2 <sup>(4)</sup>	-						
							Δ3 <sup>(2)</sup>	Y	1.490	4.970	1.921	0.169	0.170	0.567
		m				<b>1.390</b>	<b>4.635</b>	<b>1.883</b>	<b>0.574</b>	<b>0.175</b>	<b>0.583</b>			
		σ				<b>0.141</b>	<b>0.474</b>	<b>0.054</b>	<b>0.572</b>	<b>0.007</b>	<b>0.024</b>			
		cv				<b>0.102</b>	<b>0.102</b>	<b>0.029</b>	<b>0.997</b>	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>			
		90	G1			0.1	Δ1 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.580	15.800	3.908	1.685	-	-
							Δ2 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.250	12.500	2.112	0.239	0.500	
							Δ3 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.740	17.400	2.997	-	0.050	
m						<b>1.523</b>	<b>15.233</b>	<b>3.006</b>	<b>0.962</b>	<b>0.275</b>				
σ						<b>0.250</b>	<b>2.499</b>	<b>0.898</b>	<b>1.022</b>	<b>0.318</b>				
cv						<b>0.164</b>	<b>0.164</b>	<b>0.299</b>	<b>1.063</b>	<b>1.157</b>				
0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>					Y+Δ	1.090	3.630	2.586	0.454	0.040			
	Δ2 <sup>(3)</sup>					Y+Δ	1.310	4.370	2.580	1.044	0.050			
	Δ3 <sup>(3), (4)</sup>					Y+Δ	1.070	3.570	2.113	0.007	0.290			
m				<b>1.157</b>	<b>3.857</b>	<b>2.426</b>	<b>0.502</b>	<b>0.127</b>						
σ				<b>0.133</b>	<b>0.446</b>	<b>0.271</b>	<b>0.520</b>	<b>0.142</b>						
cv				<b>0.115</b>	<b>0.116</b>	<b>0.112</b>	<b>1.037</b>	<b>1.117</b>						
180	G4			0.1	1	Y	2.410	24.100	1.453	0.016	0.620	6.200		
					2	Y	1.770	17.700	1.499	0.366				
					3	Y	1.910	19.100	2.001	0.150	0.250	2.500		
		m		<b>2.030</b>	<b>20.300</b>	<b>1.651</b>	<b>0.177</b>	<b>0.435</b>	<b>4.350</b>					
		σ		<b>0.336</b>	<b>3.365</b>	<b>0.304</b>	<b>0.177</b>	<b>0.262</b>	<b>2.616</b>					
		cv		<b>0.166</b>	<b>0.166</b>	<b>0.184</b>	<b>0.996</b>	<b>0.601</b>	<b>0.601</b>					
		0.3	1	Y	1.690	5.630	3.749	0.003	0.130	0.433				
			2	Y	1.380	4.600	4.302	0.001	0.160	0.533				
			3	Y	1.910	6.370	2.755	0.808						
		m		<b>1.660</b>	<b>5.533</b>	<b>3.602</b>	<b>0.271</b>	<b>0.145</b>	<b>0.483</b>					
		σ		<b>0.266</b>	<b>0.889</b>	<b>0.784</b>	<b>0.465</b>	<b>0.021</b>	<b>0.071</b>					
		cv		<b>0.160</b>	<b>0.161</b>	<b>0.218</b>	<b>1.719</b>	<b>0.146</b>	<b>0.146</b>					
		0.6	1	Y	1.310	2.183	2.063	0.040	0.650	1.083				
			2	Y	1.890	3.150	2.599	2.047	0.140	0.233				
			3	Y	1.510	2.517	3.273	1.561	0.210	0.350				
m		<b>1.570</b>	<b>2.617</b>	<b>2.645</b>	<b>1.216</b>	<b>0.333</b>	<b>0.556</b>							
σ		<b>0.295</b>	<b>0.491</b>	<b>0.606</b>	<b>1.047</b>	<b>0.276</b>	<b>0.461</b>							
cv		<b>0.188</b>	<b>0.188</b>	<b>0.229</b>	<b>0.861</b>	<b>0.829</b>	<b>0.829</b>							

(1) παρουσία πόρων στο υπόβαθρο  
 (2) συντήρηση δοκιμών εκτός υγρού θαλάμου  
 (3) η αστοχία «Δ» παρουσιάζεται στην περιοχή του ταυμενένεματος που είναι πλούσια σε ασβέστη  
 (4) το δοκίμιο δεν εξετάστηκε καθώς ήταν μη ορθογωνισμένο



Πίνακας 32. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Β και ενέματα υδραυλικής ασβέστου (18 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
28	HL1	0.3	Δ1	Z	0.520	1.733	1.424	1.167	0.180	0.600		
			Δ2	ITZ	0.450	1.500	0.585	0.258	0.160	0.533		
			Δ3	Z	0.440	1.467	1.537	0.998	0.120	0.400		
		<b>m</b>			<b>0.470</b>	<b>1.567</b>	<b>1.182</b>	<b>0.808</b>	<b>0.153</b>	<b>0.511</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.044</b>	<b>0.145</b>	<b>0.520</b>	<b>0.483</b>	<b>0.031</b>	<b>0.102</b>		
	<b>cv</b>			<b>0.093</b>	<b>0.093</b>	<b>0.440</b>	<b>0.599</b>	<b>0.199</b>	<b>0.199</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
		28	HL2	0.3	Δ1	Z	1.150	3.833	2.381	1.137	0.190	0.633
				Δ2	ITZ	0.320	1.067	0.494	0.000	0.190	0.633	
				Δ3	ITZ	0.620	2.067	0.868	0.377	0.140	0.467	
		<b>m</b>			<b>0.697</b>	<b>2.322</b>	<b>1.248</b>	<b>0.505</b>	<b>0.173</b>	<b>0.578</b>		
<b>σ</b>			<b>0.420</b>	<b>1.401</b>	<b>0.999</b>	<b>0.579</b>	<b>0.029</b>	<b>0.096</b>				
	<b>cv</b>			<b>0.603</b>	<b>0.603</b>	<b>0.801</b>	<b>1.148</b>	<b>0.167</b>	<b>0.167</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
		28	HL3	0.3	Δ1	Y+Δ	1.200	4.000	2.092	1.614	0.150	0.500
				Δ2	Y+Δ	1.290	4.300	1.914	1.043	0.180	0.600	
				Δ3	Y+Δ	1.270	4.233	2.067	2.012	0.170	0.567	
		<b>m</b>			<b>1.253</b>	<b>4.178</b>	<b>2.024</b>	<b>1.556</b>	<b>0.167</b>	<b>0.556</b>		
<b>σ</b>			<b>0.047</b>	<b>0.158</b>	<b>0.096</b>	<b>0.487</b>	<b>0.015</b>	<b>0.051</b>				
	<b>cv</b>			<b>0.038</b>	<b>0.038</b>	<b>0.048</b>	<b>0.313</b>	<b>0.092</b>	<b>0.092</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
		180	HL1	0.3	Δ1	Z	0.520	1.733	1.325	0.337	0.200	0.667
				Δ2	ITZ	0.260	0.867	0.370	0.009	0.180	0.600	
				Δ3	ITZ	0.240	0.800	0.227	0.026	0.150	0.500	
		<b>m</b>			<b>0.340</b>	<b>1.133</b>	<b>0.641</b>	<b>0.124</b>	<b>0.177</b>	<b>0.589</b>		
<b>σ</b>			<b>0.156</b>	<b>0.521</b>	<b>0.597</b>	<b>0.185</b>	<b>0.025</b>	<b>0.084</b>				
	<b>cv</b>			<b>0.459</b>	<b>0.459</b>	<b>0.932</b>	<b>1.489</b>	<b>0.142</b>	<b>0.142</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
		180	HL2	0.3	Δ1	Z	0.400	1.333	0.828	0.468	0.220	0.733
				Δ2	ITZ	0.550	1.833	0.759	0.499	0.160	0.533	
				Δ3	Z	0.820	2.733	1.470	1.006	0.100	0.333	
		<b>m</b>			<b>0.590</b>	<b>1.967</b>	<b>1.019</b>	<b>0.658</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>		
<b>σ</b>			<b>0.213</b>	<b>0.709</b>	<b>0.392</b>	<b>0.302</b>	<b>0.060</b>	<b>0.200</b>				
	<b>cv</b>			<b>0.361</b>	<b>0.361</b>	<b>0.385</b>	<b>0.459</b>	<b>0.375</b>	<b>0.375</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
		180	HL3	0.3	Δ1	ITZ	0.400	1.333	0.531	0.164	0.140	0.467
				Δ2	Δ+Y	1.320	4.400	2.116	1.140	0.190	0.633	
				Δ3	Z	0.630	2.100	1.063	0.390	0.170	0.567	
		<b>m</b>			<b>0.783</b>	<b>2.611</b>	<b>1.237</b>	<b>0.565</b>	<b>0.167</b>	<b>0.556</b>		
<b>σ</b>			<b>0.479</b>	<b>1.596</b>	<b>0.807</b>	<b>0.511</b>	<b>0.025</b>	<b>0.084</b>				
	<b>cv</b>			<b>0.611</b>	<b>0.611</b>	<b>0.652</b>	<b>0.905</b>	<b>0.151</b>	<b>0.151</b>			

Πίνακας 33. Διεπιφάνειες υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας: Αποτελέσματα πειραμάτων διάτμησης (μέσες τιμές συνήθως δύο ή τριών δοκιμών ανά συνδυασμό παραμέτρων).

ηλικία [ημέρες]	κωδικός υποβόθρου	κωδικός ενέματος	πλήθος δοκιμών			τ <sub>u</sub> [MPa]			μ <sub>u</sub>			s <sub>u</sub> [mm]			w <sub>u</sub> [mm]			
			σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	
28	M	G1	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.47			1.57			0.687			0.288					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.82			2.73			0.908			0.466					
	T	G4	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.26			0.87			0.537			0.238					
			2 <sup>ΔΔΔ</sup>	1.00	1.14	1.90	3.33	1.274	1.031	0.644	0.610							
		G2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	1.05	1.10	1.12	10.50	0.926	1.316	0.161	0.725	0.476						
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.66	0.45	0.80	6.60	0.950	1.104	0.250	0.056	0.134						
	OA	G1	1 <sup>ΔΔ</sup>	1.03	1.10		10.3	2.179	1.003	0.434	0.036							
			3 <sup>SSS</sup>	0.76	0.88	0.89	7.60	1.751	1.929	0.227	0.680	1.018						
	60	TA	HL1	2 <sup>ΔΔ</sup>	0.21			0.70			0.590			0.010				
				3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.32			1.07			0.623			0.046				
ψ		HL3	2 <sup>ΔΔ</sup>	0.30			1.00			0.308			0.021					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.36			1.20			0.956			0.441					
		HL2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.45			1.50			1.293			0.767					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.44			1.47			0.958			0.464					
OB		HL1	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.47			1.47			1.182			0.808					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.29			0.97			0.833			0.388					
T		G2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.48			1.60			1.212			0.559					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	1.37			4.56			1.390			0.494					
OA	G4	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.64			2.13			0.860			0.265						
		3 <sup>SSS</sup>	1.00			3.33			1.723			0.167						
	G4	3 <sup>SSS</sup>	0.98			3.27			2.681			1.053						
		3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.61			2.03			0.712			0.057						
90	M	G2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.54			1.80			0.693			0.087					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.50			1.67			0.642			0.002					
	T	G1	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.61			6.10			0.586			0.100					
			2 <sup>ΔΔ</sup>	0.70	0.88	1.47	2.33	1.47	0.558	0.776	0.036							
		G2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.99	1.14	1.90	3.10	1.90	1.020	1.181	0.919	0.210						
			2 <sup>ΔΔ</sup>	1.02	0.98	1.15	10.20	3.27	1.90	0.842	1.197	0.638	0.307	0.492	0.001			
	OA	G1	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.56			1.87			0.510			0.030					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.92			3.05			1.858	2.081		0.244	0.719				
	180	OA	G4	3 <sup>SSS</sup>	1.03			3.44			1.705			0.574				
				3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.53	0.67	1.12	1.77	1.12	0.925	0.787	0.295	0.009					
ψ		HL1	3 <sup>SSS</sup>	0.50	0.80	1.33	1.67	1.33	1.030	1.229	0.359							
			2 <sup>SS</sup>	0.54	0.83	1.38	1.80	1.38	1.031	1.284	0.221	0.686						
		G2	2 <sup>ΔΔ</sup>	1.04			3.47			1.667			0.647					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.65			2.17			0.630			0.128					
OA		G4	2 <sup>SSS</sup>	0.73	0.88	1.04	7.3	2.93	1.73	1.805	2.034	0.182	0.876					
			3 <sup>SSS</sup>	0.88			9.70	3.05		1.858	2.081		0.244	0.719				
TA		HL1	0	0.34			1.13			0.259			0.009					
			3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.31			1.03			0.313			0.574					
	ψ	HL3	1 <sup>Δ</sup>	0.44			1.47			1.112			0.574					
			3 <sup>SSS</sup>	0.61			2.03			0.918			0.444					
OB	HL3	3 <sup>SSS</sup>	0.46			1.53			1.070			0.444						
		3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.36			1.13			0.645			0.124						
	HL2	3 <sup>ΔΔΔ</sup>	0.59			1.97			1.019			0.658						
		2 <sup>ΔΔ</sup>	0.52			1.76			0.797			0.277						

(\*) μη αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα  
 (\*\*) μη διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα

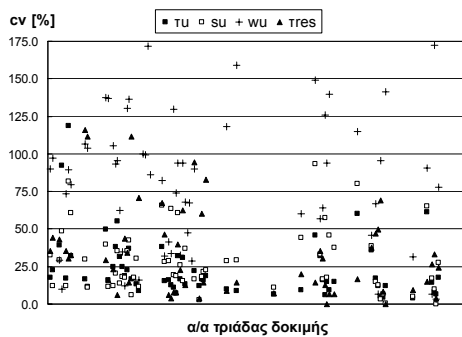
Πίνακας 34. Σύνθετα δοκίμια υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας: Αποτελέσματα πειραμάτων διάτμησης (μέσες τιμές ανά συνδυασμό παραμέτρων).

ηλικία [ημέρες]	κωδικός υποβάθρου	κωδικός ενέματος	πλήθος δοκίμων			T <sub>u,f</sub> [MPa]			μ <sub>u,f</sub>			s <sub>u,f</sub> [mm]			w <sub>u,f</sub> [mm]		
			σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa	σ=0.1 MPa	σ=0.3 MPa	σ=0.6 MPa
28	OA	G1	1 <sup>AS</sup>	1.70	1.42	1.19	17.00	4.73	3.441	1.503	2.315	2.348	0.679	0.037			
		G2	3 <sup>SSS</sup>	1.98	1.28	1.19	19.80	4.25	2.715	2.315	2.348	2.025	0.718	1.055			
	ψ	HL2	3 <sup>AS/AS/AS</sup>		1.05		1.50			2.203				2.198			
		HL3	3 <sup>AS/AS/AS</sup>		1.08		3.51			2.553				1.949			
60	OB	HL3	3 <sup>AS/AS/AS</sup>	1.25			4.18			2.024				1.556			
		G2	3 <sup>SSS</sup>	1.68			5.60			3.172				0.384			
	OA	G4	3 <sup>SSS</sup>	1.30			4.34			3.038				1.130			
		G1	3 <sup>AS/AS/AS</sup>	1.52	1.16		15.20	3.86	2.672	2.426		0.252	0.502				
90	OA	G4	2 <sup>SS</sup>	1.39			4.64			1.883				0.574			
		HL1	3 <sup>AS/AS/AS</sup>	0.94	0.67		3.12	1.12		1.719	0.787			0.475	0.009		
	ψ	HL2	3 <sup>SSS</sup>	1.34	1.27		4.47	2.11		2.190	2.263			0.944	0.861		
		HL3	3 <sup>SSS</sup>	1.40	1.29		4.67	2.15		2.187	2.027			0.275	1.260		
180	OA	G4	3 <sup>SSS</sup>	1.84	1.57		20.30	5.53	1.651	2.601	2.645		0.177	1.216			
		HL2	3 <sup>SSS</sup>	1.56			5.21			2.318				(**)			
	ψ	HL3	3 <sup>SS/AS</sup>	1.28			4.27			2.517				2.135			
		OB	1 <sup>S</sup>	1.32			4.40			2.116				1.140			

(\*) μη αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα

(\*\*) μη διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα

### 3.8.4.1 Στατιστική Επεξεργασία Πειραματικών Αποτελεσμάτων Δοκιμών Διατμήσεως: Συντελεστής Μεταβλητότητας



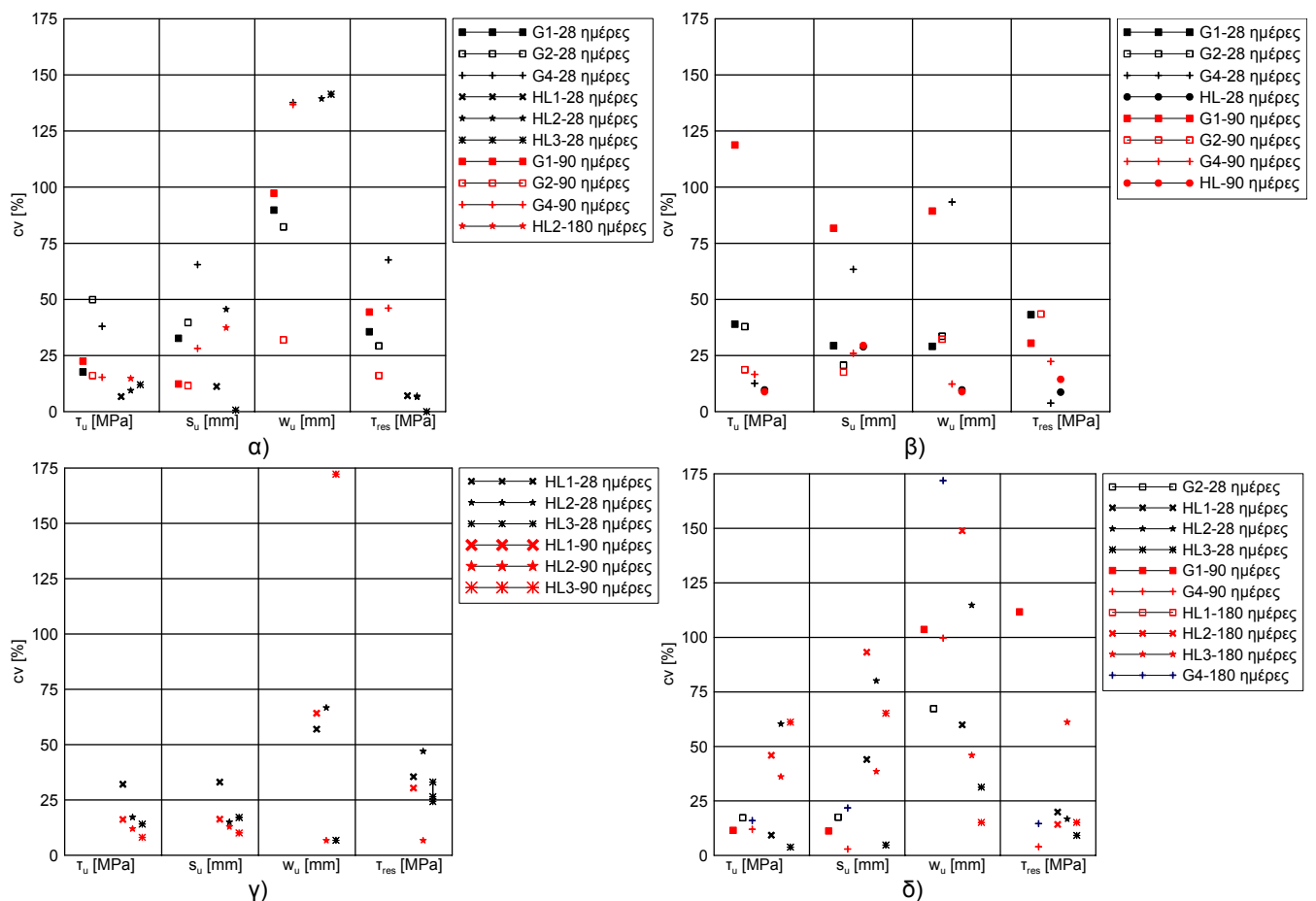
Εικόνα 170. Συντελεστής μεταβλητότητας  $cv$  [%] των μεγεθών  $\tau_u$ ,  $S_u$ ,  $W_u$  και  $\tau_{res}$  για όλες τις δοκιμές διατμήσεως.

Όπως διαπιστώθηκε στις δοκιμές εφελκυσμού (§ 3.8.3.3), έτσι και για τα πειραματικά στοιχεία των δοκιμών διατμήσεως παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας  $cv$  (βλ. Πίνακες 24÷32). Όπως έχει προαναφερθεί, τούτο δεν συμβαίνει μόνον στα πειραματικά αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, αλλά το ίδιο έχει παρατηρηθεί στην βιβλιογραφία. Έτσι, οι τιμές του  $cv$  [%] για την μέγιστη διατμητική αντοχή  $\tau_u$ , την ολίσθηση  $S_u$  και την εγκάρσια διόγκωση  $W_u$ , για τις οποίες επιστρατεύεται η  $\tau_u$ , καθώς και για την παραμένουσα διατμητική αντοχή  $\tau_{res}$ , κυμαίνονται μεταξύ 3.8÷61%, 0.0÷93%, 3.5÷172% και 0.0÷115%, αντιστοίχως (βλ. Πίνακα 33). Πέραν ορισμένων εξαιρέσεων (για πρδ. των δοκιμών του τσιμεντενέματος G1 με υπόβαθρο από τραβερίνη<sup>1</sup>), εν γένει, διαπιστώνεται ότι ο συντελεστής μεταβλητότητας της διατμητικής αντοχής (και της παραμένουσας τριβής) ανά τριάδα ομοειδών δοκιμών είναι της τάξης του 25%, χωρίς να αποκλείεται η εμφάνιση μεγαλύτερων τιμών για την σχετική τυπική απόκλιση (βλ. Πίνακα 33, Εικόνα 170). Αντίστοιχη είναι η εικόνα του  $cv$  για την ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή. Αντιθέτως, όπως παρατηρείται στην Εικόνα 170, μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας για τις εγκάρσιες διογκώσεις. Τούτο συμβαίνει συχνότερα σε δοκίμια με ασθενή είτε υπόβαθρα (για πρδ. ψαμμίτης, σπτόπλινθος, τραβερίνης) είτε ενέματα (τριμερές με την μηλαϊκή γη, ενέματα υδραυλικής ασβέστου). Όπως και στην περίπτωση του εφελκυσμού, η μεγάλη διασπορά στα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης αποδίδεται στην διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες των ενεμάτων, σε σφάλματα που οφείλονται στην πειραματική διάταξη (ορθογωνικότητα δοκιμών, εκκεντρότητες στην επιβολή του φορτίου κα.) κα. Εξ άλλου, οι υψηλότερες τιμές του  $cv$  για τις μετακινήσεις (ιδιαίτερως για τις εγκάρσιες διογκώσεις) οφείλονται στην μεγαλύτερη ευαισθησία αυτών των μεγεθών έναντι των προαναφερθέντων παραγόντων, καθώς και έναντι χαρακτηριστικών του υποβάθρου, όπως είναι η επιφανειακή τραχύτητα.

<sup>1</sup> Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας για τις εν λόγω δοκιμές ερμηνεύεται από την παρατηρηθείσα μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τσιμέντο στον αρμό του ενέματος.



Με στόχο να ερμηνευθεί βήμα-βήμα η παρατηρηθείσα συμπεριφορά του  $c_v$ , για τους εξεταζομένους συνδυασμούς υποβάθρου/ένεματος σχολιάζεται η μεταβολή των συντελεστών μεταβλητότητας των  $\tau_u$ ,  $s_u$ ,  $w_u$  και  $\tau_{res}$  α) με τον χρόνο (για δεδομένη τιμή της ορθής τάσης) και β) με το μέγεθος της  $\sigma_n$  (για μια ηλικία). Έτσι, στις Εικόνες 171α÷171δ, έχουν σχεδιαστεί οι  $c_v$  όλων των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων και υποβάθρων για τα πειραματικά στοιχεία των 28 και 90 ημερών (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ). Έτσι, πέραν της περίπτωσης των σύνθετων δοκιμών της οπτοπλίνθου, εν γένει, διαπιστώνεται μικρή μείωση με τον χρόνο του συντελεστή μεταβλητότητας για όλα τα πειραματικά στοιχεία. Καθώς φαίνεται, η μείωση αυτή σχετίζεται περισσότερο με μείωση της διασποράς παρά με μεταβολή (αύξηση ή μείωση) της μέσης τιμής των πειραματικών αποτελεσμάτων (βλ. Πίνακες 24 έως 32).



**Εικόνα 171.** Συντελεστής μεταβλητότητας  $c_v$  [%] των μεγεθών  $\tau_u$ ,  $s_u$ ,  $w_u$  και  $\tau_{res}$  ανά ένεμα για υπόβαθρο από α) μάρμαρο, β) τραβερτίνη, γ) ψαμμίτη και δ) οπτόπλινθο (για τις 28 και 90 ή 180 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

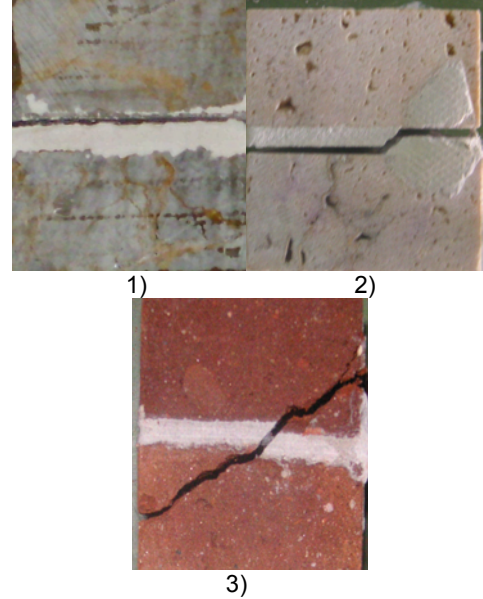
Σε ότι αφορά την μεταβολή του  $c_v$  με την ορθή τάση  $\sigma_n$ , από όλα τα δοκίμια στα οποία διερευνήθηκε η επιρροή της ορθής τάσης, εδώ αναφέρονται μόνον τα πειραματικά στοιχεία για τα δοκίμια του τραβερτίνη. Αυτό γίνεται επειδή μόνον τα δοκίμια του τραβερτίνη

αστόχησαν στην διεπιφανειακή ζώνη. Έτσι, όπως προκύπτει από τον Πίνακα 33, αν και δεν διαφαίνεται σαφής μεταβολή του  $c_n$  με την ορθή τάση, ο συντελεστής μεταβλητότητας μάλλον εμφανίζει σταθεροποιητική ή αυξητική τάση με την αύξηση της  $\sigma_n$ .

### 3.8.4.2 Τύποι Αστοχίας Σύνθετων Δοκιμίων

Στις δοκιμές διατμήσεως, παρατηρήθηκαν παρόμοιοι τύποι αστοχίας για τα σύνθετα δοκίμια με εκείνων των πειραμάτων εφελκυσμού (Εικόνα 172):

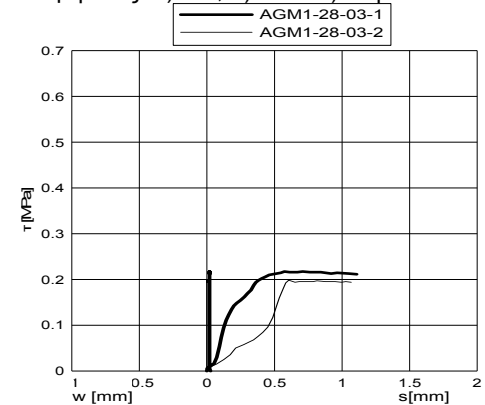
- (1) Τύπος ITZ (αστοχία στην διεπιφανειακή ζώνη): Ολίσθηση του αρμού του ενέματος κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου. Το επίπεδο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων εμφανίζεται σε αυτήν την διεπιφάνεια.
- (2) Τύπος Z: Παρεμφερής τύπος αστοχίας με τον τύπο ITZ, με το μισό του αρμού του ενέματος παραμένει κολλημένο στο ένα πλακίδιο του υποβάθρου, ενώ το υπόλοιπο μισό είναι κολλημένο στο δεύτερο πλακίδιο.
- (3) Τύπος S ή Y : «διατμητική» αστοχία του υποβάθρου με την εμφάνιση λοξής ρωγμής.



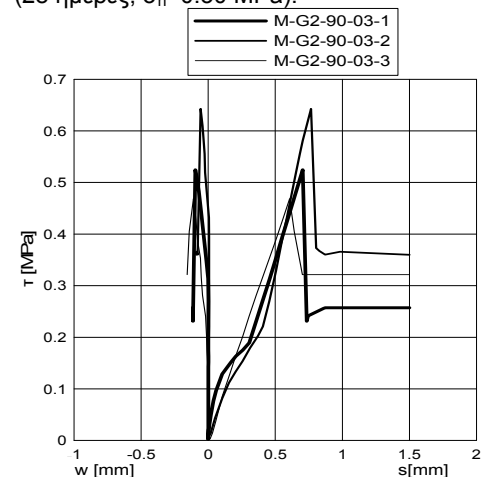
Εικόνα 172. Τύποι Αστοχίας δοκιμών διατμήσεως: 1) ITZ, 2) Z και 3) S ή Y.

### 3.8.4.3 Τυπικές καμπύλες ( $\tau$ - $s$ ) και ( $w$ - $s$ )

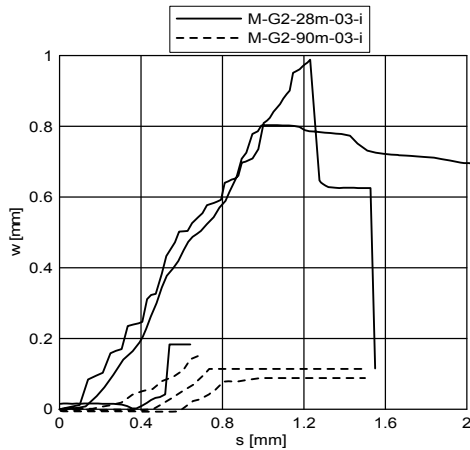
Στις Εικόνες 173 και 174 παρουσιάζονται, ενδεικτικώς, μερικά τυπικά διαγράμματα της επιστρατευόμενης διατμητικής τάσης συναρτήσει της διατμητικής ολίσθησης και της εγκάρσιας διόγκωσης για τα σύνθετα δοκίμια υποβάθρων/ενεμάτων. Σε κάθε διάγραμμα, παρουσιάζονται οι καμπύλες ανά δυάδα ή τριάδα πανομοιότυπων δοκιμίων. Διαπιστώνεται ότι η μορφή των καμπυλών εξαρτάται από τον τύπο του ενέματος και από τον τύπο του υποβάθρου. Έτσι, για όλους τους συνδυασμούς συνδετικών κονιών και υποβάθρων, η σχέση μεταξύ της επιβαλλόμενης ολίσθησης και της επιστρατευόμενης διατμητικής τάσης φαίνεται να είναι πρακτικώς γραμμική μέχρι την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής. Για μεγαλύτερες τιμές της ολίσθησης, τα σύνθετα δοκίμια «ασθενών» ενεμάτων/ισχυρών υποβάθρων [στην περίπτωση της παρούσας εργασίας τα δοκίμια HL1 (100% ACAD)/τεφρού ασβεστόλιθου] παρουσιάζουν παραμένουσα διατμητική αντοχή σχεδόν ίση με την μέγιστη (Εικόνα 173). Αντιθέτως, για τα υπόλοιπα ενέματα (διμερή ή τριμερή: G1, G2, και G4, υδραυλικής ασβέστου: HL, HL2 και HL3), μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής, ακολουθεί φθιτός κλάδος και, τελικώς, η διατμητική αντοχή σταθεροποιείται σε μια



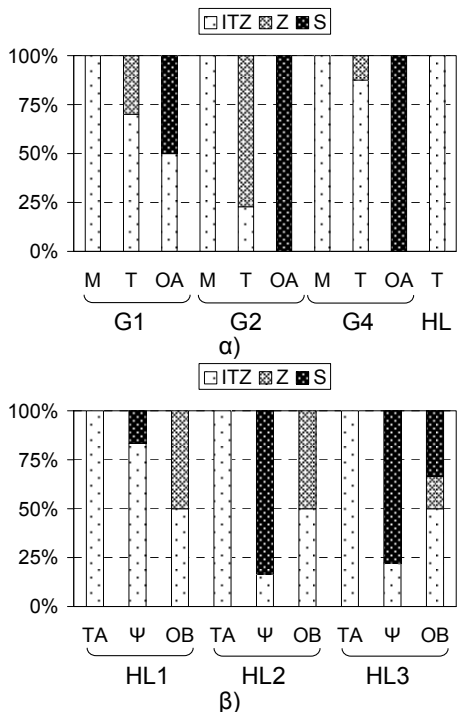
Εικόνα 173. Διατμητική τάση ( $\tau$ ) συναρτήσει της διατμητικής ολίσθησης ( $s$ ) και της εγκάρσιας διόγκωσης ( $w$ ) για σύνθετα δοκίμια ενέματος HL1/τεφρού ασβεστόλιθου (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.30$  MPa).



Εικόνα 174. Διατμητική τάση ( $\tau$ ) συναρτήσει της διατμητικής ολίσθησης ( $s$ ) και της εγκάρσιας διόγκωσης ( $w$ ) για σύνθετα δοκίμια ενέματος G2/μαρμάρου (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.30$  MPa).



**Εικόνα 175.** Εγκάρσια διόγκωση ( $w$ ) συναρτήσει της ολίσθησης για σύνθετα δοκίμια μαρμάρου/ενέματος G2 (28&90 ημέρες, για  $\sigma_n=0.30$  MPa).



**Εικόνα 176.** Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμίων, ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες ( $\sigma_n=0.3$  MPa): α) ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, β) ενέματα υδραυλικής ασβέστου.

παραμένουσα τιμή (Εικόνα 174). Με ανάλογο τρόπο, η εγκάρσια διόγκωση αυξάνεται αυξανόμενης της επιβαλλόμενης ολίσθησης, ενώ σταθεροποιείται ή μειώνεται μετά την επίτευξη της μέγιστης επιστρατευόμενης διατμητικής αντίστασης,  $\tau_u$  (Εικόνα 175).

### 3.8.4.4 Επιρροή εξεταζόμενων παραμέτρων στα πειραματικά αποτελέσματα: Αποτελέσματα/Παρατηρήσεις

#### 3.8.4.4.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

##### Τύπος Αστοχίας

Στην Εικόνα 176 παρουσιάζονται, σχηματικώς, οι τύποι αστοχίας ανά τύπο υποβάθρου, σύνθεσης ενέματος και ηλικίες διεξαγωγής των δοκιμών διατμήσεως (για τιμές της ορθής τάσης  $\sigma_n=0.3$  MPa). Τα σύνθετα δοκίμια αστόχησαν ανάλογα με τον τύπο του υποβάθρου ως εξής:

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΜΑΡΜΑΡΟ:** Τα δοκίμια με υπόβαθρο από μάρμαρο Διονύσου υποβαλλόμενα σε διάτμηση αστοχούν στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου (Τύπος αστοχίας ITZ), ανεξαρτήτως της σύνθεσης της συγκολλητικής κονίας (τσιμεντένεμα και τριμερή ενέματα) και της ηλικίας.

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ:** Τα δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη αστοχούν με τους τύπους αστοχίας ITZ και Z. Ενίοτε, όπως για πρδ. τα τριμερή ενέματα στις 90 ημέρες (Πίνακας 27), η αστοχία στην διεπιφάνεια συνοδεύεται από σύνθλιψη του υποβάθρου στην περιοχή επαφής του δοκιμίου με την συσκευή φόρτισης. Καθώς αυτό το φαινόμενο έχει τοπικό χαρακτήρα, δεν αξιολογείται ως αστοχία του υποβάθρου στην παρούσα εργασία. Ας σημειωθεί ότι, η συχνότητα εμφάνισης των τύπων ITZ και Z, εξαρτάται ισχυρώς από την σύνθεση των ενεμάτων, καθώς και -σε μικρότερο βαθμό- από την ηλικία. Έτσι, δοκίμια με το ένεμα αναφοράς G1 αστοχούν, κυρίως, με τον τύπο ITZ στις μικρότερες ηλικίες, ενώ στην ηλικία των τριών μηνών αστοχούν και με τον τύπο Z. Τα σύνθετα δοκίμια με το τριμερές ένεμα G2 αστόχησαν, κυρίως, (σε ποσοστό ~75%) με τον τύπο αστοχίας Z. Για τις διεπιφάνειες τραβερτίνη/τριμερούς ενέματος μηλαϊκής γης, η αστοχία παρουσιάστηκε, κυρίως, (σε ποσοστό ~85%) κατά μήκος μιας διεπιφάνειας υποβάθρου/ενέματος (Τύπος Αστοχίας ITZ), όπως συνέβη άλλωστε και σε όλα τα σύνθετα δοκίμια με την υδραυλική άσβεστο (HL).

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟ Α:** Τα δοκίμια αστοχούν (μερικώς ή εξ' ολο-



κλήρου) στο υπόβαθρο ανάλογα με την συνδετική κονία. Έτσι, τα σύνθετα δοκίμια με τα τριμερή ενέματα G2 (C=30%, L:MK=1:1) και G4 (C=30%, L:LA=1:2.5) αστοχούν με τον τύπο αστοχίας S. Αντιθέτως, στα δοκίμια με το ένεμα αναφοράς, η αστοχία στο υπόβαθρο συνδυάζεται με τον τύπο αστοχίας ITZ.

ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΤΕΦΡΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ: Όπως συμβαίνει στην περίπτωση των δοκιμών με το ισχυρό μάρμαρο, όλα τα δοκίμια ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και τεφρού ασβεστόλιθου αστοχούν με τον τύπο αστοχίας ITZ.

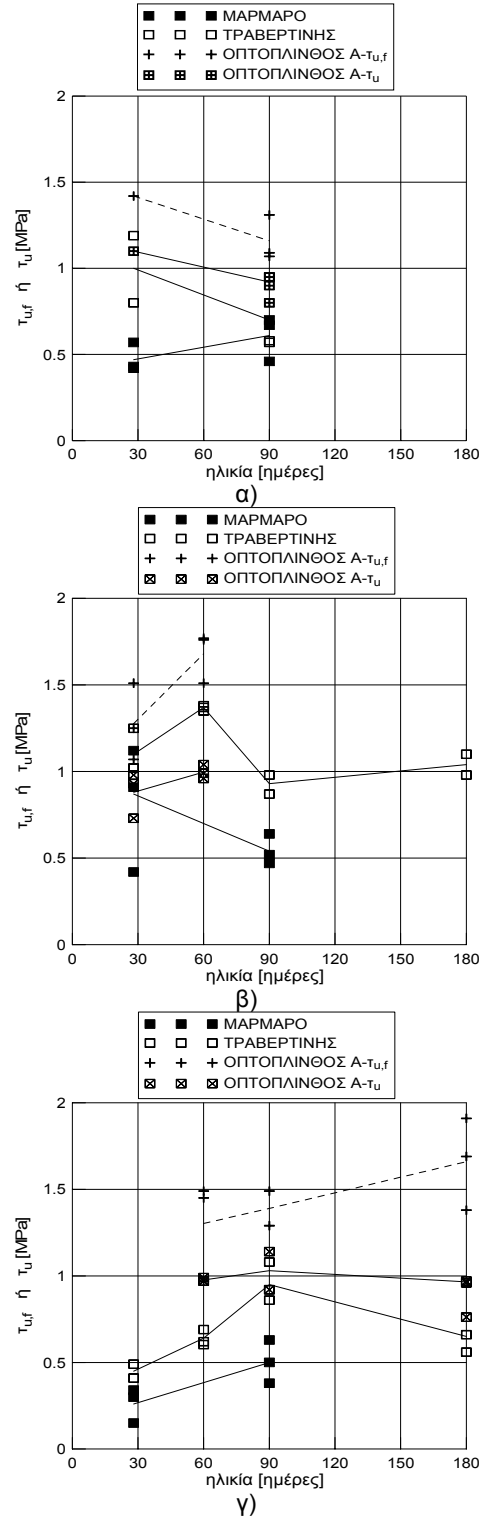
ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΨΑΜΜΙΤΗ: Τα δοκίμια αστοχούν (αμιγώς ή σε συνδυασμό) κατά μήκος της διεπιφάνειας υποβάθρου/ενέματος (τύπος αστοχίας ITZ) είτε λόγω «διατμητικής» αστοχίας του υποβάθρου (τύπος αστοχίας S). Ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμών του ψαμμίτη εξαρτάται, κυρίως, από τον τύπο του ενέματος και, δευτερευόντως, από την ηλικία των πηγμάτων, όπως θα αναδειχθεί στις σχετικές παραγράφους. Εν γένει, φαίνεται ότι τα σύνθετα δοκίμια με το «ασθενέστερο» ένεμα HL1 τείνουν να αστοχούν περισσότερο με την μορφή ITZ, ενώ τα «ισχυρότερα» ενέματα (HL2, HL3) με την μορφή S.

ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΑΠΟ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟ Β: Τα δοκίμια παρουσιάζουν (αμιγώς ή σε συνδυασμό) όλους τους τύπους αστοχίας ανάλογα με την σύνθεση του ενέματος της υδραυλικής ασβέστου. Εν γένει, τα δοκίμια με τα ενέματα HL1 και HL2 αστοχούν με τους τύπους αστοχίας ITZ και Z. Αντιθέτως, τα δοκίμια με το ένεμα HL3 τείνουν να αστοχούν στο υπόβαθρο. Σε αυτήν την περίπτωση, η αστοχία S συνοδεύεται από μερική αποκόλληση του ενέματος από το υπόβαθρο.

**Διατμητικές τάσεις  $T_u, T_{u, fictitious}$  και  $T_{res}$**

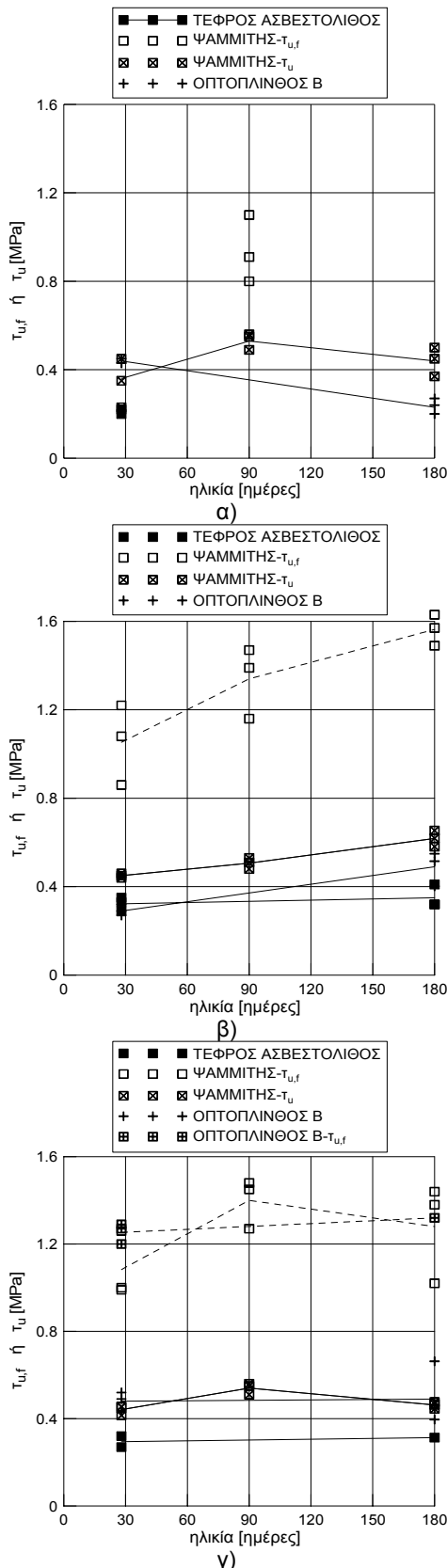
Ανά σύνθεση ενέματος, στις Εικόνες 177 και 178 έχει σχεδιαστεί η μέση διατμητική αντοχή δύο ή τριών ομοειδών σύνθετων δοκιμών ( $T_{u, fictitious}$  ή  $T_{u, f}$ )<sup>1</sup> και διατμητική τάση των διεπιφανειών τους ( $T_u$ )<sup>1</sup> συναρτήσει της ηλικίας διεξαγωγής των δοκιμών (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ). Διαπιστώνεται ότι, ο τύπος του υποβάθρου έχει εξέχουσα επίδραση στην αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή ( $T_u$  και  $T_{u, f}$ ).

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ : Πράγματι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 177, 178 και στον Πίνακα 33, για τον ίδιο



**Εικόνα 177.** Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης  $T_{u, f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $T_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α) G1, β) G2 και γ) G4 ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

<sup>1</sup> Επισημαίνεται ότι, η  $T_{u, f}$  ταυτίζεται με την  $T_u$  σε περίπτωση αστοχίας στην διεπιφάνεια ενέματος και υποβάθρου (με τους τύπους ITZ και/ή Z). Αυτή η επισήμανση αφορά, περισσότερο τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος και τραβερτίνης).



**Εικόνα 178.** Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης  $\tau_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $\tau_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α) HL1, β) HL2 και γ) HL3 ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

τύπο ενέματος, η αναπτυσσόμενη διατμητική τάση  $\tau_u$  για τα πιο μαλακά και πορώδη υπόβαθρα (τραβερίνης, ψαμμίτης, οπτόπλινθος) προκύπτει, εν γένει, μεγαλύτερη από εκείνην για τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος). Ως προς τις τιμές της  $\tau_u$ , η μέση διατμητική αντοχή των διεπιφανειών του μαρμάρου παρουσιάζει ένα εύρος τιμών που κυμαίνεται από 0.26 MPa (σύνθεση G4 στις 28 ημέρες) έως 0.82 MPa (σύνθεση G2 στις 28 ημέρες). Πιο ασθενείς, σε σχέση με τις διεπιφάνειες του μαρμάρου/ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, εμφανίζονται οι διεπιφάνειες τεφρού ασβεστόλιθου/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (βλ. Εικόνες 178:  $\tau_u \sim 0.3$ MPa). Βεβαίως, οι συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου έχουν σαφώς χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από εκείνες των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (Πίνακες 11, 12 και 13). Ας σημειωθεί ότι, μόνον δυο εξ αυτών των συνθέσεων [οι HL2 (με 3 δοκίμια) και HL3 (με 1 δοκίμιο)] διατηρούν ακέραιη την διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας σε μεγαλύτερη ηλικία (βλ. Πίνακα 33).

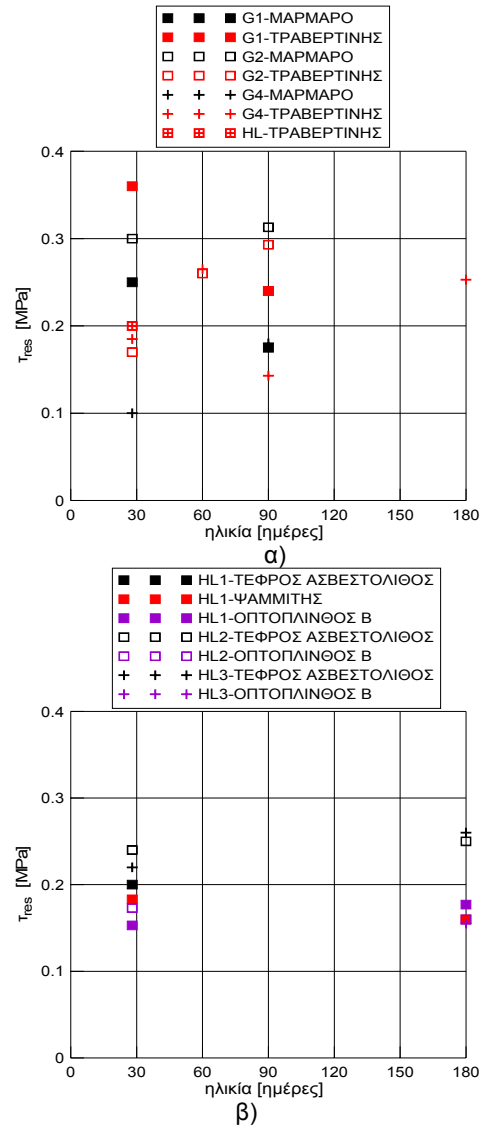
Σε αντίθεση με τις διεπιφάνειες του μαρμάρου και του τεφρού ασβεστόλιθου, οι διεπιφάνειες του τραβερίνη φαίνεται να εξασφαλίζουν καλύτερη συνάφεια με τις εξεταζόμενες συνθέσεις ενεμάτων, με εύρος μέσων τιμών της  $\tau_u$  που κυμαίνεται μεταξύ 0.45 MPa (σύνθεση G4 στις 28 ημέρες) έως 1.37 MPa (σύνθεση G2 στις 60 ημέρες). Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι, σε κάθε ένα από τα προαναφερθέντα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος και τραβερίνης), μόνον για τις μικρότερες ηλικίες ελέγχου (28 ημέρες) φαίνεται να αναδεικνύονται οι διαφορές ανάμεσα στις συνθέσεις των ενεμάτων. Αντιθέτως, όπως θα αναδειχθεί στην σχετική παράγραφο, ανά υπόβαθρο, όλες οι εξεταζόμενες συνθέσεις παρουσιάζουν παραπλήσια συμπεριφορά σε μεγαλύτερη ηλικία. Ως προς τις διεπιφάνειες της οπτοπλίνθου A με το ένεμα αναφοράς ή τις τριμερείς συνθέσεις, αυτές οι διεπιφάνειες αναπτύσσουν τιμές διατμητικής αντοχής  $\tau_u$  που είναι τουλάχιστον ίσες με 1 MPa, ανεξαρτήτως του τύπου του ενέματος και την ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής (βλ. Εικόνες 177, Πίνακας 33). Ομοίως, μικρές διαφοροποιήσεις διαπιστώνονται για τις διεπιφάνειες ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και οπτοπλίνθου B ή ψαμμίτη. Σε αυτές τις διεπιφάνειες, η  $\tau_u$  λαμβάνει τιμές αναλόγως, κυρίως, της συνδετικής κονίας και, δευτερευόντως, της ηλικίας [περίπου ίση (ή μεγαλύτερη)] από  $0.3 \pm 0.6$ MPa].

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $\tau_{u,f}$ .** Ομοίως με πριν, τα σύνθετα δοκίμια των πιο μαλακών υποβάθρων (ψαμμίτης, οπτόπλινθος A) που αστόχησαν με τον τύπο S, εμφανίζουν καλύτερη συμπεριφορά από

εκείνη των ισχυρότερων μαρμάρου, τραβερτίνη και τεφρού ασβεστόλιθου. Για πρῶ., στην ηλικία των 90 ημερών τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α με το τριμερές ένεμα της μηλαϊκής γης αναπτύσσουν διατμητική αντοχή, που είναι σχεδόν τριπλάσια εκείνης του μαρμάρου. Σε ό,τι αφορά τις τιμές της διατμητικής αντοχής  $\tau_{u,f}$  (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), σε μεγαλύτερη ηλικία, αυτές οι τιμές κυμαίνονται περίπου στα  $1.00\div 1.60\text{MPa}$  για τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α (με τα διμερή και τριμερή ενέματα), του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β (με τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου) (βλ. Εικόνες 177, 178, Πίνακας 34). ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ  $\tau_{res}$ : Βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$  (βλ. Πίνακες 24 έως 32), στην Εικόνα 179 έχει σχεδιαστεί η εν χρόνω εξέλιξη των μέσων τιμών της  $\tau_{res}$  για όλα τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων που αστόχησαν στην διεπιφάνεια (με τους τύπους αστοχίας ITZ ή/και Z). Έτσι, στις διεπιφάνειες του μαρμάρου με τα ενέματα G1 και G4, η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι περίπου ίση με  $0.20\text{MPa}$ , ενώ εμφανίζεται κατά κάποιο τρόπο μεγαλύτερη για το ένεμα G2 (ίση με  $0.30\text{MPa}$ ). Αντίστοιχη είναι η εικόνα για τις διεπιφάνειες τραβερτίνη, όπως φαίνεται άλλωστε στην Εικόνα 179α. Πράγματι, μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής, οι διεπιφάνειες τραβερτίνη και ενεμάτων G1, G4 και HL εξασφαλίζουν (σε ηλικία τριών μηνών) παραμένουσα διατμητική αντοχή της τάξης των  $0.25\text{MPa}$ , ενώ ελαφρώς μεγαλύτερη παρουσιάζεται η  $\tau_{res}$  για το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη ( $\sim 0.30\text{MPa}$ ). Αν και το πλήθος των πειραματικών στοιχείων για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου είναι σχετικώς περιορισμένο, φαίνεται ότι, μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής  $\tau_u$ , οι διεπιφάνειες των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου με τα ισχυρότερα υποβάθρα (τεφρός ασβεστόλιθος, τραβερτίνης), εν γένει, παρουσιάζουν παραμένουσα διατμητική αντοχή, η οποία είναι κατάπι μεγαλύτερη από εκείνη των διεπιφανειών του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β (Εικόνα 179β). Πράγματι, στις διεπιφάνειες του τεφρού ασβεστόλιθου με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, η  $\tau_{res}$  είναι της τάξης των  $0.20\div 0.25\text{MPa}$ , ανεξαρτήτως της σύνθεσης ή της ηλικίας διεξαγωγής των δοκιμών. Αντιθέτως, χαμηλότερες τιμές της παραμένουσας διατμητικής αντοχής (έως  $0.18\text{MPa}$ ) εξασφαλίζουν οι διεπιφάνειες του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β.

*Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις*

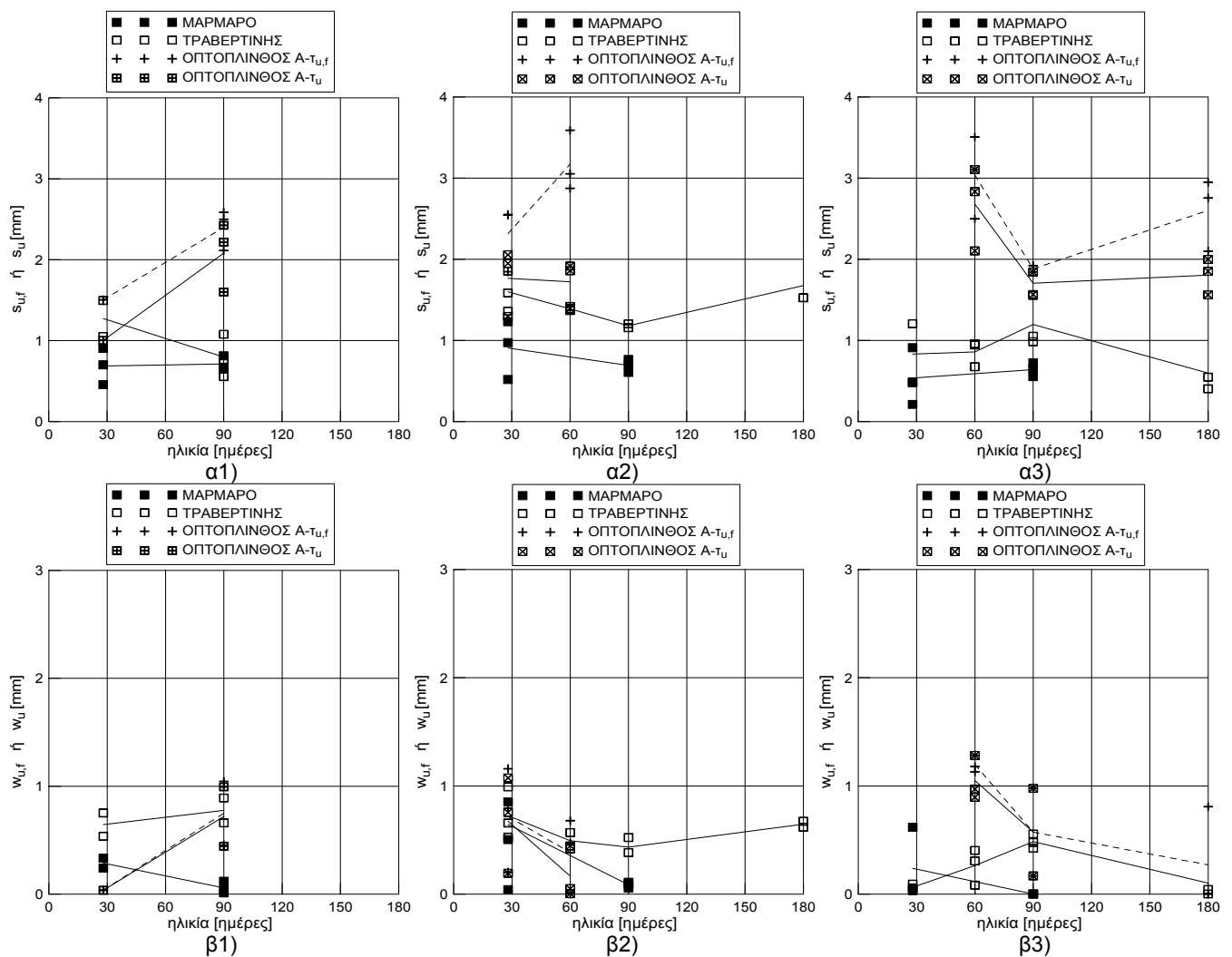
Από τα στοιχεία του Πίνακα 33 (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), στις Εικόνες 180 και 181 σχεδιάζεται, ανά σύνθεση ενέματος, η εν χρόνω εξέλιξη των



**Εικόνα 179.** Εν χρόνω μεταβολή της  $\tau_{res}$  για τα ενέματα α) τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και β) υδραυλικής ασβέστου ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

οριζόντιων ολισθήσεων ( $s_u$  και  $s_{u,f}$ ) για τις οποίες επιστρατεύονται οι διατμητικές τάσεις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$ , καθώς και οι αντίστοιχες εγκάρσιες διογκώσεις ( $w_u$  και  $w_{u,f}$ ). Από την προσεκτική παρατήρηση των διαγραμμάτων προκύπτει ότι, οι τιμές των μετακινήσεων (ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής) εξαρτώνται, κυρίως, από τον τύπο του υποβάθρου και δευτερευόντως, από την ηλικία και το υλικό ενίσχυσης. Εξ άλλου, όπως θα δειχθεί και στις οικείες ενότητες, οι μετακινήσεις εμφανίζουν πτωτική τάση με την ηλικία και συγκλίνουν κατά περίπτωση υποβάθρου σε μια τιμή, η οποία δεν προκύπτει να εξαρτάται από το συνδετικό υλικό. Έτσι, :

Για τα δοκίμια από ΜΑΡΜΑΡΟ, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον η παρατήρηση ότι, ανεξαρτήτως της συγκολλητικής κονιάς (δηλαδή των ενεμάτων G1, G2 και G4) και της ηλικίας του ενέματος κατά την δοκιμή, η διατμητική αντοχή επιστρατεύεται για τιμές της ολίσθησης περίπου ίσες με 0.7mm (Εικόνες 180Α). Ομοίως, αν και σε μικρότερη ηλικία οι τιμές της εγκάρσιας διογκωσης διαφοροποιούνται ισχυρώς μεταξύ των



**Εικόνα 180.** Εν χρόνω μεταβολή των Α)  $s_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $s_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα  $\alpha 1$  G1,  $\alpha 2$  G2,  $\alpha 3$  G4 και των Β)  $w_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $w_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα  $\beta 1$  G1,  $\beta 2$  G2,  $\beta 3$  G4 ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

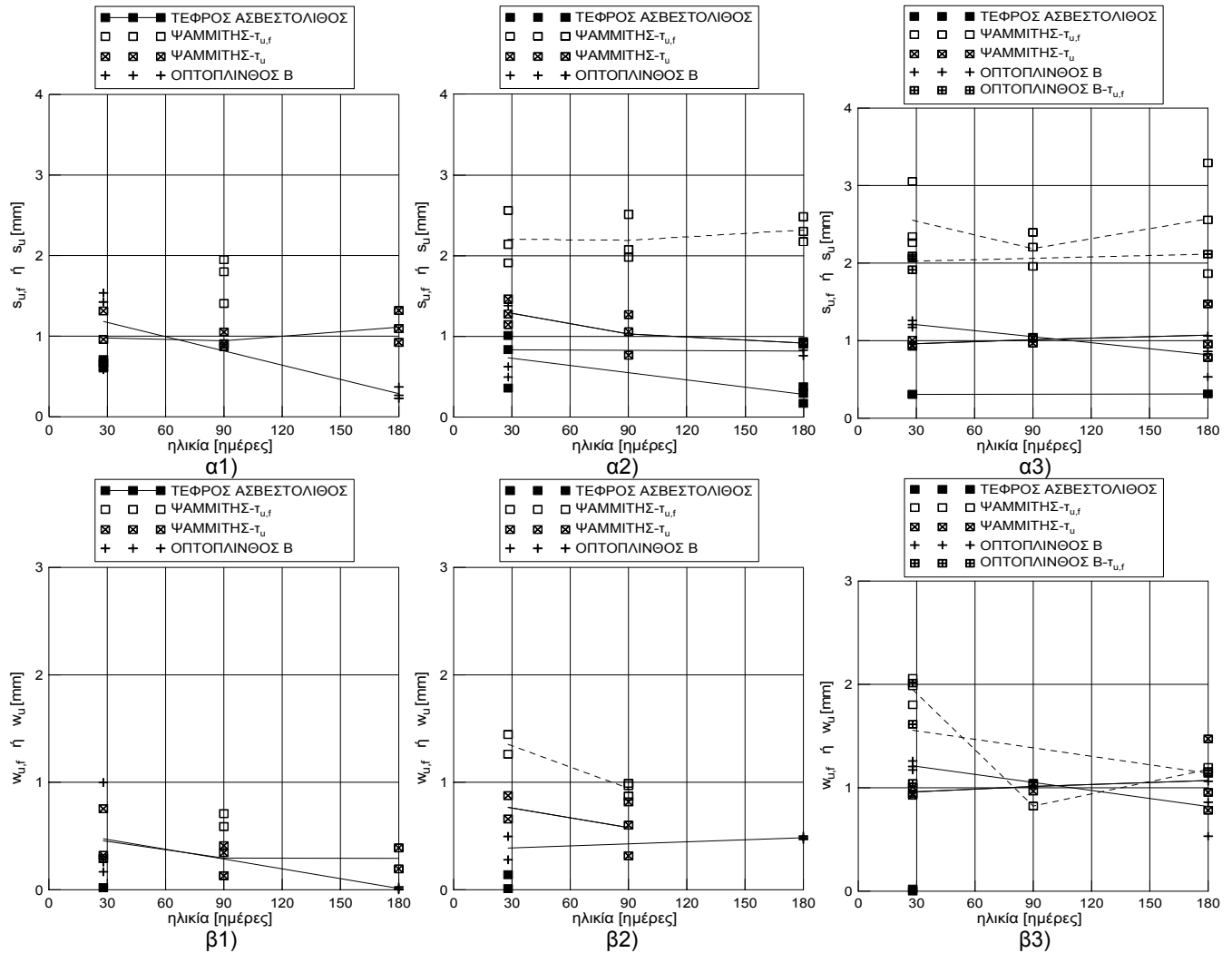
ενεμάτων G1, G2 και G4, η εγκάρσια διόγκωση ελαττώνεται με τον χρόνο, λαμβάνοντας την ίδια τιμή για όλες τις συνθέσεις (βλ. Εικόνες 180B, περίπου ίση με 0.1mm).

Για τις διεπιφάνειες του ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗ, το εύρος των τιμών για τις μετακινήσεις φαίνεται να είναι αρκετά μεγάλο και να εξαρτάται από την ηλικία και την σύνθεση του ενέματος. Γενικώς, για το ίδιο υλικό ενίσχυσης διαπιστώνεται ότι, οι τιμές των μετακινήσεων, για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή των διεπιφανειών του τραβερίτη, είναι υψηλότερες συγκριτικά με εκείνες των ισχυρότερων μαρμάρου (με τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης) και τεφρού ασβεστόλιθου (με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου). Επί πλέον παρατηρείται μια εν χρόνω μείωση των τιμών της  $s_u$  και  $w_u$  (Εικόνα 180). Αναφορικά με τις τιμές της  $s_u$  σε μεγαλύτερη ηλικία (για πρδ. στις 90 ημέρες), στα τριμερή ενέματα οι ολισθήσεις είναι της τάξης του 1.2 mm, ενώ μικρότερες τιμές εμφανίζονται για το τσιμεντένεμα και το ένεμα υδραυλικής ασβέστου (0.8 mm και 0.5 mm αντίστοιχα). Ως προς το άνοιγμα ρωγμής, με εξαίρεση την ηλικία των 180 ημερών, οι τιμές της  $w_u$  εμφανίζονται μεγαλύτερες για τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (τριμερή ενέματα και ένεμα αναφοράς) έναντι εκείνων της σύνθεσης HL.

Για την ΟΠΠΟΠΛΙΝΘΟ Α, η τιμή της ολίσθησης  $s_u$ , για την οποία ενεργοποιείται η διατμητική τάση της διεπιφάνειας με το ένεμα αναφοράς και τα τριμερή ενέματα, είναι, εν γένει, μικρότερη των 2mm (Εικόνα 180A). Σε ό,τι αφορά το άνοιγμα ρωγμής  $w_u$ , στην ηλικία των τριών μηνών λαμβάνει την τιμή των 0.5mm, ανεξαρτήτως της σύνθεσης του ενέματος. Αντιστοίχως, για τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου, οι  $s_{u,f}$  και  $w_{u,f}$  προκύπτουν ελαφρώς μεγαλύτερες από 2mm και 0.5mm, για όλες τις συγκολλητικές κονίες.

Για τα δοκίμια από ΤΕΦΡΟ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟ, φαίνεται ότι οι ολισθήσεις  $s_u$ , οι οποίες στην ηλικία του ενός μήνα κυμαίνονται μεταξύ 0.3mm και 0.7mm, μειώνονται με τον χρόνο προσεγγίζοντας τα 0.3mm, ανεξαρτήτως της συγκολλητικής κονίας (Εικόνα 181A). Βεβαίως, καθώς τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία είναι εξαιρετικώς περιορισμένα σε πλήθος, αυτή η συμπεριφορά για τις ολισθήσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί οριστική. Το ίδιο ισχύει για την εγκάρσια διόγκωση, για την οποία επίσης απουσιάζουν τα σχετικά στοιχεία στην μεγαλύτερη ηλικία των 6 μηνών (Εικόνα 181B).

Για τις διεπιφάνειες του ΨΑΜΜΙΤΗ, από τις Εικόνες 181A διαπιστώνεται ότι, πρακτικώς, για όλες τις συνθέσεις και τις ηλικίες, η  $t_u$  κινητοποιείται για ολίσθηση περίπου ίση με 1mm. Αντιθέτως, το άνοιγμα ρωγμής, το



**Εικόνα 181.** Εν χρόνω μεταβολή των Α)  $s_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $s_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα α1) HL1, α2) HL2, α3) HL3 και των Β)  $w_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $w_u$  (συνεχής γραμμή) για το ένεμα β1) HL1, β2) HL2, β3) HL3 ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

οποίο φαίνεται να εξαρτάται από την συνδετική κονία του ενέματος υδραυλικής ασβέστου (οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται για το ένεμα HL3), εμφανίζει πτωτική τάση με την ηλικία. Για τα σύνθετα δοκίμια του ψαμμίτη, είναι ενδιαφέρουσα η παρατήρηση ότι οι τιμές της  $s_{u,f}$  είναι της τάξης των 2mm στις περισσότερες περιπτώσεις (κυρίως για τις συνθέσεις HL2 και HL3). Ως προς την εγκάρσια διόγκωση, αυτή σταθεροποιείται στα 1mm για τις μεγαλύτερες ηλικίες διεξαγωγής δοκιμών (Εικόνα 181B).

Για την ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ Β, όπως άλλωστε παρατηρήθηκε για τα δοκίμια του ψαμμίτη, η διατμητική αντοχή των διεπιφανειών του εν λόγω υποβάθρου με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, επιστρατεύεται για ολισθήσεις και ανοίγματα ρωγμής της τάξης των 1.0mm και 0.5mm, αντιστοίχως, ανεξαρτήτως της συγκολλητικής κονίας και της ηλικίας (Εικόνα 181A, 181B). Ας σημειωθεί ότι, αυτές οι τιμές των μετακινήσεων είναι κατά 50% μικρότερες εκείνων που καταγράφηκαν

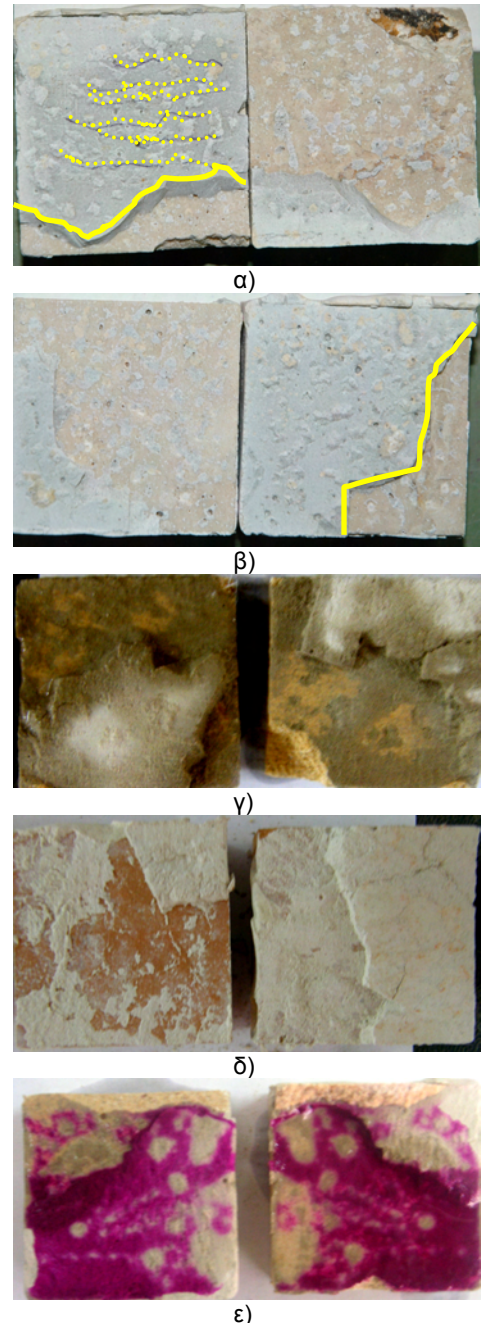
για τις διεπιφάνειες της οπτοπλίνθου Α με διαφορετικής σύστασης ενέματα (τριμερή ενέματα και ένεμα αναφοράς). Ως προς τις  $s_{u,f}$  και  $w_{u,f}$ , τα πειραματικά στοιχεία είναι αρκετά περιορισμένα και αφορούν μόνον την σύνθεση της HL3. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 181, για τα δοκίμια οπτοπλίνθου Β/ενέματος HL3, η διατμητική αντοχή  $t_{u,f}$  επιστρατεύεται για ολίσθηση περίπου ίση με 2mm και εγκάρσια διόγκωση της τάξης του 1mm.

*Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

**ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ:** Όσον αφορά την σταθερότητα και την υφή του αρμού στα σύνθετα δοκίμια της διάτμησης, η εικόνα για τις τριμερείς συνθέσεις και το ένεμα αναφοράς είναι παρεμφερής με εκείνη των δοκιμών του εφελκυσμού (βλ. § 3.8.3.5, για πρδ. έλλειψη συνεκτικότητας στο ένεμα αναφοράς, εύθρυπτοι αρμοί ενέματος για το ισχυρό υπόβαθρο σε μεγαλύτερες ηλικίες). Σε ό,τι αφορά τα δοκίμια της υδραυλικής ασβέστου, ο αρμός των συνθέσεων χωρίς την προσθήκη ποζολάνης (συνθέσεις HL1, HL3) παρουσιάζεται εύθρυπτος σε μεγαλύτερες ηλικίες. Επί πλέον, σε αντίθεση με τα δοκίμια του εφελκυσμού με υπόβαθρο από τραβερίνη, στην περίπτωση των δοκιμών της διάτμησης δεν διαπιστώνονται πόροι μεγάλου μεγέθους στον αρμό των ενεμάτων. Ας σημειωθεί ότι, αυτή η παρατήρηση αφορά όλα τα υπό εξέτασιν υπόβαθρα.

**ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ:** Όπως και στα δοκίμια του εφελκυσμού, σε μεγαλύτερες ηλικίες, διαπιστώθηκαν συνεχείς και διακριτές ρωγμές στην επιφάνεια θραύσης του αρμού στα σύνθετα δοκίμια του τραβερίνη και του ψαμμίτη, που αστόχησαν με τον τύπο Z (βλ. Εικόνες 182). Η μορφή αυτών των ρωγμών, καθώς και η παρουσία μικρορηγματώσεων στον αρμό των ενεμάτων υποδηλώνουν συστολή ξήρανσης (βλ. για πρδ. Εικόνα 182β, γ και δ).

**ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ:** Από την παρατήρηση της επιφάνειας θραύσης των σύνθετων δοκιμών διαπιστώνεται ενανθράκωση στον αρμό των ενεμάτων. Έτσι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 36, το ύψος της ζώνης ενανθράκωσης (αυξανόμενο με τον χρόνο) έχει μέγεθος εξαρτώμενο από τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου, καθώς και της συγκολλητικής κονιάς. Για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, οι υψηλότερες τιμές της ζώνης ενανθράκωσης μετρήθηκαν για τα δοκίμια του μαρμάρου και το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη. Αντιθέτως, στην περίπτωση των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου, τα ενέματα εμφανίζονται πλήρως ενανθρακωμένα για τα πιο πορώδη υπόβαθρα του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β. Τέλος, δεν διαπιστώθηκαν



**Εικόνα 182.** Διατομή θραύσης σύνθετου δοκιμίου α) τραβερίνη/ ενέματος G2 (90 ημέρες, Δ2), β) τραβερίνη/ενέματος G2 (90 ημέρες, Δ3), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL1 (180 ημέρες), δ) οπτοπλίνθου Β/ενέματος HL1 (180 ημέρες), ε) ψαμμίτη/ενέματος HL1 (90 ημέρες).

ενανθρακωμένες ζώνες με την μορφή δέσμης στον αρμό του ενέματος παρά μόνον για τα σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενέματος υδραυλικής ασβέστου HL1 (Εικόνα 182ε). Παρ' όλα αυτά, ας επισημανθεί ότι, ο χρωματισμός με το διάλυμα φαινολφθαλεΐνης τόσο του ενέματος, όσο και του υποβάθρου στην επιφάνεια θραύσης των σύνθετων δοκιμίων, υποδηλώνει την παρουσία προϊόντων ενυδάτωσης στην επιφάνεια του υποβάθρου.

Πίνακας 36. Ύψη ζωνών ενανθράκωσης ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια της διάτμησης.

ηλικία [ημέρες]	κωδικός ενέματος	κωδικός υπόβαθρου					
		M	T	OA	TA	Ψ	OB
28	G1	(1)	(1)	(1)			
	G2	0	0	0			
	G4	0	0	0			
	HL		0				
	HL1				1÷2 mm	0	0
	HL2				0	0	0
90	HL3				0	0	0
	G1	5	1	(1)			
	G2	2	1				
	G4	4	2	0			
	HL		1				
	HL1					(2)	
180	HL2					0	
	HL3					0	
	G2		2				
	G4		6	0			
	HL1				40	40	40
	HL2				13	40	40
	HL3				13	40	40

(1) δεν διατίθενται τα πειραματικά στοιχεία

(2) η ενανθράκωση εμφανίζεται στο εσωτερικό του αρμού του ενέματος ως δέσμη

### 3.8.4.4.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

#### Τύπος Αστοχίας

Εδώ, για κάθε σύνθεση ενέματος, παρουσιάζονται οι τρόποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων και υποβάθρων. Ας επισημανθεί ότι, όπως προκύπτει από τα σχετικά στοιχεία, μόνον στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων με τα ασθενή υπόβαθρα (βλ. οπτόπλινθοι Α, Β και ψαμμίτης) φαίνεται να διαφοροποιείται σημαντικά ο τρόπος αστοχίας των δοκιμίων αναλόγως της συνδετικής κονίας των ενεμάτων (βλ. Εικόνα 176). Πιο συγκεκριμένα:

τα δοκίμια με το ΕΝΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ αστοχούν συνήθως στην διεπιφανειακή ζώνη (αμιγώς ή μερικώς), αναλόγως του τύπου του υποβάθρου. Ο πιο συνήθης τρόπος αστοχίας είναι ο τύπος ITZ για τα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου, οι ITZ και Z για εκείνα του τραβερτίνη και τέλος, η αστοχία στην διεπιφάνεια συνοδευόμενη από μερική θραύση του υποβάθρου για τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου.



Τα δοκίμια με το ΤΡΙΜΕΡΕΣ ΕΝΕΜΑ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗ τείνουν να αστοχούν κατά μήκος μιας (τύπος ΙΤΖ) ή δύο (τύπος Ζ) διεπιφανειών για τα υπόβαθρα του μαρμάρου και του τραβερτίνη, αντίστοιχα. Αντιθέτως, τα σύνθετα δοκίμια ενέματος G2 και οπτοπλίνθου Α αστοχούν με τον τύπο S.

Τα δοκίμια με το ΤΡΙΜΕΡΕΣ ΕΝΕΜΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΗΛΑΪΚΗ ΓΗ αστοχούν στην διεπιφάνεια για τα πιο ισχυρά υπόβαθρα (μάρμαρο και τραβερτίνης) και στο υπόβαθρο για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α.

Τα δοκίμια με το ΕΝΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ ΗL και τον τραβερτίνη αστοχούν με τον τύπο αστοχίας ΙΤΖ.

Τα δοκίμια με το ΕΝΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ ΗL1 έχουν ως επικρατέστερο τρόπο αστοχίας τον τύπο ΙΤΖ, πλην ορισμένων δοκιμών με την οπτόπλινθο Β και τον ψαμμίτη στις 90 ημέρες (βλ. Πίνακες 30, 32, 33 και 34).

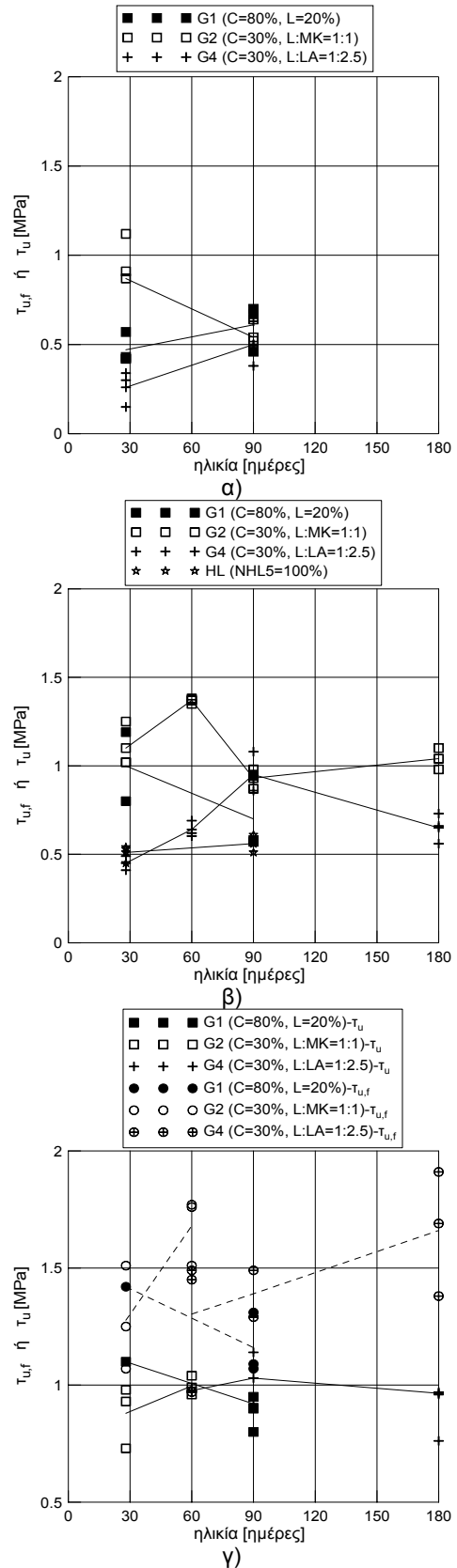
Τα δοκίμια με το ΕΝΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ ΗL2 και τεφρού ασβεστόλιθου ή οπτοπλίνθου Β αστοχούν, συνήθως, κατά μήκος μιας διεπιφάνειας. Αντιθέτως, στα σύνθετα δοκίμια του ψαμμίτη η αστοχία εμφανίζεται στο υπόβαθρο (για την ηλικία των τριών και έξι μηνών).

Τα δοκίμια με το ΕΝΕΜΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ ΗL3, με εξαίρεση εκείνα της οπτοπλίνθου Β, αστοχούν όπως τα δοκίμια της υδραυλικής ασβέστου ΗL2.

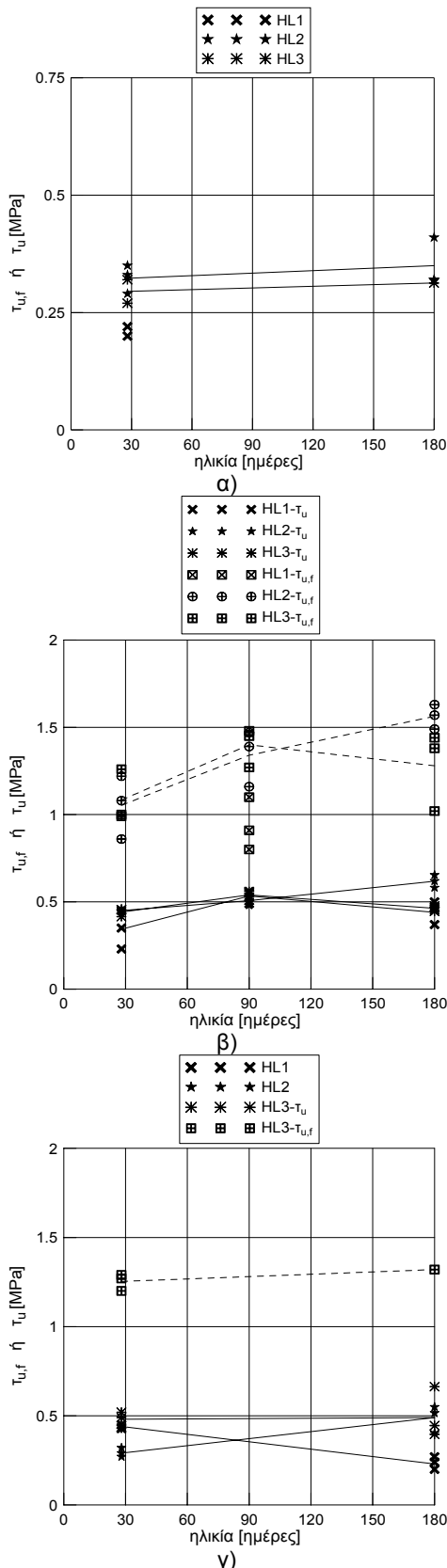
**Διαμητικές τάσεις  $T_u, T_{u, fictitious}$  και  $T_{res}$**

Για τα εξετασθέντα υπόβαθρα, στις Εικόνες 183 και 184 απεικονίζεται η εν χρόνω εξέλιξη της διαμητικής αντοχής των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων  $T_u$ , καθώς και η διαμητική αντοχή των σύνθετων δοκιμών τους  $T_{u,f}$ .

Ως προς την ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ : προκύπτει ότι, στην πρώιμη ηλικία των 28 ημερών, ανάλογα με την σύσταση των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, οι τιμές της  $T_u$  για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων με τα ισχυρότερα υπόβαθρα διαφοροποιούνται ισχυρώς. Πράγματι, όπως φαίνεται στις Εικόνες 183α και 183β, για τα υπόβαθρα του μαρμάρου και του τραβερτίνη, η τριμερής σύνθεση με τον μετακαολίνη εξασφαλίζει τις υψηλότερες τιμές συνάφειας στην ηλικία των 28 ημερών, με το ένεμα αναφοράς και το τριμερές ένεμα της μηλαϊκής γης να έπονται αυτού. Εξ άλλου, αν προς στιγμή αγνοηθεί ο διαφορετικός ρυθμός ανάπτυξης αντοχών των διεπιφανειών για αυτά τα ενέματα, διαπιστώνεται ότι, τα ενέματα με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά (όπως είναι τα τριμερή ενέματα G2 και G4) αναπτύσσουν για όλα τα υπόβαθρα διαμητική αντοχή συνάφειας,



**Εικόνα 183.** Εν χρόνω μεταβολή της διαμητικής τάσης  $T_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $T_u$  (συνεχής γραμμή) σύνθετων δοκιμών α) μαρμάρου, β) τραβερτίνη και γ) οπτοπλίνθου Α ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



**Εικόνα 184.** Εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής τάσης  $\tau_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $\tau_u$  (συνεχής γραμμή) σύνθετων δοκιμίων α) τερπού ασβεστόλιθου, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθου Β ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

η οποία είναι ίση (στην περίπτωση του μαρμάρου και της οπτοπλίνθου Α) ή μεγαλύτερη (στην περίπτωση του τραβερίνη) από εκείνη του ισχυρότερου ενέματος αναφοράς G1. Αυτή η παρατήρηση αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα, αν ληφθούν υπόψη τα χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά των τριμερών συνθέσεων σε σχέση με το τσιμεντένεμα (Πίνακες 11, 12). Όσον αφορά τις διεπιφάνειες μεταξύ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και ασβεστοπικών υποβάθρων (με παρεμφερή φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά με τα υπόβαθρα που χρησιμοποιήθηκαν για τα σύνθετα δοκίμια με τα τριμερή ενέματα), εμφανίζουν έως και 50% χαμηλότερες τιμές για την  $\tau_u$  (για  $\sigma_n=0.3$  MPa), σε σχέση με τιμές της διατμητικής αντοχής συνάφειας των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (βλ. Εικόνες 183α, 183β και 184α). Βεβαίως, δεν θα πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι, οι συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου (HL, HL1, HL2 και HL3), έχουν σαφώς χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από τα πιο ισχυρά ενέματα G1 και G2 (βλ. Πίνακες 11, 12 και 13). Εξ άλλου, από την λεπτομερή εξέταση των σχετικών στοιχείων (βλ. Εικόνες 184), προκύπτει ότι, εν γένει, οι συνθέσεις HL2 και HL3 με όλα τα υπόβαθρα εξασφαλίζουν καλύτερη συνάφεια σε σχέση με το πιο ασθενές ένεμα HL1 (υψηλότερες τιμές της  $\tau_u$ , ανθεκτικότητα στον χρόνο).

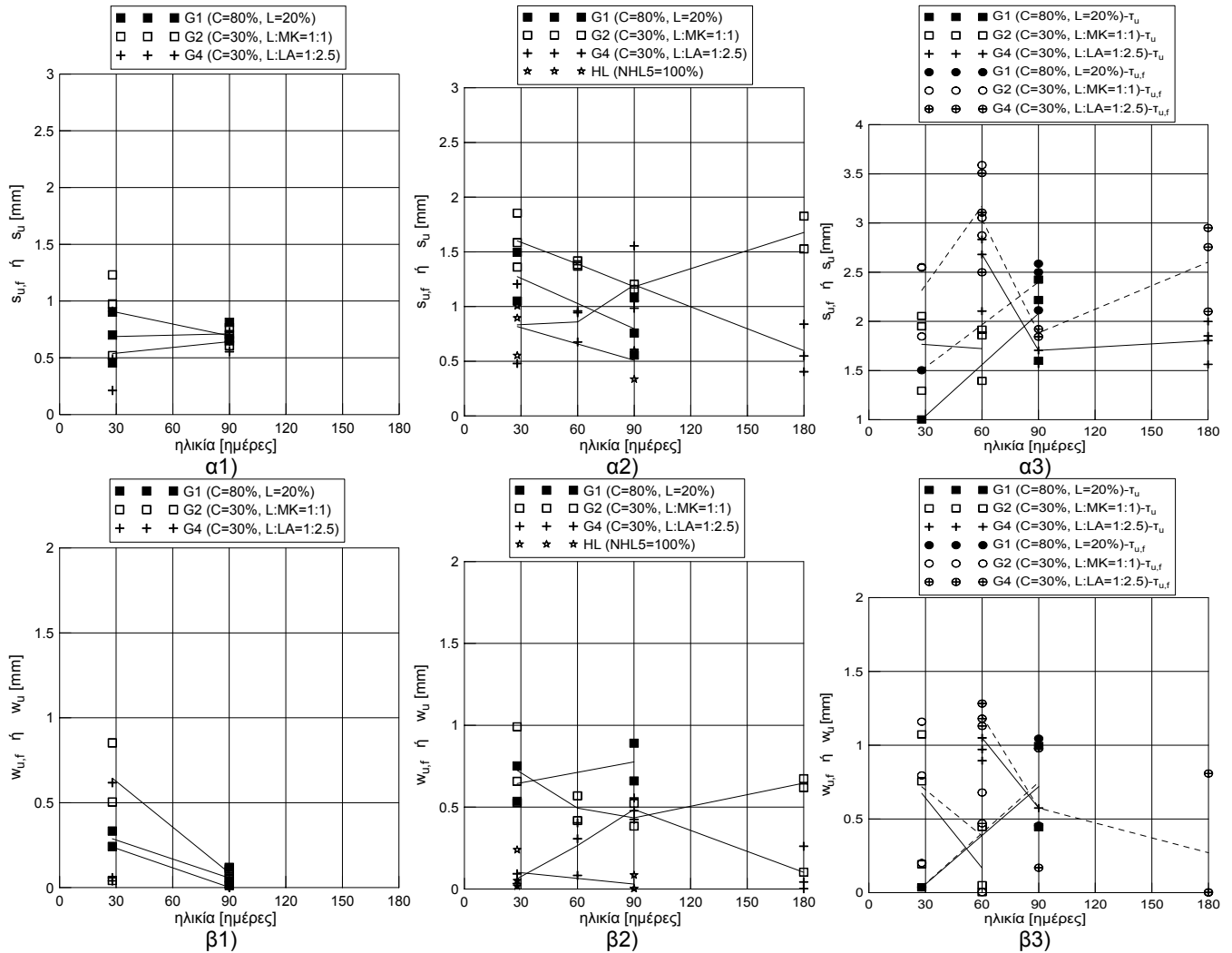
**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $\tau_{u,f}$ :** Εδώ, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών που αστόχησαν μερικώς ή εξ ολοκλήρου στο υπόβαθρο, δλδ. τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α με τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β με τις συνθέσεις HL1, HL2 και HL3. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 183γ, όλα τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και οπτοπλίνθου Α έχουν διατμητική αντοχή  $\tau_{u,f}$ , η οποία είναι περίπου ίση με 1.5 MPa. Έτσι, και σε αυτήν την περίπτωση επιβεβαιώνονται οι βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες των τριμερών συνθέσεων έναντι της σύνθεσης αναφοράς, καθώς αυτά τα ενέματα εξασφαλίζουν την ίδια διατμητική αντοχή παρ' όλο που έχουν χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από το ένεμα G1. Σε ό,τι αφορά τα σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, με εξαίρεση τις δοκιμές για την σύνθεση HL1 που πραγματοποιήθηκαν στην ηλικία των 90 ημερών, προκύπτει ότι μόνον οι HL2 και HL3 είναι σε θέση να αναπτύξουν διατμητική αντοχή ίση με  $1.10 \pm 1.50$  MPa για όλες τις ηλικίες. Αντίστοιχη είναι η οπτοπλίνθου Β, ωστόσο μόνον ένα περιορισμένο πλήθος δοκιμών, αποκλειστικά με την σύνθεση HL3, εξασφαλίζει διεπιφάνειες που είναι ισχυρότερες από το υπόβαθρο.

**ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ  $\tau_{res}$ :** Καθώς φαίνεται, για μια στάθμη της επιβαλλόμενης ορθής τάσης  $\sigma_n$ , το μέγεθος της παραμένουσας

διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών διαφοροποιείται ελαφρώς ανάλογα με το συνδετικό υλικό (ένεμα) και τον τύπο του υποβάθρου (βλ. Εικόνα 179). Πράγματι, για τις διεπιφάνειες του ενέματος αναφοράς και του τριμερούς ενέματος G4 με το μάρμαρο ή τον τραβερτίνη παρατηρούνται, εν γένει, παρεμφερείς τιμές της  $\tau_{res}$  ( $0.15 \pm 0.25$  MPa), ενώ κάπως μεγαλύτερη εμφανίζεται η παραμένουσα διατμητική αντοχή για το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη (~0.3 MPa). Ως προς τις διεπιφάνειες των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, από τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία που απεικονίζονται στην Εικόνα 179β, προκύπτει ότι οι τιμές της  $\tau_{res}$  τείνουν να διαφοροποιούνται περισσότερο ανάλογα με τον τύπο του υποβάθρου και, σε μικρότερο βαθμό, ανάλογα με την συγκολλητική κονία. Έτσι, μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντοχής, οι διεπιφάνειες με τον τεφρό ασβεστόλιθο ή τον τραβερτίνη διατηρούν σημαντικό μέρος αυτής της αντοχής που προσεγγίζει τα 0.25 MPa, ενώ περίπου κατά 30% μικρότερη εμφανίζεται η παραμένουσα διατμητική αντοχή για τις διεπιφάνειες του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου B. Βεβαίως, όπως θα συζητηθεί στα παρακάτω, τα πειραματικά στοιχεία για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, ιδιαίτερος με τα πιο μαλακά υπόβαθρα (ψαμμίτης και οπτόπλινθος B), είναι λιγοστά σε πλήθος για να θεωρείται αυτή η παρατήρηση «ασφαλής» και «καταληκτική».

#### *Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις*

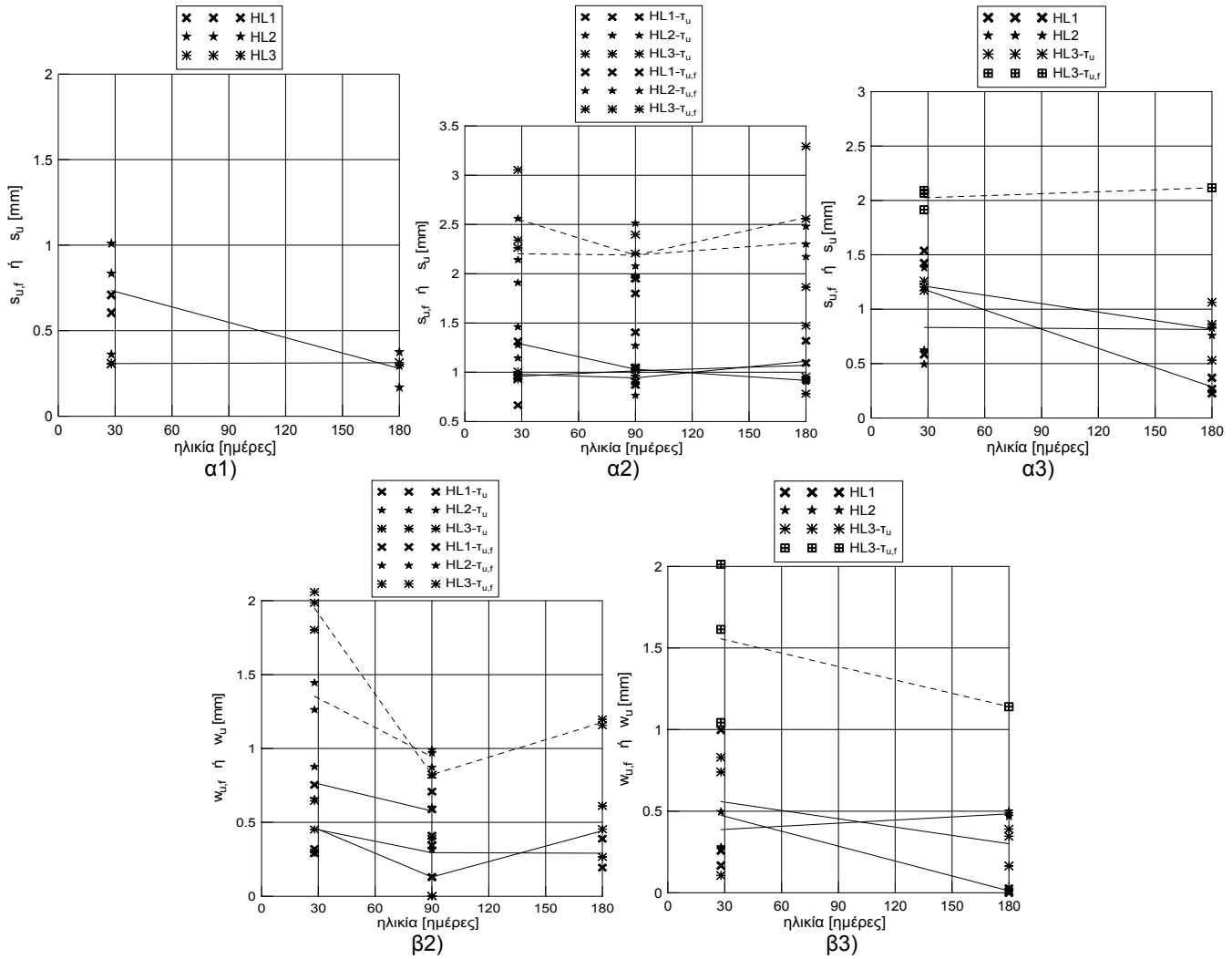
Ανά τύπο υποβάθρου, στις Εικόνες 185 και 186, απεικονίζεται η εν χρόνω εξέλιξη των οριζόντιων ολισθήσεων ( $s_u$  και  $s_{u,f}$ ) για τις οποίες ενεργοποιούνται οι διατμητικές τάσεις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  (για  $\sigma_n=0.3$  MPa), καθώς και οι αντίστοιχες εγκάρσιες διογκώσεις ( $w_u$  και  $w_{u,f}$ ). Όπως προαναφέρθηκε, οι τιμές των μετακινήσεων (ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής) εξαρτώνται, πρωτίστως, από τον τύπο του υποβάθρου και δευτερευόντως, από τις παραμέτρους της ηλικίας και της συγκολλητικής κονίας. Μολονότι οι διαφορές στην συμπεριφορά των υπό εξέταση ενεμάτων φαίνονται μάλλον να αμβλύνονται εν χρόνω, εδώ, τα σχετικά αποτελέσματα επελέγησαν να παρουσιαστούν εστιάζοντας περισσότερο στην επιρροή των συνθέσεων σε αυτά τα αποτελέσματα. Έτσι, για την τριμερή σύνθεση με τον μετακαολίνη, η διατμητική αντοχή συνάφειας των διεπιφανειών του ενέματος G2 με το μάρμαρο και τον τραβερτίνη επιστρατεύεται για μεγαλύτερες τιμές της  $s_u$  σε σχέση με τις ολισθήσεις που μετρήθηκαν για τα ενέματα G1 και G4 με τα ίδια υπόβαθρα. Αν αμεληθεί ο ρυθμός εξέλιξης των ολισθήσεων με τον χρόνο, διαπιστώνεται ότι, στους τρεις μήνες, α) οι διεπιφάνειες του



**Εικόνα 185.** Εν χρόνω μεταβολή των Α)  $s_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $s_u$  (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α1) μαρμάρου, α2) τραβερτίνη, α3) οπτοπλίνθου Α και των Β)  $w_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $w_u$  (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και β1) μαρμάρου, β2) τραβερτίνη, β3) οπτοπλίνθου Α ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

μαρμάρου με τα ενέματα G1, G2 και G4 εμφανίζουν την ίδια τιμή  $s_u$ , ανεξαρτήτως της σύνθεσης και β) οι διεπιφάνειες του τραβερτίνη με τα τριμερή ενέματα (G2 και G4) παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ολισθήσεως από εκείνες με την σύνθεση αναφοράς ή την σύνθεση της υδραυλικής ασβέστου HL. Εξ άλλου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 185α3, στα δοκίμια με την οπτόπλινθο Α, δεν προκύπτει σαφής συσχέτιση των τιμών των ολισθήσεων  $s_u$  και  $s_{u,f}$  με την συγκολλητική κονία. Ως προς την επιρροή της σύστασης των ενεμάτων στις τιμές των ανοιγμάτων ρωγμής,  $w_u$  και  $w_{u,f}$ , όπως φαίνεται στις Εικόνες 185β, ισχύουν οι ίδιες τάσεις που διαπιστώθηκαν για τις αντίστοιχες ολισθήσεις ( $s_u$  και  $s_{u,f}$ ).

Σε ό,τι αφορά τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου (HL1, HL2 και HL3) διαπιστώθηκε ότι, οι διεπιφάνειες τεφρού ασβεστολίθου ή φαμμίτη/σύνθεσης που περιέχει ποζολάνη (ένεμα HL2) ενεργοποιούν



**Εικόνα 186.** Εν χρόνω μεταβολή των Α)  $s_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $s_u$  (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α1) τεφρού ασβεστόλιθου, α2) φαμμίτη, α3) οπτοπλίνθου Β και των Β)  $w_{u,f}$  (διακεκομμένη γραμμή) και  $w_u$  (συνεχής γραμμή) για τις διεπιφάνειες και τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και β2) φαμμίτη, β3) οπτοπλίνθου Β ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

την διατμητική τάση συνάφειας για υψηλότερες τιμές της ολίσθησης, σε σχέση με τις διεπιφάνειες των συνθέσεων HL1 και HL3 (βλ Εικόνες 186Α). Σε μεγαλύτερη ηλικία (90 ή 180 ημέρες), οι  $s_u$  για την σύνθεση HL2 προσεγγίζουν τις τιμές των ολισθήσεων που εμφανίζουν τα ενέματα HL1 και HL3. Το ίδιο φαίνεται να ισχύει και για τις εγκάρσιες διογκώσεις (βλ. Εικόνες 186Β), αν και τα διαθέσιμα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά περιορισμένα για να θεωρηθούν τα συμπεράσματα οριστικά. Για τα σύνθετα δοκίμια φαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, διαπιστώνεται ότι οι συνθέσεις HL2 και HL3 έχουν παρεμφερή συμπεριφορά για όλες τις ηλικίες, καθώς εμφανίζουν ίδιες τιμές για τις  $s_{u,f}$  και  $w_{u,f}$ . Ως προς τα σύνθετα δοκίμια του φαμμίτη με την HL1, οι  $s_{u,f}$  και  $w_{u,f}$  παρουσιάζονται κατά τι μικρότερες από εκείνες για τις άλλες δυο συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου. Σχετικώς με τα στοιχεία για την οπτόπλινθο Β, όπως θα αναδειχθεί και στην οικεία ενότητα, τίθεται ένα

θέμα αξιοπιστίας αυτών των αποτελεσμάτων. Αναφέρεται μόνον ότι, οι τιμές των  $s_u$  και  $w_u$  είναι της τάξης των 1.0mm και 0.5mm, αντιστοίχως, ανεξαρτήτως της σύνθεσης της συγκολλητικής κονιάς.

#### *Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: (βλ. § 3.8.4.6.1).

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ: Όπως προαναφέρθηκε, εκτός από το ένεμα αναφοράς, σε όλα τα υπόλοιπα πηγματα (τριμερή ενέματα και ενέματα υδραυλικής ασβέστου) παρουσιάστηκαν συνεχείς και διακριτές ρηγματώσεις στον αρμό των ενεμάτων των σύνθετων δοκιμίων τους με τον τραβερίνη και τον ψαμμίτη. Αυτή η παρατήρηση αφορά τα σύνθετα δοκίμια που εξετάστηκαν σε μεγαλύτερη ηλικία και αστόχησαν με τον τύπο Z (βλ. Εικόνες 182). Ας σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του εφελκυσμού, μακροσκοπικώς στα δοκίμια της διάτμησης με υπόβαθρο τον τραβερίνη δεν παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις σε θέσεις ασυνεχειών του υποβάθρου.

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Όπως φαίνεται στον Πίνακα 36, τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, σε μεγαλύτερες ηλικίες, εμφανίζονται πλήρως ή μερικώς ενανθρακωμένα στα σύνθετα δοκίμια με τα πορώδη και μη πορώδη υπόβαθρα, αντιστοίχως. Ως προς τα τριμερή ενέματα και το ένεμα αναφοράς, τα δοκίμια των συνθέσεων G1 και G4 με το μάρμαρο εμφανίζουν κατά 50% μεγαλύτερο βάθος ενανθράκωσης από εκείνα της τριμερούς σύνθεσης με τον μετακαολίνη. Παρεμφερής είναι η εικόνα για τα δοκίμια αυτών των συνθέσεων με υπόβαθρο από τραβερίνη. Ωστόσο, στην περίπτωση του τραβερίνη τα μετρηθέντα ύψη ενανθράκωσης είναι, εν γένει, μικρότερα από εκείνα του μαρμάρου.

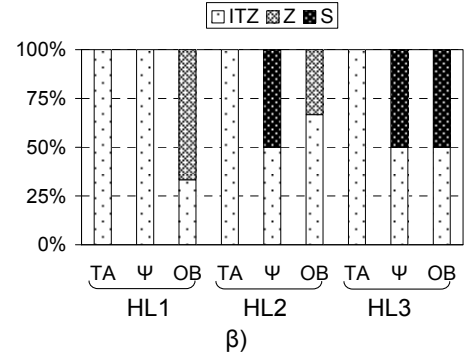
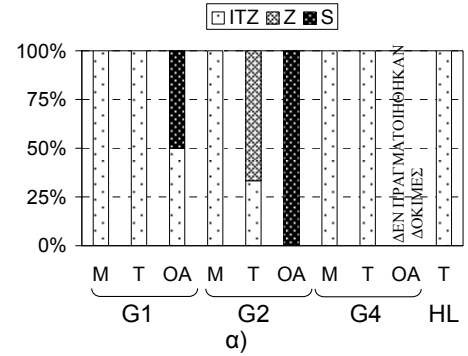
#### **3.8.4.4.3 ΗΛΙΚΙΑ**

##### *Τύπος Αστοχίας*

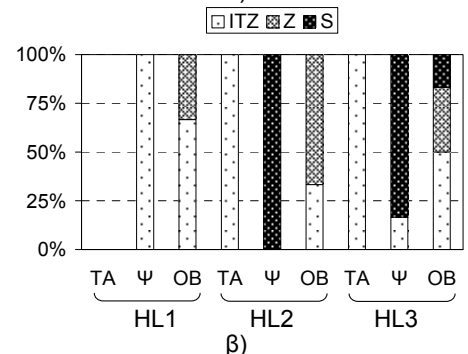
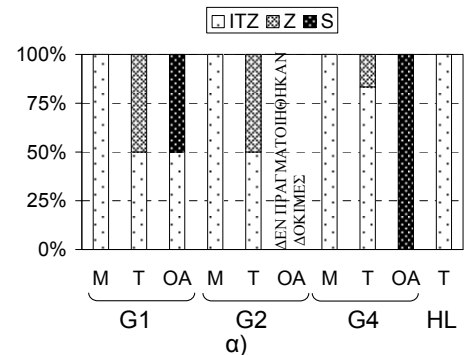
Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε σχέση με την επιρροή της ηλικίας στον τύπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων, πραγματοποιείται με βάση τον τύπο του υποβάθρου. Αυτή η επιλογή έγινε, καθώς δεν παρατηρήθηκαν ουσιαστικές αλλαγές του τρόπου αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων που συσχετίζονται με την ηλικία διεξαγωγής της δοκιμής. Επί πλέον, η παρουσίαση των σχετικών στοιχείων επιλέχθηκε να γίνει για δύο ηλικίες: τις 28 και τις 90 (για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης) ή 180 ημέρες (για τις συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου). Εξ άλλου, για αυτές τις ηλικίες διατίθενται, κατά περίπτωση, τα περισσότερα δοκίμια. Έτσι, από τις Εικόνες 187 και 188, όπου έχουν σχεδιαστεί οι τρόποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων για  $\sigma_n=0.3$  MPa,

προκύπτει ότι στην ηλικία των:

- (1) 28 ημερών, τα σύνθετα δοκίμια αστοχούν αναλόγως του συνδετικού υλικού και του τύπου του υποβάθρου (βλ. Εικόνα 187). Έτσι, σε όλα τα δοκίμια με τα μη πορώδη υπόβαθρα (μάρμαρο και τεφρός ασβεστόλιθος), η αστοχία εμφανίζεται στην διεπιφανειακή ζώνη (τύπος ITZ), ανεξαρτήτως της συγκολλητικής κονίας. Ομοίως, στα δοκίμια του τραβερτίνη, η αστοχία παρουσιάζεται, εν γένει, κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 187α, αυτό ισχύει για το ένεμα αναφοράς (G1), το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη (G4) και το ένεμα της υδραυλικής ασβέστου (HL), ενώ για το τριμερές με τον μετακαολίνη συχνότερη είναι εμφάνιση της αστοχίας τύπου Z. Σε ό,τι αφορά την οπτοπλίνθο A, η αστοχία των σύνθετων δοκιμίων με τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης παρουσιάζεται εξ ολοκλήρου (σύνθεση G2) ή μερικώς (σύνθεση G1) στο υπόβαθρο. Ως προς τα σύνθετα δοκίμια με τον ψαμμίτη, προκύπτει ότι τα δοκίμια με την «ασθενέστερη» υδραυλική άσβεστο (HL1) αστοχούν στην διεπιφανειακή ζώνη (τύπος ITZ). Αντιθέτως, τα δοκίμια με τα ενέματα HL2 και HL3 εμφανίζουν βελτιωμένη συμπεριφορά έναντι της συνθέσεως HL1, καθώς σε αυτά τα δοκίμια (με τις «ισχυρότερες» υδραυλικές ασβέστους) ο τύπος αστοχίας ITZ συνδυάζεται με μερική αστοχία του υποβάθρου. Παρεμφερής, με τα δοκίμια του ψαμμίτη, είναι η εικόνα για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου B. Για αυτό το υπόβαθρο, οι επικρατέστεροι τρόποι αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων είναι οι τύποι ITZ και Z για τις συνθέσεις HL1 και HL2, και ITZ με μερική αστοχία του υποβάθρου για την σύνθεση HL3.
- (2) 90 ημερών, τα σύνθετα δοκίμια με τα τριμερή ενέματα εμφανίζουν τους ίδιους τύπους αστοχίας με εκείνους που εμφάνισαν στις 28 μέρες. Όπως προκύπτει από την Εικόνα 188α, διαφοροποιήσεις στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων στην ηλικία των τριών μηνών σε σχέση με τις 28 ημέρες διαπιστώνονται μόνον για τα σύνθετα δοκίμια του τραβερτίνη με την σύνθεση αναφοράς (G1) και την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη (G4). Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα δοκίμια πέραν από τον τύπο ITZ αστοχούν και με τον τύπο Z.
- (3) 180 ημερών, η εικόνα είναι παρεμφερής με εκείνη των 28 ημερών (βλ. Εικόνα 188β). Σημειώνεται ότι μόνον οι συνθέσεις HL2 (3 δοκίμια) και HL3 (1 δοκίμιο) διατηρούν την συνάφεια με



**Εικόνα 187.** Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατήσεως των σύνθετων δοκιμίων ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa): α) ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, β) ενέματα υδραυλικής ασβέστου.



**Εικόνα 188.** Απεικόνιση τρόπων αστοχίας έναντι διατήσεως των σύνθετων δοκιμίων ανά τύπο ενέματος και υποβάθρου για όλες τις ηλικίες (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa): α) ενέματα υδρασβέστου-ποζολάνης-τσιμέντου, β) ενέματα υδραυλικής ασβέστου.

τον τεφρό ασβεστόλιθο. Εξ άλλου, στην περίπτωση των δοκιμών του ψαμμίτη με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3, οι διεπιφάνειες ενέματος/υποβάθρου φαίνονται να ισχυροποιούνται και, έτσι, αυτά τα δοκίμια αστοχούν αποκλειστικά με τον τύπο αστοχίας S. Αντιθέτως, για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Β διαφαίνεται μάλλον μια επιδείνωση της διεπιφανειακής ζώνης με την ηλικία, καθώς η πλειονότητα των δοκιμών, ανεξαρτήτως της σύνθεσης της υδραυλικής ασβέστου, αστοχούν με τους τύπους ITZ και Ζ.

#### Διατμητικές τάσεις $T_u$ , $T_{u, fictitious}$ και $T_{res}$

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ :

- (1) Για το ένεμα αναφοράς G1 (C=80%, L=20%), η διατμητική τάση  $T_u$  εμφανίζει σταθεροποιητικές τάσεις μετά την ηλικία των 28 ημερών. Πράγματι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 177α, η μέγιστη επιστρατευόμενη διατμητική τάση των διεπιφανειών μαρμάρου και τσιμεντενέματος παρουσιάζει μια μικρή εν χρόνω αύξηση (από 0.47 MPa στις 28 ημέρες, στα 0.64 MPa στις 90 ημέρες). Αντιθέτως, στην περίπτωση του τραβερίνη, σημειώνεται μια αμελητέα πτώση της διατμητικής αντοχής συνάφειας μεταξύ 28ης και 90ης ημέρας (από 1.0 MPa σε 0.7 MPa). Ανάλογη πτώση εμφανίζουν και οι τιμές της διατμητικής τάσης των διεπιφανειών της οπτοπλίνθου Α. Αυτές οι μεταβολές (αύξηση ή μείωση) στις τιμές της  $T_u$  ευρίσκονται εντός των ορίων διασποράς των πειραματικών αποτελεσμάτων.
- (2) Για την τριμερή σύνθεση G2 (C=30%, L:MK=1:1), παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον ο ρυθμός ανάπτυξης της διατμητικής τάσης  $T_u$ , ιδιαίτερος για τις διεπιφάνειες αυτής της σύνθεσης με το μάρμαρο και τον τραβερίνη (Εικόνα 177β). Πιο συγκεκριμένα, οι διεπιφάνειες του μαρμάρου με το τριμερές ένεμα G2, που εμφανίζουν μια μέση τιμή της διατμητικής αντοχής ίση με 0.82 MPa στην ηλικία του ενός μήνα, παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή στην ηλικία των 90 ημερών. Εξ άλλου, η διατμητική αντοχή αυτών των διεπιφανειών εμφανίζεται μειωμένη κατά 30% περίπου, ακολουθώντας την παρόμοια εν χρόνω μείωση της εφελκυστικής αντοχής του τριμερούς ενέματος G2 (Πίνακες 11 και 12). Για τις διεπιφάνειες του τραβερίνη, η εικόνα είναι παρεμφερής με εκείνη για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου. Πράγματι, αν και η διατμητική τάση της διεπιφάνειας τραβερίνη/ενέματος G2 ενισχύεται μεταξύ 28ης και 60ης



ημέρας (Εικόνα 177β), μετά την ηλικία των 90 ημερών η  $\tau_u$  εμφανίζεται μειωμένη (παρουσιάζοντας σταθεροποιητική τάση). Ως προς την διατμητική τάση της διεπιφάνειας οπτοπλίνθου Α/ενέματος G2, αυτή ενισχύεται μεταξύ της ηλικίας των 28 και 60 ημερών.

- (3) Για τις διεπιφάνειες της τριμερούς σύνθεσης με την μηλαϊκή γη G4 (C=30%, L: LA=1:2.5), διαπιστώνεται μια βαθμιαία αύξηση της διατμητικής αντοχής με τον χρόνο για όλα τα υπό εξέταση υπόβαθρα (μάρμαρο Διονύσου, τραβερτίνης, οπτόπλινθος Α). Εντούτοις, σε ηλικία 180 ημερών, στις διεπιφάνειες της εν λόγω σύνθεσης με τον τραβερτίνη, παρατηρήθηκε μια σημαντική μείωση της διατμητικής αντίστασης  $\tau_u$  (Εικόνα 177γ).
- (4) Όσον αφορά τις διεπιφάνειες της υδραυλικής ασβέστου HL (NHL5=100%) με τον τραβερτίνη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 183β, δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση με τον χρόνο της διατμητικής αντοχής (για  $\sigma=0.3$  MPa), μολονότι τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ίδιου του ενέματος αυξάνονται μεταξύ ενός και τριών μηνών (Πίνακας 13).
- (5) Για το ένεμα HL1 (ACAD=100%), η διατμητική τάση  $\tau_u$  εμφανίζει, εν γένει, πτωτική τάση με τον χρόνο. Πράγματι, οι διεπιφάνειες ψαμμίτη και ενέματος HL1, οι οποίες είναι μικρότερης αντοχής στην ηλικία του ενός μήνα και εξασφαλίζουν στους τρεις μήνες τιμές της αντοχής συνάφειας ίσες με εκείνες που αναπτύχθηκαν για τα ενέματα HL2 και HL3 (βλ. Εικόνα 184β: περίπου ίση με 0.50 MPa, για  $\sigma=0.3$  MPa), στους 6 μήνες οι διεπιφάνειες με το ένεμα HL1 φαίνεται να υστερούν έναντι των συνθέσεων HL2 και HL3. Ομοίως, οι διεπιφάνειες του ενέματος HL1 με την οπτόπλινθο Β, παρουσιάζονται πιο ασθενείς σε μεγαλύτερη ηλικία.
- (6) Όπως φαίνεται στην Εικόνα 184, οι συνθέσεις HL2 και HL3, εμφανίζουν παρεμφερείς τιμές διατμητικής τάσης  $\tau_u$  για όλα τα υπόβαθρα. Έτσι, ως προς τις διεπιφάνειες τεφρού ασβεστόλιθου και ενεμάτων HL2 ή HL3, αυτές παρουσιάζουν τιμές διατμητικής τάσης  $\tau_u$  ίσες με 0.30 MPa στην ηλικία των 28, τις οποίες διατηρεί μόνον το ένεμα HL2 στην ηλικία των 180 ημερών (Εικόνα 184α). Πέρα από κάποιες μικροαποκλίσεις στην ηλικία των 180 ημερών, τα ενέματα HL2 και HL3 εμφανίζουν την ίδια τιμή ελάχιστης επιστρατευόμενης διατμητικής τάσης και στις διεπιφάνειες με τον ψαμμίτη. Ως προς τις διεπιφάνειες της οπτοπλίνθου Β, το ένεμα HL3 στην

ηλικία των 28 ημερών, αναπτύσσει διατμητική τάση  $\tau_u$  μεγαλύτερη από 0.45 MPa (Εικόνα 184γ, Πίνακας 33). Μη αναμενόμενα χαμηλές τιμές της  $\tau_u$  (~0.30MPa) παρατηρούνται για τις διεπιφάνειες της οπτοπλίνθου Β με την σύνθεση HL2. Εντούτοις, στην ηλικία των 6 μηνών οι διεπιφάνειες με το ένεμα HL2, φαίνεται να προσεγγίζουν την συμπεριφορά εκείνων του ενέματος HL3.

#### ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ $\tau_{u,f}$ :

- (1) Ανεξαρτήτως της σύνθεσης των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, δεν προκύπτει εν χρόνω μεταβολή της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμίων οπτοπλίνθου Α και ενεμάτων G1, G2 και G4. Η μικρή εν χρόνω αύξηση της  $\tau_{u,f}$  για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α [(βλ. Πίνακες, Εικόνες), (για πρδ. ένεμα G2: από 1.27 στα 1.68 MPa, μεταξύ 28 και 60 ημερών αντιστοίχως, ένεμα G4: από 1.30 στα 1.66 MPa, μεταξύ 60 και 180 ημερών αντιστοίχως, για  $\sigma=0.3$  MPa)] δεν μπορεί παρά να αποδοθεί σε διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων.
- (2) Αντιθέτως, στην περίπτωση των δοκιμίων του φαμμίτη με τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3, η  $\tau_{u,f}$  αυξάνεται με την ηλικία, καθώς η αστοχία των σύνθετων δοκιμίων από μικτή (ITZ και υποβάθρου) στις 28 ημέρες μεταφέρεται αποκλειστικώς στο υπόβαθρο στις 90 ημέρες (βλ. Πίνακες 29, 30 και 33, Εικόνες 187 και 188).
- (3) Αναφορικά με τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου Β, μόνον εκείνα με την σύνθεση HL3 αστόχησαν μερικώς στο υπόβαθρο. Ωστόσο, και για αυτήν την σύνθεση, δεν διατίθενται επαρκή δοκίμια που να υποδηλώνουν βελτίωση της  $\tau_{u,f}$  με τον χρόνο.

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $\tau_{res}$  : Όπως προαναφέρθηκε, δεν διαπιστώνεται αξιόλογη εν χρόνω μεταβολή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής (Εικόνα 179). Εξάιρεση αποτελούν οι διεπιφάνειες μεταξύ τριμερούς ενέματος με την μηλαϊκή γη και μαρμάρου ή τραβερτίνη. Σε αυτές τις διεπιφάνειες, μεταξύ 28 και 90 ημερών, η παρατηρηθείσα αύξηση στις τιμές της παραμένουσας διατμητικής αντοχής είναι της τάξης του 80% και 35%, για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου και του τραβερτίνη αντιστοίχως.

#### Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις

Από την λεπτομερή εξέταση όλων των σχετικών στοιχείων (συγκεντρωμένα στις Εικόνες 185 και 186), διαφαίνεται μια σαφής τάση

μείωσης των τιμών της ολίσθησης και της εγκάρσιας διόγκωσης, για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντίσταση των διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων. Η εικόνα επαναλαμβάνεται και στην περίπτωση των μετακινήσεων που αντιστοιχούν στην διατμητική αντοχή για τα σύνθετα δοκίμια που αστόχησαν στο υπόβαθρο.

*Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

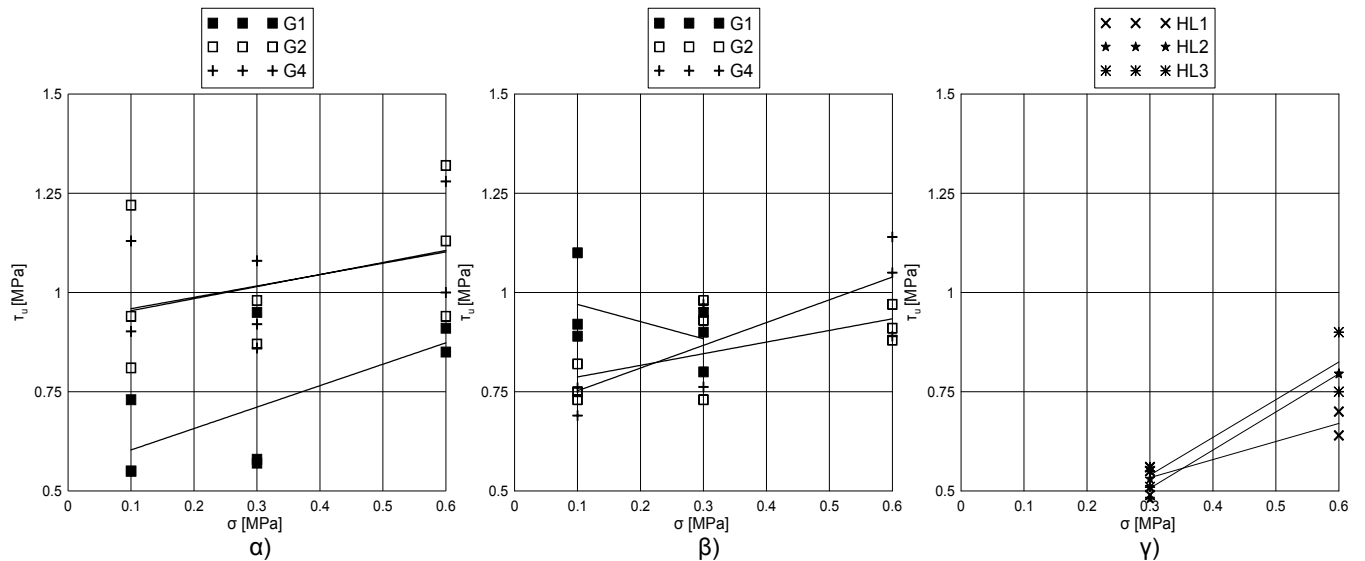
ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Σε μεγαλύτερη ηλικία, οι αρμοί των τριμερών ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια του μαρμάρου, παρουσιάζονται εύθρυπτοι. Ομοίως, στα δοκίμια με τις υδραυλικές ασβέστους, ο αρμός των ενεμάτων χωρίς την προσθήκη ποζολάνης (συνθέσεις HL1 και HL3) παρουσιάζεται εύθρυπτος σε μεγαλύτερες ηλικίες.

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ: Σε μεγαλύτερες ηλικίες (90 και 180 ημέρες), στην επιφάνεια θραύσης σύνθετων δοκιμίων με υπόβαθρο από τραβερτίνη και φαμμίτη που αστόχησαν με τον τύπο Z, διαπιστώθηκαν συνεχείς και διακριτές ρωγμές, οι οποίες συνδυάζονται με την παρουσία μικρορηγματώσεων (Εικόνα 182).

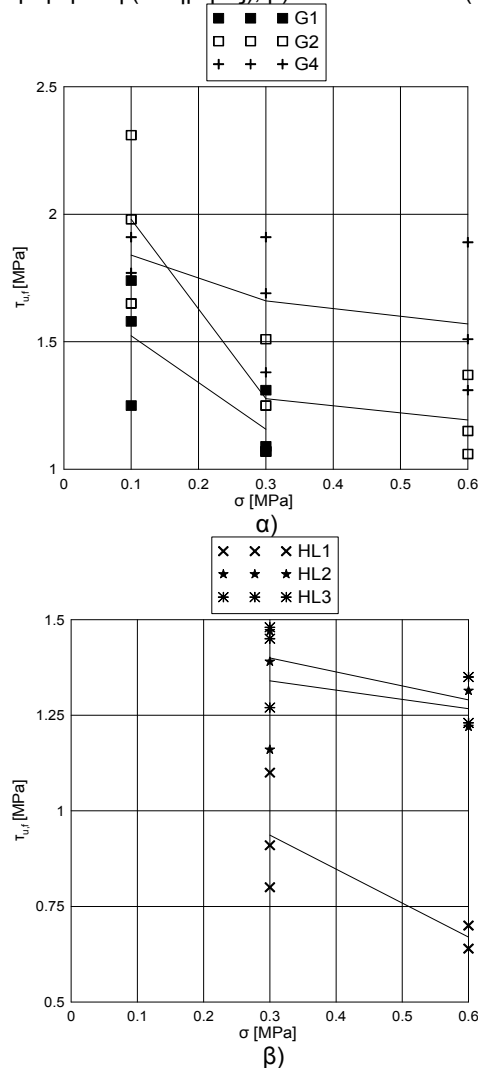
ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Όπως προαναφέρθηκε, διαπιστώθηκε εν χρόνω αύξηση των υψών ενανθράκωσης στα ενέματα. Οι τιμές της ζώνης ενανθράκωσης διαφέρουν αναλόγως του συνδυασμού ενέματος/υποβάθρου (βλ. Πίνακα 36). Έτσι, για τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, οι υψηλότερες τιμές για το βάθος ενανθράκωσης μετρήθηκαν στα σύνθετα δοκίμια με τα λιγότερο πορώδη υπόβαθρα [μάρμαρο Διονύσου (90 ημέρες) και τραβερτίνης (180 ημέρες)] και τα ενέματα G1 και G4. Για τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου, ανεξαρτήτως του τύπου του υποβάθρου ο αρμός των ενεμάτων εμφανίζεται πλήρως (για τα πορώδη υπόβαθρα) ή μερικώς (για τον τεφρό ασβεστόλιθο) ενανθρακωμένος στην ηλικία των 180 ημερών.

**3.8.4.4 ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ,  $\sigma_n$**

Σε αυτήν την ενότητα, παρουσιάζονται τα πειραματικά στοιχεία που σχετίζονται με την επιρροή της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης στα μηχανικά χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας και των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων (δλδ. στις τιμές της διατμητικής τάσης των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων, της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμίων, της παραμένουσας τριβής, καθώς και των αντίστοιχων ολισθήσεων και ανοιγμάτων ρωγμής). Εξ άλλου, καθώς ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων δεν αλλάζει με την  $\sigma_n$  (βλ.



**Εικόνα 189.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$  στην διατμητική τάση των διεπιφανειών ενεμάτων και α) τραβερίνη (90 ημέρες), β) οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), γ) ψαμμίτη (90 ημέρες).



**Εικόνα 190.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$  στην  $\tau_{u,f}$  των σύνθετων δοκιμίων α) οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), β) ψαμμίτη (90 ημέρες).

Πίνακες 24 έως 32), στην παρούσα παράγραφο επελέγη να μην γίνει αναφορά σε αυτά τα στοιχεία. Υπενθυμίζεται ότι, τα σύνθετα δοκίμια στα οποία διερευνήθηκε η επιρροή της παραμέτρου  $\sigma_n$ , είναι τα δοκίμια ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και τραβερίνη (στις 28 και 90 ημέρες) ή οπτοπλίνθου Α (στις 28, 60, 90 και 180 ημέρες) και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και ψαμμίτη (στις 90 ημέρες). Ενδεικτικώς, εδώ, παρουσιάζονται τα στοιχεία μόνον για τις μεγαλύτερες ηλικίες (90 ή 180 ημέρες).

**Διατμητικές τάσεις  $\tau_u, \tau_{u, fictitious}$  και  $\tau_{res}$**

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $\tau_u$ :** Στις Εικόνες 189 σχεδιάζεται η διατμητική τάση των διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων και τραβερίνη ή οπτοπλίνθου Α ή ψαμμίτη συναρτήσει της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης. Για αυτές τις διεπιφάνειες, είναι προφανής η αύξηση της  $\tau_u$  με την αύξηση της  $\sigma_n$ .

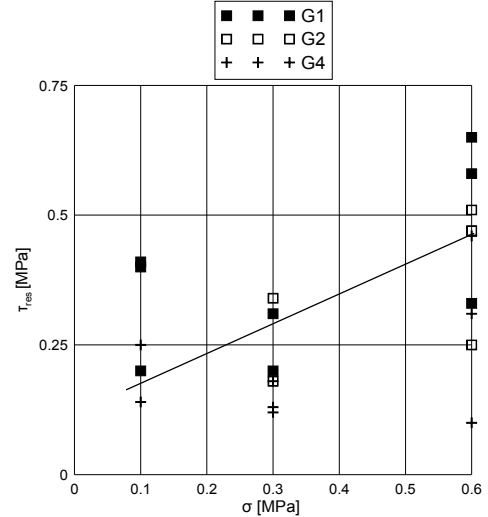
**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $\tau_{u,f}$ :** Από τις Εικόνες 190α και 190β προκύπτει ότι, οι τιμές της διατμητικής αντοχής  $\tau_{u,f}$ , παραδόξως, μειώνονται με την αύξηση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης. Η συμπεριφορά αυτή, θα αξιολογηθεί λεπτομερώς σε επόμενη ενότητα (§ 3.8.4.7.4).

**ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $\tau_{res}$ :** Εδώ παρουσιάζονται τα στοιχεία που αφορούν τις διεπιφάνειες του τραβερίνη (90 ημέρες), καθώς από τους συνδυασμούς ενεμάτων/υποβάθρων για τους οποίους διερευνήθηκε η επιρροή της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης (βλ. § 3.5), μόνο στα δοκίμια του τραβερίνη η αστοχία εμφανίστηκε στην

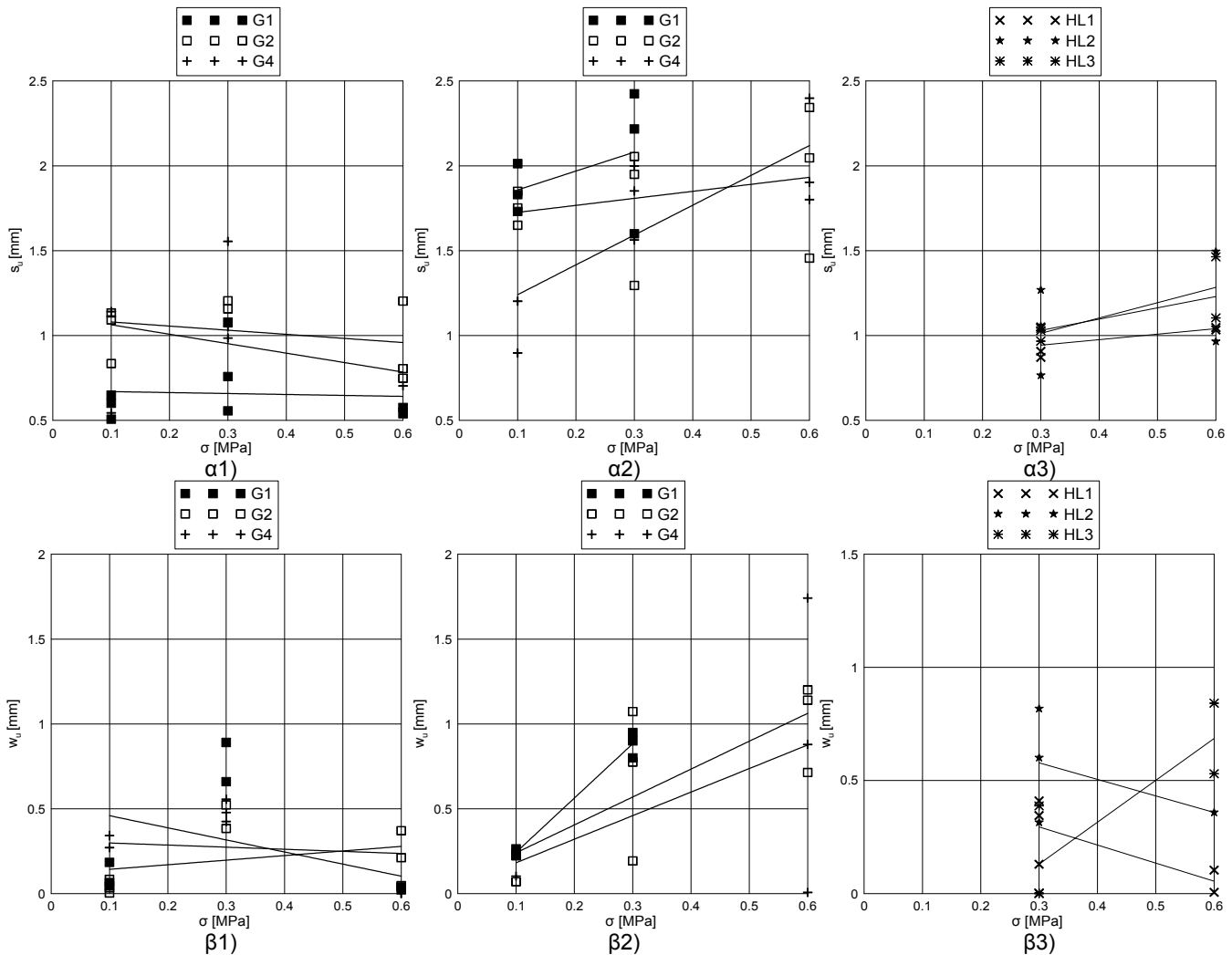
διεπιφάνεια (τύποι αστοχίας ITZ και Z). Επομένως, μόνον για τα δοκίμια του τραβερίτη έχει νόημα η αναφορά στο μέγεθος της παραμένουσας διατμητικής τάσης  $\tau_{res}$ . Έτσι, όπως παρατηρήθηκε για την  $\tau_u$ , η  $\tau_{res}$  αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ορθή τάση  $\sigma_n$  (βλ. Εικόνα 191).

**Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις**

Από την εξέταση των Εικόνων 192, προκύπτει ότι οι τιμές της ολίσθησης και της εγκάρσιας διόγκωσης, για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική τάση των διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερίτη, εν γένει, μειώνονται καθώς η  $\sigma_n$  αυξάνεται. Αυτή την συμπεριφορά φαίνεται να εμφανίζουν, εν μέρει, και οι διεπιφάνειες του ψαμμίτη (βλ. Εικόνες 192α3, 192γ3). Αντιθέτως, για τις διεπιφάνειες της σπτοπλίνθου Α, προκύπτει αύξηση των  $s_u$  και  $w_u$  με την αύξηση της ορθής τάσης. Σε ό,τι αφορά τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και σπτοπλίνθου Α ή ψαμμίτη, με εξαίρεση τα δοκίμια ενέματος G4/όπτοπλίνθου Α (για  $\sigma_n=0.1$  MPa),

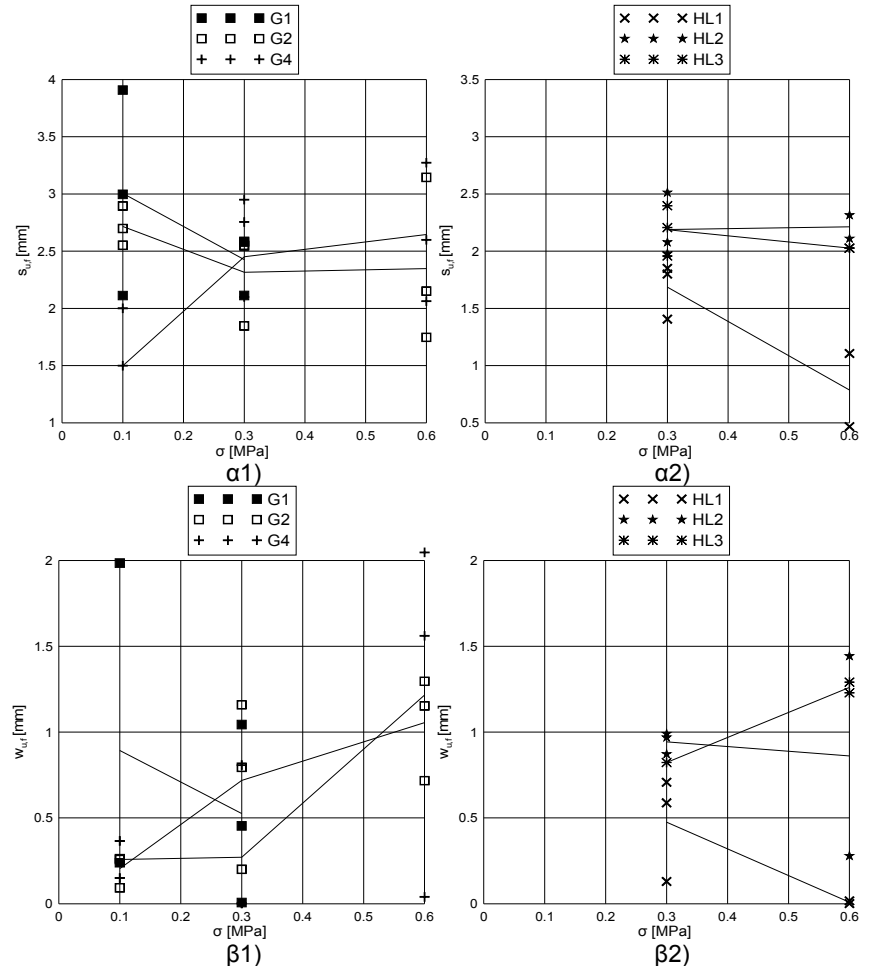


**Εικόνα 191.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$  στην  $\tau_{res}$  των διεπιφανειών τραβερίτη/ενεμάτων (90 ημέρες).



**Εικόνα 192.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$  στην Α) ολίσθηση των διεπιφανειών ενεμάτων και α1) τραβερίτη (90 ημέρες), α2) σπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α3) ψαμμίτη (90 ημέρες) και Β) εγκάρσια διόγκωση των διεπιφανειών ενεμάτων και β1) τραβερίτη (90 ημέρες), β2) σπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), β3) ψαμμίτη (90 ημέρες).

οι ολισθήσεις για τις οποίες ενεργοποιείται η διατμητική αντοχή  $\tau_{u,f}$  μειώνονται αυξανόμενης της  $\sigma_n$  (Εικόνα 193Α). Αντιθέτως, από τα πειραματικά στοιχεία (Εικόνα 193Β) δεν προκύπτει συσχέτιση μεταξύ των τιμών της εγκάρσιας διόγκωσης και της ορθής τάσης.



**Εικόνα 193.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$  στην Α) ολισθήση  $s_{u,f}$  των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων και α1) σπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α2) ψαμμίτη (90 ημέρες) και Β) εγκάρσια διόγκωση  $w_{u,f}$  των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων και α1) σπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), α2) ψαμμίτη (90 ημέρες).

### 3.8.4.5 Επιρροή εξεταζομένων παραμέτρων στα πειραματικά αποτελέσματα: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την παράγραφο αξιολογούνται τα πειραματικά στοιχεία των δοκιμών διατμήσεως. Για την ερμηνεία των παρατηρηθεισών τάσεων (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), όπως αυτές παρουσιάστηκαν στα παραπάνω (§3.8.4.7), συνεκτιμώνται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα όλων των δοκιμών φυσικο-μηχανικού χαρακτήρισμού των επιμέρους υλικών (§3.3), των παρατηρήσεων της μικροδομής (§ 3.7), καθώς και εκείνα των δοκιμών εφελκυσμού (§ 3.8.3). Ας επισημανθεί ότι πολλές από τις

τάσεις που εμφανίσθηκαν στις δοκιμές εφελκυσμού, σχετικώς με την επίδραση του τύπου του υποβάθρου, της σύστασης της συνδετικής κονίας και της ηλικίας στην αναπτυσσόμενη συνάφεια, φαίνεται να επαληθεύονται και από τα αποτελέσματα των δοκιμών διατμήσεως. Γι' αυτό, στην παρούσα ενότητα, η ερμηνεία αυτών των συμπεριφορών, καθώς και των παρατηρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε μακροσκοπικό επίπεδο, γίνεται συνοπτικώς. Βεβαίως, για την ερμηνεία των παρατηρηθεισών τάσεων στις δοκιμές διατμήσεως, δεν πρέπει να αμεληθεί η διαπιστωθείσα μεγάλη διασπορά στα πειραματικά στοιχεία (διατμητική αντοχή, ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής). Εξ άλλου, δεδομένου και του, σχετικώς, μικρού πλήθους δοκιμών που εξετάσθηκαν ανά συνδυασμό παραμέτρου (3 ή 2 δοκίμια), η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται βάσει των μέσων τιμών των μετρηθέντων μεγεθών και με στόχο να αναδειχθούν οι γενικότερες τάσεις, όπου αυτό είναι εφικτό.

#### 3.8.4.5.1 ΤΥΠΟΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ

##### *Τύπος Αστοχίας*

Σε ό,τι αφορά τους παρατηρηθέντες τύπους αστοχίας, τα αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης ευρίσκονται σε συμφωνία με εκείνα των δοκιμών εφελκυσμού, σχετικώς με την ισχυρή εξάρτηση του τρόπου αστοχίας των σύνθετων δοκιμών από τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου. Πράγματι, όπως παρατηρήθηκε στην περίπτωση του εφελκυσμού, στα σύνθετα δοκίμια με τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος, τραβερίνης), εν γένει, επικρατεί ο τύπος αστοχίας ITZ, ενώ στα μαλακότερα υπόβαθρα (οπτόπλινθος Α, ψαμμίτης) εμφανίζεται ο τύπος S (αμιγώς ή σε συνδυασμό με μερική αστοχία της διεπιφανειακής ζώνης). Βεβαίως, σε πολλές από τους εξετασθέντες συνδυασμούς προκύπτει σαφής εξάρτηση του τρόπου αστοχίας και από την σύνθεση της συγκολλητικής κονίας (όπως είναι για πρδ. η εμφάνιση του τύπου Z στα δοκίμια της σύνθεσης G2 με τον τραβερίνη, των τύπων ITZ και Z σε ορισμένα δοκίμια του ψαμμίτη ή της οπτοπλίνθου Β με ενέματα υδραυλικής ασβέστου). Όπως φάνηκε στην οικεία ενότητα του εφελκυσμού (§ 3.8.3.6.1), η εμφάνιση του τύπου αστοχίας ITZ στα δοκίμια μαρμάρου και ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης αποδίδεται στον σχηματισμό διεπιφανειών με σχετικώς ασθενή μικροδομή. Σημειώνεται ότι κύρια αιτία για την δημιουργία διεπιφανειακής ζώνης με μη πυκνή μικροδομή, αποτελεί το αδιαπέρατο του υποβάθρου, καθώς και ο επακόλουθος σχηματισμός πηγμάτων με υψηλές τιμές για τον υδατοσιμεντοσυντελεστή. Καθώς τα

φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά του τεφρού ασβεστόλιθου, που εξετάσθηκε στην παρούσα εργασία, είναι παρεμφερή με εκείνα του μαρμάρου, προφανώς, η ίδια ερμηνεία υιοθετείται και στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων του τεφρού ασβεστόλιθου με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, τα οποία αστόχησαν κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου.

Για τα σύνθετα δοκίμια του τραβερίνη, τα τεμάχια του υποβάθρου τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές διάτμησης, είχαν χαμηλότερο πορώδες και πιο λείες επιφάνειες σε σχέση με τα τεμάχια που εξετάσθηκαν έναντι εφελκυσμού. Έτσι, στις δοκιμές διάτμησης, μολονότι οι διεπιφάνειες του τραβερίνη εμφανίζονται ισχυρότερες σε σχέση με τις διεπιφάνειες του μαρμάρου, ήταν σχεδόν αναμενόμενο οι τρόποι αστοχίας των δοκιμίων του τραβερίνη να μην διαφοροποιούνται ουσιαστικά από εκείνους των δοκιμίων του μαρμάρου (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής, Συμπεράσματα §3.7.2.4). Παρ' όλα αυτά, όπως και στην περίπτωση των δοκιμών του εφελκυσμού, τα ισχυρότερα ενέματα G1 (στις 90 ημέρες) και G2, αστόχησαν και με τον τύπο Z. Όπως ερμηνεύθηκε στην οικεία ενότητα των δοκιμών του εφελκυσμού, η εμφάνιση του τύπου αστοχίας Z στα ισχυρά ενέματα, συσχετίζεται με τον σχηματισμό πρώιμων ρηγματώσεων σε αυτά τα πηγμάτα εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων των χημικών αντιδράσεων (ενυδάτωση και ποζολανική αντίδραση), όπως άλλωστε αποδείχθηκε και από τις παρατηρήσεις της μικροδομής (§ 3.7).

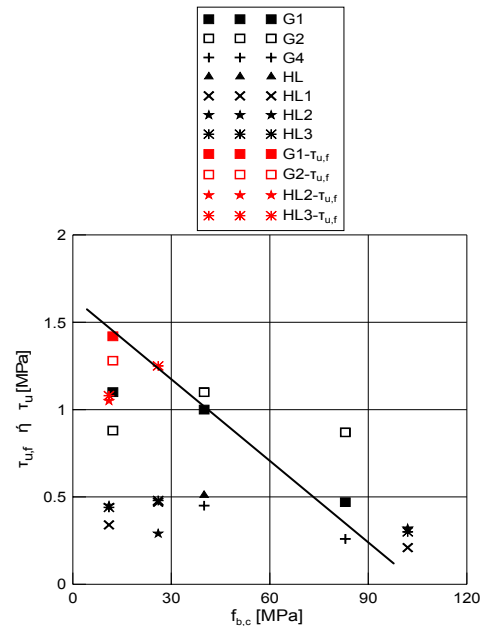
Σε ό,τι αφορά τα πιο μαλακά υπόβαθρα, η αστοχία του υποβάθρου για τα σύνθετα δοκίμια οπτοπλίνθου A (εξ ολοκλήρου ή σε συνδυασμό σε ορισμένες περιπτώσεις με τον τύπο ITZ) εξηγείται από την διείσδυση των προϊόντων ενυδάτωσης στην πορώδη οπτόπλινθο A και τον σχηματισμό ισχυρών διεπιφανειών μεταξύ του υποβάθρου και των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης. Εξηγείται δε, από την εξασφάλιση καλύτερης πρόσφυσης και ισχυρής μηχανικής αλληλεμπλοκής των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων με το υπόβαθρο. Ας σημειωθεί ότι, η μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης των δοκιμίων του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου B δεν μελετήθηκε εδώ. Εντούτοις, στην περίπτωση του ψαμμίτη, η πρόσφυση και η ισχυρή μηχανική αλληλεμπλοκή των προϊόντων των «ισχυρότερων» ενεμάτων HL2 και HL3 με το υπόβαθρο, σε συνδυασμό με τον χαμηλής ποιότητας ψαμμίτη, θεωρείται ότι ερμηνεύουν την αστοχία τύπου S για αυτά τα σύνθετα δοκίμια. Αντιθέτως, το «ασθενέστερο» ένεμα HL1 δεν εξασφάλισε επαρκή μηχανική αλληλεμπλοκή με τον ψαμμίτη, γι' αυτό άλλωστε και τα σύνθετα δοκίμια ενέματος HL1/ψαμμίτη αστόχησαν, εν



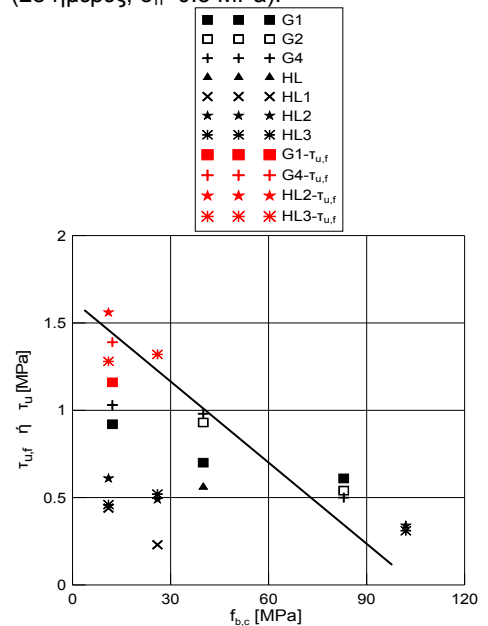
γένει, κατά μήκος μιας διεπιφάνειας (στις 28&180 ημέρες). Αντιθέτως, η εμφάνιση, κυρίως, των τύπων αστοχίας ITZ και Z για τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Β (ανεξαρτήτως της σύνθεσης του ενέματος υδραυλικής ασβέστου), ενδεχομένως, να αποδίδεται στο ότι η επιφάνεια του εν λόγω υποβάθρου ήταν εξαιρετικά λεία (βλ. Εικόνα 182δ) και, συνεπώς, ελλείπει τραχύτητας, δεν εξασφαλίστηκε επαρκής μηχανική συνάφεια μεταξύ οπτοπλίνθου Β και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου.

**Διατμητικές τάσεις  $T_u$ ,  $T_{u, fictitious}$  και  $T_{res}$**

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ , ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $T_{u,f}$ : Όπως προβλέφθηκε βάσει των παρατηρήσεων της μικροδομής (§ 3.7) και επιβεβαιώθηκε από τις δοκιμές εφελκυσμού, έτσι, και τα αποτελέσματα των δοκιμών διατμήσεως επαληθεύουν α) τις βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες των υδραυλικών ενεμάτων με τα πιο πορώδη και χαμηλότερης αντοχής υπόβαθρα, καθώς και β) την εξάρτηση της συνάφειας από τις ιδιότητες του υποβάθρου. Πράγματι, όπως περιγράφηκε στα προηγούμενα, οι τιμές της διατμητικής τάσης των διεπιφανειών ενεμάτων και τραβερίνη ή οπτοπλίνθου Α ή ψαμμίτη ή οπτοπλίνθου Β, καθώς και της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμών τους, είναι συστηματικώς υψηλότερες από εκείνες που αναπτύσσονται για εκείνες του μαρμάρου ή του τεφρού ασβεστόλιθου (βλ. Εικόνες 194 και 195). Οι υψηλότερες τιμές της  $T_u$  και της  $T_{u,f}$  που μετρήθηκαν για τα ασθενέστερα υπόβαθρα, αποδίδονται (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής § 3.7), συνοπτικώς, στην πρόσφυση και διείσδυση των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων σε αυτά τα υπόβαθρα, στην υψηλότερη φυσική επιφανειακή τραχύτητα των υποβάθρων με την οποία εξασφαλίστηκε καλύτερη μηχανική αλληλεμπλοκή με τα προϊόντα ενυδάτωσης των ενεμάτων, καθώς και, σε ορισμένες περιπτώσεις, γ) στην απουσία ρηγματώσεων αποκόλλησης κατά μήκος της διεπιφάνειας εξαιτίας της εκτόνωσης των εσωτερικών τάσεων που αναπτύσσονται στα πήγματα διαμέσου των πόρων του υποβάθρου. Επί πλέον, ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζουν τα φυσικο-μηχανικά του υποβάθρου στην συνάφεια μεταξύ ενεμάτων και υποβάθρων, αποδεικνύεται και από το ότι, σε μεγαλύτερη ηλικία και για το ίδιο υπόβαθρο, όλα τα ενέματα αναπτύσσουν παρεμφερείς τιμές για την  $T_u$  και την  $T_{u,f}$  (Εικόνα 195), ενώ καθώς φαίνεται ανά τύπο υποβάθρου υπάρχει μια «μέγιστη» τιμή για την διατμητική αντίσταση των διεπιφανειών ή των σύνθετων δοκιμών, η οποία τιμή καθορίζεται από το υπόβαθρο. Εξ άλλου, η ισχυρή εξάρτηση της μηχανικής συμπεριφοράς έναντι διάτμησης των



**Εικόνα 194.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι<sup>1</sup> ή πλίνθοι) στην μέση τιμή της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa).



**Εικόνα 195.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι<sup>1</sup> ή πλίνθοι) στην μέση τιμή της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa).

διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων/υποβάθρων από τις ιδιότητες του υποβάθρου, φαίνεται και από την μεγαλύτερη διασπορά στις μετρούμενες τιμές των  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  (και των αντίστοιχων ολισθήσεων και εγκάρσιων διογκώσεων) για τα υπόβαθρα, τα οποία εμφανίζουν μια ποικιλία στα φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά τους (βλ. τραβερίνης, ψαμμίτης, οπτόπλινθοι Α και Β). Αυτή η εξάρτηση γίνεται ακόμη πιο σαφής, αν ληφθεί υπόψη ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμών τους: εν γένει, τα δοκίμια με τα ισχυρότερα υπόβαθρα αστόχησαν με τον τύπο αστοχίας ITZ, ενώ εκείνα με τα ασθενέστερα υπόβαθρα εμφάνισαν, αναλόγως της συνδετικής κονιάς, όλους τους τύπους αστοχίας (δλδ. τύποι ITZ και Z, τύπος S εξ ολοκλήρου ή σε συνδυασμό με τον τύπο ITZ). Έτσι, καθώς τα χαρακτηριστικά του ασθενέστερων υποβάθρων και των υδραυλικών ενεμάτων δεν διαφέρουν τόσο πολύ όσο στην περίπτωση των ισχυρότερων μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου, η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών με τα ασθενέστερα υπόβαθρα είναι πιο ομοιογενής. Αυτό συνεπάγεται την ενεργοποίηση και του αρμού του ενέματος για την παραλαβή των ολισθήσεων, υπόθεση η οποία φαίνεται να επαληθεύεται και από τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών με τα ασθενέστερα υπόβαθρα. Ως προς τις συγκολλητικές ιδιότητες των ενεμάτων, όπως θα αναδειχθεί και στην οικεία ενότητα, οι βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες τριμερών συνθέσεων έναντι της σύνθεσης αναφοράς επιβεβαιώνονται για όλους τους τύπους των υποβάθρων που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Σε ό,τι αφορά τις συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου, φαίνεται ότι και αυτά τα ενέματα έχουν ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες (που είναι συγκρίσιμες με εκείνες του ενέματος αναφοράς και των τριμερών συνθέσεων), ιδιαίτερα με τα πιο ασθενή υπόβαθρα.

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $\tau_{res}$ : Αν και το πλήθος των πειραματικών στοιχείων για τις διεπιφάνειες των ενεμάτων είναι σχετικώς περιορισμένο, φαίνεται ότι, μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντίστασης, οι διεπιφάνειες των ενεμάτων με τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος, τραβερίνης), εν γένει, παρουσιάζουν παραμένουσα διατμητική αντοχή ( $0.2 \pm 0.3$  MPa στις 90 ή 180 ημέρες), η οποία είναι κατά τι μεγαλύτερη από εκείνη των διεπιφανειών του ψαμ-

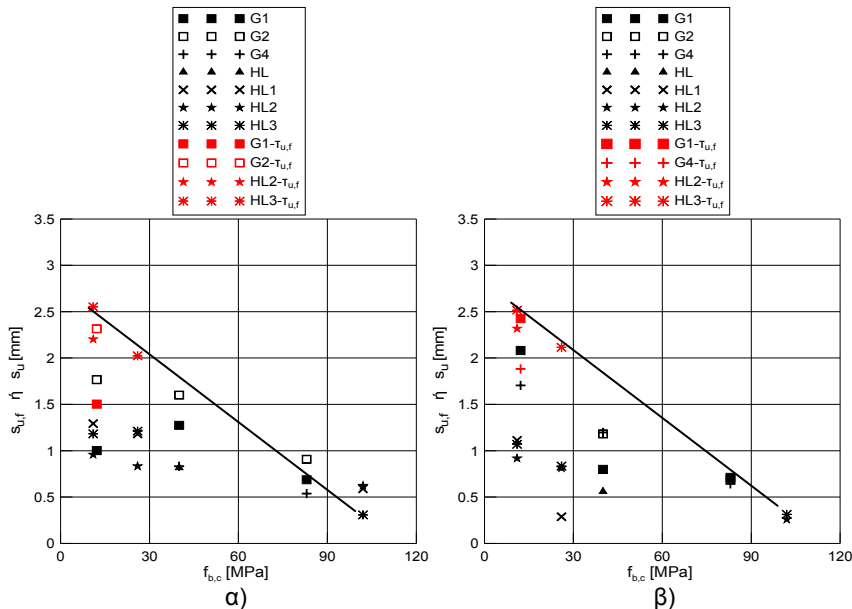
---

<sup>1</sup> Για την σχεδίαση των Εικόνων 194-198, για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των λίθων έχουν χρησιμοποιηθεί τα στοιχεία του Πίνακα 14. Δεδομένης της μεγάλης ποικιλίας στις ιδιότητες του τραβερίνη, έχει θεωρηθεί μια εύλογη μέση τιμή για την θλιπτική αντοχή του λίθου ίση με 40 MPa.

μίτη και της οπτοπλίνθου Β με τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου ( $\leq 0.2$  MPa στις 180 ημέρες). Παρ' όλα αυτά, η επιρροή του τύπου του υποβάθρου στις τιμές της παραμένουσας διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών με τα ενέματα, καθώς αποδεικνύεται σχετικώς μικρή, πρακτικώς, θεωρείται ότι εντάσσεται μέσα στα όρια της διασποράς.

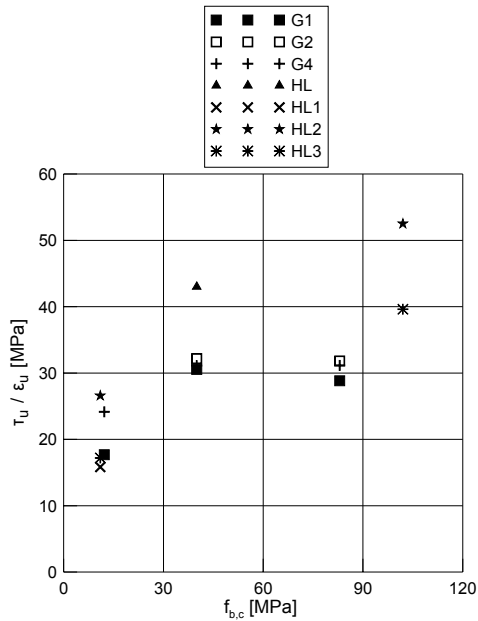
**Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις**

Όπως προαναφέρθηκε, η εξάρτηση της μηχανικής συμπεριφοράς των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων υποβάθρων/ενεμάτων από τις ιδιότητες του υποβάθρου αποτυπώνεται, μεταξύ άλλων, και στην μεγάλη διασπορά των τιμών των ολισθήσεων και των εγκαρσίων διογκώσεων (για τις οποίες ενεργοποιούνται οι διατμητικές αντιστάσεις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$ ) για τα υπόβαθρα που παρουσιάζουν μια ποικιλία στις φυσικο-μηχανικές ιδιότητές τους (βλ. για πρδ. οπτόπλινθους Α και Β).



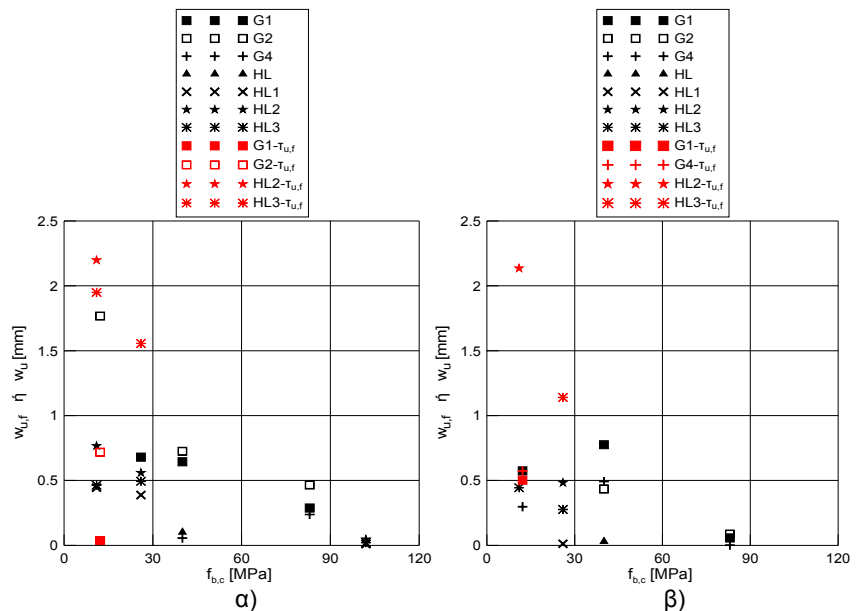
**Εικόνα 196.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην  $s_u$  και  $s_{u,f}$  α) στις 28 ημέρες και β) στις 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

Σε ότι αφορά τις ολισθήσεις, όπως και στην περίπτωση της διατμητικής αντίστασης, οι υψηλότερες καταγραφθείσες τιμές για τις  $s_u$  και  $s_{u,f}$  επιβλήθηκαν στα μαλακότερα υπόβαθρα (βλ. Εικόνες 196). Αυτή η τάση για τις ολισθήσεις, φαίνεται να συσχετίζεται με δύο δράσεις: α) την καλύτερη μηχανική αλληλεμπλοκή που επιτεύχθηκε μεταξύ των ενεμάτων και αυτών των υποβάθρων, η οποία οφείλεται στην μεγαλύτερη επιφανειακή τραχύτητα [για πρδ. (Τουμβακαρί 2002)] και στο υψηλότερο πορώδες των «ασθενέστερων» υποβάθρων, καθώς και β) την επιστράτευση του αρμού των ενεμάτων για την παραλαβή της διατμητικής ολίσθησης στα σύνθετα δοκίμια με τα μαλακότερα υπόβαθρα. Η συνεργία αυτών των δύο δράσεων, έχει ως αποτέλεσμα



**Εικόνα 197.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στον λόγο τ<sub>u</sub> / ε<sub>u</sub> (σ<sub>n</sub>=0.3 MPa).

να απαιτούνται υψηλότερες τιμές ολισθήσεων για την ενεργοποίηση της διατμητικής αντοχής (της διεπιφάνειας ή των σύνθετων δοκιμίων). Άλλωστε, η ισχυρή επίδραση του τύπου του υποβάθρου στην μηχανική συμπεριφορά των διεπιφανειών υποβάθρων/ενεμάτων, τεκμηριώνεται και από το ότι, για ένα μεγάλο πλήθος υλικών ενίσχυσης (ενέματα) και δομικών λίθων (υπόβαθρα) που διερευνήθηκαν εδώ, οι υψηλότερες τιμές των διατμητικών αντιστάσεων των διεπιφανειών επιστρατεύονται σε μεγαλύτερες τιμές των επιβαλλόμενων ολισθήσεων με τέτοιο τρόπο, ώστε ο λόγος της τ<sub>u</sub> προς την ε<sub>u</sub><sup>1</sup> να προκύπτει ανεξάρτητος της σύνθεσης του ενέματος (σε μεγαλύτερες ηλικίες, σ<sub>n</sub>=0.3MPa), (βλ. Εικόνα 197). Πράγματι, ο λόγος τ<sub>u</sub> προς την ε<sub>u</sub> λαμβάνει, πρακτικώς, δύο τιμές: 20MPa για τα μαλακά και 30÷40MPa για τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τραβερτίνης, τεφρός ασβεστόλιθος), αντιστοίχως. Μολονότι το εύρος των μετρηθείσων τιμών για τις w<sub>u</sub> και w<sub>u,f</sub> ανά υπόβαθρο είναι μεγαλύτερο εκείνου για τις s<sub>u</sub> και s<sub>u,f</sub>, η τάση που παρατηρήθηκε στις ολισθήσεις επιβεβαιώνεται και στα ανοίγματα ρωγμής, όπως προκύπτει άλλωστε από την Εικόνα 198: Εν γένει, οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης για τα ασθενέστερα υπόβαθρα είναι υψηλότερες σε σχέση με τις τιμές που μετρήθηκαν για το ισχυρότερο μάρμαρο και τον τεφρό ασβεστόλιθο. Εξ άλλου, αντίστοιχες συμπεριφορές έχουν βρεθεί από τον (Van der Pluijm 2000) για αργιλικής και πυριτικής σύστασης υπόβαθρα.



**Εικόνα 198.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής των δομικών λίθων (λίθοι ή πλίνθοι) στην w<sub>u</sub> και w<sub>u,f</sub> α) στις 28 ημέρες και β) στις 90 ημέρες (σ<sub>n</sub>=0.3 MPa).

<sup>1</sup> Η ανηγμένη παραμόρφωση ε<sub>u</sub> ορίζεται ως ο λόγος της επιβαλλόμενης ολίσθησης s<sub>u</sub> προς το μήκος της διεπιφάνειας κατά την διεύθυνση επιβολής της s<sub>u</sub> (εδώ, ίση με 40mm).

*Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ/ΥΦΗ ΤΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ, ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΟΡΩΝ: Όπως προαναφέρθηκε (§ 3.8.3.6.1), ο σχηματισμός πηγμάτων με λιγότερο πυκνές δομές στους αρμούς των σύνθετων δοκιμίων του μαρμάρου, του τεφρού ασβεστόλιθου, καθώς και –σε μικρότερο βαθμό- του τραβερτίνη, συσχετίζεται με το αδιαπέρατο των εν λόγω υποβάθρων και αποδεικνύεται από το εύθρυπτο των οικείων αρμών, την παρατηρηθείσα ρηγμάτωση και τα μεγάλα βάθη ενανθράκωσης σε αυτά τα πηγματα. Για τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου, αυτή η διαπίστωση αφορά, κυρίως, τις συνθέσεις χωρίς την φυσική ποζολάνη, δλδ. τις συνθέσεις HL1 και HL3. Άλλωστε, η σχετικώς «ασθενής» μικροδομή αυτών των πηγμάτων είχε υποδηλωθεί και από την παρατηρηθείσα εν χρόνω μείωση της καμπτικής αντοχής τους (§ 3.3). Προφανώς, ο σχηματισμός λιγότερο πυκνών μικροδομών (πηγμάτων και διεπιφανειακής ζώνης) επιδρά δυσμενώς στην αναπτυσσόμενη συνάφεια των οικείων δοκιμίων υποβάθρου/ενεμάτων.

ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ: Η παρουσία μικρορηγματώσεων στον αρμό των ενεμάτων ή/και ο σχηματισμός αδρών επιφανειών στα χείλη των ρωγμών, υποδηλώνουν έντονα φαινόμενα συστολής (ξήρανσης ή λόγω των υψηλών ταχυτήτων χημικών αντιδράσεων), τα οποία επέδρασαν δυσμενώς στην τιμή και στην ανθεκτικότητα της συνάφειας (βλ. § 3.8.4.6.3). Ας σημειωθεί ότι στην περίπτωση των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, τα φαινόμενα ρηγμάτωσης είναι εντονότερα για την σύνθεση G2 σε σχέση με την τριμερή σύνθεση της μηλαϊκής, όπως άλλωστε διαπιστώθηκε στις δοκιμές εφελκυσμού και στις παρατηρήσεις της μικροδομής.

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ: Όπως και στην περίπτωση των δοκιμίων του εφελκυσμού (§ 3.8.3.6.1), τα μεγαλύτερα -σε σχέση με τα άλλα υπόβαθρα- ύψη ενανθράκωσης που μετρήθηκαν στον αρμό των δοκιμίων με το μάρμαρο, σχετίζονται με το αδιαπέρατο του εν λόγω υποβάθρου και τον σχηματισμό πηγμάτων με χαλαρότερη μικροδομή (τα οποία είναι εύθρυπτα), και, άρα, πηγμάτων που είναι σε μεγαλύτερο βαθμό επιρρεπή στην ενανθράκωση. Ως προς τον τραβερτίνη, η χρήση καλύτερης ποιότητας (μικρότερο πορώδες, υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά) τεμαχίων υποβάθρου στα δοκίμια της διάτμησης έναντι εκείνων των δοκιμίων εφελκυσμού, οδήγησε στην εμφάνιση ελαφρώς υψηλότερων βαθών ενανθράκωσης στα πηγματα των συνθέσεων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης. Προφανώς, και για αυτήν την περίπτωση υποβάθρου, οι αρμοί των ενεμάτων σε αυτά τα δοκίμια είναι σε μικρότερο βαθμό ενανθρακωμένοι από εκείνους στα δοκίμια με το

μάρμαρο. Εντούτοις, περαιτέρω διερεύνησης χρήζει η παρατηρηθείσα, μη αναμενόμενη, αύξηση του ύψους ενανθράκωσης για την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη G4 στις 180 ημέρες. Σε ό,τι αφορά τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, σε ηλικία έξι μηνών, αυτά τα ενέματα εμφανίζονται μερικώς ή πλήρως ενανθρακωμένα εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς τους σε  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Επισημαίνεται ότι, τα μεγαλύτερα βάθη ενανθράκωσης που διαπιστώνονται στους αρμούς των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου με τα υπόβαθρα του ψαμμίτη και της οπτοπλίνθου Β, ενδεχομένως, να συσχετίζονται με το σχετικό υψηλό πορώδες αυτών των υποβάθρων (~30%), εξαιτίας του οποίου εξασφαλίστηκε η συνεχής παροχή με  $\text{CO}_2$  στους αρμούς των πηγμάτων.

#### 3.8.4.5.2 ΤΥΠΟΣ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

##### *Τύπος Αστοχίας*

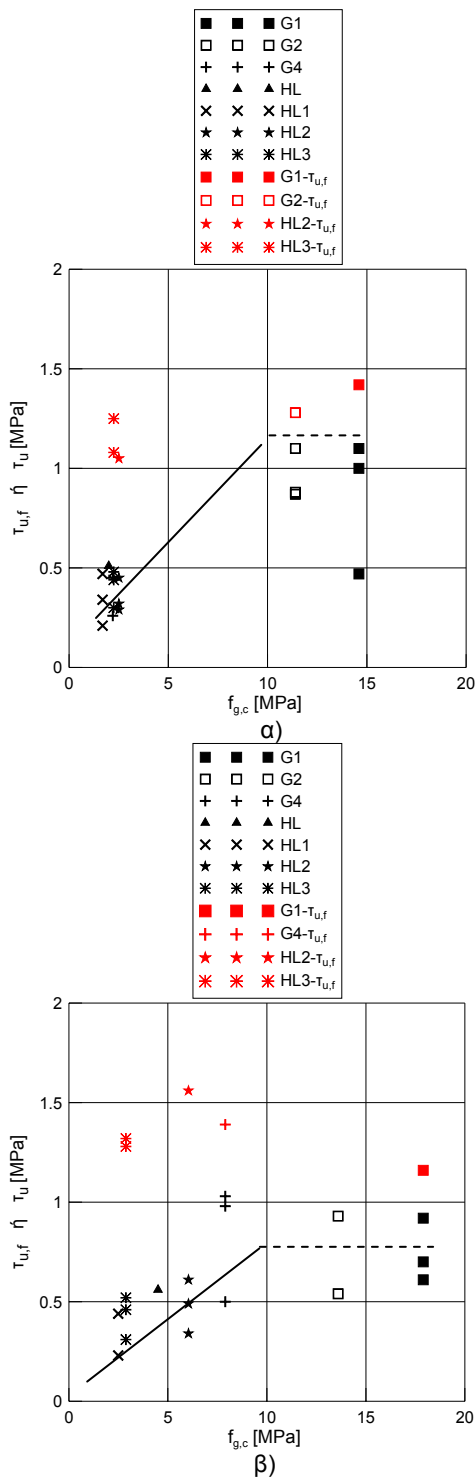
Όπως προκύπτει από την παρουσίαση των οικείων στοιχείων, σε αντίθεση με τις δοκιμές εφελκυσμού, ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων που υποβλήθησαν σε διάτμηση, δεν διαφοροποιείται σημαντικά αναλόγως της σύνθεσης της συγκολλητικής κονίας. Εξαίρεση στην παραπάνω διαπίστωση αποτελούν τα δοκίμια α) του τραβερίτη με τα ισχυρά ενέματα G1 και G2, β) της οπτοπλίνθου Α και του ενέματος G1, γ) του ψαμμίτη και δ) της οπτοπλίνθου Β και των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου. Πράγματι, για τα δοκίμια του μαρμάρου, η διατμητική αντοχή των διεπιφανειών διαφοροποιείται αναλόγως της σύστασης των ενεμάτων (σε μικρότερη ηλικία), ενώ ο τύπος αστοχίας των δοκιμίων καθορίζεται από το «ισχυρότερο» υπόβαθρο (αστοχία ITZ). Παρεμφερής με τα δοκίμια του μαρμάρου είναι η εικόνα για τα δοκίμια του τραβερίτη. Εντούτοις, μόνον στην περίπτωση των δοκιμίων των ισχυρότερων ενεμάτων G1 (τσιμεντένεμα) και G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) με τον τραβερίτη, εμφανίστηκε η αστοχία τύπου Z. Όπως προαναφέρθηκε, αυτός ο τύπος αστοχίας σχετίζεται, πιθανόν, με τον σχηματισμό πρώιμων ρηγματώσεων στα πήγματα των ενεμάτων G1 και G2, λόγω των υψηλών ταχυτήτων των χημικών αντιδράσεων της ενυδάτωσης και της ποζολανικής αντίδρασης. Ας επισημανθεί ότι, για τα δοκίμια με την σύνθεση αναφοράς, η αστοχία τύπου Z ενδέχεται να συνδέεται με την παρατηρηθείσα απόμιξη του εν λόγω ενέματος. Σε ό,τι αφορά τα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α, οι ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες των συνθέσεων G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) και G4 (τριμερές ένεμα με μηλαϊκή γη) σε συνδυασμό με το ασθενές υπόβαθρο,

εξασφάλισαν τον σχηματισμό ισχυρών διεπιφανειών. Έτσι, τα σύνθετα δοκίμια οπτοπλίνθου Α/τριμερών ενεμάτων αστόχησαν στο υπόβαθρο. Για την ισχυρότερη σύνθεση αναφοράς, δεδομένης της διαπιστωθείσας -από τις παρατηρήσεις της μικροδομής- ικανοποιητικής συνάφειας μεταξύ ενέματος G1 και οπτοπλίνθου Α, η εμφάνιση του τύπου αστοχίας S η οποία συνδυάζεται με μερική αστοχία της διεπιφανειακής ζώνης, δεν μπορεί παρά να συνδέεται αποκλειστικώς με τα φαινόμενα απόμιξης που παρουσίασε το μίγμα G1.

Ως προς τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου, εν γένει, σε όλα τα υπόβαθρα προκύπτουν καλύτερες συγκολλητικές ιδιότητες για τις συνθέσεις HL2 (φυσική υδραυλική άσβεστος NHL5 με φυσική ποζολάνη) και HL3 (φυσική υδραυλική άσβεστος CR) έναντι της HL1 (φυσική υδραυλική άσβεστος ACAD), όπως άλλωστε αποτυπώνεται, μεταξύ άλλων, στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων τους. Πράγματι, στην περίπτωση του τεφρού ασβεστόλιθου, μολονότι στις 28 ημέρες όλα τα σύνθετα δοκίμια υποβάθρου/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου αστοχούν με τον τύπο ITZ, σε μεγαλύτερη ηλικία μόνον εκείνα τα δοκίμια με τις συνθέσεις HL2 (3 δοκίμια) και HL3 (1 δοκίμιο) εξασφάλισαν συνάφεια με το υπόβαθρο. Στην περίπτωση του ψαμμίτη, η εξασφάλιση καλύτερης μηχανικής αλληλεμπλοκής με το υπόβαθρο για τις συνθέσεις HL2 και HL3 υποδηλώνεται από το ότι τα σύνθετα δοκίμια του ψαμμίτη με αυτά τα δυο ενέματα αστόχησαν μερικώς (σε μικρότερες ηλικίες) ή εξ' ολοκλήρου (στις 90 και 180 ημέρες) στο υπόβαθρο. Αντιστοίχως, για την σύνθεση HL1 η χειρότερη –σε σχέση με τις συνθέσεις HL2 και HL3- συνάφεια με τον ψαμμίτη αποδεικνύεται από την εμφάνιση της αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων κατά μήκος μιας διεπιφάνειας (στις 28 και 180 ημέρες). Σε ό,τι αφορά την οπτόπλινθο Β, διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις του τρόπου αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων και μεταξύ των ενεμάτων, καθώς και ανάμεσα σε ομοειδή δοκίμια. Παρ' όλα αυτά, ο συνηθέστερος τύπος αστοχίας για όλες τις συνθέσεις είναι η αστοχία στην διεπιφανειακή ζώνη (τύποι αστοχίας ITZ και Z) και αποδίδεται στην περιορισμένη φυσική τραχύτητα του υποβάθρου.

#### *Διατμητικές τάσεις $T_u, T_{u, fictitious}$ και $T_{res}$*

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ , ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $T_{u, f}$ : Όπως προαναφέρθηκε, τα πειραματικά στοιχεία των δοκιμών διατμήσεως επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σχετικώς με τις βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες των τριμερών συνθέσεων έναντι της ισχυρότερης σύνθεσης α-

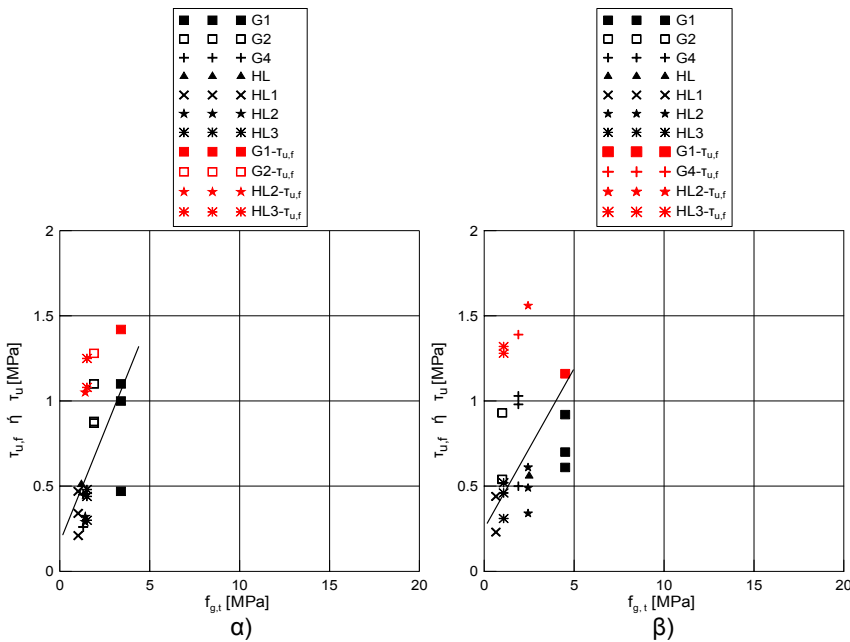


**Εικόνα 199.** Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην  $T_u$  και  $T_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

ναφοράς G1: Αν αμεληθεί ο διαφορετικός ρυθμός ανάπτυξης των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών ή των σύνθετων δοκιμών, με τις τριμερείς συνθέσεις επιτυγχάνονται ίσες ή και υψηλότερες τιμές της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών ή των σύνθετων δοκιμών σε σχέση με εκείνες που αναπτύσσονται από το ένεμα G1. Ως προς τις δύο τριμερείς συνθέσεις G2 και G4, από την λεπτομερή εξέταση όλων των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτει ότι, οι διαφορές στην μηχανική συμπεριφορά που παρουσιάζουν οι διεπιφάνειες αυτών των ενεμάτων στις 28 ημέρες, αμβλύνονται σε μεγαλύτερη ηλικία. Όπως σχολιάστηκε στην οικεία ενότητα των δοκιμών του εφελκυσμού (βλ. 3.8.3.6.2), η καλύτερη -εις βάθος χρόνου- συμπεριφορά για την σύνθεση της μηλαϊκής γης σε σχέση με την τριμερή σύνθεση του μετακαολίνη, συσχετίζεται με την περιορισμό της μικρορηγματώσεως στον αρμό του ενέματος G4 αποδιδόμενη στον περιορισμό των α) πρώιμων ρηγματώσεων λόγω της μικρότερης δραστηριότητας της φυσικής έναντι της τεχνητής ποζολάνης και β) ρηγματώσεων συστολής εξαιτίας των χαμηλότερων τιμών υδατοσιμεντοσυντελεστή. Παρεμφερείς, αν και μικρότερες με εκείνες της σύνθεσης αναφοράς,, προκύπτουν οι συγκολλητικές ιδιότητες των, σαφώς χαμηλότερης αντοχής, ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου σε υπόβαθρα με παρόμοια φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά με τα υπόβαθρα που εξετάστηκαν για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης. Έτσι, μολονότι στις διεπιφάνειες με τα ισχυρότερα υπόβαθρα (τεφρός ασβεστόλιθος, τραβερίνης) τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου αναπτύσσουν έως 50% μικρότερες τιμές διατμητικής αντίστασης σε σχέση με τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (για  $\sigma_n=0.3$  MPa), με τα πιο πορώδη και χαμηλότερης αντοχής υπόβαθρα οι διεπιφάνειες των συνθέσεων υδραυλικής ασβέστου αποδεικνύονται το ίδιο ισχυρές με εκείνες των υψηλής ή μέτριας αντοχής ενεμάτων. Αυτή η υπόθεση τεκμηριώνεται από το ότι τα σύνθετα δοκίμια των «ασθενέστερων» υποβάθρων εμφανίζουν, εν γένει, τον τύπο αστοχίας S ανεξαρτήτως της σύνθεσης του ενέματος. Καθώς στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας, μετά την ενίσχυσή της με ενέματα, συνήθως απαντώνται διάφορες διεπιφάνειες ενεμάτων και υποβάθρων, χάριν σύγκρισης των συγκολλητικών ιδιοτήτων των ενεμάτων, νομιμοποιείται να αγνοηθεί η επίδραση του υποβάθρου στην διατμητική αντοχή συνάφειας. Έτσι, στην Εικόνα 199, διαπιστώνεται συσχέτιση της διατμητικής τάσης της διεπιφάνειας με την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων για τιμές της  $f_{g,c}$  έως περίπου τα 10 MPa, ενώ για περαιτέρω αύξηση της θλιπτικής αντοχής του ενέματος δεν προκύπτει



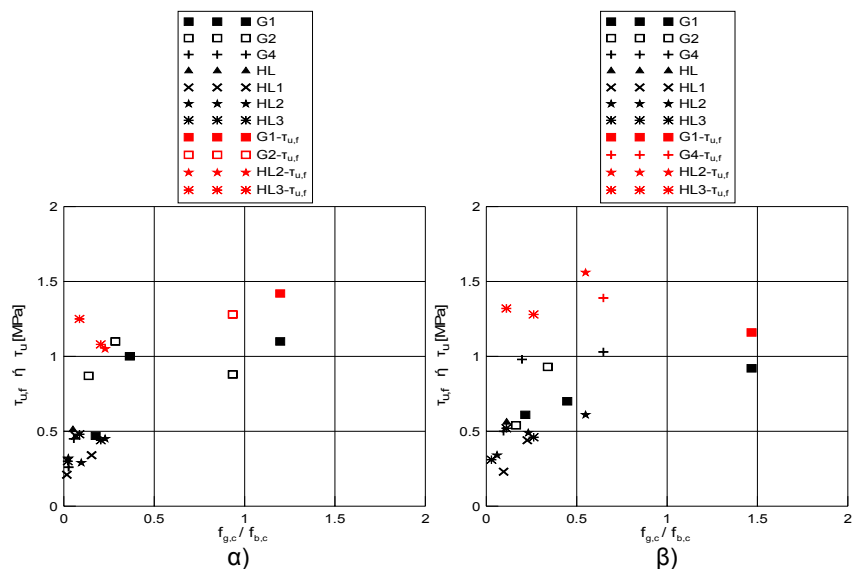
αύξηση της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών. Αντιθέτως, όπως φάνηκε από την Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II για την «συνοχή» των διεπιφανειών κονιαμάτων ή ενεμάτων, η εξάρτηση της διατμητικής αντίστασης από την καμπτική αντοχή των ενεμάτων προκύπτει μεγαλύτερη (βλ. Εικόνα 200). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 200, υπάρχει πρακτικώς γραμμική σχέση μεταξύ της καμπτικής αντοχής του ενέματος και της διατμητικής αντοχής. Αυτή η παρατήρηση, η οποία ισχύει και για την σχέση μεταξύ εφελκυστικής αντοχής ενέματος και θλιπτικής αντοχής τρίστρωτης τοιχοποιίας μετά από την εφαρμογή ενεμάτων (Vintzileou 2007), επιβεβαιώνει την διαπίστωση ότι οι τριμερείς συνθέσεις (Toumbakari 2002) και οι συνθέσεις υδραυλικής άσβεστου (Vintzileou 2007), που αναμένεται να είναι φυσικο-χημικά συμβατές με τα υπάρχοντα υλικά, μπορούν να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας. Σε ό,τι αφορά τα σύνθετα δοκίμια με τα ασθενέστερα υπόβαθρα, τα οποία αστόχησαν με τον τύπο S, προκύπτει ότι τόσο τα μέτρια, όσο και τα χαμηλής αντοχής ενέματα είναι σε θέση να εξασφαλίσουν παρόμοιες τιμές διατμητικής αντίστασης  $\tau_{u,f}$  με το ισχυρότερο ένεμα αναφοράς.



**Εικόνα 200.** Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος στην  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

Εξ άλλου, όπως τεκμηριώθηκε στην ενότητα των δοκιμών του εφελκυσμού, η διατμητική αντίσταση των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών υποβάθρων/ενεμάτων εξαρτάται ισχυρώς από τις συγκολλητικές ιδιότητες των ενεμάτων σε σχέση με τα φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου. Σε μια προσπάθεια να αναδειχθεί αυτή η επιρροή στην διατμητική αντοχή συνάφειας, στην Εικόνα 201 έχει

σχεδιαστεί η μέση τιμή των διατμητικών αντιστάσεων  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  συναρτήσει της σχετικής θλιπτικής «αντοχής» ενεμάτων/υποβάθρων. Από την συνεκτίμηση όλων των στοιχείων, προκύπτει συσχέτιση των  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  από την σχετική θλιπτική «αντοχή» πηγματος/υποβάθρου στις 28 και 90 ή 180 ημέρες. Όπως προέκυψε για την εφελκυστική αντοχή συνάφειας (βλ. 3.8.3.7) και για την «συνοχή» διεπιφανειών κονιαμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή), η επίδραση των σχετικών θλιπτικών αντοχών στις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  περιορίζεται για λόγους της  $f_{g,c}/f_{b,c}$  έως  $0.3 \pm 0.4$  στην ηλικία των 28 ημερών (Εικόνα 201α), ενώ ελαφρώς μικρότερη είναι η επίδραση  $f_{g,c}/f_{b,c}$  στις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  σε μεγαλύτερη ηλικία (Εικόνα 201β).



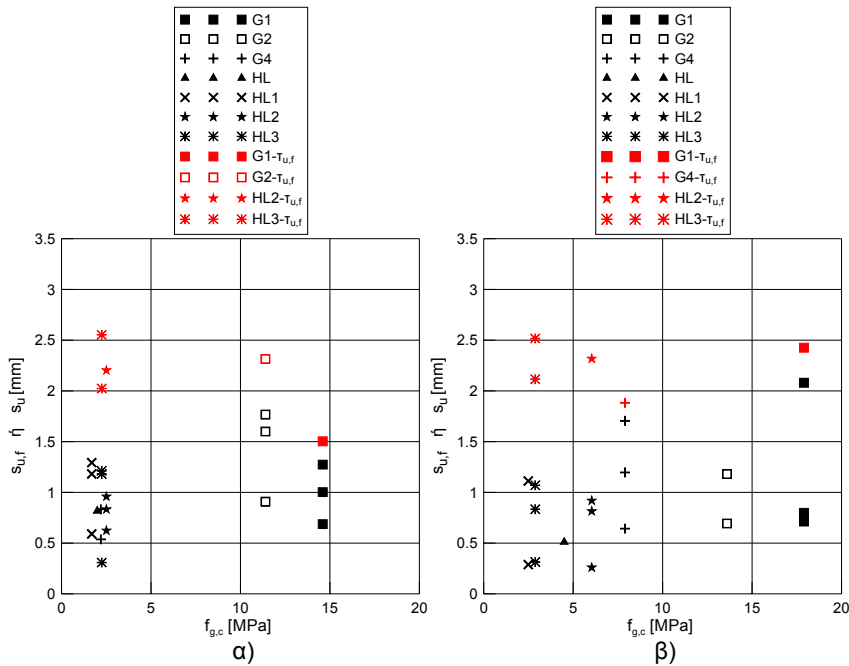
**Εικόνα 201.** Επιρροή του λόγου  $f_{g,c}/f_{b,c}$  στην  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $\tau_{res}$  : Συστηματικώς, το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη εμφανίζει κατά τι υψηλότερες, σε σχέση με τα ενέματα G1 και G4, τιμές παραμένουσας διατμητικής αντοχής στις διεπιφάνειες με το μάρμαρο και τον τραβερτίνη. Εξ άλλου, ως προς τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου, από τα σχετικά στοιχεία (το πλήθος των οποίων, ομολογουμένως, δεν θεωρείται επαρκές) δεν προκύπτει εξάρτηση των τιμών της  $\tau_{res}$  από την σύσταση του ενέματος. Έτσι, δεδομένης και της μεγάλης διασποράς που παρουσιάζουν τα πειραματικά αποτελέσματα, νομιμοποιείται η γενίκευση περί μη ύπαρξης συσχέτισης μεταξύ της παραμένουσας διατμητικής αντίστασης και των συγκολλητικών ιδιοτήτων των ενεμάτων.

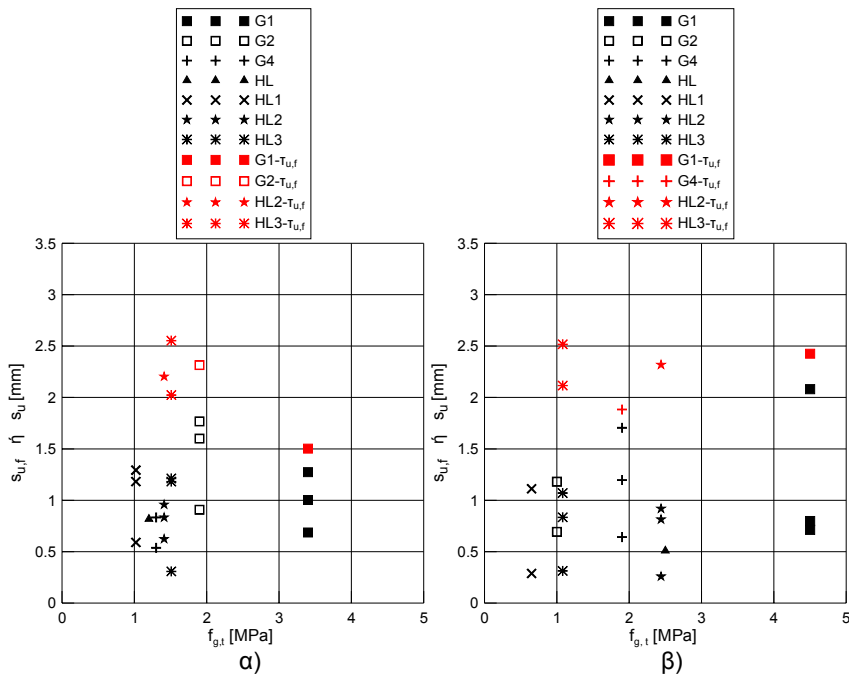
#### Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις

Όπως προέκυψε από την παρουσίαση των σχετικών στοιχείων, οι ολισθήσεις για τις οποίες επιστρατεύονται οι  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$ , καθώς και οι

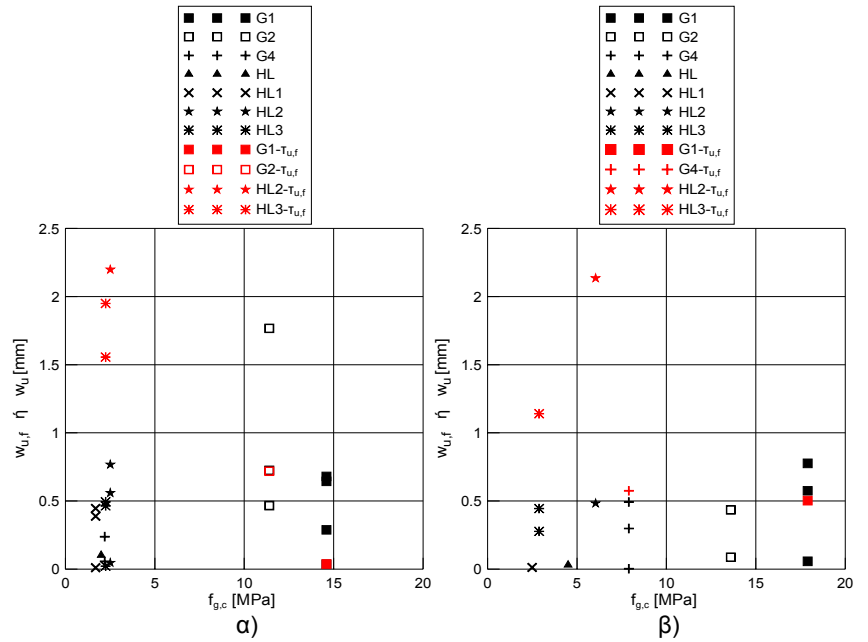
αντίστοιχες εγκάρσιες διογκώσεις συγκλίνουν, σε μεγαλύτερη ηλικία, σε μια τιμή που εξαρτάται, κυρίως, από τον τύπο του υποβάθρου και δευτερευόντως από την σύνθεση του ενέματος. Πράγματι, η μικρή συσχέτιση μεταξύ των ολισθήσεων και των εγκάρσιων διογκώσεων με την θλιπτική και την καμπτική αντοχή των ενεμάτων τεκμηριώνεται στις Εικόνες 202 έως 205.



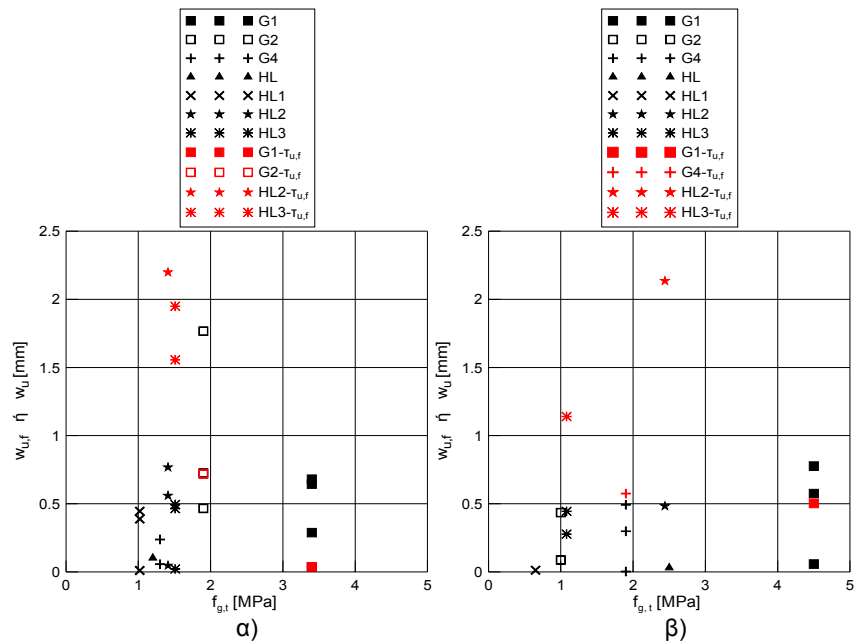
Εικόνα 202. Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην  $s_u$  και  $s_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα 203. Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος στην  $s_u$  και  $s_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

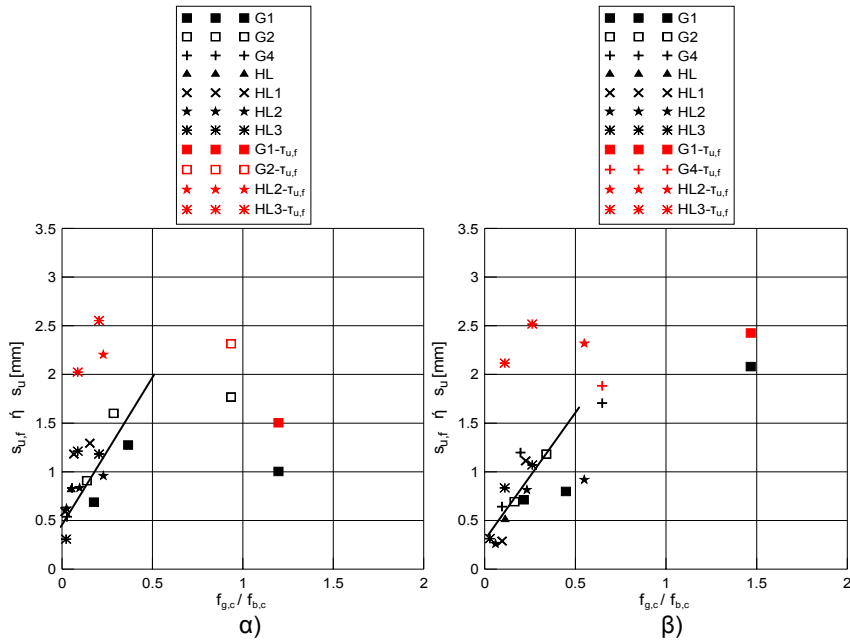


Εικόνα 204. Επιρροή της θλιπτικής αντοχής του ενέματος στην  $w_u$  και  $w_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

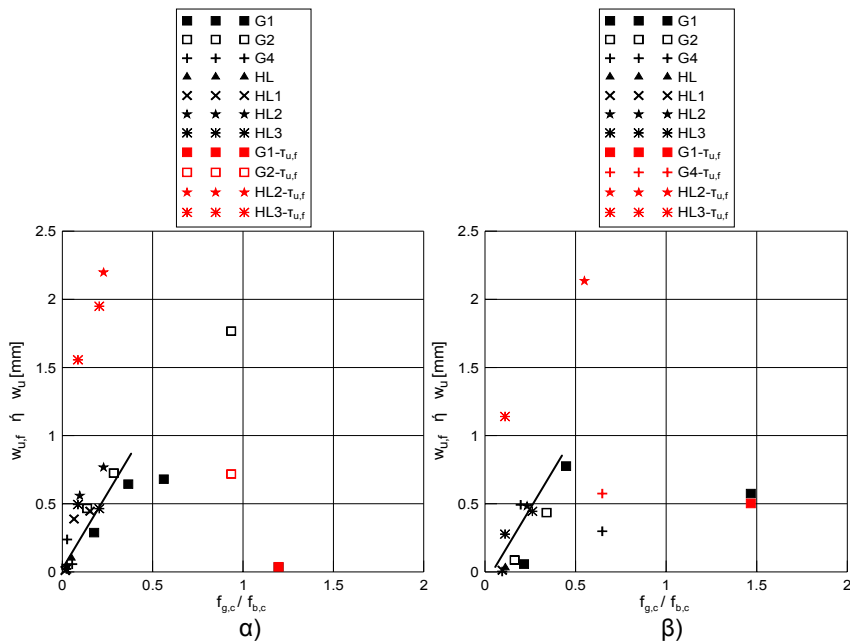


Εικόνα 205. Επιρροή της καμπτικής αντοχής του ενέματος στην  $w_u$  και  $w_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

Αντιθέτως, ισχυρή εξάρτηση των μετακινήσεων για τις οποίες ενεργοποιείται η διατμητική αντοχή (της διεπιφάνειας και των σύνθετων δοκιμίων) προκύπτει με την σχετική θλιπτική «αντοχή» πήγματος/υποβάθρου (Εικόνες 206 και 207). Όπως και στην περίπτωση των  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$ , η επίδραση των σχετικών μηχανικών χαρακτηριστικών περιορίζεται για τιμές του λόγου της  $f_{g,c}/f_{b,c}$  έως  $0.3 \div 0.4$  στην ηλικία των 28 ημερών (Εικόνα 206α και 207α), ενώ ελαφρώς μικρότερη είναι η επίδραση της  $f_{g,c}/f_{b,c}$  στις  $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$  σε μεγαλύτερη ηλικία (Εικόνα 206β και 207β).



Εικόνα 206. Επιρροή του λόγου  $f_{g,c}/f_{b,c}$  στην  $s_u$  και  $s_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα 207. Επιρροή του λόγου  $f_{g,c}/f_{b,c}$  στην  $w_u$  και  $w_{u,f}$  α) στις 28 και β) στις 90 ή 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

### Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος

**ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ:** Από την μακροσκοπική παρατήρηση του αρμού των ενεμάτων επιβεβαιώθηκε η παρουσία ρηγματώσεων, οι οποίες είχαν διαπιστωθεί και σε μικροσκοπικό επίπεδο. Αυτές οι ρηγματώσεις σχετίζονται με υψηλές ταχύτητες για τις χημικές αντιδράσεις (ενυδάτωση, ποζολανική αντίδραση), καθώς και με φαινόμενα συστολής στις μεγαλύτερες ηλικίες (για πρδ. ενέματα G2, HL1).

**ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ:** Ομοίως με τα δοκίμια του εφελκυσμού για τις συνθέσεις τισιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, τα μεγαλύτερα βάθη ενανθράκω-

σης μετρήθηκαν για την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη και την σύνθεση αναφοράς G1 με τα ασβεστιτικά υποβάθρα (μάρμαρο, τραβερτίνης). Για την σύνθεση της μηλαϊκής γης, οι ιδιαίτερες υψηλές ζώνες ενανθράκωσης στα δοκίμια της με το μάρμαρο, σχετίζονται με μια μάλλον ασθενέστερη μικροδομή του πήγματος, όπως άλλωστε αποδεικνύεται και από το εύθρυπτο των οικείων αρμών. Ως προς το ένεμα αναφοράς, τα μεγάλα βάθη ενανθράκωσης σχετίζονται με την απόμιξη του εν λόγω μίγματος και τον σχηματισμό, στην άνω περιοχή του αρμού, μιας ζώνης πυκνής σε υδράσβεστο. Αντιθέτως, στα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α απετράπη η ενανθράκωση του αρμού για όλα τα ενέματα. Η παρατηρηθείσα, από την μελέτη της μικροδομής, ικανοποιητική συνάφεια και πυκνή δομή της διεπιφανειακής ζώνης φαίνεται να εμπόδισε την ενανθράκωση αυτών των αρμών διαμέσου του πορώδους υποβάθρου. Για τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου (HL1, HL2 και HL3), η εμφάνιση υψηλών βαθών ενανθράκωσης (βλ. Πίνακα 36), όπως άλλωστε και ο εξαιρετικά υψηλός ρυθμός εξέλιξης της ενανθράκωσης, είναι αναμενόμενη εξαιτίας της ορυκτολογικής τους σύστασης [περίσσεια οξειδίου του ασβεστίου (CaO), το οποίο κατά την ενυδάτωση μετατρέπεται σε πορτλανδίτη Ca(OH)<sub>2</sub>].

### 3.8.4.5.3 ΗΛΙΚΙΑ

#### *Τύπος Αστοχίας*

Όπως παρουσιάστηκε στην σχετική ενότητα, πρακτικώς, δεν μεταβάλλεται, εν χρόνω, ο τρόπος με τον οποίο αστοχούν έναντι διάτμησης τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων. Εξαιρέσεις αποτελούν τα σύνθετα δοκίμια του α) τραβερτίνη με την σύνθεση αναφοράς και την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη (από αστοχία ITZ στις 28 ημέρες σε αστοχία ITZ και Z στις 90 ημέρες) και β) του ψαμμίτη με τις συνθέσεις HL2 και HL3 (από αστοχία ITZ+S στις 28 ημέρες σε αστοχία S στις 90 και 180 ημέρες). Στις περιπτώσεις των συνθέσεων G4, HL2 και HL3, οι αλλαγές στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων συνοδεύεται με αύξηση της αντίστοιχης διατμητικής τάσης  $\tau_u$  ή/και  $\tau_{u,f}$  αποδεικνύοντας, έτσι, την βελτίωση των συγκολλητικών ιδιοτήτων αυτών των ενεμάτων με τον χρόνο. Εξ άλλου, η εν χρόνω βελτίωση των συγκολλητικών ιδιοτήτων της τριμερούς σύνθεσης με την μηλαϊκή γη, G4, έχει τεκμηριωθεί ήδη στα δοκίμια του εφελκυσμού και από την πύκνωση της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης ενέματος G4/τραβερτίνη (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής § 3.7). Αυτή η πύκνωση στην διεπιφανειακή ζώνη συμβαίνει παρά την εμφάνιση

μικρορηγματώσεων στο πήγμα και αποκολλήσεων του ενέματος από το υπόβαθρο.

*Διατμητικές τάσεις  $T_u, T_{u, fictitious}$  και  $T_{res}$*

ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ : Σε αυτήν την ενότητα ερμηνεύεται μόνον η εν χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών υποβάθρων και ενεμάτων ( $T_u$ ). Καθώς η μετρηθείσα αύξηση στην διατμητική αντοχή των σύνθετων δοκιμίων που αστόχησαν στο υπόβαθρο, πέρα από την βελτίωση της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης και του αρμού (λόγω της ενυδάτωσης των επιμέρους συστατικών και ποζολανικής αντίδρασης) απουσία φαινομένων αποκόλλησης, ενδεχομένως, να σχετίζεται με την διασπορά στα φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων, σε αυτήν την ενότητα επιλέχθηκε να μην αξιολογηθεί η εν χρόνω εξέλιξη της  $T_{u,f}$ .

Έτσι, ομοίως με τις δοκιμές εφελκυσμού για τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, και ειδικότερα,:

- (1) για το ένεμα αναφοράς G1(C=80%, L=20%), η επίτευξη της διατμητικής αντοχής (της διεπιφάνειας ή των σύνθετων δοκιμίων) επισυμβαίνει από την ηλικία των 28 ημερών και αποδίδεται στην ταχεία ενυδάτωση της συνδετικής κονίας του ενέματος (τσιμέντο). Όπως προαναφέρθηκε (βλ. § 3.8.3.6.3), για την εν λόγω σύνθεση, η υψηλή ταχύτητα της αντίδρασης ενυδάτωσης συσχετίζεται με την λεπτότητα του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου και με την, ενδεχομένως, υψηλή περιεκτικότητά του σε ασβεσταργλικές φάσεις. Εξ άλλου, η παρουσία, σε μεγαλύτερη ηλικία, ρηγματώσεων στο πήγμα λόγω συστολής ξήρανσης (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής § 3.7), θεωρείται ότι συσχετίζονται με την διάδοση υπαρχουσών ρηγματώσεων (οι οποίες σχηματίστηκαν εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων αντίδρασης). Άλλωστε, ο σχηματισμός και η διάδοση των ρηγματώσεων λόγω συστολής ξήρανσης, ερμηνεύουν την μη περαιτέρω αύξηση της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών των υποβάθρων με το ένεμα αναφοράς.
- (2) για το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη, η πρώιμη εξασφάλιση επαρκούς συνάφειας- η οποία λαμβάνει τιμή αντίστοιχη με εκείνη του ενέματος αναφοράς- με τα υπό εξέταση υπόβαθρα, ερμηνεύεται από την α) ταχεία ενυδάτωση του τσιμέντου που περιέχεται στην σύνθεση G2 (σε περιεκτικότητα 30%-κ.β.), β) την γρήγορη εξέλιξη της

ποζολανικής αντίδρασης και τον επακόλουθο σχηματισμό άμορφων C-S-H και C-S-A-H και γ) στον περιορισμό του φαινομένου της ανένδοτης επιφάνειας εξαιτίας της ποζολάνης. Εντούτοις, οι διεπιφάνειες του τριμερούς ενέματος G2 με τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τραβερίνη) εμφανίζουν ελαφρώς μειωμένες διατμητικές αντοχές εν χρόνω. Επισημαίνεται ότι, αντίστοιχη πτώση είχε παρατηρηθεί στην καμπτική αντοχή του πήγματος (μεταξύ 28ης και 90ης ημέρας), καθώς και στην εφελκυστική αντοχή συνάφειας των διεπιφανειών μαρμάρου/ενέματος G2 (μεταξύ 60ης και 90ης ημέρας). Η πτώση (με σταθεροποιητική τάση) της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμίων του μαρμάρου και του τραβερίνη<sup>1</sup> με το ένεμα G2, φαίνεται να ερμηνεύεται από την διάδοση -λόγω των φαινομένων συστολής ξήρανσης (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής § 3.7)- των πρώιμων ρηγματώσεων<sup>2</sup> του πήγματος, καθώς και από την εκτόνωση αυτών των ρηγματώσεων διαμέσου της διεπιφάνειας υποβάθρου/ενέματος (αποκολλήσεις). Εξ άλλου, η αρνητική δράση των φαινομένων συστολής ξήρανσης στην διατμητική αντοχή των διεπιφανειών του μαρμάρου και του τραβερίνη, τελικώς, δεν περιορίσθηκε από την περαιτέρω εξέλιξη της ποζολανικής αντίδρασης, καθώς η υδράσβεστος (προστιθέμενη και παραγόμενη από την ενυδάτωση του τσιμέντου) στην σύνθεση G2 καταναλώθηκε πλήρως

<sup>1</sup> Σημειώνεται ότι στις δοκιμές του εφελκυσμού, τα τεμάχια του τραβερίνη που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των σύνθετων δοκιμίων ήταν «χειρότερης» ποιότητας (υψηλότερο πορώδες και χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά) σε σχέση με εκείνα της μικροδομής και των δοκιμών της διάτμησης. Έτσι, στα δοκίμια του εφελκυσμού, πρακτικώς, εξασφαλίστηκε ισχυρότερη διεπιφανειακή ζώνη (εξαιτίας του μεγαλύτερου πορώδους του υποβάθρου), καλύτερη μηχανική αλληλεμπλοκή του ενέματος με το υπόβαθρο (λόγω της μεγαλύτερης φυσικής τραχύτητας του τραβερίνη), διείσδυση των προϊόντων του ενέματος στο υπόβαθρο, καθώς και απουσία ή εμφάνιση σε μικρότερο βαθμό φαινόμενα αποκόλλησης στην διεπιφανειακή ζώνη (εξαιτίας της μεγαλύτερης ανοχής των πιο πορώδων τεμαχίων του τραβερίνη σε συστολοδιαστολές του πήγματος, καθώς και της εκτόνωσης των πρώιμων ρηγματώσεων διαμέσου των πόρων του υποβάθρου). Έτσι, η εφελκυστική αντοχή συναφείας των διεπιφανειών του τραβερίνη βρέθηκε να ενισχύεται εν χρόνω. Αντιθέτως, στην περίπτωση των δοκιμίων της διατμήσεως, εξαιτίας των διαφορετικών φυσικό-μηχανικών χαρακτηριστικών του χρησιμοποιούμενου τραβερίνη (για πρδ. μικρότερο πορώδες), πέρα από τον σχηματισμό «ασθενέστερης» διεπιφανειακής ζώνης, επί πλέον απειράπη η εκτόνωση των αναπτυσσομένων στην μάζα του ενέματος εσωτερικών τάσεων διαμέσου των πόρων του τραβερίνη, οι οποίες, τελικώς, εκτονώθηκαν κατά μήκος της διεπιφάνειας ενεμάτων και υποβάθρων (βλ. §3.7 Παρατηρήσεις Μικροδομής).

<sup>2</sup> Αυτές οι ρηγματώσεις σχηματίσθηκαν εξαιτίας των υψηλών ταχυτήτων αντίδρασης των συστατικών της συνδετικής κονιάς της σύνθεσης G2 (ενυδάτωση τσιμέντου, ποζολανική αντίδραση).



αντιδρώντας με τον μετακαολίνη από τις 28 ημέρες (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής § 3.7).

- (3) Για το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη, η βραδύτερη (εξαιτίας της πιο χονδροκόκκης φυσικής ποζολάνης) εξέλιξη της ποζολανικής αντίδρασης οδήγησε σε σταδιακή πύκνωση της μικροδομής του πηγματος και της διεπιφανειακής ζώνης, ενώ απέτρεψε την εμφάνιση έντονων φαινομένων πρώιμης ρηγμάτωσης. Έτσι, εξασφαλίστηκε η αύξηση της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών των υποβάθρων με το εν λόγω ένεμα μεταξύ 28ης και 90ης ημέρας. Εντούτοις, και σε αυτήν την περίπτωση ενέματος, διαπιστώθηκαν φαινόμενα ρηγμάτωσης και αποκόλλησης του πηγματος από τα ισχυρότερα υπόβαθρα σε μεγαλύτερες ηλικίες (βλ. Παρατηρήσεις Μικροδομής). Ας σημειωθεί ότι, η δυσμενής επίδραση αυτών των φαινομένων φαίνεται να περιορίστηκε σε μεγαλύτερες ηλικίες από την εξέλιξη της ποζολανικής αντίδρασης. Παρ' όλα αυτά, η μείωση των τιμών της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών του τραβερίτη με το ένεμα G4 στις 180 ημέρες υποδηλώνει ότι, η εκδήλωση της επίδρασης αυτών των φαινομένων στην τιμή της  $t_u$ , ενδεχομένως, να καθυστέρησε. Εντούτοις, καθώς τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία, στα οποία διαπιστώθηκε πτωτική τάση στις τιμές της  $t_u$ , είναι εξαιρετικώς περιορισμένα σε πλήθος (3 δοκιμές), αυτή η ερμηνεία, προφανώς, δεν δύναται να θεωρηθεί «οριστική». Εξ άλλου, η παρατηρηθείσα πτώση ενδέχεται να αποδοθεί στην μεγάλη αύξηση του ύψους ενανθράκωσης του αρμού του ενέματος (βλ. Πίνακα 36).

Σε ό,τι αφορά τις διεπιφάνειες των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (ενέματα HL, HL1, HL2 και HL3),

- (4) σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με την τριμερή σύνθεση G4, δεν παρατηρείται σημαντική αύξηση με τον χρόνο της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών τραβερίτη/υδραυλικής ασβέστου HL, παρ' όλο που τα μηχανικά χαρακτηριστικά του ίδιου του ενέματος αυξάνονται μεταξύ ενός και τριών μηνών (Πίνακας 13). Η ερμηνεία αυτής της συμπεριφοράς με τον χρόνο, ενδεχομένως, να οφείλεται στην δράση διαφόρων παραγόντων [όπως είναι για πρδ. α) ο σχηματισμός ρηγματώσεων συστολής στο πηγμα και οι αποκολλήσεις του ενέματος από το υπόβαθρο, β) το φαινόμενο της ανένδοτης επιφάνειας και η συγκέντρωση κρυστάλλων πορτλανδίτη στην διεπιφάνεια

τραβερίνη/ενέματος (Yuan et al. 1987) που απουσία ποζολανικού υλικού αναμένεται να περιορίζει, τοπικώς, την συνάφεια κα.]. Εντούτοις, για τον έλεγχο εγκυρότητας των παραπάνω υποθέσεων, απαιτείται η διερεύνηση σε μικροσκοπικό επίπεδο των διεπιφανειών της HL.

- (5) η πτωτική τάση στις τιμές της διατμητικής τάσης των διεπιφανειών της σύνθεσης HL1 (ACAD=100%) με όλα τα υπόβαθρα, ευρίσκεται σε συμφωνία με την αντίστοιχη μείωση της καμπτικής αντοχής του πηγματος με τον χρόνο (βλ. Πίνακα 13). Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι το ένεμα HL1 δείχνει να έχει μια μικροδομή που είναι λιγότερο ανθεκτική στην μικρορηγμάτωση, υπόθεση που επιβεβαιώνεται από το εύθρυπτο των οικείων αρμών (βλ. § 3.8.4.6.1-Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος).
- (6) καθώς οι τιμές της διατμητικής τάσης των διεπιφανειών με τα ενέματα HL2 και HL3 παρουσιάζουν εν χρόνω αυξητική ή σταθεροποιητική τάση, αντιστοίχως, υποδηλώνεται ότι η μικροδομή αυτών των συνθέσεων είναι περισσότερο ανθεκτική στην μικρορηγμάτωση. Εξ άλλου, όπως παρατηρήθηκε για την εν χρόνω ανάπτυξη της καμπτικής αντοχής των ενεμάτων HL2 και HL3 (βλ. Πίνακας 13, § 3.7.3), η παραπάνω υπόθεση φαίνεται να έχει ισχύ, σε μεγαλύτερο βαθμό, στην περίπτωση της συνθέσεως με την φυσική ποζολάνη (HL2: NHL5=90%, P=10% κ.β.).

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $T_{res}$ : Όπως προαναφέρθηκε, μόνον στις διεπιφάνειες της τριμερούς συνθέσεως με την μηλαϊκή γη διαπιστώθηκε αύξηση της παραμένουσας διατμητικής αντοχής εν χρόνω. Εντούτοις, καθώς τα πειραματικά στοιχεία είναι περιορισμένου πλήθους και η διασπορά για το μέγεθος της παραμένουσας διατμητικής τάσης σχετικώς μεγάλη, η παρατηρηθείσα -μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής τάσης- συμπεριφορά των διεπιφανειών με το εν λόγω ένεμα δεν αξιολογείται ως αύξηση της  $T_{res}$  με τον χρόνο.

#### *Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις*

Η διαπιστωθείσα μείωση στις τιμές των ολισθήσεων και των εγκαρσίων διογκώσεων για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική τάση των διεπιφανειών υποβάθρων/ενεμάτων (§3.8.4.6.3), σε συνδυασμό με την σταθεροποιητική ή αυξητική τάση στις τιμές της  $t_u$  μεταξύ 28ης και 90ης ημέρας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, οι διεπιφάνειες μεταξύ των υποβάθρων και των ενεμάτων γίνονται εν χρόνω πιο δύσκαμπτες. Αυτή

η συμπεριφορά α) αποδίδεται στην πύκνωση της μικροδομής των πηγμάτων και της διεπιφανειακής ζώνης με τον χρόνο, και β) συμβαίνει παρά την εμφάνιση ενανθράκωσης ή/και τον σχηματισμό ρηγματώσεων στα πήγματα και, σε ορισμένες περιπτώσεις, την μερική αποκόλληση (η οποία ωστόσο έχει καθαρώς τοπικό χαρακτήρα και δεν είναι εκτεταμένη στην διεπιφάνεια) των ενεμάτων από το υπόβαθρο.

*Μακροσκοπικές Παρατηρήσεις στον αρμό του ενέματος*

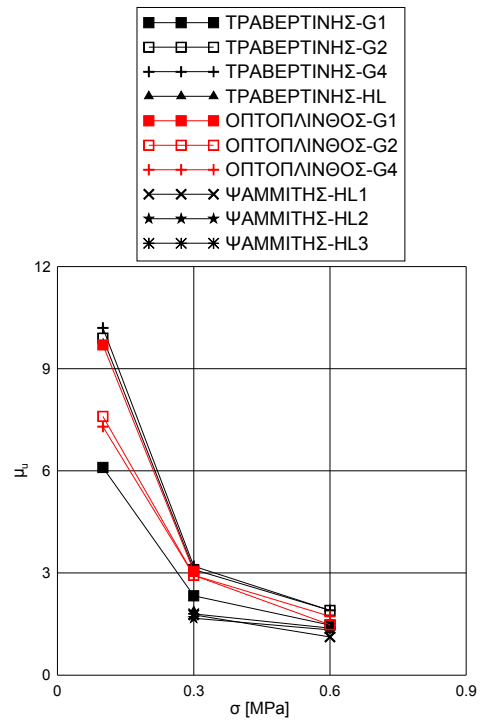
**ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ:** Όπως αναμένετο (βλ. §3.3 Ιδιότητες Υλικών-Συνθέσεις, §3.7 Αποτελέσματα Μελέτης Μικροδομής, §3.8.3 Δοκιμές Εφελκυσμού), η ενανθράκωση στους αρμούς των ενεμάτων βαίνει αυξανόμενη με τον χρόνο για όλα τα σύνθετα δοκίμια. Ο ρυθμός ενανθράκωσης των αρμών, όπως φάνηκε, εξαρτάται από τον εκάστοτε συνδυασμό ενέματος/υποβάθρου. Έτσι, ο ρυθμός αυτός προκύπτει μεγαλύτερος σε μη πορώδη υπόβαθρα, ανεξαρτήτως της σύστασης της κονιάς, καθώς και σε συνθέσεις που περιέχουν στην σύστασή τους υδράσβεστο (βλ. ενέματα υδραυλικής ασβέστου). Στην πρώτη περίπτωση, η υψηλή ενανθράκωση αποδίδεται στον σχηματισμό-εξαιτίας του αδιαπέρατου του υποβάθρου- σχετικώς μη πυκνών μικροδομών (εύθρυπτοι αρμοί), ενώ στην δεύτερη περίπτωση στην ορυκτολογική σύσταση των εν λόγω συνθέσεων.

**3.8.4.5.4 ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ,  $\sigma_n$**

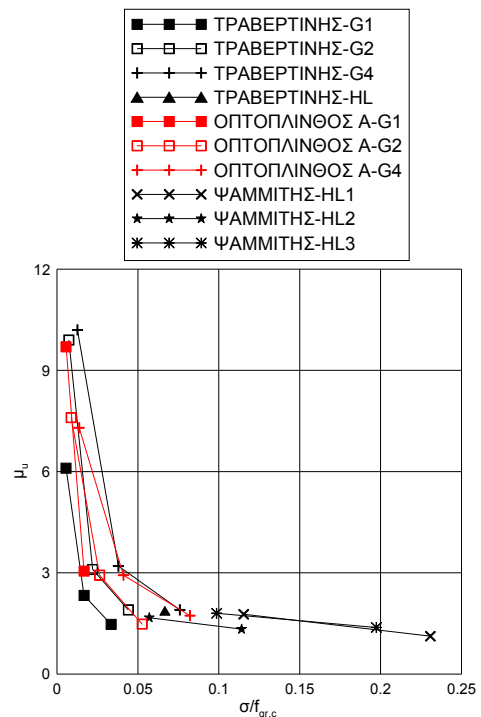
*Διατμητικές τάσεις  $T_u, T_{u, fictitious}$  και  $T_{res}$*

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ  $T_u$ :** Όπως παρουσιάστηκε στην οικεία ενότητα, η μέγιστη διατμητική τάση των διεπιφανειών τραβερτίνη ή οπτοπλίνθου Α ή ψαμμίτη και ενεμάτων αυξάνεται καθώς αυξάνεται η επιβαλλόμενη ορθή τάση στην διεπιφάνεια. Αντιθέτως, ο συντελεστής τριβής  $\mu_u$  (ο λόγος της διατμητικής τάσης  $T_u$  προς την επιβαλλόμενη ορθή θλιπτική τάση) μειώνεται με την αύξηση της ορθής τάσης (Εικόνα 208). Καθώς φαίνεται, η γενική συμπεριφορά έναντι διατμήσεως των διεπιφανειών υποβάθρων και υδραυλικών ενεμάτων ευρίσκεται σε συμφωνία με την συμπεριφορά έναντι διατμήσεως κατά μήκος ρωγμών σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων [βλ. για παράδειγμα (Tassios et al. 1987)], διεπιφανειών πλίνθων/κονιαμάτων και διεπιφανειών ασβεστολιθικών υποβάθρων/ενεμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II, § 2.10.2).

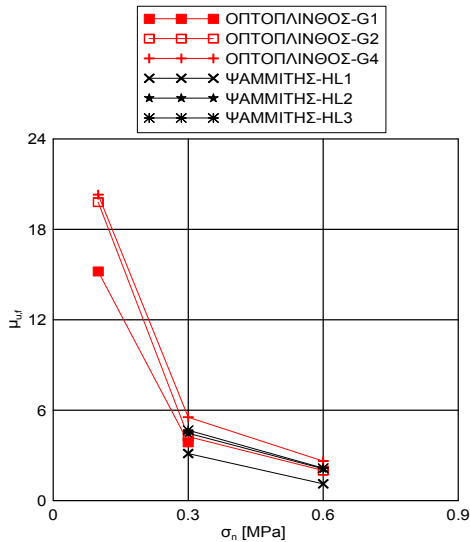
Επί πλέον, είναι προφανές ότι οι βελτιωμένες συγκολλητικές ιδιότητες των τριμερών συνθέσεων G2 και G4 επιβεβαιώνονται και σε όρους συντελεστή τριβής, καθώς αυτά τα ενέματα εξασφαλίζουν υψηλότερες



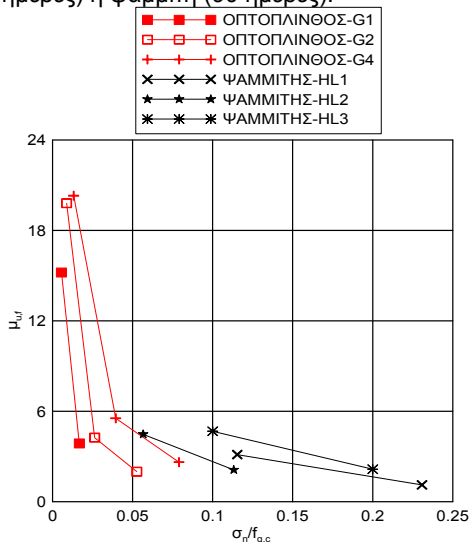
**Εικόνα 208.** Επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης στον συντελεστή τριβής διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερτίνη (90 ημέρες) ή οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες).



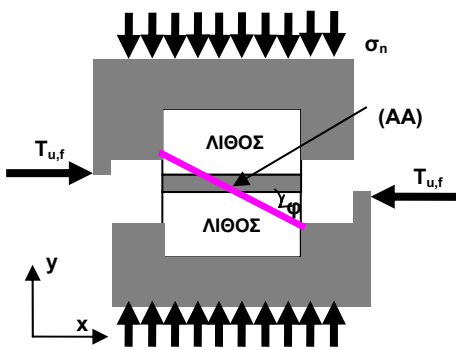
**Εικόνα 209.** Επίδραση του λόγου της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης προς την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων στον συντελεστή τριβής διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερτίνη (90 ημέρες) ή οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες).



**Εικόνα 210.** Επίδραση της  $\sigma_n$  στον  $\mu_{u,f}$  ενεμάτων/οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες).



**Εικόνα 211.** Επίδραση του λόγου  $\sigma_n/f_{g,c}$  στον  $\mu_{u,f}$  ενεμάτων/οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες) ή ψαμμίτη (90 ημέρες).



**Εικόνα 212.** Επίπεδο αστοχίας AA για τον τύπο αστοχίας S.

τιμές του  $\mu_u$  (τραβερίνη και οπτοπλίνθου Α) για όλες της στάθμες της ορθής θλιπτικής τάσης, παρ' όλο που έχουν χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά από το ένεμα αναφοράς G1. Αυτό αποτυπώνεται και στην Εικόνα 209, στην οποία οι τιμές του συντελεστή τριβής  $\mu_u$  (ο λόγος της διατμητικής τάσης της διεπιφάνειας προς την επιβαλλόμενη ορθή τάση) έχουν σχεδιαστεί συναρτήσει της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης ανηγμένης ως προς την θλιπτική αντοχή του κάθε ενέματος, παρατηρείται, ότι για την ίδια τιμή του λόγου  $\sigma_n/f_{g,c}$ , τα τριμερή ενέματα G2 και G4 εξασφαλίζουν μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή τριβής  $\mu_u$  σε σχέση με εκείνες του ενέματος αναφοράς αποδεικνύοντας την επιτελεσματικότητα των τριμερών ενεμάτων υψηλής διεισδυτικότητας ως υλικών επισκευής/ενίσχυσης. Παρεμφερής, αν και μικρότερος, με εκείνον της σύνθεσης αναφοράς προκύπτει ο  $\mu_u$  που αναπτύσσουν οι διεπιφάνειες τραβερίνη με το σαφώς χαμηλότερης αντοχής ένεμα της υδραυλικής ασβέστου HL (για  $\sigma_n=0.3$  MPa). Εξ άλλου, γενικότερα σε ό,τι αφορά τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου, προκύπτει ότι, οι διεπιφάνειές τους (με άλλους τύπους υποβάθρων) εξασφαλίζουν ικανοποιητικές τιμές για τον  $\mu_u$ . (βλ. Εικόνες 208, 209).

**ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ  $\tau_{u,f}$ :** Όπως φαίνεται στην Εικόνα 210, προκύπτουν ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες για τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου, καθώς αυτά τα ενέματα με τα μέτρια και χαμηλά χαρακτηριστικά αναπτύσσουν τιμές για τον  $\mu_{u,f}$  αντίστοιχες με εκείνες του ισχυρότερου τιμμεντέματος (βλ. Εικόνες 210, 211). Εξ άλλου, όπως παρατηρήθηκε με τον συντελεστή τριβής  $\mu_u$  των διεπιφανειών υποβάθρων/ενεμάτων, ο φαινομενικός συντελεστής τριβής  $\mu_{u,f}$  των σύνθετων δοκιμίων μειώνεται καθώς η επιβαλλόμενη ορθή τάση  $\sigma_n$  αυξάνεται.

Σε αυτό το σημείο υπενθυμίζεται ότι, για τα σύνθετα δοκίμια που αστόχησαν στο υπόβαθρο (μερικώς ή εξ' ολοκλήρου) διαπιστώθηκε, απροσδόκητα, μείωση των τιμών της διατμητικής αντοχής  $\tau_{u,f}$  με την αύξηση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης. Ας σημειωθεί ότι, στην πραγματικότητα η  $\sigma_n$  (εξωτερικώς επιβαλλόμενη ορθή τάση) και η  $\tau_{u,f}$  (διατμητική αντοχή), αναφέρονται σε ένα σύστημα αξόνων (x, y), όπως εκείνο της Εικόνας 212. Προφανώς, το επίπεδο αστοχίας (επίπεδο AA) των σύνθετων δοκιμίων που αστόχησαν στο υπόβαθρο, είναι κεκλιμένο ως προς το σύστημα (x, y) κατά μια γωνία  $\phi^1$  (βλ. Εικό-

<sup>1</sup> Για την γεωμετρία του δειγματοφορέα της πειραματικής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε εδώ, η γωνία  $\phi$  προκύπτει περίπου ίση με  $31.5^\circ$ .

να 212). Οι πραγματικές τιμές της ορθής ( $\sigma_{AA}$ ) και διαμητικής τάσης ( $\tau_{AA}$ )<sup>1</sup> που ασκούνται στο επίπεδο AA, προκύπτουν από τον μετασχηματισμό των τάσεων που εφαρμόζονται στο επίπεδο (x, y) και παρουσιάζονται στους Πίνακες 37, 38 και στην Εικόνα 213. Έτσι, για τις συνιστώσες των τάσεων στο επίπεδο AA ( $\sigma_{AA}$ ,  $\tau_{AA}$ ), προκύπτει ότι αυξανόμενη της θλιπτικής τάσης  $\sigma_{AA}$ , αυξάνεται η  $\tau_{AA}$  (Εικόνες 213α και 213β). Αντιστοίχως, ο συντελεστής  $\mu_{AA}$  προκύπτει μειωμένος καθώς η  $\sigma_{AA}$  αυξάνεται (Εικόνα 213γ).

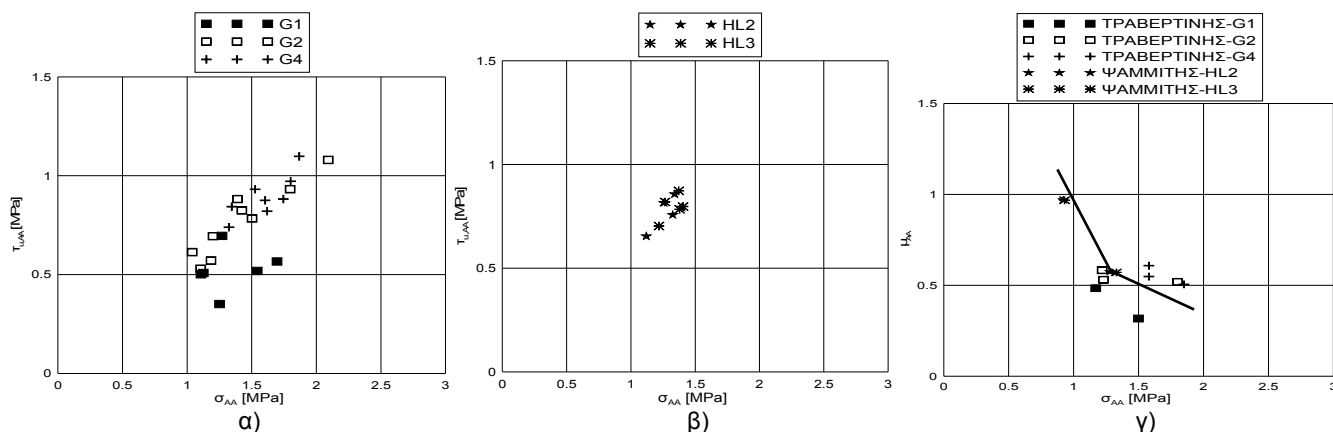
**Πίνακας 37.** Σύνθετα δοκίμια οπτοπλίνθου Α/τριμερών ενεμάτων: Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης στις επιφάνειες αστοχίας AA (μέσες τιμές δύο ή τριών δοκιμών ανά συνδυασμό παραμέτρων)

ηλικία [ημέρες]	κωδικός ενέματος	$\sigma_n=0.1\text{MPa}$			$\sigma_n=0.3\text{MPa}$			$\sigma_n=0.6\text{MPa}$		
		$\sigma_{AA}$	$\tau_{AA}$	$\mu_{AA}$	$\sigma_{AA}$	$\tau_{AA}$	$\mu_{AA}$	$\sigma_{AA}$	$\tau_{AA}$	$\mu_{AA}$
28	G1	(*)			(*)					
	G2	1.80	0.93	0.519	1.22	0.71	0.583	1.23	0.66	0.53
60	G2				1.58	0.89	0.565			
	G4				1.25	0.72	0.583			
90	G1	1.50	0.48	0.317	1.17	0.57	0.484			
	G4				1.35	0.73	0.538			
180	G4	1.85	0.93	0.505	1.58	0.86	0.548	1.58	0.958	0.608

(\*) μη αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα

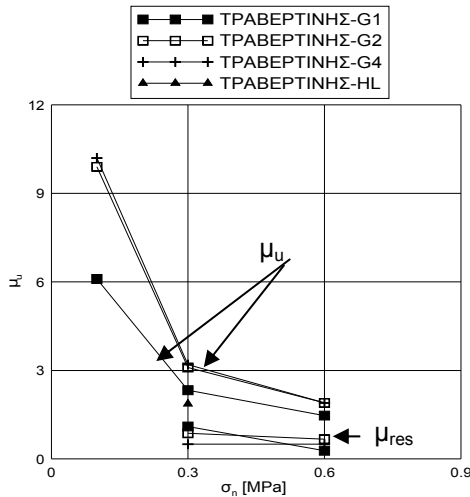
**Πίνακας 38.** Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου: Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης στις επιφάνειες αστοχίας AA (μέσες τιμές δύο ή τριών δοκιμών ανά συνδυασμό παραμέτρων)

ηλικία [ημέρες]	κωδικός ενέματος	$\sigma_n=0.3\text{MPa}$			$\sigma_n=0.6\text{MPa}$		
		$\sigma_{AA}$	$\tau_{AA}$	$\mu_{AA}$	$\sigma_{AA}$	$\tau_{AA}$	$\mu_{AA}$
28	HL2	1.02	0.61	0.593			
	HL3	1.05	0.62	0.620			
90	HL2	1.28	0.74	0.574	0.92	0.65	0.969
	HL3	1.33	0.76	0.571	0.93	0.65	0.968
180	HL2	1.48	0.84	0.564			
	HL3	1.28	0.71	0.578			

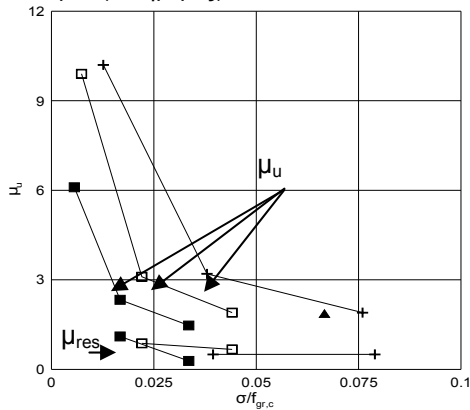


**Εικόνα 213.** Τάσεις στο κεκλιμένο επίπεδο αστοχίας AA. Επίδραση της ορθής τάσης  $\sigma_{AA}$  α) στην διαμητική τάση  $\tau_{AA}$  σύνθετων δοκιμών ενεμάτων/οπτοπλίνθου Α (28 ή 90 ή 180 ημέρες), β) στην διαμητική τάση  $\tau_{AA}$  σύνθετων δοκιμών ενεμάτων/ψαμμίτη (90 ημέρες) και γ) στον συντελεστή τριβής  $\mu_{AA}$ .

<sup>1</sup> Χάρην απλοΐστευσης, για τον υπολογισμό των τάσεων  $\sigma_{AA}$  και  $\tau_{AA}$  γίνεται η χονδροειδής παραδοχή ότι τα δοκίμια που έχουν αστοχήσει μερικώς ή εξ' ολοκλήρου στο υπόβαθρο εμφανίζουν την ίδια γωνία φ.



**Εικόνα 214.** Διεπιφάνειες ενεμάτων/τραβερίτινη: Επίδραση της  $\sigma_n$  στον  $\mu_u$  και στον  $\mu_{res}$  (90 ημέρες).



**Εικόνα 215.** Διεπιφάνειες ενεμάτων/τραβερίτινη: Επίδραση του λόγου  $\sigma_n/f_{g,c}$  στον  $\mu_u$  και στον  $\mu_{res}$  (90 ημέρες).

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ  $T_{res}$  : Ομοίως με την διατμητική τάση στις διεπιφάνειες του τραβερίτινη<sup>1</sup>, η παραμένουσα διατμητική τάση  $T_{res}$ , βρέθηκε να αυξάνεται αυξανόμενης της επιβαλλόμενης ορθής τάσης  $\sigma_n$  στην διεπιφάνεια. Επί πλέον, στην Εικόνα 214 απεικονίζεται ο παραμένον συντελεστής τριβής στις 90 ημέρες (ο λόγος της παραμένουσας διατμητικής τάσης των διεπιφανειών προς την επιβαλλόμενη ορθή τάση) συναρτήσε της  $\sigma_n$ . Μολονότι ο  $\mu_{res}$  μειώνεται με την αύξηση της  $\sigma_n$ , προκύπτει μικρή συσχέτιση μεταξύ  $\mu_{res}$  και  $\sigma_n$  ιδιαίτερως για τις πιο υψηλές τιμές της ορθής τάσης ( $\sigma=0.3$  MPa και 0.6 MPa). Βεβαίως, τα διαθέσιμα πειραματικά στοιχεία είναι σχετικώς περιορισμένα σε πλήθος για να θεωρείται ασφαλής μια γενίκευση αυτής της παρατήρησης για όλες τις διεπιφάνειες υποβάθρων/ενεμάτων. Εξ άλλου, όπως προέκυψε για τον  $\mu_u$ , για την ίδια τιμή της  $\sigma_n$  ή του λόγου  $\sigma_n/f_{g,c}$  τα ενέματα με μέτρια μηχανικά χαρακτηριστικά (G2 και G4), εξασφαλίζουν ίσες ή/και μεγαλύτερες τιμές για τον παραμένοντα συντελεστή τριβής,  $\mu_{res}$  (Εικόνα 215), τεκμηριώνοντας -και σε μεγαλύτερες ολισθήσεις- την αποτελεσματικότητα αυτών των συνθέσεων ως υλικών ενίσχυσης.

#### Ολισθήσεις και εγκάρσιες διογκώσεις

Είναι προφανές ότι, καθώς οι ολισθήσεις για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή των διεπιφανειών και οι αντίστοιχες εγκάρσιες διογκώσεις μειώνονται με την αύξηση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης [όπως άλλωστε διαπιστώθηκε και σε διεπιφάνειες κονιαμάτων, βλ. για πρδ. (Van der Pluijm 2000)], η συμμετοχή του μηχανισμού τριβής στην παραλαβή του διατμητικού φορτίου έχει ως επακόλουθο την αύξηση της δυσκαμψίας των διεπιφανειών.

### 3.8.4.6 Σύγκριση με τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας

Σε αυτήν την ενότητα επιχειρείται να γίνει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων των διεπιφανειών των ενεμάτων τσιμέντου-υδραβέστου-ποζολάνης και των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου που μελετήθηκαν εδώ, με εκείνα που διατίθενται στην διεθνή βιβλιογραφία για άλλες συνθέσεις υδραυλικών ενεμάτων και κονιαμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II, §2.7 και §2.10.2). Η σύγκριση

<sup>1</sup> Από τους συνδυασμούς υποβάθρων/ενεμάτων στους οποίους εξετάσθηκε η επιρροή της  $\sigma$ , μόνον τα δοκίμια του τραβερίτινη αστόχησαν στην διεπιφάνεια. Επομένως, για αυτά τα δοκίμια μόνον έχει νόημα η αναφορά σε  $T_{res}$ .

αφορά τις τιμές της διατμητικής αντοχής και της ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται η  $\tau_u$ , καθώς τα στοιχεία που αφορούν την παραμένουσα διατμητική αντοχή και το άνοιγμα ρωγμής είναι περιορισμένα σε πλήθος ή δεν διατίθενται στην βιβλιογραφία. Έτσι, όπως διαπιστώνεται στον Πίνακα 39, τα αποτελέσματα για την  $\tau_u$  που παρουσιάζονται στους Πίνακες 24 έως 32 της παρούσας εργασίας (βλ. Συγκεντρωμένα στον Πίνακα 33) εμπίπτουν στο εύρος τιμών που επιτεύχθηκαν σε διεπιφάνειες δομικών λίθων ή πλίνθων και διαφορετικής σύστασης ενεμάτων (Miltiadou 1990), (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) ή κονιαμάτων [ενδεικτικά βλ. (Bei & Parayianni 2004), (Gregoire et al. 2004), (Abdou et al. 2006)].

**Πίνακας 39.** Ενδεικτικές τιμές της διατμητικής αντοχής συνάφειας από την βιβλιογραφία.

βιβλιογραφικές αναφορές	τύπος υπο-βάθρου	$\tau_u$ [MPa]			
		$\sigma_n=0.1$ MPa	$\sigma_n=0.3$ MPa	$\sigma_n=0.6$ MPa	$\sigma_n=1.0$ MPa
βάσει της (Miltiadou 1990) <sup>(1)</sup>	λιθόσωμα	0.80÷3.10	0.90÷3.20	1.10÷3.50	
(Toumbakari 2002) <sup>(2)</sup> , (Toumbakari et al. 2007) <sup>(2)</sup>	λιθόσωμα	0.47÷0.88	0.50÷2.16		0.89÷1.21
	πλίνθος	0.42÷1.12	0.62÷0.94		1.10÷2.28
βάσει των (Bei & Parayianni 2004)	πλίνθος	0.15÷0.30	0.24÷0.48	0.37÷0.75	
βάσει των (Gregoire et al. 2004)	πλίνθος	0.65÷0.89	0.76÷1.07	0.92÷1.34	
βάσει των (Abdou et al. 2006)	πλίνθος	1.72	1.93	2.24	

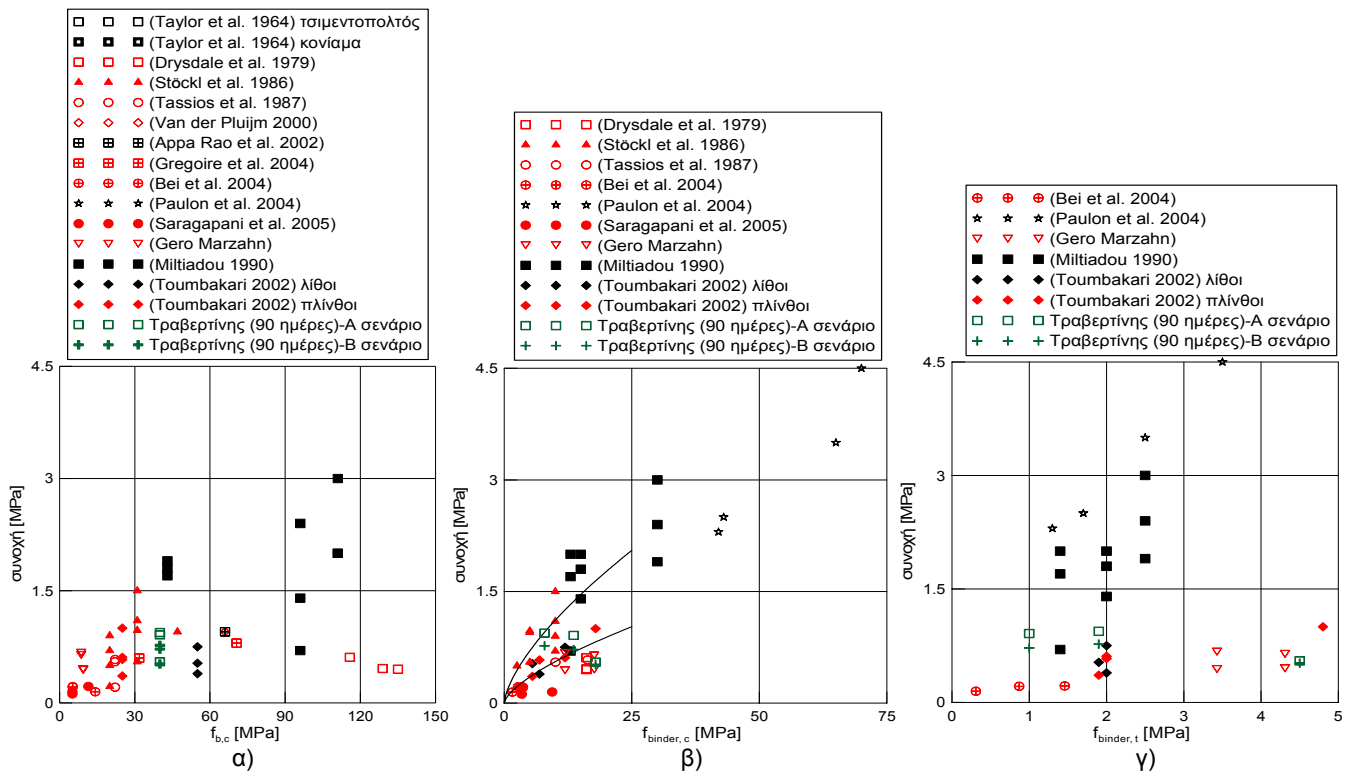
<sup>(1)</sup> αρμός ενέματος ίσος με 1mm, δοκιμές σε ηλικία 28 ημερών  
<sup>(2)</sup> αρμός ενέματος ίσος με 3mm, δοκιμές σε ηλικία 60 ημερών

Σημειώνεται ότι, τα αποτελέσματα της (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) για την διατμητική αντοχή συνάφειας των διεπιφανειών τριμερών ενεμάτων (με ή χωρίς την προσθήκη πυριτικής άχνης) και ασβεστολιθικού υποβάθρου, αν και αφορούν την ηλικία των 60 ημερών, ευρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τις τιμές που μετρήθηκαν στην παρούσα εργασία για τις διεπιφάνειες των τριμερών ενεμάτων με τον μετακαολίνη ή την φυσική ποζολάνη και του τραβερίνη. Αναφέρεται ότι, οι ελαφρώς μειωμένες τιμές διατμητικής αντίστασης-σε σχέση με εκείνες της Τουμπακάρη- που εμφάνισε το ίδιας σύστασης τσιμεντιτικό ένεμα στις διεπιφάνειές του με τον τραβερίνη σχετίζονται μάλλον με τα φαινόμενα απόμιξης που παρατηρήθηκαν κατά την παρασκευή του εν λόγω ενέματος. Αντιθέτως, καθώς στην παρούσα εργασία τα σύνθετα δοκίμια της οπτοπλίνθου Α αστόχησαν στο υπόβαθρο, δεν είναι εφικτή η άμεση σύγκριση με τα αποτελέσματα της Τουμπακάρη για τις διεπιφάνειες πλίνθων/τριμερών ενεμάτων.

Εξ άλλου, και οι τιμές της «συνοχής» και της  $\tan\phi$  ενός γραμμικού κριτηρίου αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb περιγραφής των διεπιφανειών του τραβερίτη (βλ. Πίνακας 40) εμπίπτουν στο εύρος των τιμών της βιβλιογραφίας (§2.10.2.3), όπως άλλωστε φαίνεται στις Εικόνες 216 και 217. Επί πλέον, για αυτές της τιμές της «συνοχής» και της  $\tan\phi$  επαληθεύονται οι παρατηρηθείσες τάσεις, σχετικώς, με την επιρροή των μηχανικών χαρακτηριστικών των επιμέρους υλικών (συνδετικών υλικών και υποβάθρων) σε αυτές.

**Πίνακας 40.** Υπολογιστικές τιμές της «συνοχής» και της  $\tan\phi$  για τις διεπιφάνειες τραβερίτη/ενεμάτων τιμέντου-υδραβέστου-ποζολάνης (90 ημέρες).

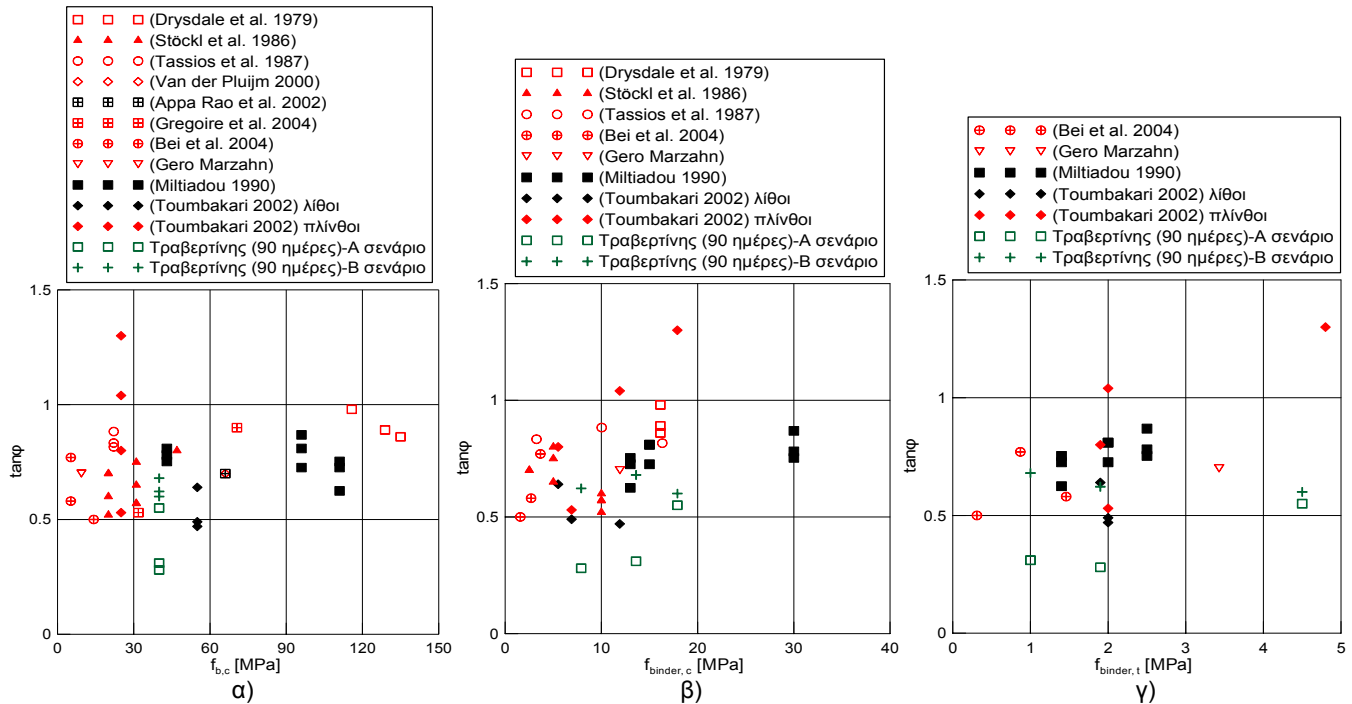
κωδικός ενέματος	«συνοχή»[MPa]	$\tan\phi$	$R^2$ [%]	
G1	Σενάριο A <sup>1</sup>	0.55	0.54	99.4
	Σενάριο B <sup>1</sup>	0.52	0.60	100.0
G2	Σενάριο A <sup>1</sup>	0.91	0.31	56.1
	Σενάριο B <sup>1</sup>	0.72	0.68	100.0
G4	Σενάριο A <sup>1</sup>	0.94	0.28	54.1
	Σενάριο B <sup>1</sup>	0.77	0.62	100.0



**Εικόνα 216.** Επιρροή στην «συνοχή» της α) θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου, β) της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού και γ) της καμπτικής του συνδετικού υλικού.

<sup>1</sup> Για τον υπολογισμό των τιμών της «συνοχής» και της  $\tan\phi$  έχουν ληφθεί υπ' όψιν οι μέσες τιμές της  $\tau_u$  του Πίνακα 33 για όλες τις στάθμες της  $\sigma_n$  (Σενάριο A) και για  $\sigma_n=0.3$  και  $0.6$  MPa (Σενάριο B).





Εικόνα 217. Επιρροή στην  $\tan\phi$  της α) θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου, β) της θλιπτικής αντοχής του συνδετικού υλικού και γ) της καμπτικής του συνδετικού υλικού.

Σε ό,τι αφορά τις ολισθήσεις, παρεμφερείς με εκείνες των (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) είναι οι τιμές της  $s_u$  που μετρήθηκαν για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου και του τεφρού ασβεστόλιθου (βλ. για πρδ. Πίνακα 33). Αντιθέτως, μεγαλύτερες είναι οι ολισθήσεις για τις διεπιφάνειες (ή/και τα σύνθετα δοκίμια) του τραβερίνη, και ακόμα μεγαλύτερες για εκείνες του φαμμίτη και των οπτόπλινθων Α και Β. Εξ άλλου, για τα «ασθενέστερα» υπόβαθρα του φαμμίτη και των οπτόπλινθων, οι τιμές των  $s_u$  είναι αντίστοιχες με εκείνες που έχουν μετρηθεί σε διεπιφάνειες ασθενών υποβάθρων και κονιαμάτων των (Bei et al. 2004).

### 3.8.4.7 Συμπεράσματα

Σε αυτήν την ενότητα της Διατριβής, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της πειραματικής διερεύνησης της συμπεριφοράς έναντι διατμήσεως σύνθετων δοκιμίων και διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων (συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου) και διαφόρων υποβάθρων. Τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν αφορούν τον τύπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων και ορισμένες μακροσκοπικές παρατηρήσεις στον αρμό των ενεμάτων. Σημειώνεται ότι, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων

προέκυψαν ύστερα από λεπτομερή μελέτη των πειραματικών καμπυλών (τ-s) και (τ-w). Ειδικότερα, από αυτές τις καμπύλες εξήχθησαν οι τιμές της διατμητικής αντοχής και της παραμένουσας διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών ενεμάτων/δομικών λίθων, της διατμητικής αντίστασης των σύνθετων δοκιμίων τους, καθώς και των ολισθήσεων για τις οποίες επιστρατεύονται αυτές οι αντοχές σε συνδυασμό με τα αντίστοιχα ανοίγματα ρωγμής. Ας επισημανθεί ότι, η παρατηρηθείσα υψηλή διασπορά στις πειραματικές τιμές αυτών των μεγεθών είναι αντίστοιχη εκείνης της βιβλιογραφίας. Εντούτοις, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι, για το αντικείμενο της ενίσχυσης μιας τοιχοποιίας με ενέματα, πρακτικώς, η λεπτομέρεια δεν έχει τόση σημασία. Αντιθέτως, μεγαλύτερη εξάρτηση της συμπεριφοράς της ενισχυμένης τοιχοποιίας αναμένεται μάλλον από τα μέσα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών. Γι' αυτό άλλωστε, η παρουσίαση των πειραματικών στοιχείων, όπως και η αξιολόγησή τους, πραγματοποιήθηκε με βάση την επιρροή των υπό διερεύνηση παραμέτρων (τύπος υποβάθρου, σύνθεση συνδετικού υλικού, ηλικία και στάθμη επιβαλλόμενης ορθής τάσης  $\sigma$ ) στα μέσα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων. Ας σημειωθεί ότι, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών διατμήσεως και, γενικότερα, την ερμηνεία των διαπιστωθεισών τάσεων, συνεκτιμήθηκαν τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού (§ 3.8.3), καθώς και εκείνα των παρατηρήσεων της μικροδομής (§ 3.7). Έτσι, τα κύρια συμπεράσματα αυτής της διερεύνησης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- (1) Η τυπική συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/δομικών λίθων έναντι διάτμησης είναι ελαστική-ελαστοπλαστική μέχρι την επίτευξη της διατμητικής αντοχής, όπως άλλωστε είναι εκείνη των διεπιφανειών κονιαμάτων ή άλλων ενεμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II-§ 2.10.2.2), ενώ μετά την αστοχία ο μηχανισμός τριβής εξακολουθεί να μεταφέρει τέμνουσα, η οποία είναι της τάξης των 0.2 έως 0.3 MPa (για  $\sigma_n=0.3$  MPa). Ως προς την καμπύλη «ολίσθηση-άνοιγμα ρωγμής» το άνοιγμα ρωγμής αυξάνεται αυξανόμενης της ολίσθησης, ενώ μετά την επίτευξη της διατμητικής αντοχής σταθεροποιείται ή μειώνεται. Αναλόγως των σχετικών μηχανικών χαρακτηριστικών των συνιστώντων υλικών (ενέματα και υπόβαθρα), η μορφή αυτών των καμπυλών διαφοροποιείται μόνον στην μετά την επίτευξη της διατμητικής αντοχής συμπεριφορά.

(2) Ως προς επιρροή των υπό διερεύνηση παραμέτρων στην συνάφεια, τα αποτελέσματα των δοκιμών διατηρήσεως ευρίσκονται σε συμφωνία με εκείνα των δοκιμών εφελκυσμού.

Έτσι, :

(3) Αποδεικνύεται η ισχυρή εξάρτηση της συμπεριφοράς των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων/ υποβάθρων έναντι διάτμησης από τις ιδιότητες του υποβάθρου, κυρίως, από την επιφανειακή μικροτραχύτητα και το πορώδες του. Αυτή η εξάρτηση, αποτυπώνεται στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών, στο μέγεθος της αναπτυσσόμενης διατμητικής αντοχής και της επιβαλλόμενης ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντίσταση, καθώς και του ανοίγματος ρωγμής που αντιστοιχεί σε αυτήν την ολίσθηση. Έτσι,

- Τα σύνθετα δοκίμια με το μάρμαρο, τον τραβερίνη και τον τεφρό ασβεστόλιθο αστοχούν στην διεπιφανειακή ζώνη (τύποι ITZ και Z), ενώ οι διεπιφάνειες μεταξύ ενεμάτων και οπτοπλίνθου Α ή ψαμμίτη αποδεικνύονται ισχυρότερες από το ίδιο το υπόβαθρο και έτσι, τα σύνθετα δοκίμιά τους αστοχούν στο υπόβαθρο.

- Εν γένει, οι τιμές της διατμητικής αντοχής και οι μετακινήσεις (ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής) των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών προκύπτουν μεγαλύτερες για τα πιο πορώδη υπόβαθρα (βλ. τραβερίνης, οπτόπλινθοι και ψαμμίτης). Οι υψηλότερες τιμές αυτών των μεγεθών συσχετίζονται με την υψηλότερη επιφανειακή τραχύτητα αυτών των υποβάθρων, με την οποία εξασφαλίζεται καλύτερη μηχανική αλληλεμπλοκή με τα προϊόντα ενυδάτωσης, την καλύτερη πρόσφυση και διείσδυση αυτών των προϊόντων στο υπόβαθρο λόγω του υψηλότερου πορώδους του, καθώς και την πιο πυκνή και ανθεκτικότερη μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης (απουσία αποκολλήσεων στην διεπιφάνεια σε μεγαλύτερη ηλικία).

(4) Αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον η παρατήρηση ότι, τα τριμερή ενέματα και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου αναπτύσσουν διατμητική αντοχή συνάφειας που είναι τουλάχιστον εφάμιλλη εκείνης του ισχυρότερου ενέματος αναφοράς, τεκμηριώνοντας έτσι την επιτελεσματικότητα των ενεμάτων με μέτρια (τριμερείς συνθέσεις) και χαμηλά (ενέματα υδραυλικής ασβέστου). Από τις παρατηρήσεις της μικροδομής προκύπτει ότι η καλύτερη

συμπεριφορά των τριμερών συνθέσεων έναντι του ενέματος τσιμέντου-υδρασβέστου οφείλεται στην βελτιωμένη μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης, καθώς και των ενεμάτων. Ας επισημανθεί ότι, προκύπτει εξάρτηση της διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών (και άρα και των αντίστοιχων συντελεστών τριβής) από την θλιπτική αντοχή των ενεμάτων η οποία περιορίζεται για τιμές της θλιπτικής αντοχής μικρότερες των ~10 MPa, ενώ μεγαλύτερη εξάρτηση της διατμητικής αντοχής προκύπτει με την καμπτική αντοχή των ενεμάτων, όπως άλλωστε αποδείχθηκε σε διεπιφάνειες κονιαμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή-Μέρος II).

- (5) Εξ άλλου, από την λεπτομερή ανάλυση των σχετικών στοιχείων, προέκυψε ότι το μέγεθος της διατμητικής αντίστασης  $T_u$  και  $T_{u,f}$ , καθώς και των μετακινήσεων  $s_u$  και  $s_{u,f}$ ,  $w_u$  και  $w_{u,f}$ , συσχετίζεται ισχυρώς από τα σχετικά μηχανικά χαρακτηριστικά των πηγμάτων/υποβάθρων. Ειδικότερα, η επιρροή της σχετικής θλιπτικής «αντοχής» ενεμάτων/υποβάθρων στα μεγέθη των αντοχών και των μετακινήσεων ευρέθη να περιορίζεται, για λόγους της  $f_{g,c}/f_{b,c}$  που κυμαίνονται από 0.3 έως 0.5, αναλόγως της ηλικίας διεξαγωγής της δοκιμής.
- (6) Ως προς την επίδραση της ηλικίας, όπως αναμένετο οι συνθέσεις που εξετάστηκαν εδώ παρουσίασαν διαφορές στην εν χρόνω ανάπτυξη των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών τους. Εν γένει, τα ισχυρότερα ενέματα G1 και G2 αναπτύσσουν την διατμητική αντοχή των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών, πρακτικώς από την ηλικία των 28 ημερών. Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και στην περίπτωση των ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου. Αντιθέτως, για την τριμερή σύνθεση με την μηλαϊκή γη, η διατμητική αντοχή των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών με αυτό το ένεμα αυξάνεται εν χρόνω, εξαιτίας της απρόσκοπτης εξέλιξης της ποζολανικής αντίδρασης. Παρ' όλα αυτά, καθώς οι περισσότερες συνθέσεις εμφανίζουν εν χρόνω πτώση της διατμητικής αντίστασης των διεπιφανειών τους με τα ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τefρός ασβεστόλιθος, τραβερτίνης), με σταθεροποιητική τάση ωστόσο, αναδεικνύει το γεγονός ότι αυτές οι συνθέσεις, δεδομένου και των υψηλών τιμών του υδατοτσιμεντοσυντελεστή, είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε μικρορηγματώσεις προκαλούμενες α) από συστολο/διαστολές στα πηγμάτα λόγω των αντιδράσεων ενυδάτωσης και

ποζολανικής αντίδρασης, β) από ελλειπείς συνθήκες συντήρησης ή/και γ) από την ανενδοσιμότητα υποβάθρων με μικρό πορώδες σε αυτές τις αλλαγές όγκου των πηγμάτων.

- (7) Αναφορικά με την επίδραση της επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης παρατηρείται ότι, η συμπεριφορά διεπιφανειών και σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/τραβερίνη ή ψαμμίτη ή οπτόπλινθων δείχνουν την ίδια τάση με διεπιφάνειες στο εσωτερικό σκυροδεμάτων και άλλων τύπων ενεμάτων/ υποβάθρων (Toumbakari 2002). Έτσι, οι διεπιφάνειες που υποβλήθησαν σε διάτμηση εμφανίζουν διατμητική αντοχή ( $\tau_u$  και  $\tau_{u,f}$ ) αυξανόμενη με την αύξηση της ορθής θλιπτικής τάσης, ενώ ο αντιστοίχως συντελεστής τριβής ( $\mu_u$  και  $\mu_{u,f}$ ) μειώνεται. Αντίστοιχη είναι η επιρροή της ορθής τάσης στην παραμένουσα διατμητική αντοχή των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων. Επί πλέον, όπως συνέστησαν οι (Atkinson et al. 1989) για διεπιφάνειες κονιαμάτων, η τιμή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων προκύπτει να εξαρτάται αποκλειστικώς από την στάθμη της  $\sigma_n$ . Εξ άλλου, όπως και στην περίπτωση των διεπιφανειών κονιαμάτων [για πρδ. (Van der Pluijm 2000)], οι τιμές των ολισθήσεων και των αντίστοιχων εγκάρσιων διογκώσεων εμφανίζονται μειωμένες αυξανόμενης της  $\sigma_n$ . Αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης είναι οι διεπιφάνειες/σύνθετα δοκίμια να εμφανίζονται περισσότερο δύσκαμπτες.

### 3.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Από την Βιβλιογραφική Αναδρομή (Κεφάλαιο 2) αναδείχθηκε η ανάγκη να διερευνηθεί συστηματικώς η επιτελεσματικότητα ενός πλήθους συνθέσεων υδραυλικών ενεμάτων στους επιμέρους μηχανισμούς βελτίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς της ενισχυμένης με ενέματα τοιχοποιίας, με στόχο να προκύψουν εκείνα τα στοιχεία με τα οποία θα προβλέπεται η απόκριση μιας τρίστρωτης τοιχοποιίας μετά την ενίσχυσή της με ενέματα, καθώς και να ποσοτικοποιηθούν τα κριτήρια για την επιλογή/σχεδιασμό της κατάλληλης σύνθεσης επέμβασης. Στην παρούσα Διατριβή επικεντρωθήκαμε στον μηχανισμό αποκατάστασης της συνεργασίας των στρώσεων της τρίστρωτης τοιχοποιίας, ο οποίος συσχετίζεται με την συμπεριφορά/χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης μεταξύ υπαρχόντων υλικών και υλικών επέμβασης. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, οι διατιθέμενες εργασίες των (Miltiadiou 1990), (Miltiadiou 1998), (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007) στις οποίες μελετάται η συνάφεια μεταξύ ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας, μολονότι είναι εξέχουσας σημασίας, προφανώς καλύπτουν παρά μόνον ορισμένες πλευρές του θέματος και αφορούν τα συγκεκριμένα υλικά.

Γι' αυτό, στην παρούσα Διατριβή μελετήθηκε συστηματικά ο μηχανισμός που διέπει την συνάφεια διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων. Στο πλαίσιο αυτής της διερεύνησης, καλύφθηκε ένα μεγάλο πλήθος υλικών που απαντώνται σε ιστορικές κατασκευές (λίθοι και πλίνθοι), καθώς και υλικών επέμβασης (συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και μίγματα ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου), τα οποία εφαρμοζόμενα σε τρίστρωτους τοιχίσκους βρέθηκε να βελτιώνουν την μηχανική συμπεριφορά αυτών των τοιχοποιιών. Επί πλέον, εξετάσθηκε ο ρυθμός ανάπτυξης της συνάφειας για τα διάφορα είδη συγκολλητικών κονιών, στοιχείο βαρύνουσας σημασίας για την ανθεκτικότητα/διάρκεια μιας επέμβασης στον χρόνο. Ας επισημανθεί ότι, για αυτήν την διερεύνηση εφαρμόσθηκε μεθοδολογία αντίστοιχη με εκείνην που χρησιμοποιείται σε διεπιφάνειες σκυροδεμάτων (βλ. Κεφάλαιο Βιβλιογραφικής Αναδρομής), καθώς και στις διεπιφάνειες των ενεμάτων της (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007), (Βιντζηλαίου κα. 2009). Η μεθοδολογία αυτή περιλαμβάνει την μελέτη της διεπιφανειακής ζώνης α) σε μέσο-κλίμακα [βλ. μηχανικές δοκιμές σε σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων για δύο είδη εντάσεων (εφελκυσμός και διάτμηση) που είναι κρίσιμες για τοιχοποιίες] και β) σε

μικρο-κλίμακα [βλ. μελέτη μικροδομής διεπιφανειακής ζώνης σε αδιατάρακτα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων, χαρακτηρισμός ενεμάτων], καθώς και γ) τον συσχετισμό τους με στόχο να αναδειχθεί η επιρροή των εξεταζόμενων παραμέτρων στην συνάφεια. Έτσι, τα βασικότερα συμπεράσματα της παραπάνω διερεύνησης, όπως παρουσιάσθηκαν στο Κεφάλαιο 3 της παρούσας Διατριβής (βλ. Πειραματικό Μέρος), συνοψίζονται στα εξής:

*Ως προς τις εξετασθείσες συνθέσεις*

- (1) Η ανάπτυξη υψηλής διεισδυτικότητας συνθέσεων με μέτρια (συστήματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης ή τριμερείς συνθέσεις) και χαμηλά (ενέματα υδραυλικής ασβέστου) μηχανικά χαρακτηριστικά που να εμφανίζουν, εν γένει, ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά εν χρόνω είναι εφικτή.
- (2) Αυτές οι συνθέσεις είναι ιδιαίτερες ευπαθείς στην μικρορηγμάτωση. Αυτή η μικρορηγμάτωση συσχετίζεται με τις φυσικο-χημικές ιδιότητες των κονιών που συνιστούν την σύνθεση (για πρῶ. παρουσία ασβεσταργιλικών φάσεων, υψηλή δραστηριότητα ποζολανών κα.), καθώς και με τις συνθήκες συντήρησης (βλ. ενανθράκωση, συστολή ξήρανσης). Επομένως, είναι καίριας σημασίας αφενός, ο ορθολογικός σχεδιασμός των συνθέσεων επεμβάσεως από φυσικο-χημικής απόψεως, και αφετέρου, η εξασφάλιση κατάλληλων συνθηκών συντήρησης στο πεδίο μετά την εφαρμογή των ενεμάτων.

*Ως προς τον μηχανισμό συνάφειας μεταξύ υδραυλικών ενεμάτων και λίθινων ή πλίνθινων υποβάθρων*

- (3) Από την λεπτομερή παρατήρηση της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης, τεκμηριώθηκε ότι για τις εξεταζόμενες παραμέτρους (ἄλδ. τύπος υποβάθρου, σύνθεση ενέματος, ηλικία), δεν λαμβάνει χώρα χημική αντίδραση μεταξύ του υποβάθρου και των συστατικών ή των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης. Αντιθέτως, η συνάφεια που αναπτύσσεται μεταξύ υδραυλικών ενεμάτων και δομικών λίθων, είναι αποκλειστικώς μηχανικής φύσης και σχετίζεται με την πρόσφυση και διείσδυση των προϊόντων των ενεμάτων στο υπόβαθρο και την μηχανική αλληλεμπλοκή αυτών των προϊόντων με το υπόβαθρο.
- (4) Έτσι, αναδείχθηκε η σημαντική επίδραση των χαρακτηριστικών του υποβάθρου -κυρίως της τραχύτητας και του πορώδους του, καθώς και της ανοχής του υποβάθρου στις αλλαγές όγκου των

πηγμάτων- στην συνάφεια υδραυλικών ενεμάτων/υποβάθρων. Προφανώς, αυτή η επίδραση των φυσικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου (πορώδες, ανοχή σε συστολές/διαστολές) είναι ακόμα εντονότερη στην περίπτωση υψηλών τιμών του υδατοσιμεντοσυντελεστή στα πήγματα, σε συνδυασμό με ελλιπείς συνθήκες συντήρησης.

- (5) Η πολλαπλή επίδραση των χαρακτηριστικών του υποβάθρου στην συνάφεια, επιβεβαιώθηκε και από τις μηχανικές δοκιμές [δοκιμές εφελκυσμού και διατμήσεως (με ή χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου)]. Επί πλέον, αναδείχθηκε η εξάρτηση της συνάφειας και από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου σε σχέση με εκείνα των ενεμάτων.
- (6) Ως προς τις συγκολλητικές ιδιότητες των ενεμάτων, από τις μηχανικές δοκιμές αποδείχθηκε ότι τα ενέματα με τα μέτρια (τριμερείς συνθέσεις) και τα χαμηλά (συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου) μηχανικά χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν εφάμιλλη αντοχή της διεπιφάνειας (έναντι εφελκυσμού ή διάτμησης) με εκείνη του σαφώς πιο ισχυρού τσιμεντιτικού ενέματος. Όπως τεκμηριώθηκε από τις παρατηρήσεις της μικροδομής, η εξασφάλιση της ικανοποιητικής συνάφειας με τα υπόβαθρα για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, οφείλονται στην πυκνή (λόγω της ποζολανικής αντίδρασης) μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης και εκείνης του πηγματος, καθώς και στην ομοιογενή σύσταση του αρμού του ενέματος. Επί πλέον, υπογραμμίσθηκε η αρνητική επίδραση στην αναπτυσσόμενη συνάφεια του σχηματισμού πρόωρων ρηγματώσεων (λόγω των υψηλών ταχυτήτων αντίδρασης των συστατικών των ενεμάτων), καθώς και των μετέπειτα ρηγματώσεων (λόγω συστολής) στα πήγματα.
- (7) Ως προς τον ρυθμό ανάπτυξης της συνάφειας, οι συνθέσεις που εξετάστηκαν εδώ, παρουσιάζουν διαφορετική εν χρόνω εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης: Γενικώς, τα ισχυρότερα ενέματα (συνθέσεις G1 και G2) και τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου με ή χωρίς την προσθήκη ποζολάνης, αναπτύσσουν την (εφελκυστική ή διατμητική) αντοχή διεπιφάνειας, πρακτικώς, από την ηλικία του ενός μηνός, παρ' όλο που τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ίδιων των ενεμάτων βρέθηκαν να αυξάνονται με τον χρόνο. Αντιθέτως οι διεπιφάνειες της τριμερούς σύνθεσης με την χαμηλότερης δραστηριότητας ποζολάνη (σύνθεση G4),



παρουσιάζουν μια βαθμιαία εν χρόνω βελτίωση στα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, λόγω της εξέλιξης της ποζολανικής αντίδρασης και σε μεγαλύτερες ηλικίες.

- (8) Η διαφορετική εν χρόνω ανάπτυξη της αντοχής της διεπιφάνειας για τις συνθέσεις που διερευνήθηκαν εδώ, βρέθηκε να σχετίζεται με την ταυτόχρονη δράση διαφόρων φαινομένων, τα οποία φαινόμενα επηρεάζουν ευμενώς (βλ. ενυδάτωση κονιών, ποζολανική αντίδραση) και δυσμενώς (βλ. ενανθράκωση η οποία εξελίσσεται ανταγωνιστικά με την ποζολανική αντίδραση, πρόωμη ρηγμάτωση των πηγμάτων, ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης εξαιτίας των υψηλών τιμών του υδατοσιμεντοσυντελεστή, αποκολλήσεις από το υπόβαθρο) την συνάφεια και την ανθεκτικότητα της συνάφειας.
- (9) Ως προς την επιρροή της  $\sigma_n$ , επιβεβαιώθηκε ότι η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως των διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων/δομικών λίθων είναι αντίστοιχη με εκείνη διεπιφανειών σκυροδεμάτων και κονιαμάτων: με την αύξηση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης η διατμητική αντοχή αυξάνεται, ενώ η ολίσθηση, η αντίστοιχη εγκάρσια διόγκωση και ο συντελεστής τριβής μειώνονται.
- (10) Έτσι, οι τριμερείς συνθέσεις και οι συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου, που αναμένεται να είναι φυσικο-χημικά συμβατές με τα αυθεντικά υλικά, καθώς εξασφαλίζουν βελτιωμένες ιδιότητες συνάφειας, θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσουν μια αξιόπιστη επαρκή εναλλακτική έναντι ισχυρότερων τσιμεντιτικών ενεμάτων για την ενίσχυση και επισκευή ιστορικών τοιχοποιιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>. ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ- ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Το παρόν Κεφάλαιο περιλαμβάνει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των πειραματικών στοιχείων των σύνθετων δοκιμών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας που υποβλήθησαν σε διάτμηση (βλ. Παράρτημα Ε). Τελικός στόχος αυτής της επεξεργασίας είναι η σύνταξη τοπικών Καταστατικών Νόμων για την πλήρη περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων έναντι διατμήσεως (καμπύλες  $\tau$ - $s$ ,  $w$ - $s$ ), καθώς και η ανάπτυξη εμπειρικών σχέσεων για την πρόβλεψη της διατμητικής αντοχής ( $\tau_u$  ή  $\tau_{u,f}$ ) και των αντίστοιχων μετακινήσεων στην αστοχία ( $s_u$  ή  $s_{u,f}$ ,  $w_u$  ή  $w_{u,f}$ ). Τα στοιχεία αυτά, προορίζονται για το Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής (Κεφάλαιο 5), στο οποίο γίνεται η προσομοίωση των διεπιφανειών σε μέσο- και μακρο- κλίμακα με την Μέθοδο των Πεπερασμένων στοιχείων.

### 4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

Για την ομαδοποίηση των πειραματικών καμπυλών ( $\tau - s$ ) και ( $\tau - w$ ) των σύνθετων δοκιμών ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα έξι Βήματα:

1ο Βήμα. Ανά δύο ή τρία ομοειδή δοκίμια κατασκευάζονται οι μέσες καμπύλες επιστρατευομένης διατμητικής τάσης προς επιβαλλόμενη ολίσθηση ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) και εγκάρσιας διόγκωσης προς ολίσθηση ( $\bar{w} - \bar{s}$ ). Αγνοούνται τα δοκίμια που εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις (βάσει των κριτηρίων της §3.8.2.2 και του Παραρτήματος Ε). Από τις μέσες καμπύλες, προκύπτουν τιμές για την μέγιστη μέση διατμητική αντοχή  $\bar{\tau}_u$ , καθώς και οι τιμές της ολίσθησης ( $\bar{s}_u$ ) και εγκάρσιας διόγκωσης ( $\bar{w}_u$ ) για τις οποίες επιστρατεύεται η  $\bar{\tau}_u$ .

## ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ 260

2ο Βήμα. για μία ηλικία και μια  $\sigma_n$ , σχεδιάζονται ανά υπόβαθρο οι μέσες καμπύλες για όλα τα ενέματα.

3ο Βήμα. για μία ηλικία και μια  $\sigma_n$ , σχεδιάζονται ανά ένεμα οι μέσες καμπύλες για όλα τα υπόβαθρα.

Από τα Βήματα 2 και 3, εξετάζεται αν προκύπτουν τυχόν ομαδοποιήσεις για τις δυο παραμέτρους (τύπος ενέματος και υποβάθρου). Έπειτα, με βάση τις προκύπτουσες ομαδοποιήσεις, στα επόμενα Βήματα (Βήμα 4 και Βήμα 5), διερευνάται η επιρροή της ηλικίας και της επιβαλλόμενης στην διεπιφάνεια ορθής θλιπτικής τάσης,  $\sigma_n$ , στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο. Ας σημειωθεί ότι, η μελέτη στα Βήματα 4 και 5 πραγματοποιείται σε συνάρτηση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων.

4ο Βήμα. διερευνάται η επιρροή της ηλικίας ( $t$ ) στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο

5ο Βήμα. διερευνάται η επιρροή της  $\sigma_n$  στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο

Στο τελευταίο Βήμα, διατυπώνονται καταστατικοί νόμοι για την περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων έναντι διατμήσεως.

4<sup>ο</sup> Βήμα. Διερευνάται η επιρροή της ηλικίας ( $t$ ) στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο.

5<sup>ο</sup> Βήμα. Διερευνάται η επιρροή της ( $\sigma_n$ ) στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο.

6<sup>ο</sup> Βήμα. Σχεδιάζονται οι καμπύλες  $\mu_u$  ή  $\mu_{u, \text{fictitious}} - \sigma_n$ , και προτείνονται εμπειρικές σχέσεις για την πρόβλεψη α) του συντελεστή τριβής ( $\mu_u$  ή  $\mu_{u, \text{fictitious}}$ ) και β) των αντίστοιχων μετακινήσεων και γ) του παραμένοντα συντελεστή τριβής. Για την παραπάνω επεξεργασία, χρησιμοποιούνται όλες οι πειραματικές τιμές, πλην εκείνων που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις (μεγαλύτερες του 100%).

Τέλος, κατασκευάζονται οι ανηγμένες καμπύλες  $\frac{\tau}{\tau_u} - \frac{S}{S_u}$

και  $\frac{W}{W_u} - \frac{S}{S_u}$  και προτείνονται τοπικοί καταστατικοί νόμοι

για την περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας.

Στα επόμενα, περιγράφονται συνοπτικώς οι διαδικασίες των επιμέρους βημάτων και τα συμπεράσματα αυτών. Στο οικείο Παράρτημα δίδονται

τα πλήρη στοιχεία της εφαρμοσθείσας μεθοδολογίας. Προ της παρουσίασης των επιμέρους βημάτων της διαδικασίας ομαδοποίησης των πειραματικών αποτελεσμάτων της διάτμησης, προηγείται μια σύντομη κριτική αξιολόγηση της πειραματικής διαδικασίας, καθώς και τα συμπεράσματα της διαδικασίας ομαδοποίησης των πειραματικών στοιχείων.

#### **4.2.1 ΚΡΙΤΙΚΗ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Σε αυτό το σημείο, πραγματοποιείται μια σύντομη αυτοκριτική της παρούσας εργασίας που σχετίζεται με την πειραματική διαδικασία και την επεξεργασία των πειραματικών στοιχείων. Στόχος αυτής της κριτικής είναι ο έλεγχος της αξιοπιστίας, το ρεαλιστικό των πεπραγμένων και η επιρροή τους στα αποτελέσματα. Όπου διαπιστώνεται ανεπάρκεια αυτών, αναδεικνύεται και προτείνονται βελτιώσεις επί των διαδικασιών.

##### *Πειραματική διαδικασία:*

Ορισμένες από τις υποθέσεις εργασίας που έγιναν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, ο διατιθέμενος εξοπλισμός, αλλά και οι πειραματικές συνθήκες αποτελούν μερικούς από τους κύριους παράγοντες που επηρέασαν δυσμενώς τα πειραματικά αποτελέσματα. Στα παρακάτω δίδονται ερμηνείες για την επιρροή αυτών των παραγόντων στην συμπεριφορά των δοκιμών (πηγμάτων και σύνθετων δοκιμών) και προτείνονται βελτιώσεις επί των πειραματικών διαδικασιών. Έτσι, :

- (1) Προκειμένου να προσομοιωθούν οι δυσμενέστερες συνθήκες παραγωγής ενεμάτων σε ένα εργοτάξιο, επιλέχθηκε τα ενέματα να παρασκευασθούν με μηχανικό αναδευτήρα. Αυτή η επιλογή είχε ως επακόλουθο την αύξηση της απαίτησης ύδατος στις συνθέσεις. Έτσι, εξαιτίας των υψηλών τιμών του λόγου ύδατος προς συνδετική κονία (που έτσι και αλλιώς χρησιμοποιούνται σε ενέματα υψηλής δεισδυτικότητας) και την απουσία άμμου (που θα περιόριζε τα φαινόμενα συστολής), τα φαινόμενα συστολής και μικρορρηγματώσεων αναμένεται να είναι ιδιαίτερος έντονα στα πηγμάτα και στα σύνθετα δοκίμια. Πράγματι, όπως αναφέρθηκε στην Παράγραφο 3.7, διαπιστώθηκαν εκτεταμένες μικρορρηγματώσεις στα σκληρυμένα ενέματα. Αυτές οι μικρορρηγματώσεις φαίνεται να αποτέλεσαν σημεία έναρξης των ρηγματώσεων κατά την καταπόνηση, επιδρώντας έτσι αρνητικά στην αναπτυσσόμενη

αντοχή της διεπιφάνειας των σύνθετων δοκιμίων (ιδιαίτερος εκείνων με υπόβαθρο μικρού σχετικά ανοιχτού πορώδους). Η αρνητική επίδραση της χρήσης υψηλών λόγων w/s στην αναπτυσσόμενη συνάφεια, οφειλόμενη στην χρησιμοποιηθείσα μέθοδο ανάμιξης, αμβλύνεται με την εφαρμογή μιας καλύτερης μεθόδου ανάμιξης των ενεμάτων, όπως είναι για πρδ. η μέθοδος ανάμιξης με υπερήχους.

- (2) Οι συνθήκες συντήρησης των δοκιμίων, και δη η επιρροή τους στις μικρότερες ηλικίες, σε συνδυασμό με τα φαινόμενα συστολής ξήρανσης επέδρασαν αρνητικά στην μικροδομή των ενεμάτων, καθώς και στην διεπιφάνεια ισχυρότερων ενεμάτων/υποβάθρων. Εξ άλλου, η εμφάνιση υψηλών τιμών για τα βάθη ενανθράκωσης των πηγμάτων που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο, σε αντίθεση με τα δοκίμια που συντηρήθηκαν σε βασικό περιβάλλον φαίνεται να επιβεβαιώνει αυτήν την παρατήρηση. Εντούτοις, όπως έχει προαναφερθεί, κάτι τέτοιο δεν αναμένεται να συμβεί -τουλάχιστον σε τέτοια έκταση- στο εσωτερικό μιας ιστορικής τοιχοποιίας. Ας επισημανθεί ότι, μείωση της επίδρασης των φαινομένων ενανθράκωσης επιτυγχάνεται με την κατάλληλη συντήρηση των δοκιμίων, όπως είναι για πρδ. η συντήρησή τους σε άζωτο.
- (3) Είναι προφανές ότι, με την χρήση διαφορετικών τεμαχίων τραβερτίνη (από υγιές πέτρωμα) στα δοκίμια της διάτμησης και της μικροδομής, σε σχέση με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές εφελκυσμού, δεν εξασφαλίστηκαν κοινές συνθήκες στα δοκίμια των επιμέρους σταδίων του Πειραματικού Προγράμματος. Έτσι, καθώς τα πλακίδια του τραβερτίνη που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα διάτμησης και στις παρατηρήσεις της μικροδομής, είχαν φυσικο-μηχανικές ιδιότητες (πορώδες, θλιπτική αντοχή) εφάμιλλες με εκείνες των ισχυρότερων υποβάθρων (μάρμαρο Διονύσου και τεφρός ασβεστόλιθος), ο αρμός των ενεμάτων στα σύνθετα δοκίμια με τον τραβερτίνη παρουσίαζε παρεμφερή εικόνα με εκείνη στα δοκίμια του μαρμάρου (βλ. §3.7). Πράγματι, ο περιορισμός της ανεμπόδιστης συστολοδιαστολής του αρμού του ενέματος, προκάλεσε αφενός, τον σχηματισμό περαιτέρω μικρορηγματώσεων στα πηγμάτα και αφετέρου, την αποκόλληση (τοπικά) των ενεμάτων από το υπόβαθρο του τραβερτίνη. Αυτό το φαινόμενο, όπως ήταν αναμενόμενο, επέδρασε αρνητικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια των δοκιμίων του τραβερτίνη έναντι διάτμησης σε σχέση με εκείνη έναντι εφελκυσμού.

- (4) Εξ άλλου, τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της μικροδομής, υπέστησαν -πέρα από τις συστολοδιαστολές- επί πλέον καταπόνηση κατά την κατασκευή τους (εισαγωγή ρητίνης, τεμαχισμός). Αποτέλεσμα της παραπάνω καταπόνησης είναι η επιδείνωση της μικροδομής των ενεμάτων, αλλά και των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων. Η δυσμενής επίδραση του τρόπου παρασκευής των δοκιμίων της μικροδομής αναμένεται να περιορισθεί με τον σχηματισμό πιο συμπαγών μικροδομών για τα πήγματα, η οποία επιτυγχάνεται με καλύτερες μεθόδους ανάμιξης και συντήρησης των δοκιμίων.
- (5) Όσον αφορά τον πειραματικό εξοπλισμό, στα πειράματα της διατμήσεως, η ατελής εφαρμογή των δοκιμίων εντός της σκάφης οδήγησε σε ορισμένες εκ των περιπτώσεων σε υψηλότερες τιμές της ολίσθησης. Εξ άλλου, δεν αποφεύχθηκε και η στροφή των δοκιμίων εντός της σκάφης, ιδιαίτερος στις περιπτώσεις που τα σύνθετα δοκίμια αστόχησαν στο υπόβαθρο (για υψηλότερες τιμές της διατμητικής αντοχής).

*Επεξεργασία Αποτελεσμάτων:*

Για τις παρατηρηθείσες αποκλίσεις/διασπορές στα πειραματικά αποτελέσματα, δόθηκαν διάφορες ερμηνείες κατά περίπτωση εντός κειμένου. Εντούτοις, υπήρξαν περιπτώσεις που κάτι τέτοιο δεν ήταν πάντοτε εφικτό. Άλλωστε, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι όλες οι μέθοδοι εκτίμησης της αντοχής των διεπιφανειών, και κυρίως των διεπιφανειών με υλικά τοιχοποιίας (τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά στις ιδιότητές τους), εμπεριέχουν εγγενώς μεγάλα πειραματικά σφάλματα (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή). Προκειμένου να επεξεργασθούν τα πειραματικά στοιχεία και να εξαχθούν ορισμένα γενικά συμπεράσματα για την συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων έναντι εφελκυσμού και διατμήσεως -χωρίς ωστόσο να αλλοιώνεται η εικόνα- μερικές από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν εδώ, απορρίφθηκαν με κριτήρια που παρουσιάσθηκαν συνοπτικώς εντός κειμένου και λεπτομερώς στα Παραρτήματα Δ και Ε. Προφανώς, παρόλο που τα κριτήρια απόρριψης και αποδοχής των δοκιμών τέθηκαν με στόχο την αυτοματοποίηση της διαδικασίας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, και συνεπώς θεωρούνται κατά μια έννοια αντικειμενικά, εμπεριέχουν σαφώς έναν υποκειμενικό χαρακτήρα. Εξ άλλου, η επιλογή των αποδεκτών δοκιμών, έτσι και αλλιώς, επηρεάζεται από τα αποτελέσματα άλλων ενεμάτων και υποβάθρων. Με την παρουσίαση όλων των πειραματικών

δεδομένων σε ηλεκτρονική μορφή (Ηλεκτρονικό Παράρτημα), επιτρέπεται στον αναγνώστη να προβεί σε μια διαφορετική επεξεργασία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μελλοντικά.

#### 4.2.2 ΒΗΜΑ 1<sup>ο</sup>. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Κριτήριο για την κατασκευή των μέσων καμπυλών ( $\bar{\tau}-\bar{s}$ ) και ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) είναι η χρήση εκείνων των πειραματικών καμπυλών ομοειδών σύνθετων δοκιμών, για τις οποίες τα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων αναπτύσσουν, σε παραπλήσιες τιμές της επιβαλλόμενης ολισθήσης, παρεμφερή τιμή διατμητική αντοχής ( $\tau_u$ ). Σε διαφορετική περίπτωση, κριτήριο για την κατασκευή των μέσων καμπυλών αποτελεί η εγκάρσια διόγκωση (παρόλο που οι μετρήσεις του εν λόγω μεγέθους παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διασπορά). Παραδείγματα εφαρμογής αυτών των κριτηρίων δίδονται στο οικείο Παράρτημα. Ας σημειωθεί ότι, καθώς τα στοιχεία θα χρησιμεύσουν στην σύνταξη των καταστατικών νόμων (Βήμα 6ο), οι οποίοι προορίζονται για το Αναλυτικό Μέρος της παρούσας εργασίας, προτιμάται η χρήση των κάτω ορίων για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμών (προς την πλευρά της ασφάλειας). Έτσι, για την κατασκευή των μέσων καμπυλών επιλέγονται, εν γένει, οι καμπύλες με τις μικρότερες πειραματικές τιμές της διατμητικής αντοχής, ενώ δεν λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμών.

Βάσει της επεξεργασίας των πειραματικών στοιχείων κατά το 1ο Βήμα, εν συντομία, διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα που αφορούν τα δοκίμια που δεν χρησιμοποιούνται περαιτέρω για την κατασκευή των μέσων καμπυλών:

- (1) Η μέγιστη διατμητική αντοχή ορισμένων σύνθετων δοκιμών με υπόβαθρο τον τραβερίνη είναι πάρα πολύ μεγάλη σε σχέση με εκείνη των άλλων δύο δοκιμών: αφορά ορισμένα σύνθετα δοκίμια με το ένεμα αναφοράς και το τριμερές ένεμα με τον μετακαολίνη (βλ. Παράρτημα Ε)
- (2) Η μέγιστη διατμητική αντοχή ενός εκ των τριών δοκιμών έχει περίπου το ίδιο μέγεθος με τις άλλες δύο δοκιμές, αλλά επιστρατεύεται για μεγαλύτερες ολισθήσεις (βλ. Παράρτημα Ε).
- (3) Η μέγιστη διατμητική αντοχή ενός εκ των τριών δοκιμών έχει περίπου το ίδιο μέγεθος με τις άλλες δύο δοκιμές, αλλά επιστρατεύεται για μικρότερες ολισθήσεις: δεν είναι το σύνηθες (βλ. Παράρτημα Ε).

Για τα δοκίμια των σημείων (2) και (3), αξιοποιείται μόνον η  $\tau_u$  για περαιτέρω διερεύνηση.

Στον Πίνακα 41 παρατίθενται οι μέγιστες μέσες τιμές των  $\bar{\tau}_u$ ,  $\bar{s}_u$ ,  $\bar{w}_u$  και  $\bar{\tau}_{res}$ , όπως προέκυψαν από την εφαρμογή της προαναφερθείσας επεξεργασίας, καθώς και οι δοκιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των μέσων καμπυλών (βλ. Παράρτημα Ε).

#### 4.2.3 ΒΗΜΑ 2<sup>ο</sup>. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΣΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΝΕΜΑΤΟΣ (ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ $\sigma_n$ )

Σε αυτό το Βήμα (βλ. Παράρτημα Ε, § Ε2.3), πρακτικώς, διερευνάται η δυνατότητα ομαδοποίησης των ασβεστολιθικών υποβάθρων (μάρμαρο Διονύσου ή τεφρός ασβεστόλιθος και τραβερίνης). Υπό άλλες συνθήκες, μια τέτοιου είδους προσπάθεια ενδεχομένως να μην είχε νόημα, δεδομένης της διαφορετικής επιφανειακής τραχύτητας και των τιμών του ανοιχτού πορώδους των υποβάθρων [που όπως φάνηκε από την Βιβλιογραφική Αναδρομή και επιβεβαιώθηκε από τις παρατηρήσεις της μικροδομής (βλ. Παράγραφο 3.7), αποτελούν δύο από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τον μηχανισμό της συνάφειας]. Άλλωστε, αυτή η ομαδοποίηση δεν αναδεικνύει τις διαφορές ανάμεσα στα υπόβαθρα. Εντούτοις, από τις παρατηρήσεις της μικροδομής διαπιστώθηκε ότι η κατάσταση των ενεμάτων και της διεπιφάνειας είναι παραπλήσια για τα δύο υπόβαθρα, του μαρμάρου και του τραβερίνη: Εμφανίζονται μικρορηγματώσεις στον αρμό του ενέματος, αποκολλήσεις του ενέματος από το υπόβαθρο και παρεμφερή μορφολογικά χαρακτηριστικά για τα ενέματα. Επομένως, βάσει των συμπερασμάτων της μικροδομής, νομιμοποιείται μια απόπειρα ομαδοποίησης των ασβεστολιθικών υποβάθρων (βλ. Παράρτημα Ε). Αντιθέτως, επισημαίνεται η δυσκολία ομαδοποίησης των μέσων καμπυλών στην περίπτωση των αργιλικών υποβάθρων, καθώς οι δύο οπτόπλινθοι παρουσιάζουν μακροσκοπικά διαφορετική τραχύτητα. Εξ άλλου, για τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου διαπιστώθηκε εν χρόνω επιδείνωση της συμπεριφοράς των σύνθετων δοκιμών τους με την οπτόπλινθο Β (§ 3.8.4.7). Αντιθέτως, στην περίπτωση των τριμερών ενεμάτων και του τσιμεντένεματος, αν και εμφανίζονται διαφορετικοί τρόποι αστοχίας στα σύνθετα δοκίμιά τους [αστοχία στο υπόβαθρο για τα τριμερή και μικτός τρόπος αστοχίας (στην διεπιφάνεια και στο υπόβαθρο) για το τσιμεντένεμα], η  $\bar{\tau}_u$  είναι ίδια σε όλες τις περιπτώσεις ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (Πίνακας 41).



Πίνακας 41. Τιμές των  $\tau_u$ ,  $S_u$ ,  $W_u$  και  $\bar{\tau}_{res}$ .

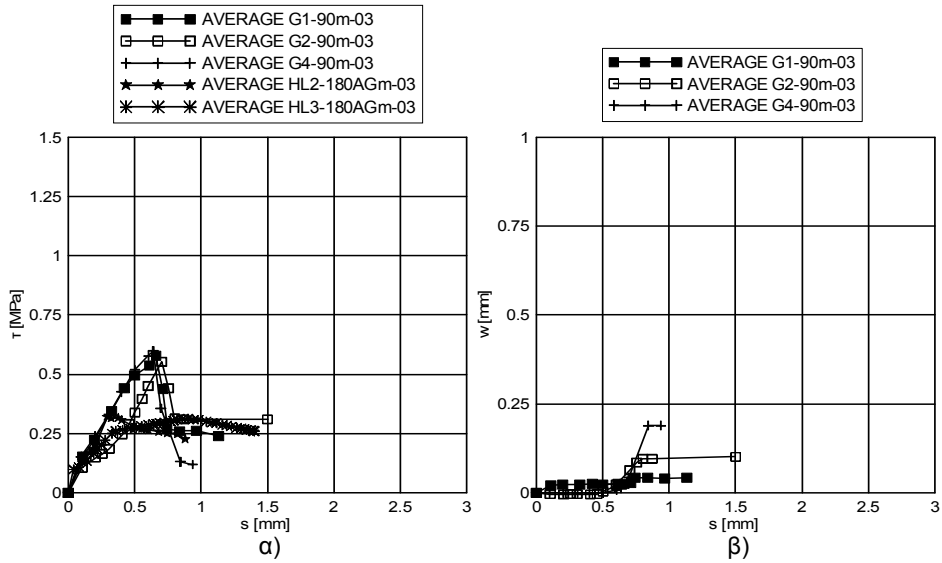
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εντός	$\sigma=0.1\text{MPa}$				$\sigma=0.3\text{MPa}$				$\sigma=0.6\text{MPa}$			
		$\bar{\tau}_u$ [MPa]	$\bar{S}_u$ [mm]	$\bar{W}_u$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]	$\bar{\tau}_u$ [MPa]	$\bar{S}_u$ [mm]	$\bar{W}_u$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]	$\bar{\tau}_u$ [MPa]	$\bar{S}_u$ [mm]	$\bar{W}_u$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΜΑΡΜΑΡΟ ή ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ</b>													
28	G1					0.43 <sup>(1)</sup>	0.697	0.213	0.24				
	G2					1.01 <sup>(2)</sup>	0.975	0.761	0.29				
	G4					0.32 <sup>(3)</sup>	0.504	0.222	0.09				
	HL1					0.21	0.609	0.010	0.20				
	HL2					0.29 <sup>(4)</sup>	0.835	0.071	0.24				
90	G1					0.30	0.308	0.011	0.22				
	G2					0.58 <sup>(5)</sup>	0.662	0.026	0.32				
	G4					0.55 <sup>(6)</sup>	0.705	0.064	0.31				
180	HL1					0.60	0.639	0.011	0.18				
	HL2					0.29 <sup>(7)</sup>	0.294		0.22				
	HL3					0.31	0.359						
<sup>(1)</sup> διατηρούνται και οι τρεις δοκιμές παρά την μεγάλη διασπορά των μετακινήσεων <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, καθώς έχουν παραπλήσια τιμή εγκάρσιας διόγκωσης <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, και τροποποιούνται οι ολισθήσεις τις δοκιμής Δ1 <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $S_u$ <sup>(5)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, από την Δ2 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$ <sup>(6)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, από την Δ3 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$ <sup>(7)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, από την Δ3 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ</b>													
28	G1					1.00	1.604	0.682	0.37	0.97	1.055	0.739	
	G2	1.28 <sup>(2)</sup>	1.032	0.189	0.28	0.98 <sup>(6)</sup>	1.374	0.486	0.14	0.96 <sup>(4)</sup>	0.990	0.115	0.30
	G4	0.59 <sup>(3)</sup>	0.798	0.181	0.34					0.82 <sup>(4)</sup>	1.194	0.140	0.41
	HL					0.50 <sup>(6)</sup>	0.900	0.148	0.22				
60	G2					1.36 <sup>(7)</sup>	1.376	0.195	0.27				
	G4					0.61 <sup>(6)</sup>	0.952	0.195	0.27				
	HL					0.59 <sup>(7)</sup>	0.597	0.044	0.25				
90	G1	0.63 <sup>(4)</sup>	0.604	0.125	0.43	0.52 <sup>(7)</sup>	0.556	0.775	0.26	0.85 <sup>(7)</sup>	0.538	0.203	0.62
	G2					0.90 <sup>(4)</sup>	1.157	0.433	0.19	1.01 <sup>(4)</sup>	0.745	0.112	0.50
	G4	0.90 <sup>(6)</sup>	0.544	0.360	0.20	0.92 <sup>(6)</sup>	0.998	0.482	0.15	1.01 <sup>(6)</sup>	0.571	0.001	0.21
	HL					0.59 <sup>(7)</sup>	0.597	0.044	0.25				
180	G2					1.04 <sup>(4)</sup>	1.537	0.640	0.34				
	G4					0.55 <sup>(4)</sup>	0.403	0.023	0.26				
<sup>(1)</sup> μη αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $S_u$ <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $S_u$ <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2 <sup>(5)</sup> λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα των άλλων δοκιμών για τις άλλες στάθμες της $\sigma$ , διατηρείται η Δ3 <sup>(6)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3 <sup>(7)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ2 και Δ3 <sup>(8)</sup> μεταφορά των ολισθήσεων της Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΨΑΜΜΙΤΗΣ</b>													
28	HL1					0.45 <sup>(1)</sup>	0.960	0.320	0.25				
	HL2					0.86 <sup>(2)</sup>	1.905	0.631	0.20				
	HL3					1.07 <sup>(3)</sup>	2.254	1.894	0.20				
90	HL1					0.99 <sup>(3)</sup>	1.797	0.648	0.23	0.54	0.466	0.008	0.33
	HL2					1.23 <sup>(4)</sup>	1.979	0.916	0.34	1.26	2.203	0.825	0.24
	HL3					1.20	1.958	0.275	0.16	1.29	2.027	1.260	0.18
180	HL1					0.39 <sup>(5)</sup>	0.924	0.194	0.16				
	HL2					1.45 <sup>(3)</sup>	2.176		0.30				
	HL3					1.44 <sup>(4)</sup>	2.557	1.157	0.25				
<sup>(1)</sup> διατηρείται μόνον η Δ3 γιατί οι μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην $\tau_u$ είναι κοντά στις αντίστοιχες μέσες τιμές <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 και διορθώνεται το άλμα στην τιμή της εγκάρσιας διόγκωσης για την Δ3 <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(5)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ Α</b>													
28	G1												
	G2	1.75	2.551	0.204	0.20	1.29 <sup>(2)</sup>	2.549	0.977	0.17	1.22 <sup>(1,4)</sup>	2.14	1.104	0.29
60	G2					1.68 <sup>(3)</sup>	2.877	0.575					
	G4					1.45 <sup>(2)</sup>	2.472	0.841					
90	G1					1.20 <sup>(1)</sup>	2.583	0.749					
	G4					1.33	1.842	0.574	0.18				
180	G4	2.05 <sup>(1)</sup>	1.450	0.189									
<sup>(1)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ2 <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 <sup>(4)</sup> διόρθωση στις ολισθήσεις του Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ Β</b>													
28	HL1					0.45 <sup>(1)</sup>	1.414	1.027	0.15				
	HL2												
	HL3					1.18	1.907	1.468	0.17				
180	HL1					0.23 <sup>(2)</sup>	0.250	0.014	0.17				
	HL2					0.47 <sup>(2)</sup>	0.762	0.435	0.19				
	HL3					0.63 <sup>(2)</sup>	1.063	0.565	0.17				
<sup>(1)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(2)</sup> θέμα αξιοπιστίας πειραματικών αποτελεσμάτων													

#### 4.2.4 ΒΗΜΑ 3<sup>ο</sup>. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕΣΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟΥ (ΓΙΑ ΜΙΑ ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΙ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ $\sigma_n$ )

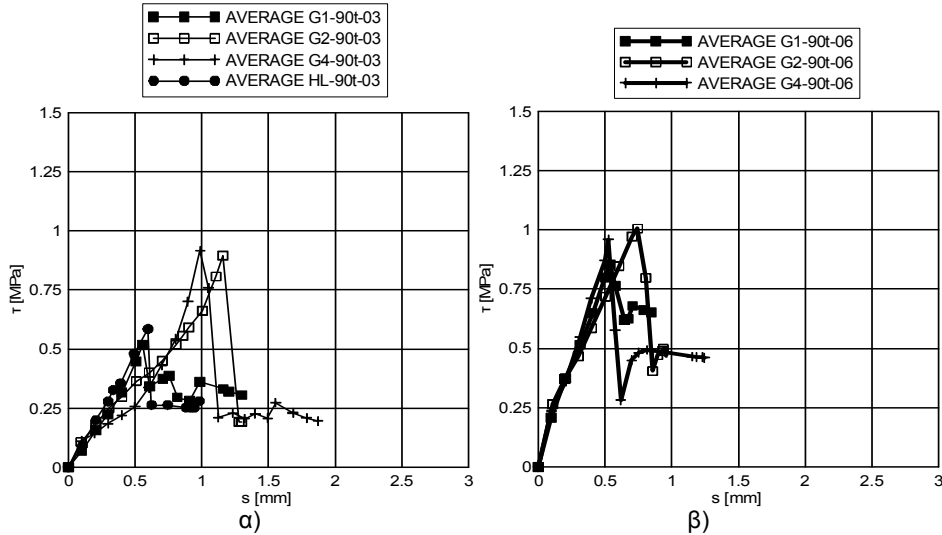
Σε αυτό το Βήμα εξετάζεται η δυνατότητα ομαδοποίησης των ενεμάτων. Άλλωστε, αυτή η προσπάθεια φαίνεται να συμβαδίζει, καταρχήν, με τις παρατηρήσεις της μικροδομής (§ 3.7), τα αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών των σύνθετων δοκιμών (§ 3.8.3 και § 3.8.4) και την εν χρόνω συμπεριφορά των τριμερών ενεμάτων και δύο εκ των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου (Παράρτημα Γ). Από την διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάζεται στην οικεία ενότητα του Παραρτήματος Ε (βλ. § Ε.2.4), επιβεβαιώνεται η παραπάνω υπόθεση. Πράγματι, προκύπτουν ομαδοποιήσεις της συμπεριφοράς των ενεμάτων, κυρίως, για τις μεγαλύτερες ηλικίες διεξαγωγής δοκιμών. Όπως προκύπτει και από τις Εικόνες 218 έως 223, στις οποίες παρουσιάζονται επιλεκτικά ορισμένες από τις μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) και ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) (βλ. και Παράρτημα Ε: Εικόνες Ε11 έως Ε23), αυτές οι ομαδοποιήσεις αφορούν την συμπεριφορά όλων των συνθέσεων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης για όλα τα υπό διερεύνηση υπόβαθρα (μάρμαρο Διονύσου, τραβερτίνης και οπτόπλινθος Α) και των συνθέσεων της υδραυλικής ασβέστου ΗL2 και ΗL3 (σε όλες τις ηλικίες).

#### 4.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ 1 ΕΩΣ 3

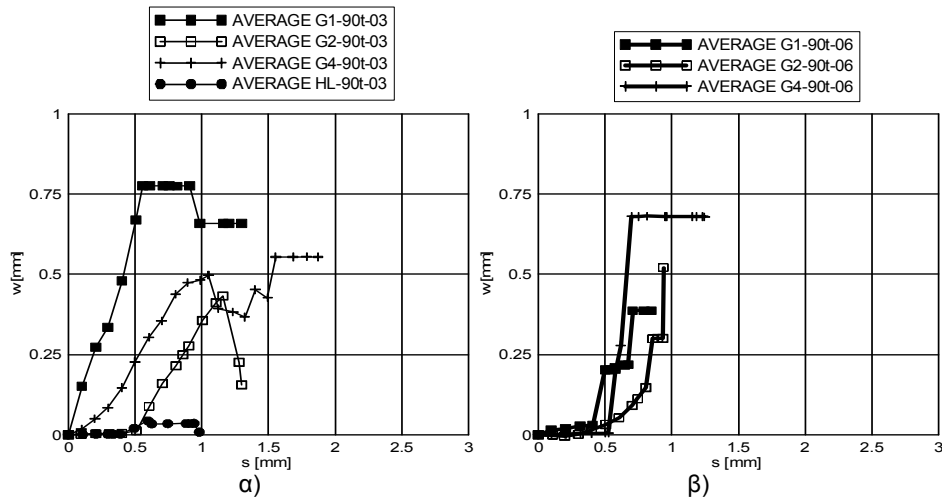
Από την επεξεργασία των πειραματικών στοιχείων κατά τα Βήματα 1 έως 3 και βάσει των μέσων καμπύλων ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ), φαίνεται να προκύπτουν δυνατότητες ομαδοποίησης των υποβάθρων του μαρμάρου και του τραβερτίνη για τα σύνθετα δοκίμια με τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης στις 28 ή στις 90 ημέρες (βλ. Παράρτημα Ε: Εικόνες Ε5 έως Ε10). Εντούτοις, αυτή η δυνατότητα ομαδοποίησης δεν εμφανίζεται στην ίδια ηλικία για όλες τις συνθέσεις επεμβάσεως: Στα τριμερή ενέματα η εν λόγω ομαδοποίηση προκύπτει για τις 28 ημέρες, ενώ για το ένεμα αναφοράς αφορά τις 90 ημέρες. Αντιθέτως, από τις μέσες καμπύλες της ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) δεν επαληθεύεται αυτή η δυνατότητα ομαδοποίησης. Δεδομένου του ότι, κατά τις πρώτες μέρες εφαρμογής των ενεμάτων σε μια τρίστρωτη τοιχοποιία, η πιθανότητα εμφάνισης σεισμικής δράσης είναι σχετικώς μικρή, μια ομαδοποίηση της συμπεριφοράς των υποβάθρων [η οποία θα στηρίζεται μόνον στα πει-



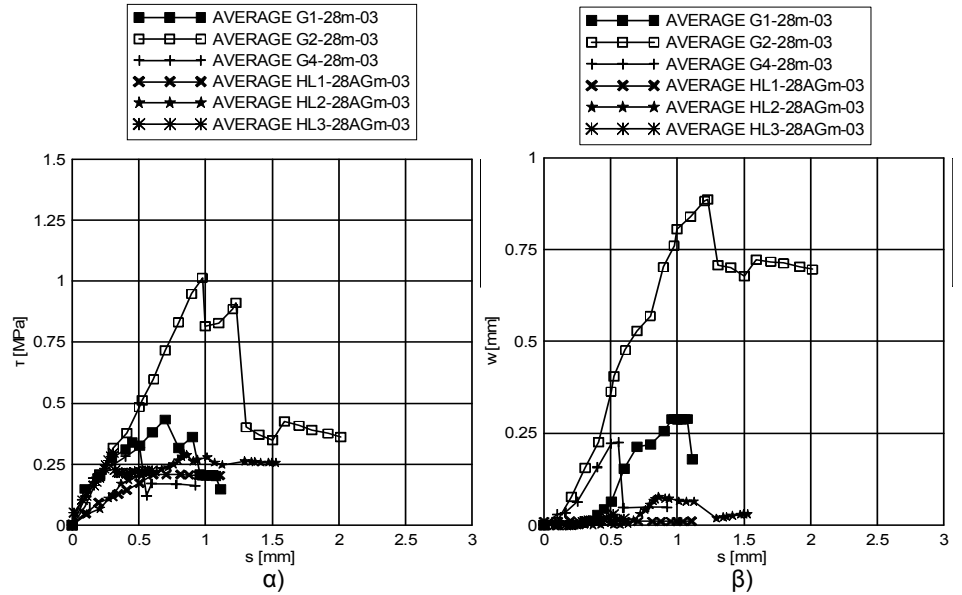
Εικόνα 218. Υπόβαθρο μαρμάρου/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες α) ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) και β) ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) ( $\sigma_n=0.3$  MPa, 90 ημέρες).



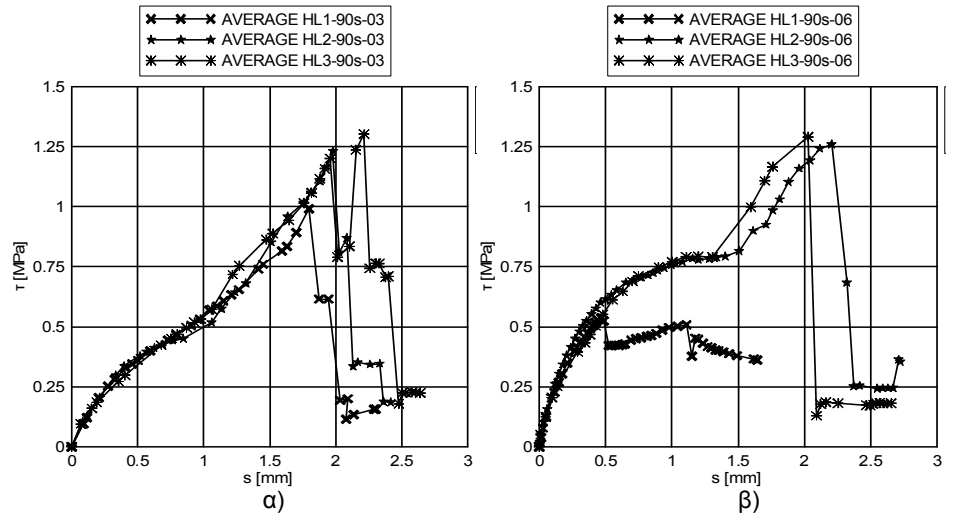
Εικόνα 219. Υπόβαθρο τραβερτίνη/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n=$  α) 0.3 MPa και β) 0.6 MPa (90 ημέρες).



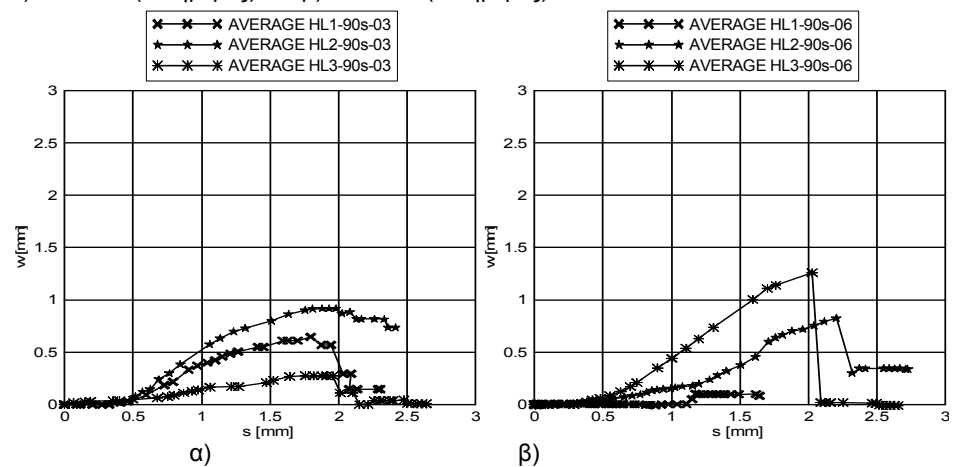
Εικόνα 220. Υπόβαθρο τραβερτίνη/ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n=$  α) 0.3 MPa και β) 0.6 MPa (90 ημέρες).



Εικόνα 221. Υπόβαθρο τεφρού ασβεστόλιθου/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες καμπύλες  $(\bar{\tau} - \bar{s})$  και  $\beta)$   $(\bar{w} - \bar{s})$  ( $\sigma_n = 0.3$  MPa, 28 ημέρες).



Εικόνα 222. Υπόβαθρο φαμμίτη/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες καμπύλες  $(\bar{\tau} - \bar{s})$  για  $\sigma_n = \alpha)$  0.3 MPa (90 ημέρες) και  $\beta)$  0.6 MPa (90 ημέρες).



Εικόνα 223. Υπόβαθρο φαμμίτη/ενέματα HL2 και HL3: Μέσες καμπύλες  $(\bar{w} - \bar{s})$  για  $\sigma_n = \alpha)$  0.3 MPa (90 ημέρες) και  $\beta)$  0.6 MPa (90 ημέρες).

ραματικά στοιχεία των ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) και για τις μικρότερες ηλικίες] δεν έχει βαρύτητα. Γι' αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης επιλέχθηκε να μην εξετασθεί περαιτέρω η εν λόγω ομαδοποίηση. Αντιθέτως, οι ομαδοποιήσεις που τελικώς προκύπτουν από την παραπάνω διερεύνηση (βλ. § E2.4) και εξετάζονται εδώ (Βήματα 4 και 5, βλ. Παράρτημα E) είναι οι ακόλουθες:

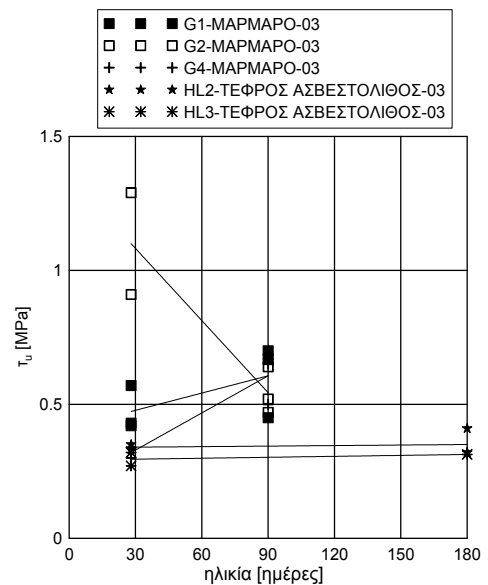
- α4) σύνθετα δοκίμια μαρμάρου και ενεμάτων G1 (ένεμα αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) και G4,
- β4) σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων τσιμεντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (για  $\sigma_n=0.6$  MPa)
- γ5) σύνθετα δοκίμια των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου, HL2 και HL3, για όλους τους τύπους των υποβάθρων,
- δ5) σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4 (90 ημέρες).

Ας σημειωθεί ότι για την περαιτέρω μελέτη, διατηρούνται όλες οι πειραματικές τιμές ανά τριάδα ομοειδών δοκιμών (βλ. Πίνακα 41), εκτός από εκείνες που βρέθηκαν να διαφέρουν σαφώς από τις άλλες δύο τιμές [απόκλιση άνω του 100% προς τα πάνω (πρδ. τσιμεντένεμα) ή προς τα κάτω (πρδ. τριμερές ένεμα με μηλαϊκή γη)] και οι οποίες, έτσι και αλλιώς, δεν χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των μέσων καμπυλών.

#### 4.2.6 ΒΗΜΑ 4<sup>ο</sup>. ΕΠΙΡΡΟΗ ΗΛΙΚΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ

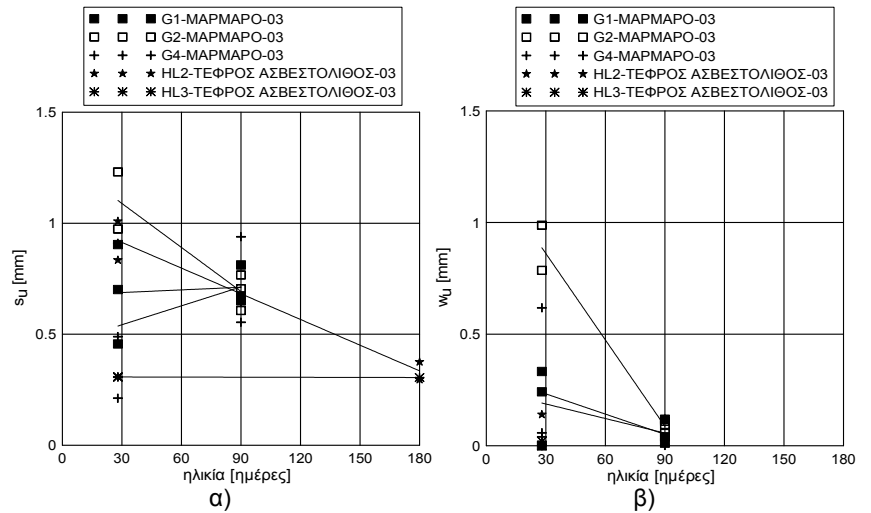
##### 4.2.6.1 Σύνθετα δοκίμια ισχυρότερων υποβάθρων και ενεμάτων α) G1, G2, G4 ή β) HL2, HL3

Πρακτικώς, η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών ισχυρών υποβάθρων και τσιμεντενέματος ή ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου είναι σταθερή με τον χρόνο. Ως προς τις τριμερείς συνθέσεις, στις διεπιφάνειες του μαρμάρου με τον μετακαολίνη καταγράφεται μείωση με τον χρόνο της διατμητικής αντοχής, ενώ οι διεπιφάνειες του ενέματος με την φυσική ποζολάνη ενισχύονται εν χρόνω (βλ. Εικόνα 224). Αναφορικά με το μέγεθος των τιμών της διατμητικής αντοχής συνάφειας σε μεγαλύτερη ηλικία (90 ή 180 ημέρες), αυτή κυμαίνεται στα 0.6 MPa για τα ενέματα G1, G2 και G4, και στα 0.3 MPa για τα ενέματα HL2 και HL3. Εντούτοις, το τελευταίο ένεμα δεν παρουσιάζει σταθερή εν χρόνω συμπεριφορά (αστοχία 2 δοκιμών κατά την τοποθέτησή τους στην πειραματική διάταξη), κάτι αντίστοιχο άλλωστε διαπιστώθηκε και για

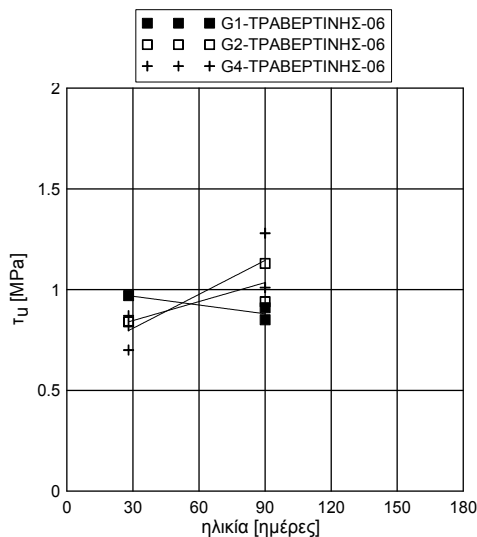


Εικόνα 224. Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου.

την καμπτική αντοχή του εν λόγω ενέματος. Τέλος, οι ολισθήσεις και οι εγκάρσιες διογκώσεις που αντιστοιχούν στην  $\tau_u$ , μειώνονται με τον χρόνο (Εικόνες 225α και 225β, αντιστοίχως).



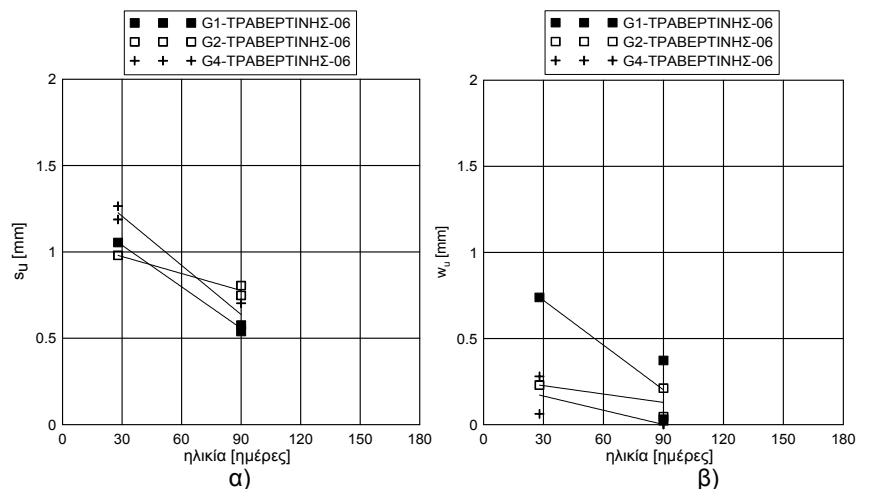
Εικόνα 225. Εν-χρόνω εξέλιξη της α)  $s_u$  και β)  $w_u$  σύνθετων δοκιμών μαρμαρού και τεφρού ασβεστόλιθου.



Εικόνα 226. Εν-χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τραβερίνη ( $\sigma_n=0.6$  MPa).

#### 4.2.6.2 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων G1, G2 και G4 για $\sigma_n=0.6$ MPa

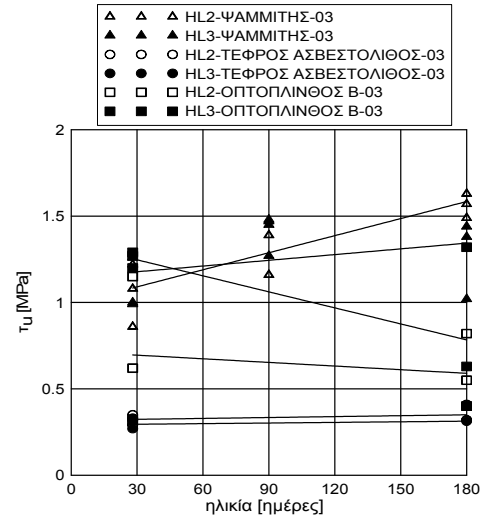
Για αυτήν την ομαδοποίηση, διαπιστώνεται ότι η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμών με υπόβαθρο τραβερίνη για ( $\sigma_n=0.6$  MPa), πέραν κάποιων μικροαποκλίσεων, είναι σταθερή με τον χρόνο (Εικόνα 226: μικρή μείωση για ένεμα αναφοράς και αυξήσεις για τις δυο τριμερείς συνθέσεις). Εν γένει, οι τιμές της μέσης διατμητικής αντίστασης είναι της τάξης του 1 MPa. Ως προς τις τιμές των ολισθήσεων και των εγκάρσιων διογκώσεων, για τις οποίες επιστρατεύεται η μέση μέγιστη διατμητική αντοχή, όπως είναι αναμενόμενο μειώνονται μεταξύ των 28 και 90 ημερών (Εικόνα 227).



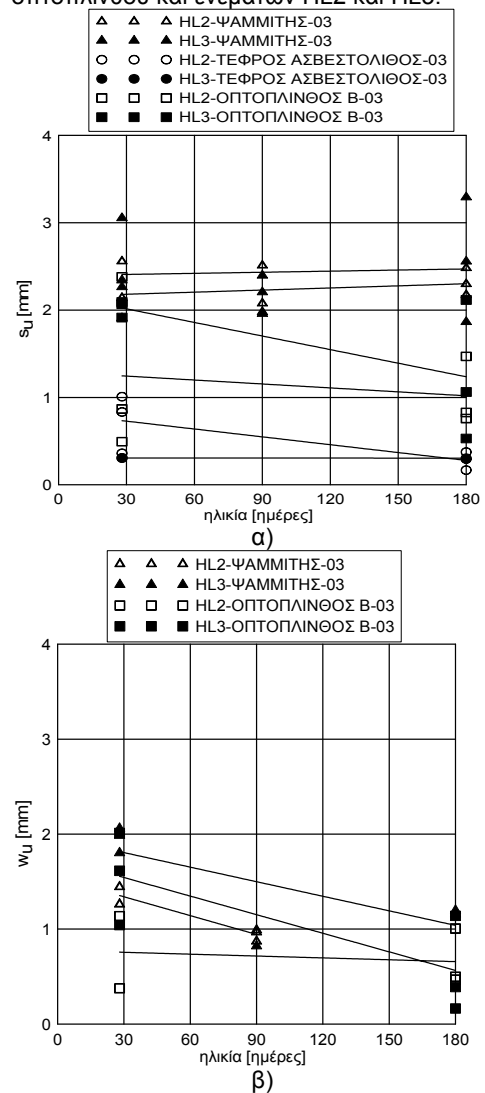
Εικόνα 227. Εν-χρόνω εξέλιξη της α)  $s_u$  και β)  $w_u$  σύνθετων δοκιμών τραβερίνη.

### 4.2.6.3 Σύνθετα δοκίμια ενεμάτων HL2 και HL3 για όλους τους τύπους των υποβάθρων

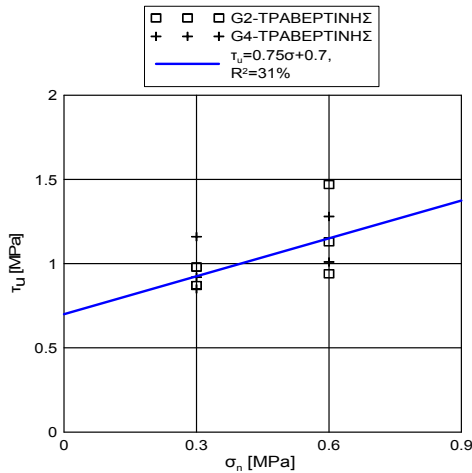
Αύξηση της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμιών με την ηλικία καταγράφεται μόνο στην περίπτωση των δοκιμιών του ψαμμίτη (Εικόνα 228). Στις περιπτώσεις του τεφρού ασβεστόλιθου και της οπτοπλίνθου Β, όπως φαίνεται στην Εικόνα 228, η διατμητική αντοχή των σύνθετων δοκιμιών παραμένει σταθερή ή μειώνεται, αντιστοίχως. Εξ άλλου, εν γένει, για τις δοκιμές της οπτοπλίνθου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι τιμές της διασποράς προκύπτουν μεγαλύτερες σε μεγαλύτερη ηλικία. Αναφορικά με το μέγεθος της διατμητικής αντοχής, υψηλότερες τιμές καταγράφονται για τα δοκίμια του ψαμμίτη, μετά για εκείνα της οπτοπλίνθου Β και, τέλος, για εκείνα με τον τεφρό ασβεστόλιθο. Ως προς τις μέσες τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης και της ολίσθησης για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή, εν γένει, μειώνονται με τον χρόνο (Εικόνα 229).



Εικόνα 228. Εν-χρόνω εξέλιξη της μέσης διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμιών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3.



Εικόνα 229. Εν-χρόνω εξέλιξη της α)  $s_u$  και β)  $w_u$  σύνθετων δοκιμιών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3.



**Εικόνα 230.** Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη /τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στην διατμητική αντοχή (90 ημέρες).

**Εξίσωση 2**

$$\tau_u = 0.70 + 0.75\sigma_n$$

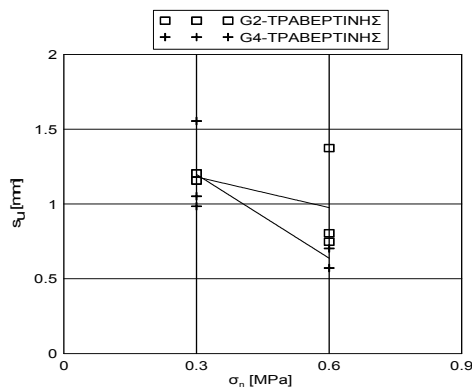
όπου,  
 $\tau_u$  η μέγιστη διατμητική αντοχή συνάφειας  
 $\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

**4.2.7 ΒΗΜΑ 5<sup>ο</sup>. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΟΡΘΗΣ ΤΑΣΗΣ,  $\sigma_n$ , ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ [ $\tau_u$ -t), ( $s_u$ -t) και ( $w_u$ -t)]**

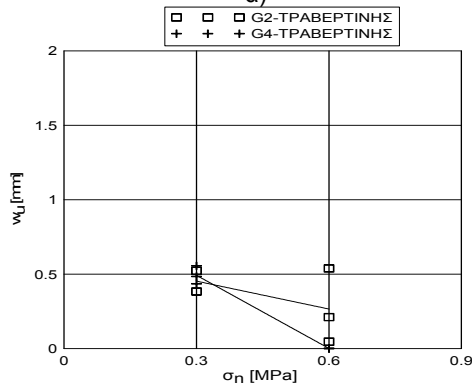
**4.2.7.1 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4**

Καταρχήν, επιβεβαιώνεται η θετική επίδραση της  $\sigma_n$  στην  $\tau_u$  (βλ. §3.8.4.6.4 και §3.8.4.7.4). Βάσει της ομαδοποίησης της συμπεριφοράς των διεπιφανειών των δυο τριμερών ενεμάτων G2 και G4 με τον τραβερίνη στις 90 ημέρες, μια σχέση τύπου Mohr-Coulomb που θα περιγράφει την επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης στην διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας του τραβερίνη με τις δυο τριμερείς συνθέσεις, δίδεται από την Εξίσωση 2.

Ως προς τις μετακινήσεις για τις οποίες επιστρατεύεται η μέση τιμή της μέγιστης διατμητικής αντοχής, ας επισημανθεί ότι με την αύξηση της ορθής τάσης μειώνονται, εν γένει, οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης και της ολίσθησης (βλ. Εικόνα E31, § 3.8.4.6.4 και § 3.8.4.7.4).



α)



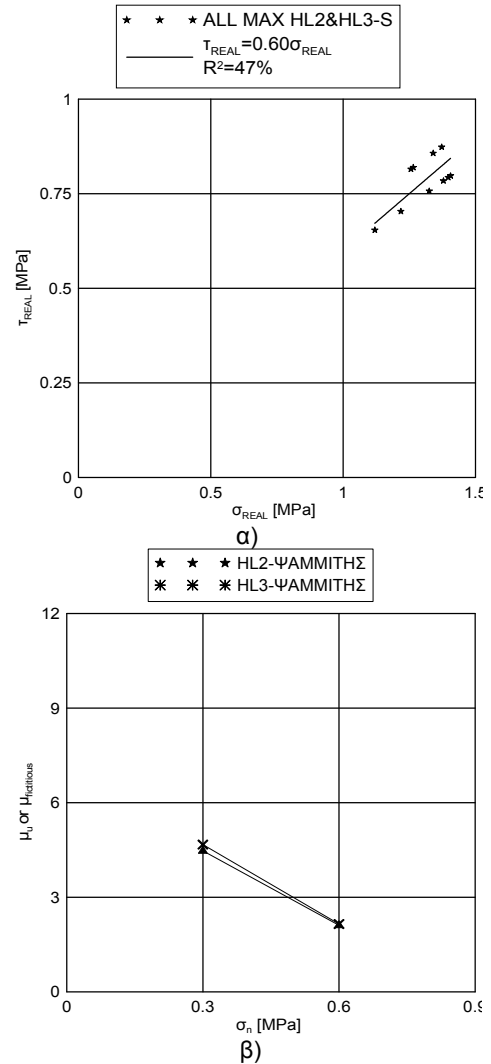
β)

**Εικόνα 231.** Δοκίμια τραβερίνη/τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στις α)  $s_u$  και β)  $w_u$  (90 ημέρες).

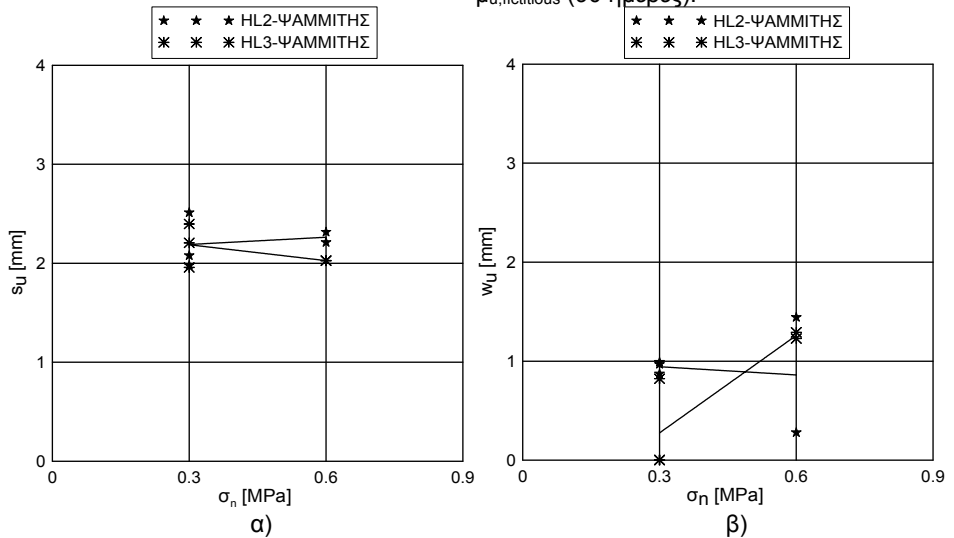


### 4.2.7.2 Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3

Με δεδομένο ότι τα δοκίμια του ψαμμίτη με τα ενέματα HL2 και HL3 αστόχησαν στο υπόβαθρο, η επιρροή της  $\sigma_n$  στην διατμητική αντοχή δύναται να αξιολογηθεί μόνον κατά το επίπεδο αστοχίας αυτών των σύνθετων δοκιμίων, το οποίο είναι κεκλιμένο ως προς τον άξονα επιβολής της ολίσθησης (βλ. § 3.8.4.7.4, Εικόνα 232α). Αντιθέτως, όπως αναδείχθηκε και στην οικεία παράγραφο, δεν δύναται να αναδειχθεί η επιρροή της  $\sigma_n$  στην διατμητική αντοχή συνάφειας των δοκιμίων κατά το οριζόντιο επίπεδο, παρά μόνον για τον συντελεστή τριβής  $\mu_{u, fictitious}$ . (Εικόνα 232β). Ως προς τις μετακινήσεις, η αύξηση της  $\sigma_n$  οδήγησε, όπως ήταν αναμενόμενο, σε μείωση των τιμών του ανοίγματος ρωγμής και της ολίσθησης (Εικόνα 233).



Εικόνα 232. Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , α) στην διατμητική αντοχή κατά το επίπεδο αστοχίας και β) στον συντελεστή τριβής  $\mu_{u, fictitious}$  (90 ημέρες).



Εικόνα 233. Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στις α)  $s_u$  και β)  $w_u$  (90 ημέρες).

## 4.2.8 ΒΗΜΑ 6<sup>ο</sup>. ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ

### 4.2.8.1 Εμπειρικές σχέσεις

Η στατιστική επεξεργασία των πειραματικών αποτελεσμάτων των τιμών της  $T_u$  και της  $T_{u,f}$ , της ολίσθησης και του ανοίγματος ρωγμής για τις οποίες αυτή η διατμητική αντοχή επιστρατεύεται, καθώς και της παραμένουσας διατμητικής αντίστασης, μεταξύ άλλων, έχει ως στόχο την αναζήτηση σχέσεων πρόβλεψης των παραπάνω μεγεθών συναρτήσει των παραμέτρων που εξετάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (τύπος υποβάθρου, τύπος ενέματος, ηλικία και μέγεθος της επιβαλλόμενης  $\sigma_n$ ). Έτσι, στην παρούσα ενότητα της Διατριβής, παρουσιάζονται συνοπτικώς οι σχέσεις που καταστρώθηκαν για την εκτίμηση των εν λόγω μεγεθών. Για περισσότερες λεπτομέρειες ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο Παράρτημα Ε (§ Ε 2.8). Καθώς η διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων αυτών κάθε αυτών είναι αρκετά υψηλή, οι προτεινόμενες σχέσεις θα παρουσιάζουν -μοιραίως- και ουσιαστικές αποκλίσεις από τις πειραματικές τιμές. Εξ άλλου, επισημαίνεται ότι, οι σχέσεις που παρουσιάζονται εδώ, δεν θεωρούνται και οι οριστικές. Αντιθέτως, αποτελούν μια πρώτη εκτίμηση για την πρόβλεψη των πειραματικών στοιχείων της παρούσας εργασίας.

#### 4.2.8.1.1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ $\mu_{u,cal}$ - ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

$$T_{u,cal}$$

Η διατμητική αντοχή  $T_u$  και της  $T_{u,f}$ , συναρτήσει της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$ , εκφράζεται μέσω του συντελεστή τριβής,  $\mu_u$  και  $\mu_{u,f}$ , αντιστοίχως. Όπως φάνηκε στην παράγραφο § 3.8.4.7.4, η συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/τραβερίνη δείχνουν την ίδια τάση με εκείνη διεπιφανειών σκυροδεμάτων. Άλλωστε, για τις πειραματικές τιμές των μεταβλητών  $\mu_u$  ή  $\mu_{u,f}$ , και  $\sigma_n/f_{g,c}$  όλων των ηλικιών, προκύπτει αρνητική συσχέτιση [κυμαινόμενη από -40% έως -80% για όλους τους τύπους των υποβάθρων (-40%, -62%, -65% και -80% για τα δοκίμια του τραβερίνη, των οπτόπλινθων, των ασβεστόλιθων (μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου) και ψαμμίτη, αντιστοίχως)]. Παρόμοια είναι η εικόνα για τις τιμές  $\mu_u$  και λόγου επιβαλλόμενης ορθής τάσης προς την καμπτική αντοχή των ενεμάτων,  $\sigma_n/f_{g,t}$ . Βάσει των παραπάνω παρατηρήσεων, για την εκτίμηση του συντελεστή τριβής,  $\mu_{u,cal}$ , (πραγματικού  $\mu_u$  ή φαινομενικού  $\mu_{u,f}$ ) για

τις διεπιφάνειες ενεμάτων και υποβάθρων, αναζητήθηκε σχέση (Εξίσωση 3) αντίστοιχη με εκείνη που ισχύει για τις διεπιφάνειες των σκυροδεμάτων (Tassios et al. 1987). Στην προτεινόμενη σχέση εκτίμησης του συντελεστή τριβής λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της ορθής τάσης  $\sigma$ , της ηλικίας και του τύπου του ενέματος (μέσω της θλιπτικής αντοχής,  $f_c$ ) και του τύπου του υποβάθρου (μέσω του  $\beta$ ). Όπως είναι φυσικό, με την εισαγωγή του συντελεστή  $\beta$ , η Εξίσωση 3 δύναται να εφαρμοσθεί για διάφορους τύπους υλικών τοιχοποιίας. Στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης, τα υπό εξέταση υπόβαθρα, κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες: α) σε υπόβαθρα μικρού πορώδους και μικρής επιφανειακής τραχύτητας, στα οποία συγκαταλέγονται το μάρμαρο Διονύσου και ο τεφρός ασβεστόλιθος, β) σε υπόβαθρα μεσαίου πορώδους και μέσης επιφανειακής τραχύτητας (τραβερίνης) και γ) σε υπόβαθρα υψηλού πορώδους, στα οποία εντάσσονται οι οπτόπλινθοι (Α και Β) και ο ψαμμίτης. Στον Πίνακα 42 παρατίθενται οι προσδιορισθείσες τιμές του  $\beta$  για τα υπόβαθρα που μελετήθηκαν στην παρούσα Διατριβή [για τις 28 ημέρες και για μεγαλύτερη ηλικία (90 μαζί με τις 180 ημέρες)], οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  (%), καθώς και οι δοκιμές που απορρίφθηκαν κατά την στατιστική επεξεργασία των πειραματικών στοιχείων.

**Εξίσωση 3**

$$\mu_{u,cal} = 0.44 \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)^{-\beta}$$

όπου,  
 $\beta$  συντελεστής που αντανακλά τον τύπο του υποβάθρου (λαμβάνεται από τον Πίνακα 42)  
 $\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου  
 $f_c$  το ελάχιστο μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του ενέματος και της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου

**Πίνακας 42.** Τιμές συντελεστή  $\beta$ .

υπόβαθρο	δοκιμές που απορρίφθηκαν		Όλες οι τιμές		Μέσες τιμές	
	ηλικία	δοκιμή	$\beta$	$R^2$ [%]	$\beta$	$R^2$ [%]
μάρμαρο και τεφρός ασβ/λιθος	28	G2 ( $\Delta 3$ ), G4 ( $\Delta 3$ )	0.44	41	0.46	51
	90 ή 180	G2 ( $\Delta 3$ )	0.39	42	0.38	91
	όλες οι ηλικίες		0.41	40	0.41	47
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.40</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					
τραβερίνης	28	G1-03 ( $\Delta 3$ ), G1-06 ( $\Delta 2$ ) G2-01 ( $\Delta 2$ ), G2-03 ( $\Delta 2$ )	0.71	72	0.70	77
	90 και 180	G1-03 ( $\Delta 1$ ), G2-01 (ΟΛΕΣ) G2-03 ( $\Delta 3$ ), G4-01 ( $\Delta 2$ ) G4-06 ( $\Delta 2$ ), G2-03 ( $\Delta 3$ ) G2-03 ( $\Delta 3$ )	0.52	57	0.54	49
	όλες οι ηλικίες		0.58	40	0.60	47
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.60</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					
ψαμμίτης και οπτόπλινθοι Α και Β	28	A: G1-01( $\Delta 1, \Delta 3$ ), G1-03 ( $\Delta 1, \Delta 2$ ) B: HL1(ΟΛΕΣ), HL2 ( $\Delta 2, \Delta 3$ )	0.78	86	0.75	82
	90 και 180	A: G4-03( $\Delta 3$ ) B: HL1(ΟΛΕΣ), HL2( $\Delta 1, \Delta 2$ ) HL3( $\Delta 1, \Delta 3$ )	0.72	56	0.72	61
	όλες οι ηλικίες		0.74	67	0.74	71
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.75</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					

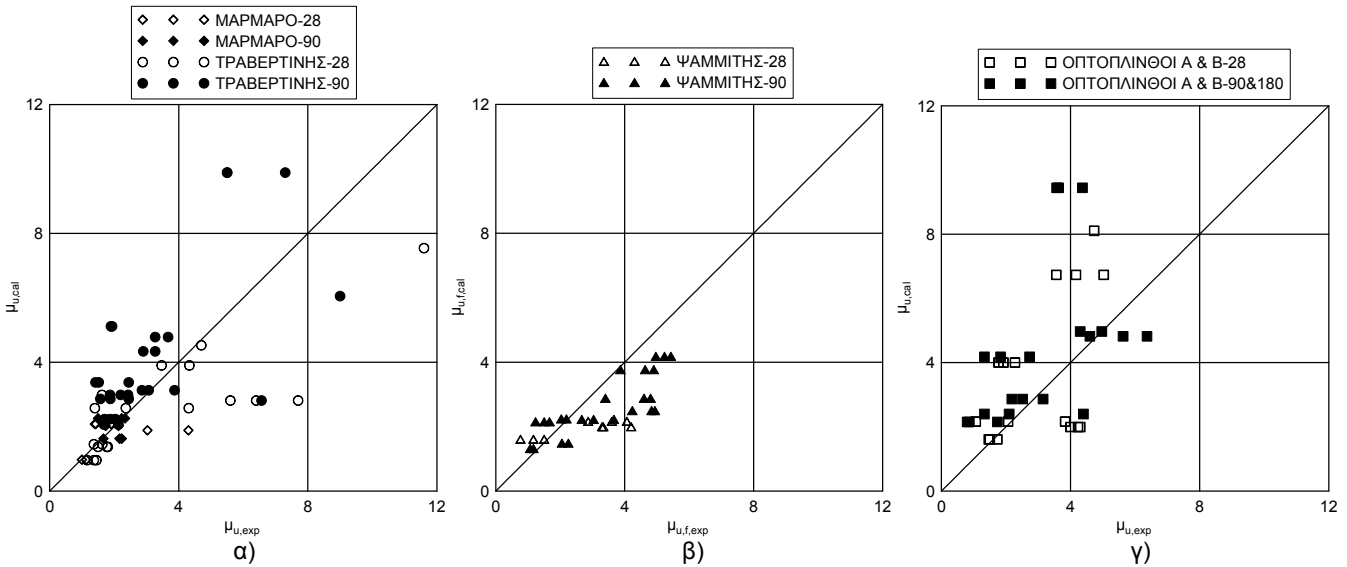
Από τις τιμές του Πίνακα 42 προκύπτει ότι, ο συντελεστής  $\beta$  λαμβάνει

μικρότερες τιμές για τα πιο ισχυρά υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος και τραβερτίνης) και μεγαλύτερες τιμές για τα ασθενέστερα υπόβαθρα των οπτόπλινθων και του φαμμίτη. Έτσι, μέσω των προτεινόμενων τιμών για το  $\beta$  του Πίνακα 42 υποδηλώνεται ότι, ο βαθμός επίδρασης της σύνθεσης του ενέματος στον εκτιμώμενο συντελεστή τριβής περιορίζεται από τον τύπο του υποβάθρου (μικρότερες τιμές του  $\beta$  δείχνουν μικρότερη επίδραση των συνθέσεων στις τιμές του  $\mu_{u,cal}$ ). Εξ άλλου, όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3, η επιρροή του τύπου του υποβάθρου στον συντελεστή τριβής υπεισέρχεται, πέρα από τον συντελεστή  $\beta$ , άμεσα ή έμμεσα μέσω της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου (στην περίπτωση αστοχίας του υποβάθρου) ή της αντοχής του ενέματος (στην περίπτωση των ισχυρότερων υποβάθρων). Επομένως, η Εξίσωση 3, αντανακλά την γενικότερη τάση που εμφανίσθηκε στα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης, κατά την οποία τόσο η εξάρτηση του τύπου του υποβάθρου, όσο και της σύνθεσης του ενέματος, στην αναπτυσσόμενη διατμητική αντίσταση των σύνθετων δοκιμίων προκύπτει υπό όρους. Ως προς τις τιμές του συντελεστή προσδιορισμού, σε ορισμένες περιπτώσεις ο  $R^2$  λαμβάνει σχετικώς χαμηλές τιμές (Πίνακας 42: βλ. για πρδ. τις δοκιμές με υπόβαθρο από μάρμαρο). Αυτό οφείλεται στην σχετικώς μεγάλη διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων. Τέλος, ως προς την διατμητική αντοχή, η  $T_{u,cal}$  εκτιμάται κατά τα γνωστά μέσω του συντελεστή τριβής (πραγματικού ή φαινομενικού) από την Εξίσωση 4. Έτσι, με βάση την Εξίσωση 3, στις Εικόνες 234 και 235 έχει σχεδιαστεί ο υπολογιστικός συντελεστής τριβής  $\mu_{u,cal}$  και ο πειραματικός συντελεστής τριβής  $\mu_{u,exp}$  για όλα τα υπόβαθρα και τις ηλικίες των 28 και 90 ή 180 ημερών. Ειδικότερα, στις Εικόνες 234 απεικονίζονται οι τιμές του συντελεστή τριβής για όλα τα αποδεκτά πειραματικά στοιχεία, ενώ στις Εικόνες 235 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεδομένων αυτών. Φαίνεται λοιπόν ότι, εν γένει, και δεδομένης της μεγάλης διασποράς των πειραματικών στοιχείων, μέσω της προτεινόμενης σχέσης (Εξίσωση 3) προσεγγίζονται σε ικανοποιητικό βαθμό οι πειραματικές τιμές του συντελεστή τριβής. Ας σημειωθεί ότι, οι μεγαλύτερες αποκλίσεις του  $\mu_{u,cal}$  από τις πειραματικές τιμές εμφανίζονται κυρίως στα δοκίμια του τραβερτίνη, των οπτόπλινθων και για τις χαμηλές τιμές της ορθής επιβαλλόμενης τάσης  $\sigma_n$ . Εξ άλλου, όπως προαναφέρθηκε, οι πειραματικές τιμές της διατμητικής αντοχής για αυτές τις παραμέτρους, είναι γενικώς αρκετά υψηλές. Ας σημειωθεί ότι αποκλίσεις εμφανίζονται και για τα ισχυρότερα ενέματα (G1 και G2).

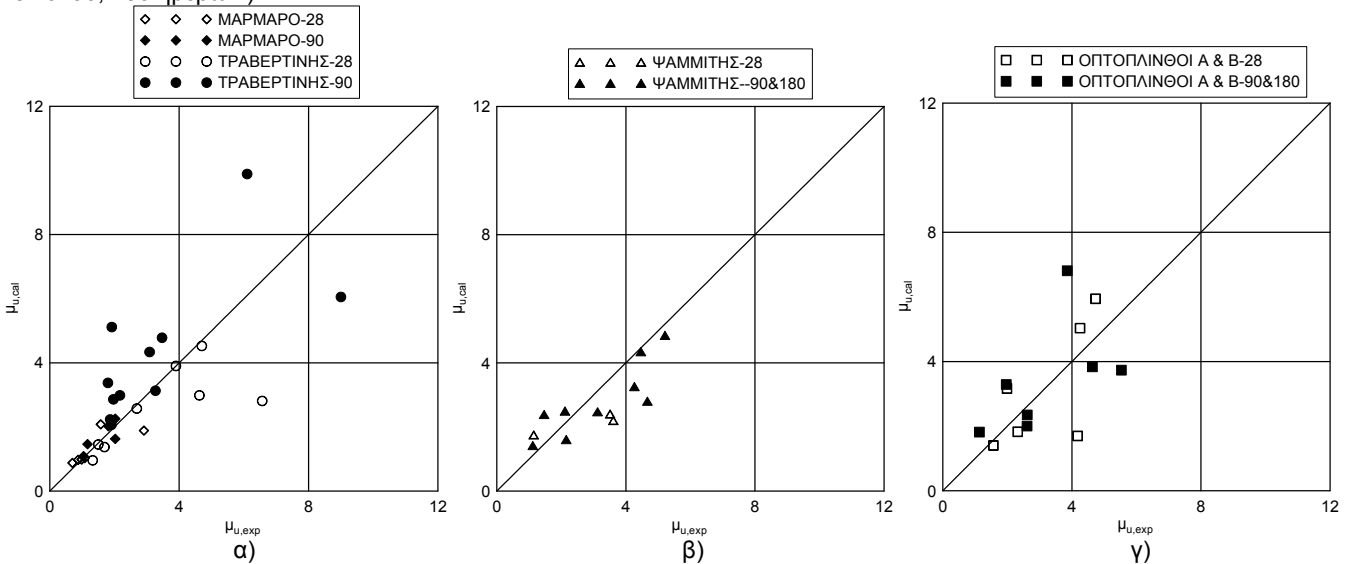
#### Εξίσωση 4

$T_{u,cal} = \sigma_n \mu_{u,cal}$
όπου,
$\sigma_n$ η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου
$\mu_{u,cal}$ ο συντελεστής τριβής προσδιοριζόμενος βάσει της Εξίσωσης 3.

Πράγματι, σύμφωνα με την σχέση πρόβλεψης, αυτά τα ενέματα αναμένεται να εξασφαλίζουν υψηλότερες τιμές για τον συντελεστή τριβής. Παρ' όλα αυτά, εξαιτίας της παρουσίας παρασιτικών φαινομένων (βλ. Κεφάλαιο 3: αποκολλήσεις από το υπόβαθρο, συστολή κτλ.), η διατμητική αντίσταση που αναπτύσσουν αυτά τα ενέματα, εμφανίζεται περιορισμένη.



**Εικόνα 234.** Υπολογιστικός συντελεστής τριβής  $\mu_{u,cal}$  συναρτήσεως του πειραματικού συντελεστή τριβής  $\mu_{u,exp}$  για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) μαρμάρου, τραβερίτη, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθου (όλες οι πειραματικές τιμές για τις ηλικίες των 28 και 90, 180 ημερών).



**Εικόνα 235.** Υπολογιστικός συντελεστής τριβής  $\mu_{u,cal}$  συναρτήσεως του πειραματικού συντελεστή τριβής  $\mu_{u,exp}$  για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) μαρμάρου, τραβερίτη, β) ψαμμίτη και γ) οπτοπλίνθου (μέσες τιμές, 28 και 90 ημέρες).

#### 4.2.8.1.2 ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΑ ΤΡΙΒΗ $T_{cal,res}$

Κατά την αξιολόγηση των πειραματικών στοιχείων (βλ. § 3.8.4.7.4) διαφάνηκε ότι, ο παραμένον συντελεστής τριβής  $\mu_{res}$  μειώνεται ελαφρώς αυξανόμενης της επιβαλλόμενης ορθής τάσης  $\sigma_n$ . Εντούτοις, η συσχέτιση μεταξύ των, ομολογουμένως περιορισμένου πλήθους,

διαθέσιμων πειραματικών τιμών του  $\mu_{res}$  και της  $\sigma_n$  είναι μικρή για τις υψηλότερες τιμές της ορθής θλιπτικής τάσης ( $\geq 0.3$  MPa). Επί πλέον, διαπιστώθηκε ότι η παραμένουσα αντίσταση των διεπιφανειών εμφανίζεται ενισχυμένη με την αύξηση της ορθής θλιπτικής τάσης. Γι' αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας γίνεται η υπόθεση ότι, η  $\tau_{res}$  εξαρτάται αποκλειστικώς από την  $\sigma_n$ . Εξ άλλου, αυτή η υπόθεση βρίσκεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της διερεύνησης των (Atkinson et al. 1989) σε διεπιφάνειες κονιαμάτων. Έτσι, αναζητήθηκε γραμμική σχέση (βλ. Εξίσωση 5) που να συνδέει την μέση τιμή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής,  $\tau_{res}$ , με την επιβαλλόμενη θλιπτική τάση, για τα σύνθετα δοκίμια που αστόχησαν στην διεπιφάνεια (δοκίμια μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερίνη). Από την διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στο Παράρτημα Ε (βλ. § 2.8.2), κατά την οποία συνεκτιμήθηκαν οι προκύπτουσες ομαδοποιήσεις των πειραματικών στοιχείων (βλ. §Ε2.2 έως §Ε2.7), η κατηγοριοποίηση των υποβάθρων αναλόγως του πορώδους/τραχύτητάς τους (βλ. §Ε2.8.1) και η υψηλή διασπορά των σχετικών πειραματικών αποτελεσμάτων, τελικώς, προσδιορίσθηκε μια ενιαία τιμή για τον συντελεστή  $\delta$  (ίση με 0.75,  $R^2=77\%$ ) για τις μεγαλύτερες ηλικίες δοκιμών. Η τιμή του συντελεστή  $\delta$ , που υιοθετήθηκε για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου, του ασβεστόλιθου και του τραβερίνη, αντιστοιχεί σε μια γωνία παραμένουσας τριβής γύρω στις  $35^\circ$ . Αυτή η τιμή της παραμένουσας γωνίας τριβής, βρίσκεται καταρχήν εντός των ορίων της βιβλιογραφίας για διεπιφάνειες λίθων και κονιαμάτων ή ενεμάτων (βλ. τιμές της  $\tan\phi$  στο § 2.10.2.3), όπως επίσης και για ασυνέχειες σε βράχους [για πρδ. (Byerlee 1978), (Giani 1992), (Sibson 1994)]. Ας σημειωθεί ότι, προφανώς, με την χρήση ενός ενιαίου παραμένοντα συντελεστή τριβής για τα λίθινα υπόβαθρα, υποδηλώνεται εμμέσως πλην σαφώς ότι τα ενέματα εξασφαλίζουν την άμβλυση της μετά την αστοχία συμπεριφοράς αυτών των διεπιφανειών έναντι διατμήσεως (για τις δικές μας συνθήκες).

#### Εξίσωση 5

$$\tau_{res} = \delta \sigma_n$$

όπου,

$\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

$\delta$  παραμένων συντελεστής τριβής (=0.75)

#### Εξίσωση 6

$$\frac{\tau_u}{s_u} = \frac{3 \left( 1 - \frac{\sigma_n}{f_{c,gr}} \right) \sigma_n}{\gamma}$$

όπου,

$\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

$f_{c,gr}$  το ελάχιστο μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του ενέματος και της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου

$\gamma$  μια σταθερά η οποία λαμβάνει τιμές ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών ( $\gamma=1$ , για αστοχία ΙΤΖ ή Ζ και  $\gamma=2$ , για αστοχία υποβάθρου)

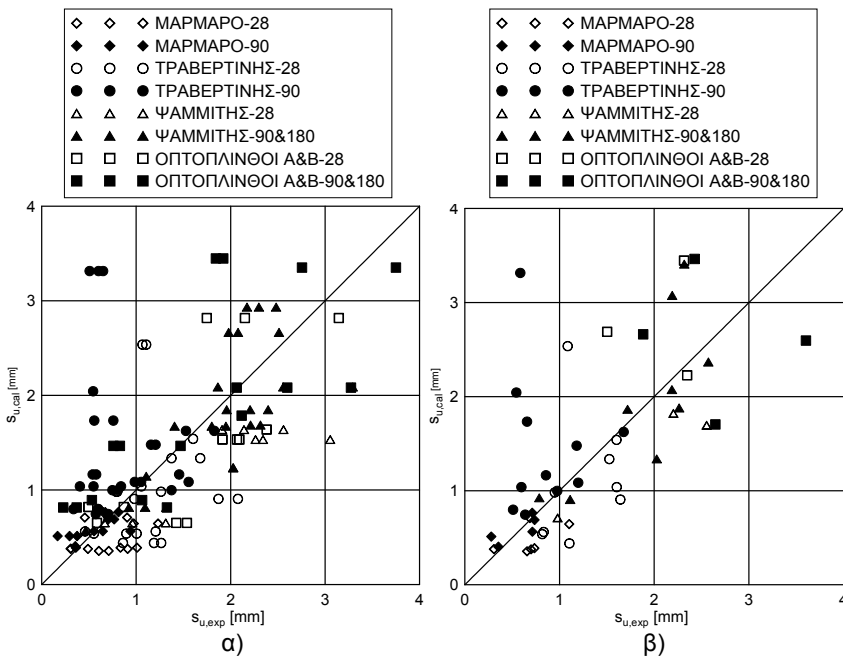
#### 4.2.8.1.3 ΟΛΙΣΘΗΣΗ $s_{u,cal}$ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΕΠΙΣΤΡΑΤΕΥΕΤΑΙ Η ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ $\tau_{u,cal}$

Όπως και στην περίπτωση του συντελεστή τριβής αναζητήθηκε σχέση που να λαμβάνει υπόψη την επιρροή της  $\sigma_n$ , της ηλικίας και του τύπου του ενέματος (μέσω της θλιπτικής αντοχής του  $f_{c,gr}$ ) και του υποβάθρου (μέσω του συντελεστή  $\gamma$ , που περιγράφει τον τρόπο αστοχίας των δοκιμών). Μια προσεγγιστική σχέση που ικανοποιεί τις πειραματικές τιμές του λόγου  $\tau_u/s_u$  φαίνεται να είναι η σχέση της Εξίσωσης 6. Από τον συνδυασμό των Εξισώσεων 3 και 6, προκύπτει η Εξί-

σωση 7 ως εκτιμήτρια για τις ολισθήσεις  $s_{u,cal}$ . Έτσι, με βάση την προσεγγιστική Εξίσωση 7, στις Εικόνες 236 απεικονίζεται η υπολογιστική τιμή της ολίσθησης  $s_{u,cal}$  σε σχέση με τον πειραματική τιμή των ολισθήσεων  $s_u$  (ή  $s_{u,exp}$ ) για τις ηλικίες των 28 και 90 ή 180 ημερών. Τα σημεία που σχεδιάζονται στην Εικόνα 236α αφορούν όλα τα αποδεκτά πειραματικά στοιχεία, ενώ στην Εικόνα 236β παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεδομένων αυτών. Όπως και στην περίπτωση του συντελεστή τριβής, η εικόνα είναι ικανοποιητική (δεδομένης και της ακόμα μεγαλύτερης διασποράς των πειραματικών τιμών του μεγέθους της ολίσθησης) για τις μέσες τιμές (Εικόνα 236β). Ας επισημανθεί ότι, η προσεγγιστική σχέση (Εξίσωση 7) υπερεκτιμά την τιμή της ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή για τις μεγαλύτερες ηλικίες, ενώ την υποεκτιμά για τις μικρότερες ηλικίες.

Εξίσωση 7

$$s_{u,cal} = \frac{\gamma \mu_{u,cal}}{3 \left( 1 - \frac{\sigma_n}{f_{c,gr}} \right)}$$



Εικόνα 236. Υπολογιστική τιμή της ολίσθησης  $s_{u,cal}$  προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 7 συναρτήσει της πειραματικής τιμής  $s_{u,exp}$  α) για όλες τις τιμές των σύνθετων δοκιμών και β) για τις μέσες τιμές των σύνθετων δοκιμών (28 και 90 ημέρες).

Εναλλακτικώς, καθώς παρατηρείται γραμμική σχέση μεταξύ των πειραματικών τιμών  $s_{u,exp}$  και  $\mu_{u,exp}$ , για τιμές του συντελεστή τριβής μικρότερες από 4 (Εικόνα 237Α), ενώ για μεγαλύτερες τιμές του  $\mu_{u,exp}$  η ολίσθηση σταθεροποιείται γύρω από μια τιμή εξαρτώμενη κυρίως από τον τύπο του υποβάθρου, προτείνονται οι Εξισώσεις 8 για την πρόβλεψη των ολισθήσεων  $s_{u,cal}$ . Όπως φαίνεται στην Εικόνα 237Β, όπου έχουν σχεδιαστεί οι υπολογιστικές τιμές  $s_{u,cal}$  (βάσει των Εξισώσεων 8) συναρτήσει των πειραματικών τιμών των ολισθήσεων, με

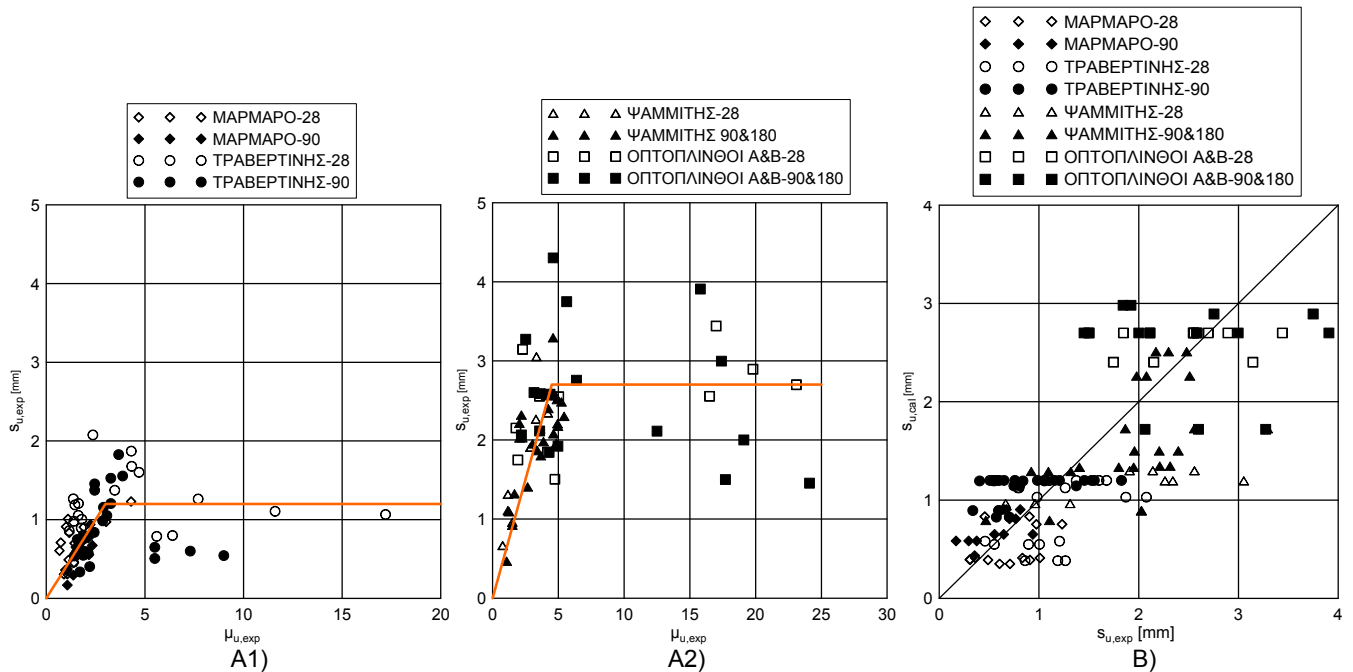
Εξίσωση 8

$$s_{u,cal} = \alpha \mu_{u,cal}, \text{ για } \mu_{u,cal} \leq 4$$

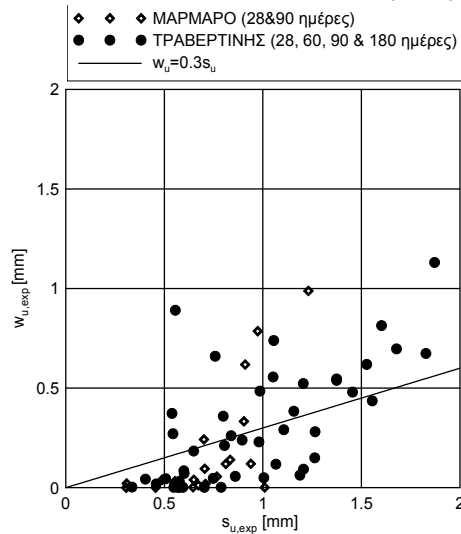
$$s_{u,cal} = 4\alpha, \text{ για } \mu_{u,cal} \geq 4,$$

όπου,  
 $\alpha$  ένας συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου με τιμές:  
 $\alpha=0.4$  για τα υπόβαθρα του μαρμάρου/τραβερίνη (με  $R^2=89\%$ ), και  
 $\alpha=0.6$  για τα υπόβαθρα του ψαμμίτη/οπτοπλίνθου (με  $R^2=78\%$ )

την εφαρμογή των Εξισώσεων 7 θεωρείται ότι προσεγγίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό οι πειραματικές τιμές των ολισθήσεων για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή  $\tau_u$  ή  $\tau_{u,f}$ .



**Εικόνα 237.** Α)  $s_{u,exp}$  συναρτήσει του  $\mu_{u,exp}$  για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και 1) μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερτίνη, 2) ψαμμίτη και οπτόπλινθων Α και Β, Β)  $s_{u,cal}$  προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 8 συναρτήσει της  $s_{u,exp}$  για όλα τα σύνθετα δοκίμια (28, 90 και 180 ημέρες).



**Εικόνα 238.**  $w_{u,exp}$  συναρτήσει του  $s_{u,exp}$  για τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερτίνη.

**4.2.8.1.4 ΑΝΟΙΓΜΑ ΡΩΓΜΗΣ  $w_{u,cal}$  ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΙ ΣΤΗΝ  $\tau_{u,cal}$**

Από τον έλεγχο των οικείων στοιχείων, προκύπτει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των πειραματικών τιμών των  $w_u$  και των  $s_u$  (της τάξης του 80%). Εντούτοις, από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων (βλ. § 3.8.4.3) προέκυψε ότι, οι πειραματικές τιμές του  $w_u$  παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διασπορά ανάμεσα στα μεγέθη που μετρήθηκαν. Επομένως, οποιαδήποτε σχέση για την πρόβλεψη του ανοίγματος ρωγμής συναρτήσει της ολίσθησης, για την οποία επιστρατεύεται η  $\tau_u$ , θα έχει μοιραίως μεγάλη απόκλιση από τις πειραματικές τιμές. Γι' αυτό στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης, αναζητήθηκε η πλέον απλούστερη σχέση, που είναι η γραμμική σχέση. Από την επεξεργασία των σχετικών αποτελεσμάτων (βλ. για πρδ. Εικόνα 238), τελικώς, καταστρώθηκαν οι Εξισώσεις 9, για την εκτίμηση της  $w_u$ .

**Εξίσωση 9**

υπόβαθρο μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου, τραβερτίνη:  
 $w_{u,cal} = 0.3s_{u,cal}$ , ( $R^2=31\%$ )  
 υπόβαθρο ψαμμίτη:  
 $w_{u,cal} = 0.6s_{u,cal}$ , ( $R^2=30\%$ )



**4.2.8.2 Καταστατικοί Νόμοι-Ανηγμένες καμπύλες**

Με στόχο την κατάστρωση καταστατικών νόμων που θα περιγράψουν πλήρως την συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/ υποβάθρων έναντι διατμήσεως, σχεδιάστηκαν για όλες τις δοκιμές οι ανηγμένες πειραματικές καμπύλες  $\frac{T}{T_U} - \frac{S}{S_U}$  και  $\frac{W}{W_U} - \frac{S}{S_U}$ . Στο

Παράρτημα Ε (§ Ε2.9), παρουσιάζονται σε Εικόνες και σε πινακοποιημένη μορφή αυτές οι ανηγμένες καμπύλες ανά τύπο υποβάθρου, ηλικία και μέγεθος της ορθής τάσης  $\sigma_n$ . Επί πλέον, δίδονται οι καμπύλες πρόβλεψης της συμπεριφοράς των σύνθετων δοκιμίων, στις οποίες έγινε προσπάθεια ένταξης σε αυτές του συντελεστή  $\beta^1$ . Τα συμπεράσματα αυτής της διερεύνησης συνοψίζονται στα ακόλουθα:

για  $\frac{S}{S_U} \leq 1$

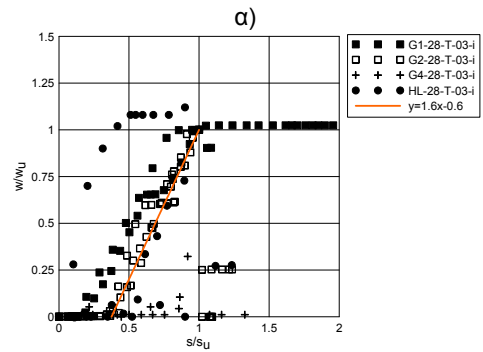
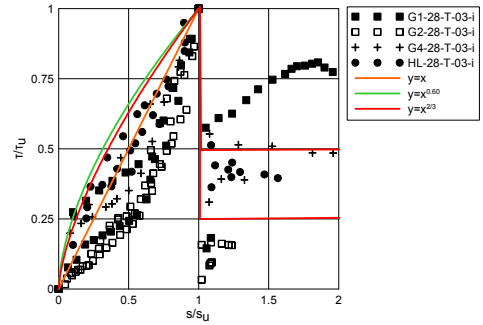
(1) Δεδομένης της μεγάλης διασποράς, η γραμμική σχέση φαίνεται να περιγράφει καλύτερα τις ανηγμένες καμπύλες της επιστρατευόμενης διατμητικής τάσης ανηγμένης ως προς την διατμητική αντίσταση και της εγκάρσιας διόγκωσης ανηγμένης ως προς την διόγκωση που αντιστοιχεί στην διατμητική αντίσταση (βλ. για πρδ. Εικόνες 239).

(2) Ως προς την διατμητική τάση, οι περιπτώσεις των δοκιμών για τις οποίες τα πειραματικά σημεία  $(\frac{S}{S_U}, \frac{T}{T_U})$  βρίσκονται κάτω

από την διαγώνιο « $y=x$ » δεν αφορούν πάντοτε τις πιο υψηλές τιμές της  $\tau_u$  (που είναι της τάξης του 1.0MPa). Αντιθέτως, φαίνεται να σχετίζονται κυρίως με την κακή εφαρμογή των δοκιμίων εντός της πειραματικής διάταξης, που οδηγεί σε πρόσθετες μικρομετακινήσεις για τις μικρές τιμές της επιστρατευόμενης  $\tau$ . Έτσι, η εφαρμογή της εξίσωσης « $y=x$ » θεωρείται ικανοποιητική προσέγγιση για την περιγραφή της

$\frac{T}{T_U}$  συναρτήσει της  $\frac{S}{S_U}$ .

Ως προς την περιγραφή των ανηγμένων εγκάρσιων διογκώσεων, προτείνεται η σχέση της Εξίσωσης 10. Σε αυτήν την εξίσωση και για την ηλικία των 90 ημερών, η επιρροή της



**Εικόνα 239.** Τυπικές ανηγμένες καμπύλες και καμπύλες πρόβλεψης των α)  $\frac{T}{T_U} - \frac{S}{S_U}$  και β)  $\frac{W}{W_U} - \frac{S}{S_U}$ , για τις διεπιφάνειες ενεμάτων και τραβερτίνη ( $\sigma_n=0.3$  MPa, 28 ημέρες).

**Εξίσωση 10**

$$\frac{W}{W_U} = (1 + \epsilon\beta/\gamma) \left( \frac{S}{S_U} \right) - \epsilon\beta/\gamma$$

για  $\frac{S}{S_U} \geq (\epsilon\beta)/[\gamma(1 + \epsilon\beta/\gamma)]$ ,  
 όπου  $\beta$  ένας συντελεστής που αντανακλά τον τύπο του υποβάθρου (από Πίνακα 42)  
 $\gamma$  συντελεστής που εκφράζει τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων (για ITZ ή Z=1, για S=2)  
 $\epsilon$  διορθωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης, ίσος με  $\epsilon = \sigma_n/0.3$ .

<sup>1</sup> Υπενθυμίζεται ότι ο  $\beta$  είναι συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου στην σχέση εκτίμησης του συντελεστή τριβής  $\mu_{u,cal}$ .

ορθής επιβαλλόμενης τάσης στον λόγο  $\frac{W}{W_U}$  υπεισέρχεται μέσω ενός διορθωτικού συντελεστή  $\epsilon$ , ο οποίος λαμβάνεται ίσος με ( $\epsilon = \sigma / 0.3 \text{MPa}$ ). Επί πλέον, στην εν λόγω εξίσωση λαμβάνεται υπ' όψιν και ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων μέσω του συντελεστή  $\gamma$ .

για  $\frac{s}{s_U} \geq 1$

(1) Όσον αφορά την παραμένουσα διατμητική τάση  $T_{res}$ , προκύπτει ότι ο λόγος  $\frac{T}{T_U}$  μετά την αστοχία λαμβάνει τιμές ανάλογα με τον συνδυασμό υποβάθρου/ενέματος. Εν γένει, ο λόγος  $\frac{T}{T_U}$  λαμβάνει υψηλότερες τιμές όταν τα υπόβαθρα είναι αρκετά πιο ισχυρά από τα ενέματα, ενώ πιο χαμηλές τιμές καταγράφονται στις περιπτώσεις που τα χαρακτηριστικά των ενεμάτων δεν διαφέρουν τόσο πολύ από εκείνα των υποβάθρων. Πράγματι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 43, ο λόγος της παραμένουσας τριβής προς την διατμητική αντοχή κυμαίνεται μεταξύ 0.75 έως 0.90 για τους συνδυασμούς τεφρού ασβεστόλιθου/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου, ενώ για τους υπόλοιπους συνδυασμούς κυμαίνεται από 0.20 έως 0.50 με επικρατέστερη την τελευταία τιμή. Σημειώνεται ότι δεν διαπιστώνεται σαφής αύξηση του λόγου  $\frac{T}{T_U}$  με την ηλικία.

(2) Για την εγκάρσια διόγκωση φαίνεται ότι  $\frac{W}{W_U} = 1$ .

Πίνακας 43. Πειραματικές τιμές του λόγου  $T_{res}/T_U$ .

υπό- βαθρο	ηλικία (ημέρες)	κωδικός ενέματος												
		υδραυλικής ασβέστου				μικτό σύστημα τσιμέντου- υδρασβέστου-ποζολάνης								
		HL1		HL, HL2, HL3		G1			G2			G4		
$\sigma$ [MPa]	0.3	0.6	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6	0.1	0.3	0.6	
μάρμαρο ή τεφρός ασβ/θος	28	0.90		0.75			0.50			0.50			0.50	
	90ή 180			0.75			0.50			0.50			0.50	
τραβ/νης	28			0.50				0.25	0.20	0.20	0.25	0.60	0.50	0.50
	60												0.25	
	90			0.625		0.50	0.40	0.75		0.25	0.50	0.20	0.25	0.50
	180									0.40			0.40	
ψαμμίτης (*)	28	0.50		0.25										
	90	0.25	0.50	0.25	0.25									
	180	0.35		0.25										
πλίνθος (*)	28	0.35		0.20										
	180	0.40		0.40										

(\*) κατ' εξαίρεση περιλαμβάνονται τα δοκίμια που αστόχησαν στο υπόβαθρο

### 4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο της εργασίας εφαρμόστηκε μια διαδικασία ομαδοποίησης των πειραματικών στοιχείων των δοκιμών διατμήσεως, προκειμένου να είναι διαχειρίσιμος ο όγκος αυτών των στοιχείων για περαιτέρω μελέτη. Κατά την διαδικασία αυτή, κατασκευάστηκαν αρχικώς, οι μέσες καμπύλες διατμητικής τάσης-επιστρατευόμενης ολίσθησης και εγκάρσιας διόγκωσης-επιστρατευόμενης ολίσθησης. Κατόπιν, διερευνήθηκε η δυνατότητα ομαδοποίησης δυο εκ των τεσσάρων παραμέτρων: του τύπου του υποβάθρου και του τύπου του ενέματος. Με βάση αυτές τις ομαδοποιημένες παραμέτρους, εξετάστηκε η επιρροή της ηλικίας και της ορθής θλιπτικής τάσης στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο. Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων στα μεγέθη της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων, της ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται αυτή η διατμητική αντοχή και της εγκάρσιας διόγκωσης προτάθηκαν εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση αυτών των μεγεθών. Τέλος, διατυπώθηκαν καταστατικοί νόμοι για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς διεπιφανειών ενεμάτων και υποβάθρων έναντι διατμήσεως. Δεδομένης της παρατηρηθείσας διασποράς στα πειραματικά αποτελέσματα, οι προτεινόμενες εμπειρικές σχέσεις και καταστατικοί νόμοι, θεωρείται ότι, προβλέπουν ικανοποιητικά την συμπεριφορά αυτού του τύπου των διεπιφανειών έναντι διάτμησης. Τα στοιχεία που προέκυψαν από αυτό το Κεφάλαιο, χρησιμοποιούνται στο Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής, το οποίο αφορά την προσομοίωση με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων αυτών των διεπιφανειών σε επίπεδο μεσο- και μακρο-κλίμακας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

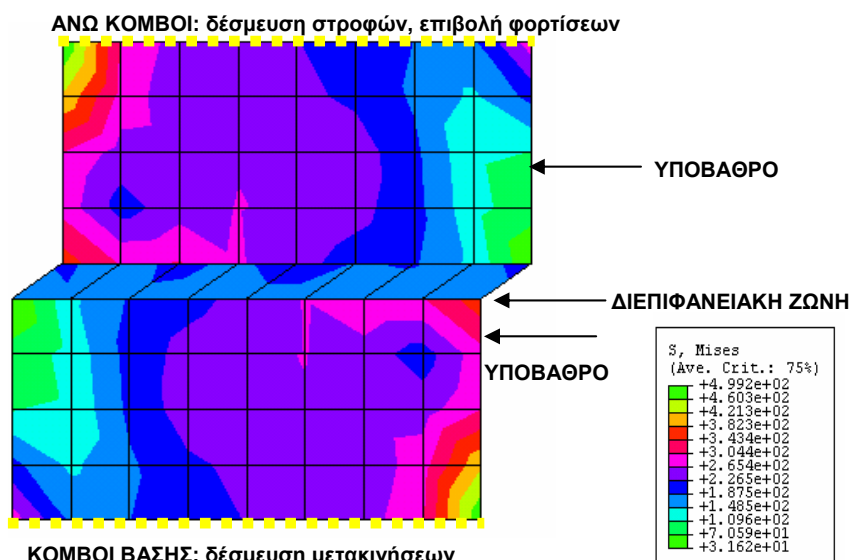
### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Με στόχο την επιλογή κατάλληλου λογισμικού για την προσομοίωση μιας τοιχοποιίας, εξετάστηκαν οι δυνατότητες διαφόρων εμπορικών προγραμμάτων. Μετά από δοκιμαστικές επιλύσεις, τελικώς επελέγη το πρόγραμμα ABAQUS (Version 6.5-1), το οποίο είναι ένα πρόγραμμα ευρείας χρήσης με μεγάλη ευελιξία και δυνατότητα παρέμβασης και τροποποίησης των υπάρχοντων καταστατικών νόμων. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και σε μια πρώτη προσέγγιση του φαινομένου, επιλέχθηκε να προσομοιωθεί ενδελεχώς η συμπεριφορά των δοκιμίων μέσης κλίμακας, τα οποία υποβλήθηκαν σε διάτμηση. Έτσι, και προκειμένου να βαθμονομηθεί καλύτερα ο καταστατικός νόμος για την απόκριση των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων έναντι διάτμησης (βλ. 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο), χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικές προσομοιώσεις για την περιγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης: Στην πρώτη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο ελαστο-πλαστικό κριτήριο διαρροής Mohr-Coulomb, το οποίο αναπτύχθηκε από τους (Anastasiopoulos et. al. 2007) για την μελέτη του φαινομένου διάδοσης διαρρήξεων σε εδάφη. Στην δεύτερη προσομοίωση έγινε φαινομενολογική προσέγγιση των πειραματικών καμπυλών. Επισημαίνεται ότι για τις δυο προσομοιώσεις, πραγματοποιήθηκαν επιλύσεις μόνον σε επίπεδο μέσων τιμών για τα χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης. Μολονότι η μελέτη της απόκρισης μεγαλύτερων δοκιμίων και η αποτίμηση της συμπεριφοράς των ενισχυμένων με ενέματα φερόντων στοιχείων δεν εμπίπτει στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμαστικές επιλύσεις και σε επιλεγμένα πειραματικά δοκίμια τοιχοποιίας. Στόχος αυτής της διερεύνησης είναι ένας πρώτος - προσεγγιστικός- έλεγχος σύμπτωσης της απόκρισης των αποτελεσμάτων του αριθμητικού προσομοιώματος (στο οποίο έχει ληφθεί υπ' όψιν η συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων) με τα πειραματικά αποτελέσματα μεμονωμένων τοιχίσκων. Στα επόμενα ακολουθεί η περιγραφή και τα αποτελέσματα των εν λόγω προσομοιώσεων.

## 5.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

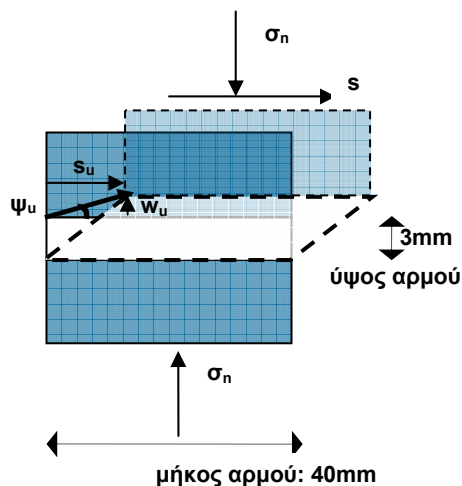
### 5.2.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΜΕ ΥΛΙΚΟ ΤΥΠΟΥ «ΜΟHR-COULOMB»

Για την περιγραφή των δοκιμών μέσης κλίμακας επιλέχθηκε ένα προσομοίωμα, αποτελούμενο από τρεις ομάδες διδιάστατων συνεχών ομογενών γραμμικών στοιχείων επίπεδης παραμόρφωσης (2D-solid continuum elements), εκ των οποίων οι δυο ομάδες αναπαριστούν τα τεμάχια του υποβάθρου και η τρίτη ομάδα την διεπιφανειακή ζώνη (Εικόνα 240). Μεταξύ των επιμέρους ομάδων των στοιχείων θεωρήθηκαν συνθήκες πλήρους συνάφειας (κοινοί κόμβοι). Ως προς τις ιδιότητες των υλικών, για τα υπόβαθρα υιοθετήθηκε ισότροπη γραμμική ελαστική συμπεριφορά, ενώ για την διεπιφανειακή ζώνη επιλέχθηκε ελαστο-πλαστική απόκριση, η οποία περιγράφεται από τον υπάρχοντα -στην βιβλιοθήκη του προγράμματος- μη γραμμικό καταστατικό νόμο Mohr-Coulomb. Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγική ενότητα, ο εν λόγω νόμος έχει τροποποιηθεί καταλλήλως από τους (Anastasopoulos et al. 2007) με την χρήση ισότροπικού νόμου χαλάρωσης. Η τροποποίηση αυτή εισάγεται στο πρόγραμμα μέσω υπορουτίνας. Σε ότι αφορά τις συνοριακές συνθήκες του προσομοιώματος, αυτές επελέγησαν έτσι ώ-



Εικόνα 240. Προσομοίωση 1: Παράδειγμα προσομοίωσης δοκιμίου διατμήσεως μετά την επιβολή ολίσθησης.

στε να αναπαριστούν τις πειραματικές συνθήκες: όλοι οι κόμβοι της βάσης του κάτω τεμαχίου του υποβάθρου δεσμεύθηκαν έναντι οριζόντιας και κάθετης μετατόπισης, ενώ σε όλους τους άνω κόμβους του άνω τεμαχίου του υποβάθρου δεσμεύθηκε η στροφή. Σχετικά με τις



Εικόνα 241. Σχηματική απεικόνιση της γωνίας διασταλτικότητας  $\psi_u$  συναρτήσει των διαστάσεων του αρμού και των  $s_u$ ,  $w_u$ .

φορτίσεις, αυτές επιβλήθηκαν στους άνω κόμβους του άνω τεμαχίου του υποβάθρου σε δυο στάδια. Έτσι, με την παραδοχή στατικής φόρτισης, αρχικά, επιβλήθηκε η  $\sigma_n$  και κατόπιν, εφαρμόστηκε η οριζόντια ολίσθηση με σταθερό βήμα. Η επίλυση του προσομοιώματος 1 πραγματοποιήθηκε με μη-γραμμική στατική ανάλυση. Επιλύσεις πραγματοποιήθηκαν, αφενός, για τα πειραματικά στοιχεία των δοκιμών διάτμησης και, αφετέρου, για τα υπολογιστικά στοιχεία, όπως αυτά προέκυψαν από τις εμπειρικές σχέσεις του Κεφαλαίου 4. Στους παρακάτω πίνακες δίδονται οι τιμές των ελαστικών και ανελαστικών ιδιοτήτων των υποβάθρων (Πίνακας 44) και της διεπιφανειακής ζώνης (Πίνακες 45, 46) που χρησιμοποιήθηκαν στις επιλύσεις.

Πίνακας 44. Προσομοίωμα 1. Ελαστικές ιδιότητες υποβάθρων.

υπόβαθρο	E [GPa]	$\nu$
μάρμαρο Διονύσου, τεφρός ασβεστόλιθος	85	0.26
τραβερτίνης	20	0.25
ψαμμίτης	8	0.30

Πηγή: [http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23\\_1.pdf](http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23_1.pdf)

Τα στοιχεία που απαιτούνται για την περιγραφή των ιδιοτήτων της διεπιφανειακής ζώνης, η οποία αστοχεί με το τροποποιημένο κριτήριο διαρροής Mohr-Coulomb, είναι οι αρχικές και οι παραμένουσες τιμές της α) γωνίας τριβής, β) διασταλτικότητας (ως ο λόγος του ανοίγματος ρωγμής προς την αντίστοιχη επιβαλλόμενη ολίσθηση), γ) συνοχής, καθώς και οι δ) αντίστοιχες πλαστικές γωνιακές παραμορφώσεις που αυτές επισυμβαίνουν (ως ο λόγος της επιβαλλόμενης ολίσθησης προς το ύψος του αρμού). Ως προς το μέτρο ελαστικότητας της διεπιφανειακής ζώνης, θεωρείται μια πλασματική τιμή για το  $E_u$  ίση με τον λόγο της διατμητικής αντίστασης προς την ανηγμένη παραμόρφωση κατά την διεύθυνση επιβολής της ολίσθησης (ως ο λόγος της επιβαλλόμενης ολίσθησης  $s_u$  προς το μήκος του αρμού του ενέματος). Επισημαίνεται ότι, οι τιμές για όλα τα παραπάνω μεγέθη προκύπτουν μέσω των τιμών της διατμητικής αντοχής, της παραμένουσας διατμητικής αντοχής, της ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντίσταση και του ανοίγματος ρωγμής (βλ. Εξισώσεις 11, Εικόνα 241). Ως προς την παραμένουσα γωνία διασταλτικότητας αυτή λήφθηκε μηδενική για όλες τις περιπτώσεις. Αυτή η παραδοχή φαίνεται να ευρίσκεται σε συμφωνία με την παρατήρηση ότι, μετά την αστοχία του αρμού έναντι διάτμησης, το άνοιγμα ρωγμής παραμένει σταθερό αυξανόμενης της επιβαλλόμενης ολίσθησης [βλ. πειραματικές καμπύλες (w-s): για πρδ. §3.8.4.3 και Παράρτημα Ε]. Τέλος, ο λόγος Poisson για την διεπιφανειακή ζώνη θεωρήθηκε ίσος με 0.2, ανεξαρτήτως της σύνθεσης των ενεμάτων.

### Εξισώσεις 11

- (1) παραμένουσα γωνία τριβής:  
 $\varphi_{res} = \arctan(\tau_{res} / \sigma_n)$
- (2) αρχική γωνία τριβής: (παραδοχή: οι προεξοχές του υποβάθρου έχουν μικρή συνεισφορά στην αρχική γωνία τριβής)  
 $\varphi_u = (2 + \varphi_{res})$
- (3) αρχική γωνία διασταλτικότητας:  
 $\psi_u = \arctan(w_u / s_u)$
- (4) παραμένουσα γωνία διασταλτικότητας:  
 $\psi_{res} = 0$
- (5) «συνοχή»:  
 $T_o = T_u - \tau_{res}$
- (6) πλαστική γωνιακή παραμόρφωση αστοχίας: (παραδοχή)  
 $\gamma_u = (s_u / 3mm)$
- (7) πλασματικό «μέτρο ελαστικότητας διεπιφανειακής ζώνης»:  
 $E_u = T_u / (s_u / 40mm)$

Πίνακας 45. Προσομοίωμα 1. Πειραματικές τιμές παραμέτρων (μέσες τιμές).

ΜΑΡΜΑΡΟ (90 ημέρες) / ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ (180 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_u$	$T_u$ [MPa]	$T_{res}$ [MPa]	$\Phi_{res}^{(1)}$ [°]	$\Phi_u^{(1)}$ [°]	$T_o^{(2)}$ [MPa]	$S_u$ [mm]	$E_u$ [MPa]	$\gamma_u$	$\Psi_u$ [°]	$\Psi_{res}$ [°]
G2	0.3	1.80	0.54	0.30	45	47	0.24	0.693	31.82	0.23	7	0
HL2	0.3	1.07	0.32	0.25	40	42	0.07	0.623	20.55	0.21	4	0
ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ (90 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_u$	$T_u$ [MPa]	$T_{res}$ [MPa]	$\Phi_{res}^{(1)}$ [°]	$\Phi_u^{(1)}$ [°]	$T_o^{(2)}$ [MPa]	$S_u$ [mm]	$E_u$ [MPa]	$\gamma_u$	$\Psi_u$ [°]	$\Psi_{res}$ [°]
G1	0.1	6.10	0.61	0.08 <sup>(7)</sup>	40 <sup>(7)</sup>	42 <sup>(7)</sup>	0.53	0.586	35.40	0.20	9.5	0
	0.3	2.33	0.70	0.25	40	42	0.45	0.798	36.00	0.27	34	0
	0.6	1.47	0.88	0.50	40	42	0.38	0.558	54.93	0.19	5	0
G2	0.3	3.10	0.93	0.26	41	43	0.67	1.181	32.18	0.39	20	0
	0.6	1.90	1.14	0.41	41 <sup>(7)</sup>	43 <sup>(7)</sup>	0.73	0.919	50.65	0.31	13	0
G4	0.1	10.20	1.02	0.19	33 <sup>(7)</sup>	35 <sup>(7)</sup>	0.95	0.842	48.82	0.28	20	0
	0.3	3.27	0.98	0.21	33	35	0.77	1.197	28.38	0.40	22	0
	0.6	1.92	1.15	0.31	33	35	0.73	0.638	70.42	0.21	1	0
ΨΑΜΜΙΤΗΣ (90 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_u$	$T_u$ [MPa]	$T_{res}$ [MPa]	$\Phi_{res}^{(1)}$ [°]	$\Phi_u^{(1)}$ [°]	$T_o^{(2)}$ [MPa]	$S_u$ [mm]	$E_u$ [MPa]	$\gamma_u$	$\Psi_u$ [°]	$\Psi_{res}$ [°]
HL2	0.3	4.46	1.34	0.33	43	45	1.01	2.190	24.47	0.73	23	0
	0.6	2.15	1.29	0.18	43 <sup>(7)</sup>	45 <sup>(7)</sup>	0.73	2.027	25.46	0.68	32	0

<sup>(1)</sup> αρχική γωνία τριβής θεωρείται ίση με:  $(2+\phi_{res})$

<sup>(2)</sup> «συνοχή» ίση με:  $T_u - T_{res}$

<sup>(7)</sup> χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της παραμένουσας γωνίας τριβής που μετρήθηκαν για τις δυο άλλες στάθμες της  $\sigma_n$

Πίνακας 46. Προσομοίωμα 1. Υπολογιστικές τιμές παραμέτρων.

ΜΑΡΜΑΡΟ (90 ημέρες) / ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ (180 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_{u,cal}^{(1)}$	$T_{u,cal}^{(2)}$ [MPa]	$T_{res,cal}^{(3)}$ [MPa]	$\Phi_{res,cal}^{(4)}$ [°]	$\Phi_{u,cal}^{(5)}$ [°]	$T_{o,cal}^{(6)}$ [MPa]	$S_{u,cal}^{(7)}$ [mm]	$E_{u,cal}^{(8)}$ [MPa]	$\gamma_{u,cal}^{(9)}$	$\Psi_{u,cal}^{(10)}$ [°]	$\Psi_{res,cal}^{(11)}$ [°]
G2	0.3	2.02	0.61	0.23	37	39	0.381	0.69	35.71	0.23	17	0
HL2	0.3	1.03	0.31	0.23	37	39	0.085	0.39	31.66	0.13	17	0
ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ (90 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_{u,cal}^{(1)}$	$T_{u,cal}^{(2)}$ [MPa]	$T_{res,cal}^{(3)}$ [MPa]	$\Phi_{res,cal}^{(4)}$ [°]	$\Phi_{u,cal}^{(5)}$ [°]	$T_{o,cal}^{(6)}$ [MPa]	$S_{u,cal}^{(7)}$ [mm]	$E_{u,cal}^{(8)}$ [MPa]	$\gamma_{u,cal}^{(9)}$	$\Psi_{u,cal}^{(10)}$ [°]	$\Psi_{res,cal}^{(11)}$ [°]
G1	0.1	9.89	0.99	0.08	37	39	0.910	3.315	11.95	1.11	17	0
	0.3	5.12	1.54	0.23	37	39	1.310	1.734	35.52	0.58	17	0
	0.6	3.38	2.03	0.45	37	39	1.580	1.164	69.76	0.33	17	0
G2	0.3	4.34	1.30	0.23	37	39	1.075	1.479	35.16	0.49	17	0
	0.6	2.86	1.72	0.45	37	39	1.270	0.998	68.94	0.33	17	0
G4	0.1	6.05	0.61	0.08	37	39	0.531	2.044	11.94	0.68	17	0
	0.3	3.13	0.94	0.23	37	39	0.715	1.085	34.65	0.36	17	0
	0.6	2.07	1.24	0.45	37	39	0.790	0.745	66.58	0.25	17	0
ΨΑΜΜΙΤΗΣ (90 ημέρες)												
κωδ. εν/τος	$\sigma_n$ [MPa]	$\mu_{u,cal}^{(1)}$	$T_{u,cal}^{(2)}$ [MPa]	$T_{res,cal}^{(3)}$ [MPa]	$\Phi_{res,cal}^{(4)}$ [°]	$\Phi_{u,cal}^{(5)}$ [°]	$T_{o,cal}^{(6)}$ [MPa]	$S_{u,cal}^{(7)}$ [mm]	$E_{u,cal}^{(8)}$ [MPa]	$\gamma_{u,cal}^{(9)}$	$\Psi_{u,cal}^{(10)}$ [°]	$\Psi_{res,cal}^{(11)}$ [°]
HL2	0.3	3.77	1.13	0.23	37	39	0.906	2.665	16.98	0.89	31	0
	0.6	2.24	1.34	0.45	37	39	0.894	1.687	31.87	0.56	31	0

<sup>(1)</sup> εμπειρικός συντελεστής τριβής προσδιοριζόμενος από την Εξίσωση 3

<sup>(2)</sup> διατμητική αντοχή σύνθετου δοκιμίου προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 4

<sup>(3)</sup> παραμένουσα διατμητική αντοχή σύνθετου προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 5

<sup>(4)</sup> παραμένουσα γωνία τριβής ίση με:  $\arctan(T_{res,cal}/\sigma_n)$

<sup>(5)</sup> αρχική γωνία τριβής ίση με:  $(2+\phi_{res,cal})$

<sup>(6)</sup> «συνοχή» ίση με:  $T_{u,cal} - T_{res,cal}$

<sup>(7)</sup> ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η  $T_{u,cal}$  προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση 7

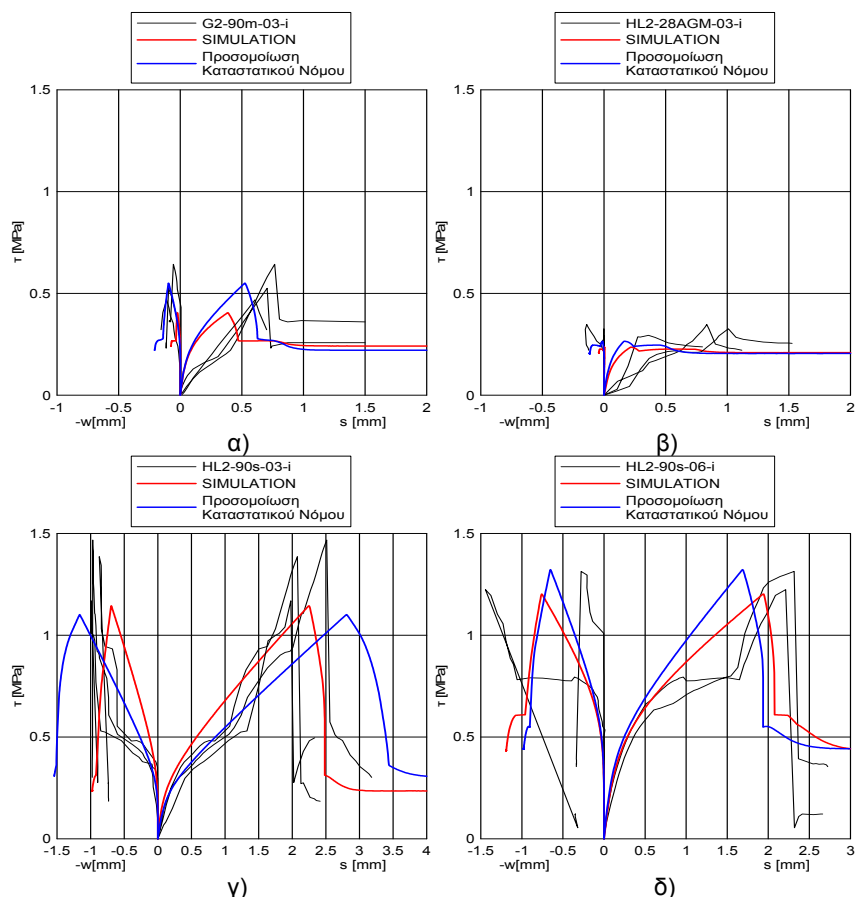
<sup>(8)</sup> πλασματικό μέτρο ελαστικότητας διεπιφανειακής ζώνης λαμβανόμενο ίσο με:  $T_{u,cal}/(S_{u,cal}/40mm)$

<sup>(9)</sup> γωνιακή παραμόρφωση ίση με:  $(S_{u,cal}/3mm)$

<sup>(10)</sup> γωνία διασταλτικότητας ίση με:  $\arctan(w_{u,cal}/S_{u,cal})$

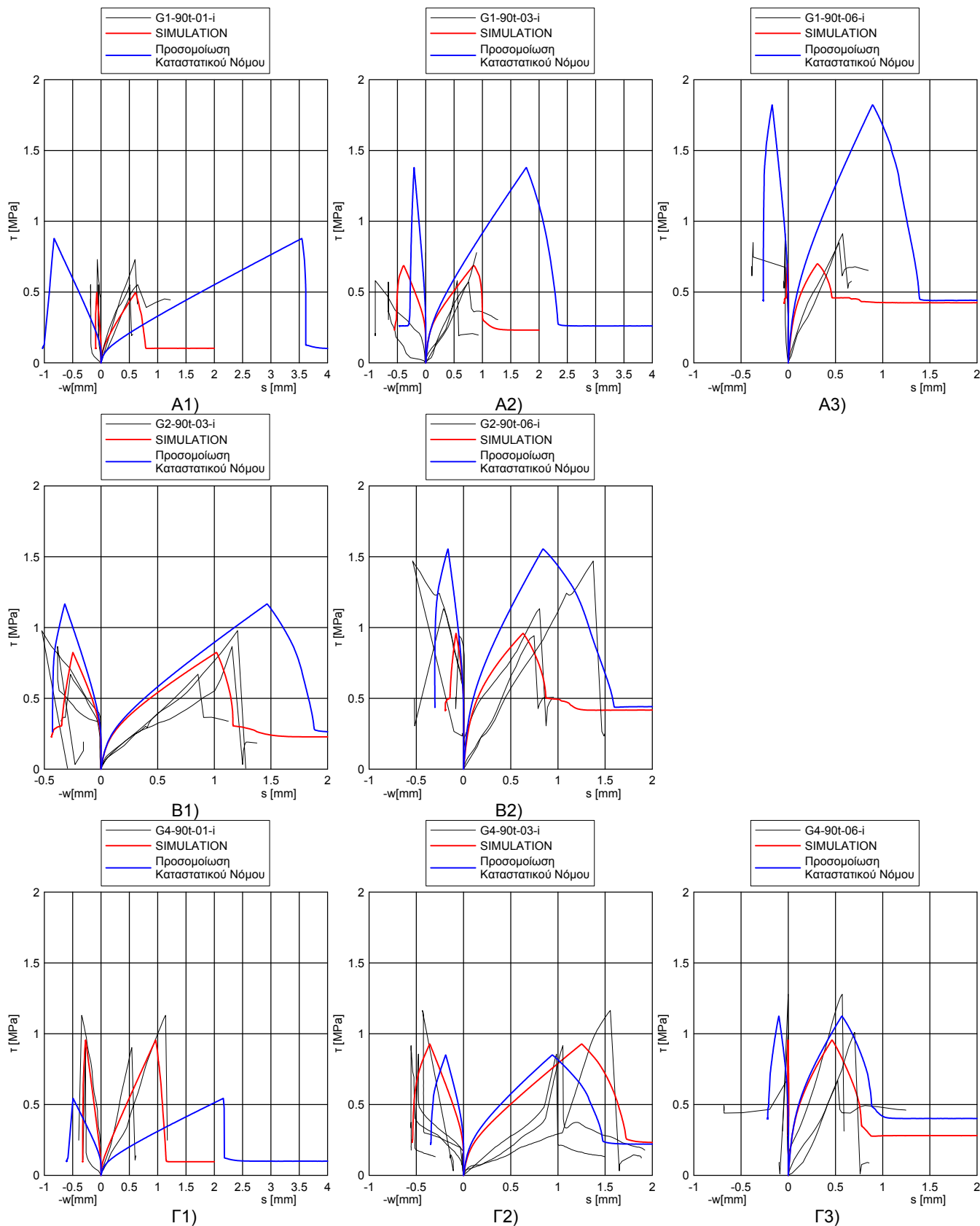
<sup>(11)</sup> παραμένουσα γωνία διασταλτικότητας, θεωρείται μηδενική

Στις Εικόνες 242 και 243 απεικονίζονται ορισμένες από τις πειραματικές και τις παραγόμενες καμπύλες (τ-s) και (τ-w) για τα υπόβαθρα του μαρμάρου, του τραβερτίνη και του ψαμμίτη (με κόκκινο χρώμα). Παρατηρείται ότι, το προσομοίωμα που μελετήθηκε εδώ, αναπαράγει σε ικανοποιητικό βαθμό τις πειραματικές καμπύλες. Βεβαίως, αποκλίσεις προκύπτουν για το μέγεθος της διατμητικής αντίστασης της διεπιφάνειας, για τις τιμές των επιβαλλόμενων ολισθήσεων που αντιστοιχούν σε αυτήν την διατμητική αντοχή, καθώς και στην μορφή των καμπυλών μετά την επίτευξη της  $\tau_u$  («διόγκωση», επιμήκυνση του φθιτού κλάδου). Επί πλέον, οφείλεται να επισημανθεί ότι, το προτεινόμενο προσομοίωμα παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σύγκλισης, η οποία σχετίζεται με το μέγεθος της γωνιακής παραμόρφωσης μετά την επίτευξη της μέγιστης διατμητικής αντίστασης. Αυτή η διαπίστωση γίνεται ιδιαίτερα εμφανής στις περιπτώσεις των επιλύσεων στις οποίες για το υλικό της διεπιφανειακής ζώνης υιοθετούνται υψηλές τιμές για την συνοχή. Σε ό,τι



**Εικόνα 242.** Προσομοίωση 1. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) και (τ-w) σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου/ενέματος G2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) τεφρού ασβεστόλιθου/ενέματος HL2 (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και δ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).





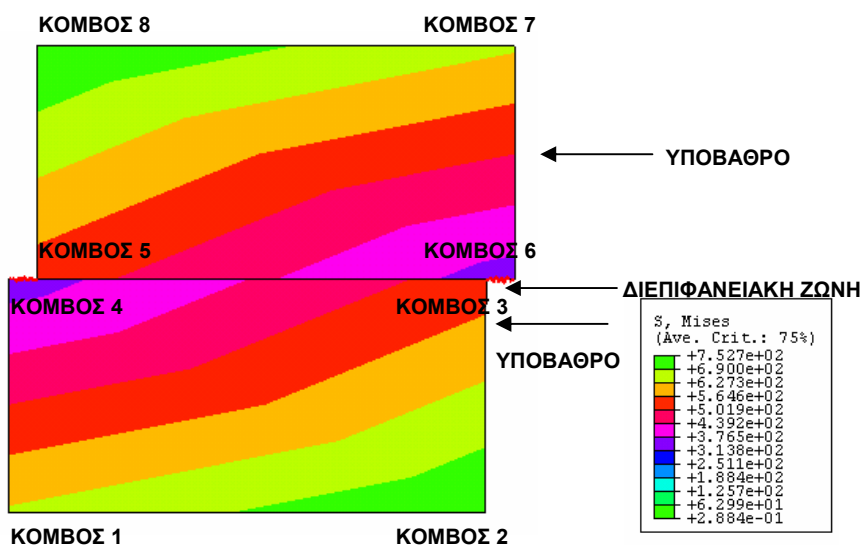
**Εικόνα 243.** Προσομοίωση 1. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) ( $\tau$ - $s$ ) και ( $\tau$ - $w$ ) σύνθετων δοκιμίων τραβερίνη/ενέματος Α) G1: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 3 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), Β) G2: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), και Γ) G4: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 3 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).

αφορά τις καμπύλες (t-s) και (t-w) για τις υπολογιστικές τιμές των παραμέτρων (καμπύλες με μπλε χρώμα), επισημαίνεται ότι, καθώς σε ορισμένους συνδυασμούς ενεμάτων/υποβάθρων οι προτεινόμενες σχέσεις δεν προβλέπουν ικανοποιητικά τις πειραματικές τιμές του συντελεστή τριβής εξαιτίας της παρουσίας έντονων παρασιτικών φαινομένων (αποκολλήσεις, ρηγματώσεις λόγω συστολής, απόμιξη κτλ.), εκ προοιμίου, το αντίστοιχο αριθμητικό προσομοίωμα δεν θα προσεγγίζει ικανοποιητικά τις πειραματικές καμπύλες. Τέτοιες περιπτώσεις επιλύσεων αποτελούν, τα σύνθετα δοκίμια του τραβερίτη με τα ισχυρότερα ενέματα G1 και G2.

### 5.2.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Για την φαινομενολογική προσομοίωση της συμπεριφοράς της διεπιφανειακής ζώνης, αναπτύχθηκε ένα απλοποιημένο προσομοίωμα που αποτελείται από δύο στοιχεία (solid blocks) τα οποία προσομοιώνουν τα τεμάχια του υποβάθρου (Εικόνα 244). Τα στοιχεία αυτά είναι διδιάστατα συνεχή ομογενή γραμμικά στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης (2D-solid continuum elements), τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με δυο ελαστικά στοιχεία (gap elements), τα οποία προσομοιώνουν την παραμένουσα τριβή και δυο μη γραμμικά οριζόντια ελατήρια (spring elements), με τα οποία προσομοιώνεται η ανελαστική συμπεριφορά της διεπιφανειακής ζώνης. Σχετικά με τις ιδιότητες του υποβάθρου, υιοθετήθηκε ισότροπη γραμμική ελαστική συμπεριφορά. Στα στοιχεία διεπιφάνειας (gap και spring elements) δόθηκαν κατάλληλες τιμές έτσι ώστε να αναπαράγεται η απόκριση των πειραματικών δοκιμών έναντι διάτμησης. Σημειώνεται ότι, το εν λόγω προσομοίωμα, δεν προβλέπει το άνοιγμα της ρωγμής του αρμού, καθώς θεωρήθηκε ότι στο πλαίσιο αυτής της φαινομενολογικής απλοποιημένης προσομοίωσης, το μέγεθος της εγκάρσιας διόγκωσης είναι αρκετά μικρό σε σχέση με εκείνης που συμβαίνει σε τρίστρωτο τοίχο και επομένως, χάριν απλούστευσης μπορεί να αγνοηθεί. Αυτή η πτυχή της συμπεριφοράς των διατεμνόμενων διεπιφανειών θα διαμορφωθεί σε ένα μεταγενέστερο στάδιο μιας λεπτομερέστερης αναλυτικής προσομοίωσης. Όσον αφορά τις συνθήκες στήριξης των στοιχείων των υποβάθρων, όπως και κατά την λεπτομερέστερη προσομοίωση (§ 5.2.2), οι κόμβοι της βάσης του κάτω τεμαχίου του υποβάθρου δεσμεύθηκαν έναντι οριζόντιας και κάθετης μετατόπισης (ολίσθησης και εγκάρσιας διόγκωσης αντιστοίχως), ενώ σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους (κόμβοι 1,2,7 και 8) δεσμεύθηκε η στροφή.

Σχετικά με τα φορτία, αυτά επιβλήθηκαν στατικά στην άνω επιφάνεια του άνω τεμαχίου σε δυο στάδια: αρχικώς, επιβλήθηκε η ορθή θλιπτική τάση  $\sigma_n$ , και κατόπιν, εφαρμόστηκε η οριζόντια ολίσθηση με σταθερό βήμα. Η αριθμητική επίλυση του προσομοιώματος για τα πειραματικά στοιχεία και τα υπολογιστικά στοιχεία των δοκιμών διάτμησης (βλ. Κεφάλαια 3 και 4) πραγματοποιήθηκε με μη-γραμμική στατική ανάλυση.



Εικόνα 244. Προσομοίωση 2: Παράδειγμα προσομοίωσης δοκιμίου διατμήσεως μετά την επιβολή ολίσθησης.

Ειδικότερα, τα δεδομένα που εισάγονται στο Προσομοίωμα 2 είναι:

- (1) Οι μηχανικές ιδιότητες του υποβάθρου (μέτρο ελασικότητας και λόγος Poisson), καθώς και η πυκνότητα του υποβάθρου: Η ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε για τις εν λόγω παραμέτρους έδειξε ότι οι τιμές του  $E$  και του  $\nu$  δεν επηρεάζουν την απόκριση των σύνθετων δοκιμίων υποβάθρων/ενεμάτων. Αυτό εξηγείται από τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάστηκε το προσομοίωμα: το προσομοίωμα εξαναγκάζεται να αστοχήσει κατά μήκος της διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου, ανεξαρτήτως του τύπου του υποβάθρου. Επομένως, η επίδραση του τύπου του υποβάθρου στην συμπεριφορά της διεπιφάνειας δεν είναι προφανής μέσω των  $E$  και  $\nu$ . Αντιθέτως, η επιρροή των χαρακτηριστικών του υποβάθρου (μηχανικές ιδιότητες και επιφανειακή τραχύτητα) λαμβάνεται εμμέσως στο προσομοίωμα μέσω
- (2) της διατμητικής αντοχής της διεπιφανειακής ζώνης ( $\tau_u$ ) και της αντίστοιχης ολίσθησης για την οποία αυτή επιστρατεύεται ( $s_u$ ). Εξ άλλου, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των πειραματικών στοιχείων (Κεφάλαιο 3), η ισχυρή επιρροή των χαρακτηριστικών

του υποβάθρου στις πειραματικές τιμές των ( $\tau_u$ ) και ( $s_u$ ) ήταν ιδιαίτερος προφανής. Ως προς τις υπολογιστικές τιμές των ( $\tau_{u,cal}$ ) και ( $s_{u,cal}$ ) (βλ. Εξισώσεις 3 έως 8 στο Κεφάλαιο 4), η επίδραση των διαφόρων τύπων υποβάθρου συνεκτιμώνται μέσω των συντελεστών  $\beta$  και  $\gamma$  ή  $\alpha$ .

(3) και τέλος, το μέγεθος της παραμένουσας τριβής ( $\tau_{res}$ ).

Έτσι, στους Πίνακες 47 και 48 παρουσιάζονται οι τιμές της διατμητικής αντίστασης που παραλαμβάνουν τα στοιχεία gap (Πίνακας 47) και τα μη γραμμικά ελατήρια (Πίνακας 48) για την φαινομενολογική προσομοίωση. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαραγωγή των πειραματικών και εμπειρικών καμπυλών ( $\tau$ - $s$ ) των διεπιφανειών μαρμάρου, τραβερτίνη και ψαμμίτη στις 90 ημέρες.

**Πίνακας 47.** Προσομοίωμα 2: Πειραματικές και υπολογιστικές τιμές της διατμητικής αντίστασης των στοιχείων gap.

υπόβαθρο	κωδικός ενέματος	παραμένουσα τάση των στοιχείων gap [MPa]					
		πειραματικές τιμές			υπολογιστικές τιμές <sup>(2)</sup>		
		$\sigma_n=0.1$ MPa	$\sigma_n=0.3$ MPa	$\sigma_n=0.6$ MPa	$\sigma_n=0.1$ MPa	$\sigma_n=0.3$ MPa	$\sigma_n=0.6$ MPa
μάρμαρο ή τεφρός ασβεστόλιθος	G1		0.175			0.225	
	G2		0.300			0.225	
	G4		0.175			0.225	
	HL1 <sup>(1)</sup>		0.190			0.225	
	HL2 <sup>(1)</sup>		0.240			0.225	
	HL3 <sup>(1)</sup>		0.240			0.225	
τραβερτίνης	G1	0.200	0.260	0.450	0.075	0.225	0.450
	G2	0.200	0.240	0.420	0.075	0.225	0.450
	G4	0.200	0.200	0.385	0.075	0.225	0.450
	HL		0.250			0.225	
ψαμμίτης	HL1		0.230	0.330		0.225	
	HL2 ή HL3		0.280	0.235		0.225	

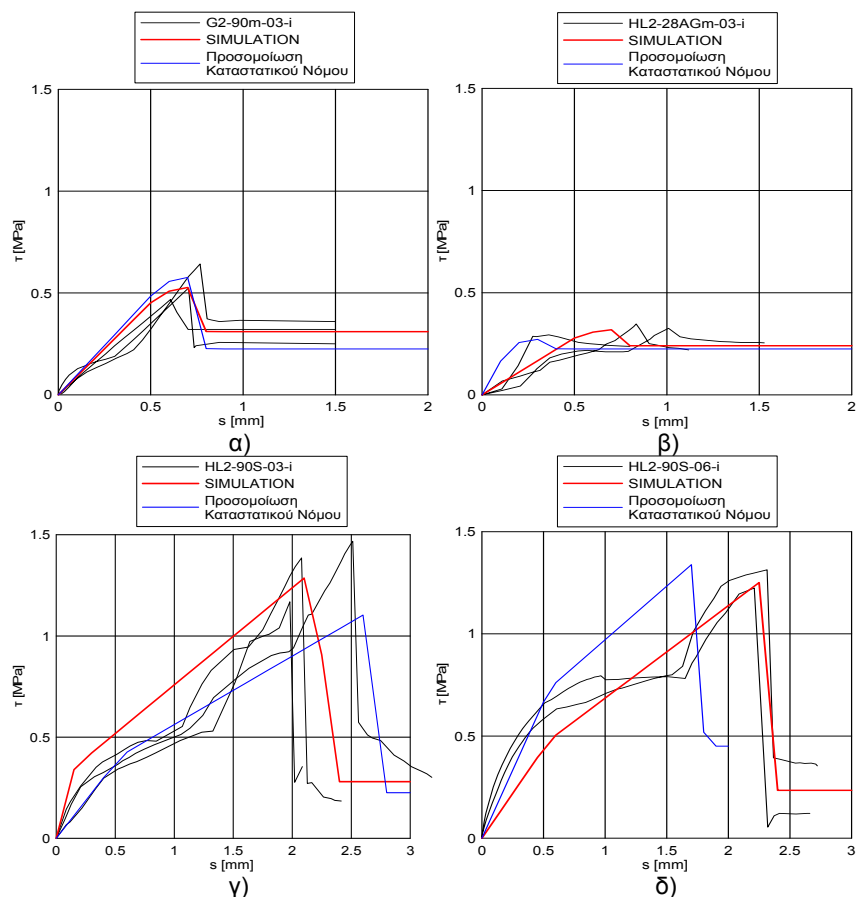
<sup>(1)</sup> Χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά στοιχεία των 28 ημερών  
<sup>(2)</sup> Προσδιορίστηκαν βάσει της Εξίσωσης 5 (Κεφάλαιο 4)

**Πίνακας 48.** Προσομοίωμα 2: Πειραματικές και υπολογιστικές τιμές της διατμητικής αντίστασης που παραλαμβάνουν τα μη γραμμικά ελατήρια.

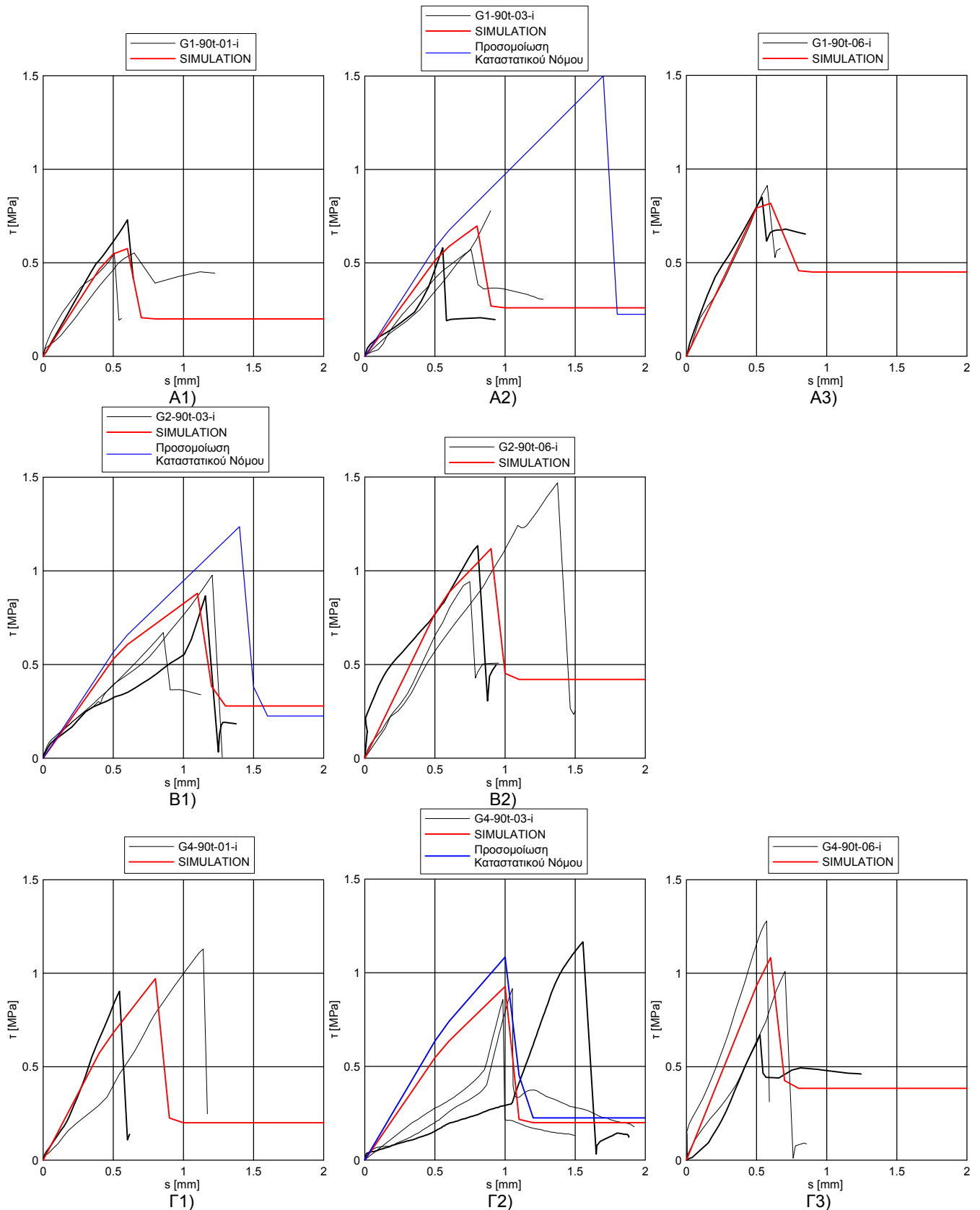
υπόβαθρο	κωδικός ενέματος	τάση των στοιχείων spring [MPa]					
		πειραματικές τιμές			υπολογιστικές τιμές <sup>(2)</sup>		
		$\sigma_n=0.1$ MPa	$\sigma_n=0.3$ MPa	$\sigma_n=0.6$ MPa	$\sigma_n=0.1$ MPa	$\sigma_n=0.3$ MPa	$\sigma_n=0.6$ MPa
μάρμαρο ή τεφρός ασβεστόλιθος	G1		0.218			0.227	
	G2		0.120			0.193	
	G4		0.163			0.133	
	HL1 <sup>(1)</sup>		0.010			0.020	
	HL2 <sup>(1)</sup>		0.041			0.043	
	HL3 <sup>(1)</sup>		0.028			0.036	
τραβερτίνης	G1	0.205	0.220	0.215	0.455	0.655	0.790
	G2	0.395	0.345	0.360	0.420	0.538	0.635
	G4	0.410	0.375	0.378	0.303	0.470	0.620
	HL		0.155			0.223	
ψαμμίτης	HL1		0.355	0.355			
	HL2 ή HL3		0.530	0.516		0.453	0.447

<sup>(1)</sup> Χρησιμοποιήθηκαν τα πειραματικά στοιχεία των 28 ημερών  
<sup>(2)</sup> Προσδιορίστηκαν βάσει των Εξισώσεων 3 και 4 (Κεφάλαιο 4)  
 Κάθε ελατήριο παραλαμβάνει τάση ίση με το ήμισυ της διατμητικής αντοχής του αρμού απομειωμένη κατά την παραμένουσα διατμητική αντίσταση.

Στις Εικόνες 245 και 246, ενδεικτικώς, παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα των αριθμητικών επιλύσεων σε μορφή καμπυλών (τ-s) (πειραματικές τιμές: κόκκινο χρώμα, υπολογιστικές τιμές: μπλε χρώμα) μαζί με τις πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα) για τα σύνθετα δοκίμια μαρμάρου, τραβερτίνη και ψαμμίτη για τις 90 ημέρες και για διάφορες στάθμες της  $\sigma_n$ . Όπως και στην προσομοίωση 1, διαπιστώνεται ότι και το φαινομενολογικό προσομοίωμα, αναπαράγει επαρκώς (και με μικρότερη απόκλιση από το προσομοίωμα 1) τις πειραματικές καμπύλες για τις πειραματικές τιμές των  $\tau_u$  και  $s_u$ . Επί πλέον, η μετά την αστοχία συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων (φθιτός κλάδος) φαίνεται να προσεγγίζεται καλύτερα στην περίπτωση του προσομοιώματος 2. Ως προς τις καμπύλες που παρήχθησαν από τις υπολογιστικές τιμές των  $\tau_{u,cal}$  και  $s_{u,cal}$ , όπως και στην περίπτωση του προσομοιώματος 1, αποκλίσεις των «υπολογιστικών» καμπυλών (μπλε χρώμα) από τις πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα) διαπιστώθηκαν μόνον για τους συνδυασμούς



**Εικόνα 245.** Προσομοίωση 2. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) (τ-s) σύνθετων δοκιμίων α) μαρμάρου/ενέματος G2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) τειφρού ασβεστόλιθου/ενέματος HL2 (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και δ) ψαμμίτη/ενέματος HL2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).



**Εικόνα 246.** Προσομίωση 2. Πειραματικές καμπύλες (μαύρο χρώμα), καμπύλες προσομοίωσης (κόκκινο χρώμα) και καμπύλες προσομοίωσης καταστατικού νόμου (μπλε χρώμα) ( $\tau$ - $s$ ) σύνθετων δοκιμίων τραβερίνη/ενέματος Α) G1: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 3 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), Β) G2: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), και Γ) G4: 1 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), 2 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), 3 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).

ενεμάτων/υποβάθρων για τους οποίους οι σχέσεις πρόβλεψης δεν προσέγγιζαν ικανοποιητικά τις πειραματικές τιμές των  $\tau_u$  και  $s_u$  [βλ. για πρδ. διεπιφάνειες τραβερίνη/ενεμάτων G1 και G2: η μη ικανοποιητική πρόβλεψη των τιμών του συντελεστή τριβής οφείλεται στην δράση παρασιτικών φαινομένων (αποκολλήσεις, συστολή και απόμιξη ενέματος κα.)]. Ας επισημανθεί ότι, όπως φαίνεται στον Πίνακα 47, οι πειραματικές τιμές της διαμητικής αντίστασης για τα στοιχεία gar (τα οποία όπως προαναφέρθηκε προσομοιώνουν την παραμένουσα τριβή) κυμαίνονται μεταξύ 0.20 και 0.45 MPa και, όπως επισημάνθηκε κατά την αξιολόγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων, οι τιμές αυτές προκύπτουν ανεξάρτητες της σύνθεσης του ενέματος και του τύπου του υποβάθρου. Αυτή η διαπίστωση ευρίσκεται σε συμφωνία με την παραδοχή που πραγματοποιήθηκε κατά την κατάσρωση της σχέσης πρόβλεψης της παραμένουσας διαμητικής αντίστασης (Κεφάλαιο 4: Εξίσωση 5) και η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα προσομοίωση. Σύμφωνα με αυτήν την παραδοχή, τα στοιχεία gar λαμβάνουν τιμές εξαρτώμενες αποκλειστικώς από το μέγεθος της επιβαλλόμενης τάσης (οι οποίες αυξάνονται με την αύξηση της  $\sigma_n$ ). Αντιθέτως, οι πειραματικές τιμές για τα μη γραμμικά ελατήρια φαίνεται να μην εξαρτώνται τόσο από το μέγεθος της  $\sigma_n$ , αλλά να είναι σταθερές με τιμή εξαρτώμενη από τον εκάστοτε συνδυασμό ενέματος/υποβάθρου (βλ. Πίνακα 48). Επομένως, σε αυτήν την προσομοίωση, αν υιοθετηθεί ένας νόμος αστοχίας τύπου Mohr-Coulomb (με συνοχή και τριβή), όπου τα μη γραμμικά ελατήρια θα προσομοιώνουν κυρίως την «συνοχή», αλλά και ένα μικρό μέρος της αρχικής τριβής, τότε αναλόγως του τύπου του υποβάθρου και με βάση τις ομαδοποιήσεις του Κεφαλαίου 4, για τους συνδυασμούς ενεμάτων/υποβάθρων που αστόχησαν στην διεπιφανειακή ζώνη (τύπος αστοχίας ITZ ή Z) προτείνεται το εύρος του Πίνακα 49 για τις τιμές της συνοχής για τα διάφορα υπόβαθρα.

**Πίνακας 49.** Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb: Προτεινόμενες τιμές για την συνοχή διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων.

υπόβαθρο	κωδικός ενέματος	$\tau_o$ [MPa]
μάρμαρο ή τεφρός ασβεστόλιθος	G1	0.440
	G2 και G4	0.310
	HL1, HL2, HL3 (28 ημέρες)	πρακτικώς, μπορεί να αγνοηθεί
τραβερίνης	HL	0.310
	G1	0.440
	G2 και G4	0.700

### 5.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγική ενότητα του παρόντος Κεφαλαίου, η αναλυτική διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς δομικών στοιχείων τρίστρωτης τοιχοποιίας, η οποία διερεύνηση θα έχει ως στόχο την εκτίμηση της συνεισφοράς των διεπιφανειών των ενεμάτων στην απόκριση των -ενισχυμένων με ενέματα- στοιχείων τοιχοποιίας, δεν εμπίπτει στο αντικείμενο της παρούσας Διατριβής. Παρ' όλα αυτά, σε μια πρώτη προσέγγιση του φαινομένου, το απλούστερο εκ των δυο προσομοιωμάτων των διεπιφανειών (Προσομοίωμα 2), μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση για τις μικρότερες στάθμες της ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$ , εισήχθη σε ένα απλουστευμένο αναλυτικό προσομοίωμα στοιχείου τρίστρωτης τοιχοποιίας. Πραγματοποιήθηκαν ορισμένες δοκιμαστικές επιλύσεις σε επιλεγμένα πειραματικά δοκίμια τοιχοποιίας της βιβλιογραφίας, τα οποία είχαν υποβληθεί σε δοκιμές θλίψης πριν και μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα και για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα στοιχεία (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006). Κατόπιν, ελέγχθηκε η σύμπτωση της απόκρισης του αριθμητικού προσομοιώματος (στο οποίο έχει συνεκτιμηθεί η συνεισφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων) με τα πειραματικά αποτελέσματα των μεμονωμένων τοιχίσκων. Επί πλέον, με στόχο να διερευνηθεί κατά το πόσον το αριθμητικό προσομοίωμα προσεγγίζει την γενικότερη συμπεριφορά των τρίστρωτων τοιχίσκων πριν και μετά τα ενέματα, τα αποτελέσματα των αριθμητικών επιλύσεων συγκρίθηκαν και με άλλα πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών σε τοιχίσκους διαφορετικής γεωμετρίας και υλικών δομήσεως [για πρδ. των (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004)].

Έτσι, για την περιγραφή του στοιχείου της τρίστρωτης τοιχοποιίας με γεωμετρία όπως εκείνη των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006), (βλ. Πίνακα 2), η κάθε παρεία της τοιχοποιίας προσομοιώθηκε σε μάκρο-κλίμακα (macro-modelling) από τριδιάστατα συνεχή ομογενή 8-κομβικά πεπερασμένα στοιχεία (Εικόνα 247). Ως προς τις ιδιότητες των υλικών των στρώσεων, επιλέχθηκε ελαστο-πλαστική απόκριση, η οποία περιγράφεται από τον τροποποιημένο μη γραμμικό καταστατικό νόμο Mohr-Coulomb των (Anastasopoulos et al. 2007). Στον Πίνακα 50 παρουσιάζονται οι τιμές των ελαστικών ( $E$  και  $\nu$ ) και ανελαστικών ιδιοτήτων των στρώσεων πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων, καθώς και οι παραδοχές που έγιναν για τον προσδιορισμό αυτών των τιμών. Έτσι, για την εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας των στρώσεων, έγινε η εύλογη παραδοχή ότι αυτό είναι ίσο με 600 φορές την θλιπτική



αντοχή της εκάστοτε στρώσης (Εξίσωση 12-1). Αυτή η παραδοχή ευρίσκεται σε συμφωνία με το εύρος τιμών του Ευρωκώδικα 6 (από 500 έως 1500). Ελλείπει πειραματικών αποτελεσμάτων για την θλιπτική αντοχή των εξωτερικών παρειών του υπό διερεύνηση τοιχίσκου, έγινε εφαρμογή της εμπειρικής σχέσης των (Tassios et al. 1985), (Εξίσωση 12-2). Ας επισημανθεί ότι, καθώς με την εφαρμογή των ενεμάτων ο βαθμός βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων των εξωτερικών στρώσεων είναι σχετικώς μικρός (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή § 2.3.2), στο πλαίσιο της παρούσας διερεύνησης επιλέχθηκε να αμεληθεί η συνεισφορά των ενεμάτων στις εξωτερικές στρώσεις. Ως προς τις ανελαστικές ιδιότητες των επιμέρους στρώσεων (συνοχή, αρχικές και τελικές τιμές γωνίας τριβής, γωνίας διασταλτικότητας και αντίστοιχες

**Εξισώσεις 12**

(1) μέτρο ελαστικότητας παρειάς (πριν και μετά τα ενέματα):  
 $E_{ext} \text{ ή } E_{inf} = 600x f_{WC}$

(2) θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας από ημιλαξευτούς λίθους (Tassios et al. 1985):

$$f_{WC} = \xi \left[ \left( \frac{2}{3} \sqrt{f_{b,c}} - 1.5 \right) + 0.5 f_{m,c} \right]$$

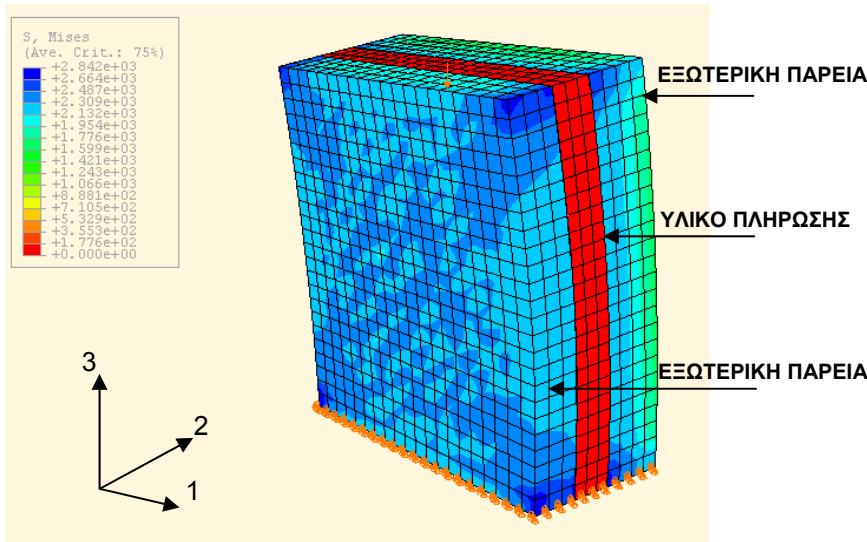
όπου

$$\xi = \{ 1 : [ 1 + 3.5(k - k_0) ] \}$$

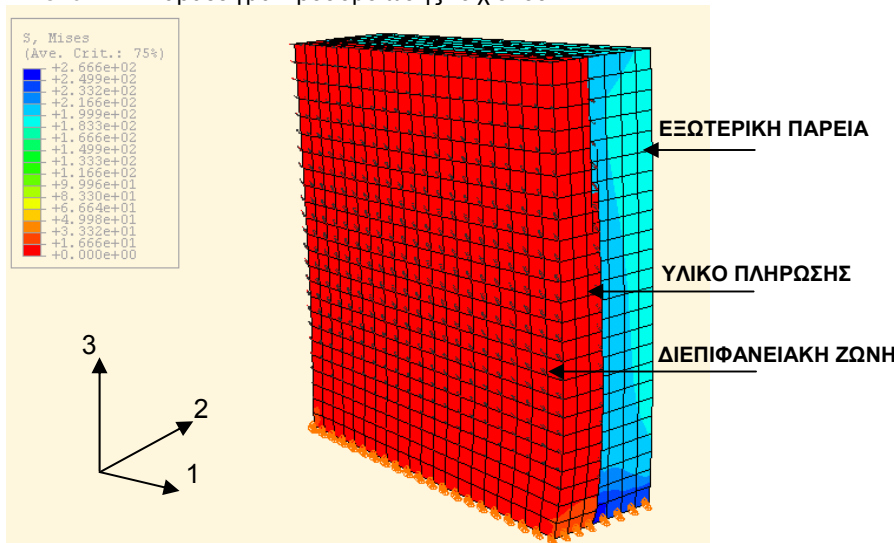
$k = V_m / V_{wall}$  (όγκος κονιάματος προς όγκο λιθοδομής), για συνήθεις λιθοδομές στον Ελλαδικό χώρο  $k=0.30$   
 $k_0=0.30$

$f_{b,c}$ : η θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων

$f_{m,c}$ : η θλιπτική αντοχή του κονιάματος



Εικόνα 247. Παράδειγμα προσομοίωσης τοιχίσκου.



**ΚΟΜΒΟΙ ΒΑΣΗΣ:** δέσμευση μετακινήσεων

Εικόνα 248. Παράδειγμα προσομοίωσης τοιχίσκου: λεπτομέρεια της διεπιφάνειας μεταξύ εξωτερικής και ενδιάμεσης παρειάς.

**Πίνακας 50.** Προσομοίωση τοιχίσκων των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006): Ελαστικές και ανελαστικές ιδιότητες των στρώσεων πριν και μετά τα ενέματα.

		εξωτερικές παρειές		υλικό πλήρωσης
πριν τα ενέματα	ελαστικές ιδιότητες	$f_c$ [MPa]	4.01 <sup>(1)</sup>	0.15 <sup>(3)</sup>
		$E$ [MPa]	2405 <sup>(2)</sup>	90 <sup>(2)</sup>
		$\nu$	0.2	0.3
		$\rho_{db}$ [t/m <sup>3</sup> ]	2.0	1.7
	ανελαστικές ιδιότητες	$\Phi_{res}$ [°]	37.0 <sup>(4)</sup>	15.0
		$\Phi_u$ [°]	39.0 <sup>(5)</sup>	25.0
		$\tau_o$ [MPa]	0.70	0.08
		$\Psi_u$ [°]	17.0 <sup>(6)</sup>	31.0
	$\Psi_{res}$ [°]	12.0	21.0	
μετά τα ενέματα	ελαστικές ιδιότητες	$f_c$ [MPa]	όπως και πριν τα ενέματα	3.04÷3.26 <sup>(3)</sup>
		$E$ [GPa]		1824÷1956 <sup>(2)</sup>
		$\nu$		0.25
		$\rho_{db}$ [t/m <sup>3</sup> ]		1.7
	ανελαστικές ιδιότητες	$\Phi_{res}$ [°]	όπως και πριν τα ενέματα	όμοιες με εκείνες των εξωτερικών στρώσεων
		$\Phi_u$ [°]		
		$\tau_o$ [MPa]		0.65
		$\Psi_u$ [°]		όμοιες με εκείνες των εξωτερικών στρώσεων
$\Psi_{res}$ [°]				

<sup>(1)</sup> Βάσει της σχέσης των (Tassios et al. 1987) για  $f_{b,c}=25\text{MPa}$ ,  $f_{m,c}=4.35\text{MPa}$  και  $\xi=1.0$  ( $k=0.30$ ).  
<sup>(2)</sup> Βάσει της παραδοχής  $E = 600f_c$   
<sup>(3)</sup> τα αποτελέσματα ελήφθησαν από τους (Kalagri et al. 2007)  
<sup>(4), (5), (6)</sup> Βάσει της βιβλιογραφίας και των συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας, υιοθετήθηκαν εύλογες τιμές για την  $\tan\phi$  και την  $\tan\psi$ .

παραμορφώσεις), για κάθε στρώση χρησιμοποιήθηκαν τιμές παρεμφερείς με εκείνες που έχουν μετρηθεί σε διεπιφάνειες κονιαμάτων/λιθοσωμάτων (βλ. Βιβλιογραφική Αναδρομή: Μέρος II). Οι επιμέρους στρώσεις του στοιχείου τοιχοποιίας συνδέθηκαν μεταξύ τους με τα στοιχεία διεπιφάνειας του Προσομοιώματος 2 (δλδ. με gap και spring elements). Καθώς κατά την επιβολή της θλιπτικής φόρτισης στους τοιχίσκους, η διεπιφάνεια μεταξύ των παρειών υποβάλλεται σε διάτμηση ως προς δυο διευθύνσεις (βλ. Εικόνες 247 και 248: διεύθυνση 1 και διεύθυνση 3) και δεδομένου του ότι, τα στοιχεία διεπιφάνειας του Προσομοιώματος 2 (δλδ. τα μη γραμμικά ελατήρια) λειτουργούν μόνον κατά την διεύθυνση του άξονα τους, στοιχεία διεπιφάνειας τοποθετήθηκαν και στις δυο διευθύνσεις της διατεμνόμενης διεπιφάνειας (βλ. Εικόνα 248). Επί πλέον, στην διεπιφάνεια και κατά την διεύθυνση 2, τοποθετήθηκαν στοιχεία gap για την παραλαβή τυχόν εφελκυστικών δράσεων στην διεπιφάνεια. Στον Πίνακα 51 παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχείων της διεπιφάνειας που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση του αριθμητικού προσομοιώματος πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων. Ως προς τις συνοριακές συνθήκες του προσομοιώματος του στοιχείου τοιχοποιίας, αυτές επελέγησαν ώστε να αναπαριστούν τις πειραματικές συνθήκες: όλοι οι κόμβοι της βάσης του προσομοιώματος δεσμεύθηκαν έναντι

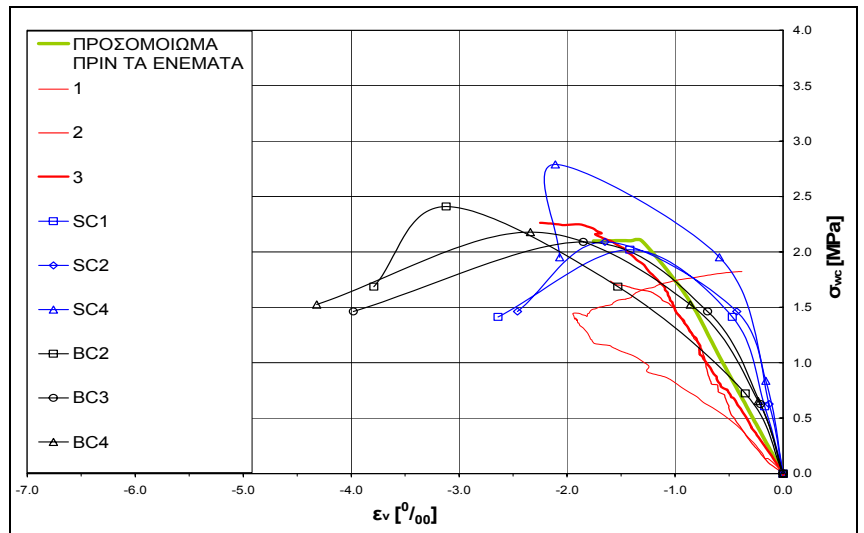
μετατοπίσεων ως προς τις τρεις διευθύνσεις, ενώ σε όλους τους άνω κόμβους δεσμεύθηκε η στροφή. Σχετικά με τις φορτίσεις, αυτές επιβλήθηκαν στους άνω κόμβους του προσομοιώματος σε δυο στάδια. Έτσι, με την παραδοχή στατικής φόρτισης, αρχικά, επιβλήθηκε το ίδιο βάρος του τοιχίσκου, και κατόπιν, εφαρμόστηκε κατακόρυφη μετακίνηση με σταθερό βήμα στους άνω κόμβους. Η επίλυση του προσομοιώματος του τοιχίσκου πραγματοποιήθηκε με μη-γραμμική στατική ανάλυση.

Πίνακας 51. Προσομοίωση τοιχίσκων των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006): Ιδιότητες στοιχείων διεπιφάνειας πριν και μετά τα ενέματα.

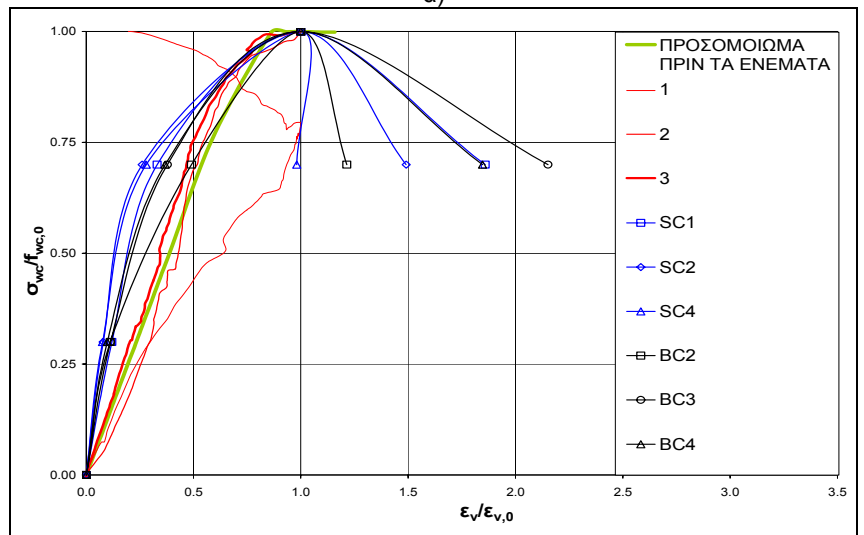
πριν τα ενέματα	παραμένουσα τάση των στοιχείων gap [MPa] <sup>(1)</sup>	0.75σ <sub>n</sub>	
	τάση των στοιχείων spring [MPa] <sup>(2)</sup>	0.02	
	ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η τάση των στοιχείων spring [mm]	διάτμηση <sup>(3)</sup>	0.50
		εφελκυσμός <sup>(4)</sup>	0.05
μετά τα ενέματα	παραμένουσα τάση των στοιχείων gap [MPa] <sup>(1)</sup>	0.75σ <sub>n</sub>	
	τάση των στοιχείων spring [MPa] <sup>(2)</sup>	0.02	
	ολίσθηση για την οποία επιστρατεύεται η τάση των στοιχείων spring [mm]	διάτμηση	0.50
		εφελκυσμός	0.05

<sup>(1)</sup> Βάσει της Εξίσωσης 5.  
<sup>(2)</sup> Βάσει της Εξίσωσης 3, για σ<sub>n</sub>=0.05MPa, f<sub>c</sub>=σ<sub>inf</sub>.  
<sup>(3)</sup> Βάσει της Εξίσωσης 8.  
<sup>(4)</sup> Γίνεται η εύλογη παραδοχή ότι η «ολίσθηση» σε εφελκυσμό=1/10 της ολίσθησης σε διάτμηση.

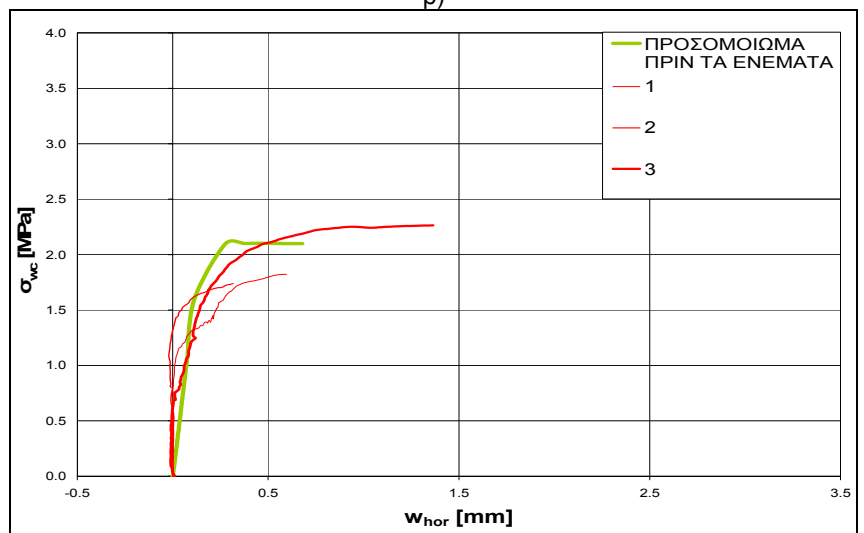
Στις Εικόνες 249 και 250 παρουσιάζονται σε διαγραμματική μορφή ορισμένα αποτελέσματα από τις επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με το αριθμητικό προσομοίωμα του τοιχίσκου, πριν και μετά την εφαρμογή των ενεμάτων. Στις ίδιες εικόνες έχουν απεικονιστεί και οι πειραματικές καμπύλες των τοιχίσκων των (Vintzileou et al. 2006), (Miltiadou et al. 2006) βάσει των οποίων κατασκευάστηκε το προσομοίωμα, καθώς και οι πειραματικές καμπύλες των (Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2004). Τα αποτελέσματα του ελέγχου σύμπτωσης των πειραματικών με τις αναλυτικές καμπύλες (Εικόνες 249 και 250) θεωρούνται άκρως ελπιδοφόρα, καθώς διαφαίνεται ότι με το παρόν αριθμητικό προσομοίωμα (στο οποίο έχει συνεκτιμηθεί η συνεισφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων) αναπαράγεται σε ικανοποιητικό βαθμό η μηχανική απόκριση των τοιχίσκων, πριν και μετά την ενίσχυσή τους με ενέματα. Βεβαίως, σε αυτό το σημείο οφείλεται να επισημανθεί ότι, με την εισαγωγή των διατμητικών μη γραμμικών ελατηρίων στις δύο διευθύνσεις κάθε κόμβου της διεπιφάνειας του προσομοιώματος του



α)

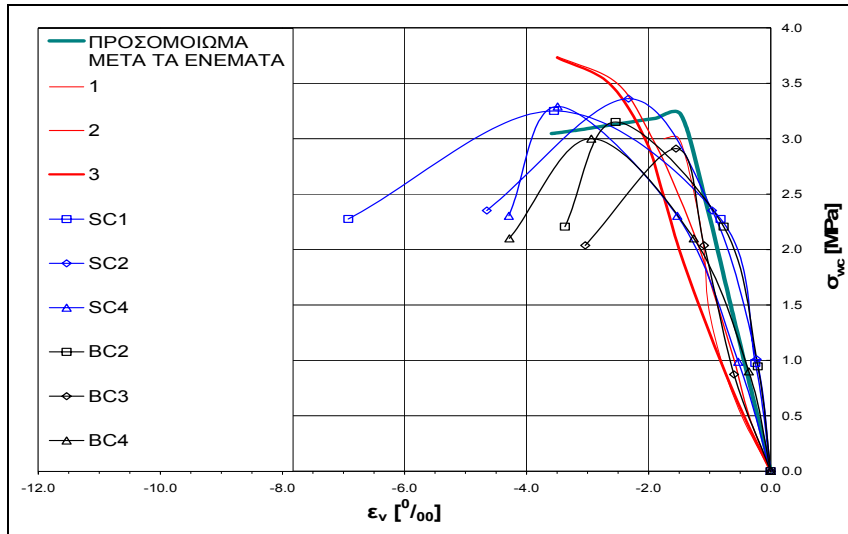


β)

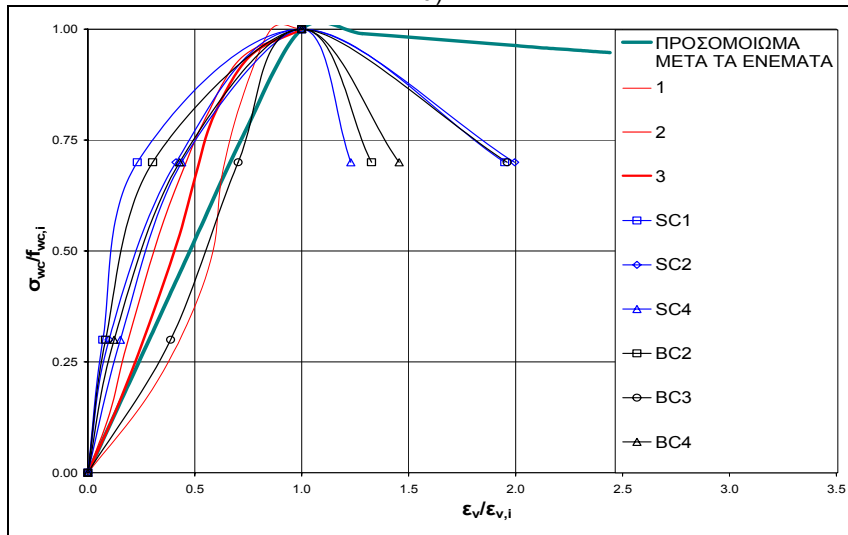


γ)

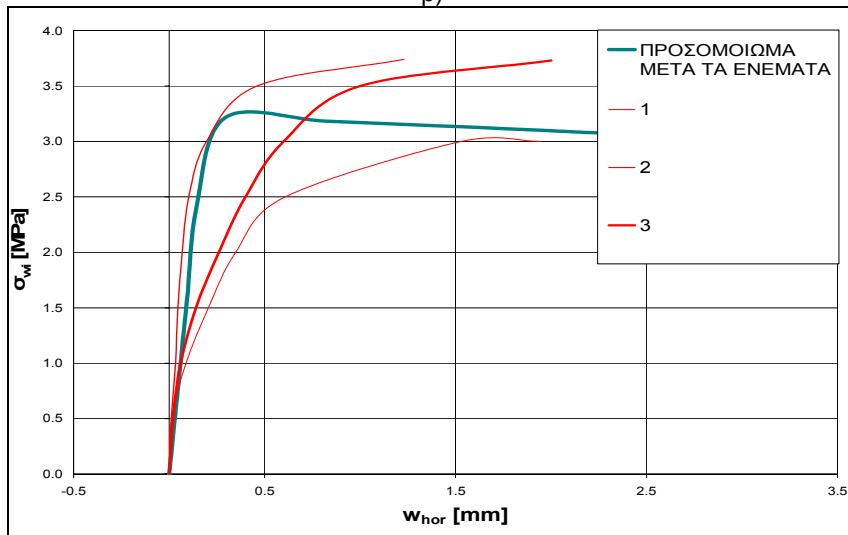
**Εικόνα 249.** Τρίστρωτοι τοιχίσκοι πριν τα ενέματα: Πειραματικές καμπύλες των [(Vintzileou et al. 2006):κόκκινο χρώμα], [(Τουμβακάρη 2002), (Τουμβακάρη et al. 2004): μπλε και μαύρο χρώμα] και καμπύλες προσομοίωσης α) ( $\sigma_{wc}-\epsilon_v$ ), β) ( $\sigma_{wc}/f_{wc,0}-\epsilon_v/\epsilon_{v,0}$ ) και γ) ( $\sigma_{wc}-w_{hor}$ ).



α)



β)



γ)

**Εικόνα 250.** Τρίστρωτοι τοιχίσκοι μετά τα ενέματα: Πειραματικές καμπύλες των [(Miliadou et al. 2006): κόκκινο χρώμα], [(Τουμβακάρη 2002), (Τουμβακάρη et al. 2004): μπλε και μαύρο χρώμα] και καμπύλες προσομοίωσης α) ( $\sigma_{vc}-\varepsilon_v$ ), β) ( $\sigma_{vc}/f_{vc,i}-\varepsilon_v/\varepsilon_{v,i}$ ) και γ) ( $\sigma_{vc}-w_{hor}$ ).

τοιχίσκου, προφανώς, η δυναμική διατμητική δυστένεια και αντοχή της διεπιφάνειας ενισχύεται σημαντικά (αύξηση έως και  $40\% \approx \sqrt{2} - 1$ ). Αντιστοίχως, προσαυξάνεται και το μέτρο της συνισταμένης ολίσθησης για την οποία αυτή η διατμητική αντίσταση επιστρατεύεται. Η παραπάνω παρενέργεια στην προσομοίωση της διεπιφανειακής ζώνης του στοιχείου τοιχοποιίας, οφείλεται να αρθεί σε μελλοντικές διερευνήσεις με την χρήση του εν λόγω προσομοιώματος τοιχοποιίας.

## 5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο παρόν Κεφάλαιο της Διατριβής, με την Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων προσομοιώθηκε, ενδελεχώς, η συμπεριφορά των δοκιμίων μέσης κλίμακας ενεμάτων/υποβάθρων, τα οποία είχαν εξετασθεί έναντι διάτμησης. Παρουσιάστηκαν δυο εναλλακτικοί τρόποι για την περιγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης: Στην πρώτη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το ελαστικο-πλαστικό κριτήριο διαρροής Mohr-Coulomb, ενώ στην δεύτερη προσομοίωση έγινε φαινομενολογική προσέγγιση των πειραματικών καμπυλών. Οι αριθμητικές επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν σε επίπεδο μέσων τιμών για τα μηχανικά χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης, έδειξαν ότι και με τις δύο προσομοιώσεις προσεγγίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό η απόκριση των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων έναντι διάτμησης. Τέλος, το φαινομενολογικό προσομοίωμα της διεπιφανειακής ζώνης εισήχθη σε ένα απλό προσομοίωμα δοκιμίου τοιχοποιίας. Από τον χονδροειδή έλεγχο σύμπτωσης της απόκρισης των αποτελεσμάτων του αριθμητικού προσομοιώματος του τοιχίσκου (στο οποίο έχει ληφθεί υπ' όψιν η συμπεριφορά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων) με πειραματικά αποτελέσματα μεμονωμένων τοιχίσκων, διαφάνηκε ότι το αριθμητικό προσομοίωμα μπορεί να αποτελέσει βάση για μελλοντικές διερευνήσεις αποτίμησης της συμπεριφοράς των ενισχυμένων φερόντων στοιχείων και συνακόλουθα, ολόκληρων κατασκευών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

### 6.1 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η τεχνική της ομογενοποίησης της μάζας με ενέματα είναι μια τεχνική που εφαρμόζεται ευρέως για την δομητική αποκατάσταση ή/και ενίσχυση ιστορικών τοιχοποιιών, οι οποίες αποτελούν το κύριο στοιχείο της δομημένης πολιτιστικής κληρονομιάς της χώρας μας, καθώς και ολόκληρης της Ευρώπης. Καθώς η εν λόγω τεχνική αποτελεί μια μη αναστρέψιμη επέμβαση στην τοιχοποιία, καθίσταται προφανές ότι η χρήση κατάλληλων υλικών ενίσχυσης (από απόψεως μηχανικών χαρακτηριστικών και ανθεκτικότητας της επέμβασης) αποτελεί στοιχείο κεφαλαιώδους σημασίας για τον τομέα των επεμβάσεων σε αυτές τις κατασκευές. Ως προς τα υλικά επέμβασης, στις μέρες μας, είναι γενικώς αποδεκτή η χρήση υδραυλικών ενεμάτων, με μέτρια ή χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά (όπως είναι οι τριμερείς συνθέσεις ή τα ενέματα υδραυλικής ασβέστου) για την εφαρμογή της εν λόγω τεχνικής σε ιστορικές τοιχοποιίες. Αυτές οι συνθέσεις προτιμώνται έναντι άλλων συνθέσεων (όπως για πρδ. των τσιμεντενεμάτων) λόγω α) της φυσικής και χημικής συμβατότητάς τους με τα επί τόπου υλικά και β) επειδή η πειραματική διερεύνηση της επίδρασης της εφαρμογής ενεμάτων σε τρίστρωτες τοιχοποιίες απέδειξε ότι ο κύριος παράγοντας που ελέγχει την συμπεριφορά της τοιχοποιίας μετά την επέμβαση είναι η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας ενέματος/υπαρχόντων υλικών και όχι, όπως θα ανέμενε κανείς, η θλιπτική αντοχή των ενεμάτων. Έτσι, η διεπιφάνεια υλικών επέμβασης και υπάρχοντος υλικού ενδέχεται να αποτελέσει ισχυρή ή αδύναμη ζώνη (ανάλογα με την επιτυγχανόμενη συνάφεια) και, επομένως, επηρεάζει την απόκριση της κατασκευής έναντι μονοτονικών και ανακυκλιζόμενων δράσεων. Παρά την μεγάλη σημασία του, ο μηχανισμός ανάπτυξης της συνάφειας σε διεπιφάνειες στο εσωτερικό των τοιχοποιιών δεν έχει μελετηθεί επαρκώς από τους ερευνητές, όπως άλλωστε φαίνεται και από το περιορισμένο πλήθος των σχετικών εργασιών (βλ. Κριτική Αναδρομή στην Βιβλιογραφία). Προφανώς, αυτές οι μελέτες, αν και καιρίες, δεν καλύπτουν παρά μόνον μερικές από τις απόψεις του θέματος. Εξ άλλου, δεν διατίθεται



γενικής αποδοχής φυσικό προσομοίωμα, το οποίο να επιτρέπει την αποτίμηση της βελτιωμένης φέρουσας ικανότητας των τοιχοποιιών μετά απ' την εφαρμογή ενεμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το θέμα καθίσταται ιδιαίτερος σημαντικό για την χώρα μας, δεδομένου ότι οι ιστορικές κατασκευές υποβάλλονται σε σεισμικές δράσεις, έναντι των οποίων απαιτείται ενίσχυση των μνημείων, ελεγχόμενης αποτελεσματικότητας.

Έτσι, για την κάλυψη του διαπιστούμενου κενού, η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε σε μια συστηματική (σε βάθος και έκταση) πειραματική μελέτη του μηχανισμού της συνάφειας για ένα μεγάλο πλήθος υποβάθρων, που απαντώνται σε ιστορικές κατασκευές, και συνθέσεων υδραυλικών ενεμάτων με μέτρια και χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, οι οποίες έχει βρεθεί ότι, εφαρμοζόμενες σε τρίστρωτους τοιχίσκους, βελτιώνουν την μηχανική συμπεριφορά των τοίχων. Η συστηματική διερεύνηση της συνάφειας που αναπτύσσεται μεταξύ ενεμάτων και υποβάθρων, περιλάμβανε α) την μελέτη της μικροδομής των διεπιφανειών σε αδιατάρακτα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων, β) μηχανικές δοκιμές σε δοκίμια διαφόρων ηλικιών και γ) τον συσχετισμό τους, με στόχο να διατυπωθούν, εμπειριστατωμένα, γενικότεροι κανόνες για την επίδραση της χημικο-μηχανικής στην ερμηνεία της ανάπτυξης του μηχανισμού της συνάφειας. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα, διατυπώθηκε τοπικός καταστατικός νόμος για την συμπεριφορά των διεπιφανειών υπό διάτμηση και καταστρώθηκαν εμπειρικές σχέσεις για την πρόβλεψη της επιστρατευομένης διατμητικής αντίστασης κατά μήκος μιας διεπιφάνειας ενέματος/υποβάθρου, καθώς και της ολίσθησης και του ανοίγματος ρωγμής για τις οποίες αυτή η αντίσταση ενεργοποιείται. Τα παραπάνω στοιχεία, αξιοποιήθηκαν στο Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής, κατά το οποίο προσομοιώθηκε η συμπεριφορά των δοκιμίων μέσης κλίμακας έναντι διάτμησης με δυο διαφορετικές προσομοιώσεις: στην πρώτη και λεπτομερέστερη προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε ένα τροποποιημένο κριτήριο διαρροής τύπου Mohr-Coulomb, ενώ στην δεύτερη και απλουστευμένη, πραγματοποιήθηκε μια φαινομενολογική προσέγγιση της συμπεριφοράς των διεπιφανειών. Τέλος, ως μια πρώτη εκτίμηση της συμβολής των διεπιφανειών των ενεμάτων στην μηχανική συμπεριφορά των τοίχων μετά την ενίσχυσή τους, το απλουστευμένο προσομοίωμα εισήχθη σε ένα απλό αναλυτικό προσομοίωμα στοιχείου τρίστρωτης τοιχοποιίας.

## 6.2 ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στις κάθε ενότητα της παρούσας Διατριβής, παρουσιάστηκαν λεπτομερώς (ενδιαμέσως ή/και στο τέλος της κάθε ενότητας) τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τα επιμέρους στάδια της διερεύνησης (βλ. §3.3.1.1.5, §3.7.2.4, §3.8.3.8, §3.8.4.9, §3.9, §4.3 και §5.4). Τα βασικότερα εξ' αυτών συνοψίζονται στα παρακάτω:

### *Πειραματικό Μέρος*

- (1) Υψηλής διεισδυτικότητας υδραυλικά ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και υδραυλικής ασβέστου, με τον κατάλληλο σχεδιασμό, μπορούν να εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία μηχανικών ιδιοτήτων, χαρακτηριστικών μικροδομής, και, υπό συνθήκες, ικανοποιητική μηχανική συμπεριφορά εν χρόνω.
- (2) Ως προς την αναπτυσσόμενη συνάφεια μεταξύ ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης και υποβάθρων, από παρατηρήσεις της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης σε αδιατάρακτα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων, τεκμηριώθηκε ότι, η συνάφεια για τις εξετασθείσες ηλικίες είναι αποκλειστικώς μηχανικής φύσης και σχετίζεται με την πρόσφυση και την διείσδυση των προϊόντων ενυδάτωσης των ενεμάτων στο υπόβαθρο και την μηχανική αλληλεμπλοκή αυτών των προϊόντων με το υπόβαθρο.
- (3) Εξ άλλου, όπως διαπιστώθηκε από τις παρατηρήσεις της μικροδομής και, κατόπιν, επιβεβαιώθηκε από τις μηχανικές δοκιμές, τα χαρακτηριστικά του υποβάθρου σε σχέση με εκείνα του ενέματος επιδρούν σημαντικά στην αναπτυσσόμενη συνάφεια. Τα κυριότερα εξ αυτών των χαρακτηριστικών του υποβάθρου είναι η τραχύτητα, το πορώδες, και η ανοχή του υποβάθρου σε μεταβολές του όγκου των πηγμάτων (κατά την σκλήρυνση και συντήρηση). Ο βαθμός επίδρασης των φυσικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου (πορώδες, ανοχή σε συστολές/διαστολές) στην συνάφεια τελείται υπό όρους: είναι ισχυρότερος στην περίπτωση ενεμάτων με υψηλές τιμές του υδατοτσιμεντοσυντελεστή, τα οποία έχουν συντηρηθεί πλημμελώς.
- (4) Ως προς τις συγκολλητικές ιδιότητες των ενεμάτων, από τις μηχανικές δοκιμές αποδείχθηκε ότι τα ενέματα με τα μέτρια (τριμερείς συνθέσεις) και τα χαμηλά (συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου) μηχανικά χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν εφάμιλλη

αντοχή διεπιφάνειας (έναντι εφελκυσμού και διάτμησης) με εκείνη του ισχυρότερου τσιμεντιτικού ενέματος. Όπως τεκμηριώθηκε από τις παρατηρήσεις της μικροδομής, η εξασφάλιση της ικανοποιητικής συνάφειας με τα υπόβαθρα για τις συνθέσεις τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης, οφείλονται στην πυκνή (λόγω της ποζολανικής αντίδρασης) μικροδομή της διεπιφανειακής ζώνης και εκείνης του πηγματος, καθώς και στην ομοιογενή σύσταση του αρμού του ενέματος. Επί πλέον, υπογραμμίσθηκε η αρνητική επίδραση στην αναπτυσσόμενη συνάφεια του σχηματισμού πρόωρων ρηγματώσεων (λόγω των υψηλών ταχυτήτων αντίδρασης των συστατικών των ενεμάτων), καθώς και των μετέπειτα ρηγματώσεων (λόγω συστολής) στα πηγματα.

- (5) Εξ άλλου, από τις μηχανικές δοκιμές, αναδείχθηκε η εξάρτηση της συνάφειας και από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου σε σχέση με εκείνα των ενεμάτων.
- (6) Σε ότι αφορά τον ρυθμό ανάπτυξης της συνάφειας, οι συνθέσεις που εξετάστηκαν εδώ, παρουσιάζουν διαφορετική εν χρόνω εξέλιξη των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης. Αυτή η διαφορετική εν χρόνω συμπεριφορά που παρουσίασαν οι συνδετικές κονίες, σχετίζεται με την ταυτόχρονη δράση διαφόρων φαινομένων, τα οποία επηρεάζουν ευμενώς (βλ. ενυδάτωση κονιών, ποζολανική αντίδραση) και δυσμενώς (βλ. ενανθράκωση η οποία εξελίσσεται ανταγωνιστικά με την ποζολανική αντίδραση, πρόωμη ρηγμάτωση των πηγμάτων, ρηγματώσεις λόγω συστολής ξήρανσης εξαιτίας των υψηλών τιμών του υδατοτσιμεντοσυντελεστή, αποκολλήσεις από το υπόβαθρο) την συνάφεια και την ανθεκτικότητα της συνάφειας.
- (7) Έτσι, οι τριμερείς συνθέσεις και οι συνθέσεις υδραυλικής ασβέστου, που αναμένεται να είναι φυσικο-χημικά συμβατές με τα αυθεντικά υλικά, καθώς εξασφαλίζουν βελτιωμένες ιδιότητες συνάφειας, θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσουν μια αξιόπιστη επαρκή εναλλακτική έναντι ισχυρότερων τσιμεντιτικών ενεμάτων για την ενίσχυση και επισκευή ιστορικών τοιχοποιιών.

#### *Δοκιμές Διατμήσεως-Καταστατικοί Νόμοι*

- (8) Η προσπάθεια κατάστρωσης εμπειρικών σχέσεων γενικής πρόβλεψης της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμίων ενεμάτων/υποβάθρων, της ολίσθησης για την οποία

επιστρατεύεται αυτή η διατμητική αντοχή και της εγκάρσιας διόγκωσης, κατά τις οποίες θα λαμβάνεται υπόψη η επιρροή την εξεταζομένων παραμέτρων σε αυτά τα μεγέθη, δεν φαίνεται να είναι εφικτή.

- (9) Ωστόσο, δεδομένης της παρατηρηθείσας υψηλής διασποράς και της δράσης παρασιτικών φαινομένων (βλ. συστολοδιαστολές ενεμάτων, αποκολλήσεις των ενεμάτων από το υπόβαθρο, απόμιξη κα.), οι προτεινόμενες εμπειρικές σχέσεις και καταστατικοί νόμοι, παρ' όλο που μοιραίως παρουσιάζουν αποκλίσεις από τα πειραματικά αποτελέσματα, θεωρείται ότι προβλέπουν ικανοποιητικά την συμπεριφορά αυτού του τύπου των διεπιφανειών έναντι διάτμησης.

#### *Αναλυτικό Μέρος*

- (10) Από τις αριθμητικές επιλύσεις που πραγματοποιήθηκαν για τις μέσες τιμές (πειραματικές ή εμπειρικές) των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης, αποδείχθηκε ότι με το προτεινόμενο ακριβές προσομοίωμα [κατά το οποίο αναπαράγονται οι καμπύλες (τ-s) και (τ-w)] και με το φαινομενολογικό προσομοίωμα [κατά το οποίο αναπαράγονται μόνον οι καμπύλες (τ-s)] προσεγγίζεται σε ικανοποιητικό βαθμό η απόκριση των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων έναντι διάτμησης.
- (11) Τέλος, από ορισμένες δοκιμαστικές αριθμητικές επιλύσεις ενός απλού προσομοιώματος δοκιμίου τρίστρωτης τοιχοποιίας, στο οποίο η συνεισφορά της διεπιφανειακής ζώνης ενεμάτων/υποβάθρων έχει ληφθεί υπ' όψιν μέσω του φαινομενολογικού προσομοιώματος, διαφάνηκε ότι το εν λόγω αριθμητικό προσομοίωμα μπορεί να αποτελέσει βάση για μελλοντικές διερευνήσεις αποτίμησης της συμπεριφοράς των ενισχυμένων φερόντων στοιχείων και συνακόλουθα, ολόκληρων κατασκευών.

### 6.3 ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

Από την παρούσα εργασία έχουν προκύψει οι ακόλουθες πρόδρομες δημοσιεύσεις σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια με κριτές, οι οποίες και τεκμηριώνουν την πρωτοτυπία της Διατριβής:

#### *Διεθνή Επιστημονικά Περιοδικά*

- (1) Vintzileou E. and Adami C.-E. 2009. "The Bond Mechanism in Stone- or Brick-to-Grout Interfaces", *Strain*, 45, 5, pp. 400–409.
- (2) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2008, "Interventions to historic masonries: Investigation of the bond mechanism between stones or bricks and grouts", *Materials and Structures*, 41, 2, pp. 255-267.

#### *Εγχώρια και Διεθνή Συνέδρια με κριτές*

- (1) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2010. "The potential of medium and low mechanical properties hydraulic grouts for retrofitting of historic masonries", 8th IMC, Dresden, Germany, pp. 99-108.
- (2) Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2009. "Επεμβάσεις σε ιστορικές τοιχοποιίες: Η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως διεπιφανειών υπαρχόντων υλικών και υδραυλικών ενεμάτων", 2ο Συνέδριο Αναστηλώσεων, Αθήνα, Ελλάδα.
- (3) Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2009. "Συνάφεια μεταξύ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και διαφόρων υποβάθρων", 3ο Εθνικό Συνέδριο Ήπιων Επεμβάσεων για την προστασία των ιστορικών κατασκευών-Νέες τάσεις σχεδιασμού, pp. 475-484.
- (4) Adami C.-E., Vintzileou E. and Moutselis M. 2008. "Shear behaviour of interfaces between masonry units and hydraulic-lime grouts", HMC08 Historical Mortars Conference, Lisbon, Portugal.
- (5) Adami C.-E., Toumbakari E.-E. and Vintzileou E. 2008. "Lime-pozzolan-cement compositions for the repair and strengthening of historic structure", HMC08 Historical Mortars Conference, Lisbon, Portugal.
- (6) Vintzileou E. and Adami C.-E. 2007. "The bond mechanism in stone or brick to grout interfaces", 13th International Conference on Experimental Mechanics, Alexandroupolis, Greece.

- (7) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2007. "The bond mechanism in stone or brick to grout interfaces", 7th International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya, Turkey, pp. 331-338.
- (8) Adami C.-E., Vintzileou E. and Toumbakari E.-E. 2006. "Investigation of the bond mechanism between stones or bricks and grouts", 5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, India, pp. 717-724.
- (9) Αδάμη Χ.-Ε., Βιντζηλαίου Ε., Τουμπακάρη Ε.-Ε., (2006), "Επεμβάσεις σε ιστορικές τοιχοποιίες: Διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ λίθων ή πλίνθων και ενεμάτων", 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, Ελλάδα, Α, pp. 201-212..
- (10) Τουμπακάρη Ε.-Ε., Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2005. "Ιδιότητες και επιτελεστικότητα τριπλών ενεμάτων υδρασβέστου-φυσικής ποζολάνης – τσιμέντου με προσθήκη τεχνητών ποζολανών", 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, pp.141-150.
- (11) Toumbakari E.-E., Malami Ch., Adami Ch. and Vintzileou E. 2005. "Development of lime-pozzolan-cement compositions for the repair and strengthening of historic structures", Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry, Delft, 26-28 January 2005, pp. 362-373.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>. ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Από την άποψη επίτευξης επαρκούς συνάφειας με τα αυθεντικά υλικά θεωρείται ότι, με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας τεκμηριώθηκε η χρήση και η επιτελεστικότητα παρόμοιας φύσης υλικών/συνθέσεων με αυτές που εξετάστηκαν εδώ, για την ενίσχυση ιστορικών τοιχοποιιών.

- (1) Έτσι, και καθώς διεθνώς υπάρχει η τάση για περιορισμό της χρήσης του τσιμέντου στις ιστορικές κατασκευές για λόγους φυσικο-χημικής ασυμβατότητας με τα υφιστάμενα υλικά, φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενη η χρήση συνθέσεων υδρασβέστου-φυσικής ποζολάνης στις οποίες, αντί του τσιμέντου, ως τρίτο υλικό –με την λογική του πρόσθετου υλικού- θα χρησιμοποιηθεί κάποια ποζολάνη υψηλής δραστηριότητας [βλ. για παράδειγμα η πυριπική άχνη ή ο μετακαολίνης] ή βιομηχανικό παραπροϊόν [για πρδ. ο απαλλαγμένος από την αργιλική φάση καολίνης (Mostafa et al. 2001), (Cangiano et al. 2010)] ή η άμορφη κολλοειδής πυρίτια (nanosilica), η οποία τελευταίως χρησιμοποιείται ως πρόσθετο σε σκυροδέματα και κονιάματα τσιμεντοπικής φύσης (Sobolev et al. 2006), (Korany et al. 2010).

Επί πλέον, από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών εφελκυσμού και διάτμησης, καθώς και από την απόπειρα ερμηνείας της συμπεριφοράς των εξεταζομένων διεπιφανειών ανά παράμετρο, φάνηκε ότι υπάρχουν ορισμένα θέματα τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και βελτίωσης. Πιο συγκεκριμένα, όπως έχει αναφερθεί πολλές φορές στην παρούσα εργασία, η διασπορά στα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού και διατμήσεως, μολονότι υψηλή, είναι αναμενόμενη για αυτού του τύπου τις δοκιμές. Μέρος της διασποράς αποδίδεται σε κατασκευαστικές ατέλειες (για πρδ. εκκεντρότητες φορτίων, ορθογωνικότητα δοκιμίων κα.), αλλά και στο ότι η συνάφεια (εφελκυστική και διατμητική αντοχή των διεπιφανειών) είναι μια ευαίσθητη ιδιότητα, η οποία επηρεάζεται από τις τοπικές συνθήκες (για πρδ. παρουσία ασυνεχειών στα υπόβαθρα, επιφανειακή τραχύτητα υποβάθρων, συνθήκες υγρασίας, σχηματισμός μικρορηγματώσεων στις διεπιφάνειες των σύνθετων δοκιμίων κα.). Πράγματι, η διασπορά που



οφείλεται στις ιδιότητες των πορωδών υποβάθρων, είναι ιδιαίτερα έκδηλη για πρδ. στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων από οπτόπλινθο που υποβλήθησαν σε εφελκυσμό: ο συντελεστής μεταβλητότητας σε πανομοιότυπα δοκίμια που αστόχησαν στο υπόβαθρο προσεγγίζει το 40% (για πρδ. με τα ενέματα G2 και G4 στις 90 ημέρες). Αντιθέτως, στην περίπτωση των σύνθετων δοκιμίων από μάρμαρο, η διασπορά σχετίζεται με την επίδραση υποβάθρου στις φυσικο-μηχανικές ιδιότητες του αρμού (συστολή, αποκόλληση), ενανθράκωση του αρμού κτλ., η επιρροή της οποίας ωστόσο δεν είναι εφικτό να ποσοτικοποιηθεί. Μια ενδιάμεση κατάσταση είναι η περίπτωση των δοκιμίων του τραβερτίνη, όπου η παρατηρηθείσα διασπορά σχετίζεται περισσότερο με την ποικιλία στις ιδιότητες του υποβάθρου [επιφανειακή μικροτραχύτητα, πορώδες (ανοχή στις συστολο/διαστολές), μηχανικά χαρακτηριστικά]. Παρεμφερή στοιχεία, τα οποία επιβεβαιώνουν αυτήν την υπόθεση, δύνανται να βρεθούν και στα αποτελέσματα των δοκιμών διατμήσεως. Βεβαίως, σε μια τέτοιου είδους και έκτασης συστηματική πειραματική διερεύνηση δεν έχει νόημα ο έλεγχος των ιδιοτήτων των υποβάθρων, και ο περιορισμός της επίδρασή τους στις ιδιότητες του αρμού των ενεμάτων. Αντιθέτως, φαίνεται να είναι επιβεβλημένη η εφαρμογή βελτιώσεων:

- (2) με στόχο τον περιορισμό της επιρροής των συνθηκών συντήρησης στον αρμό (όπως για πρδ. της ενανθράκωσης και της συστολής), η επίδραση των οποίων φάνηκε να είναι σημαντική ιδιαίτερος στην εν χρόνω ανάπτυξη της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας και της αντοχής συνάφειας. Ας σημειωθεί ότι, για τον περιορισμό της δράσης της ενανθράκωσης προτείνεται η συντήρηση των σύνθετων δοκιμίων σε περιβάλλον αζώτου.
- (3) Στην ίδια κατεύθυνση βρίσκονται βελτιώσεις που σχετίζονται με την μέθοδο παρασκευής των ενεμάτων, για πρδ. με την χρήση αναμικτήρων υψηλού στροβιλώδους ή με την μέθοδο των υπερήχων, [με τις οποίες θα επιτευχθούν μειώσεις στις τιμές του υδατοσιμεντοσυντελεστή (και άρα της συστολής), καθώς και των φαινομένων απόμιξης] και τον τρόπο εισαγωγής των ενεμάτων (για πρδ. εισαγωγή των ενεμάτων υπό πίεση) στα σύνθετα δοκίμια (για την μείωση της παρουσίας μεγάλου μεγέθους πόρων στους αρμούς).
- (4) Εξ άλλου, καθώς τα φαινόμενα συστολής στα ενέματα αναμένεται, έτσι και αλλιώς, να είναι υψηλά, φαίνεται ελκυστική η διερεύνηση της χρήσης στα ενέματα επεμβάσεως υλικών

περιορισμού της συστολής ξήρανσης (shrinkage reducing agents) τα οποία εφαρμόζονται ήδη σε σκυροδέματα [για πρδ. (Weiss et al. 2002), (Sant et al. 2010)].

- (5) Πάντως, καθώς η διασπορά είναι υψηλή, φαίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή περισσότερων δοκιμών ανά εξεταζόμενη παράμετρο και, ενδεχομένως, η αξιοποίηση των εξαγόμενων στοιχείων σε επίπεδο ελάχιστων και μεγίστων τιμών.
- (6) Με τις παραπάνω βελτιώσεις, καθώς και από την λεπτομερέστερη μελέτη των διεπιφανειών (συμπεριλαμβανομένων και εκείνων της υδραυλικής ασβέστου), θεωρείται ότι θα δοθούν ερμηνείες σχετικώς με τις αποκλίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων της μικροδομής και των μηχανικών δοκιμών [για πρδ. σε μικροκλίμακα τα ενέματα G1 και G4 εμφανίζουν καλύτερη εικόνα (ακόμα και στην μικρότερη ηλικία), ενώ σε επίπεδο εφελκυστικής και διατμητικής αντοχής συνάφειας η σύνθεση G2 αναπτύσσει υψηλότερες τιμές συνάφειας]. Από την άλλη, αναμένεται να εξηγηθούν οι εν χρόνω πτώσεις της αντοχής συνάφειας των σύνθετων δοκιμών που αστόχησαν στην διεπιφάνεια (για πρδ. G2/μαρμάρου) και της καμπτικής αντοχής του ενέματος G2, καθώς και να αξιολογηθεί η επίδραση της ενανθράκωσης των πηγμάτων στην συνάφεια.
- (7) Εξ άλλου, καθώς αποδείχθηκε ότι η τραχύτητα του υποβάθρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην συνάφεια που αναπτύσσεται μεταξύ των ενεμάτων και των υποβάθρων που διερευνήθηκαν εδώ, φαίνεται να είναι απαραίτητη μια ποσοτικοποίηση της τραχύτητας (για πρδ. με την τεχνική απεικόνισης με ακτίνες λέιζερ) και συσχέτισή της με την αντοχή συνάφειας. Βεβαίως, δεν πρέπει να αγνοηθεί το γεγονός ότι, δεδομένης της μεγάλης ποικιλίας στους τρόπους και στα υλικά δομήσεως, της ανομοιογένειας και μη δυνατότητας ελέγχου των συνθηκών που επικρατούν στο εσωτερικό μιας τριστρωτης τοιχοποιίας, για το αντικείμενο της ενίσχυσης μιας τοιχοποιίας με ενέματα η λεπτομέρεια προφανώς δεν έχει τόση σημασία. Αντιθέτως, μεγαλύτερη εξάρτηση της συμπεριφοράς των ενισχυμένων τοίχων αναμένεται από τα μέσα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών.
- (8) Όπως φάνηκε από την βιβλιογραφική αναδρομή, απουσιάζουν πειραματικά στοιχεία για τις διεπιφάνειες ενεμάτων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, ενώ για τις διεπιφάνειες των κονιαμάτων αναζητήθηκε μόλις μια εργασία. Δεδομένης της

κρίσιμης δράσης του σεισμού στην χώρα μας, κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών των διεπιφανειών για ανακύκλιση της διατμητικής έντασης.

Τέλος, μένει να διερευνηθεί, πειραματικά και αναλυτικά, η εφαρμογή ανάλογης φύσης υλικών ενίσχυσης σε μεγαλύτερα στοιχεία (δοκίμια τοιχοποιίας), προκειμένου να αποτιμηθεί η συμπεριφορά των ενισχυμένων φερόντων στοιχείων και, συνακόλουθα, ολόκληρων των κατασκευών έναντι διαφόρων δράσεων εντός και εκτός του επιπέδου της τοιχοποιίας, καθώς και για δυναμικές φορτίσεις. Καθώς η διασπορά στις ιδιότητες των υλικών τοιχοποιίας, όπως επίσης και εκείνη στα χαρακτηριστικά των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων, είναι αρκετά υψηλή, η αναλυτική διερεύνηση οφείλει να περιλαμβάνει αφενός, έναν έλεγχο ευαισθησίας των διαφόρων παραμέτρων και αφετέρου, να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο τόσο μέσων, όσο και ακραίων (άνω και κάτω) τιμών για τα χαρακτηριστικά της διεπιφανειακής ζώνης. Από την παραπάνω διερεύνηση αναμένεται να διαπιστωθεί ο βαθμός επιρροής της διασποράς των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης στην μηχανική απόκριση των τοιχίσκων, και, επομένως, αν ή/και κατά πόσον αυτή η διασπορά αμβλύνεται σε επίπεδο δομικού στοιχείου τοιχοποιίας.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

**A-1: Διεπιφάνειες σκυροδεμάτων**

**A-2: Διεπιφάνειες αδρανών/σκυροδεμάτων,**

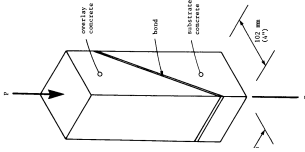
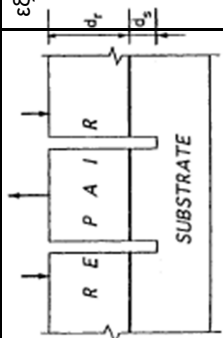
**οπτοπλίνθων/κονιαμάτων και**

**υποβάθρων/ενεμάτων**

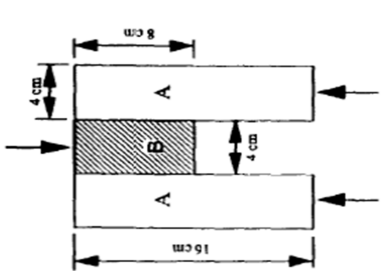
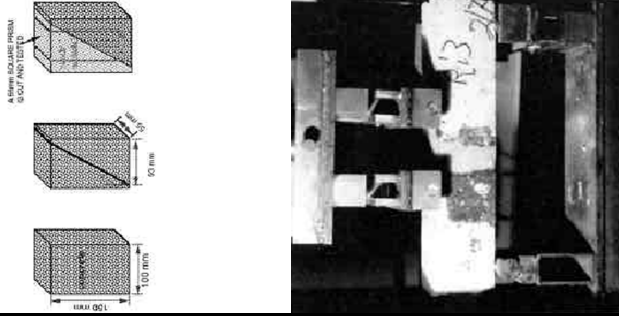
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βιβλιογραφική Αναδρομή σε Θέματα Συνάφειας **A2**

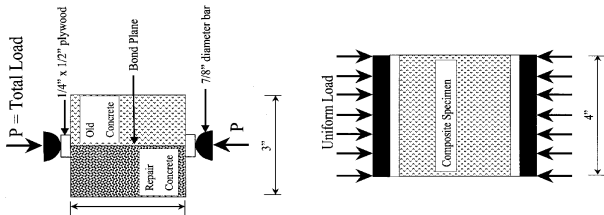
## ***A.1 ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ***

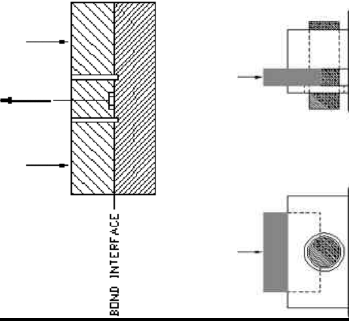
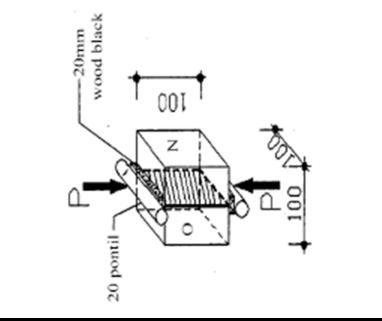
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βιβλιογραφική Αναδρομή σε Θέματα Συνάφειας **A4**

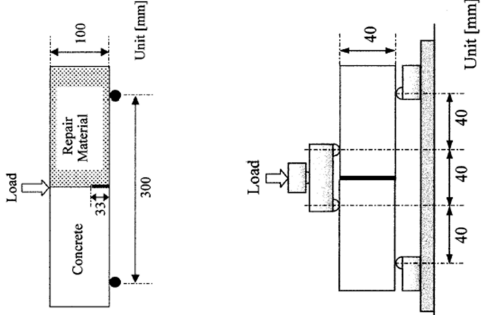
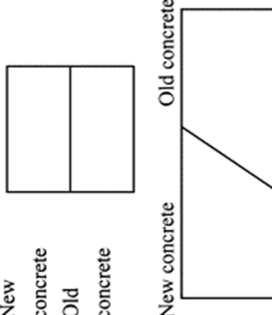
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Naden et al. 1986) παράθεση (Austin et al. 1999)		εξόλκευση	0.6÷1.8		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τραχύτητα (μη άρτιας) επιφάνειας (λεία ή ιδιαίτερος τραχεία)</li> <li>■ προετοιμασία υποβάθρου (με ή χωρίς επάλειψη με ένεμα)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ η αύξηση της τραχύτητας σε μια μη άρτια επιφάνεια μειώνει την εφελκυστική αντοχή συνάφειας μεταξύ πάλιου και νέου κονιάματος έως και 50%. Μικρή μείωση (της τάξης του 10%) παρατηρείται για την διατημητική αντοχή συνάφειας.</li> <li>■ η επάλειψη με ένεμα του υποβάθρου αυξάνει έως 50 και 30% την εφελκυστική και διατημητική αντοχή συνάφειας, αντιστοίχως.</li> </ul>
(Wall et al. 1988)		Λοξή θλίψη	28 ημέρες 31.5÷46.0 cv=1.7÷6.7 %	100×200	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ συνδετικό κονίαμα (C:S=1:1 κ.β.)</li> <li>■ λόγος νερού προς παιμέντο συνδετικού κονιάματος (0.32±0.40)</li> <li>■ πάχος αρμού συνδετικού κονιάματος (3.2±6.4cm)</li> <li>■ συνθήκες υγρασίας υποβάθρου (διαβροχή) κατά την διάστρωση του υλικού επισκευής</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ η παρουσία ή μη συνδετικού κονιάματος έχει μικρή επίδραση (θετική) στις τιμές της συνάφειας</li> <li>■ όχι σαφής η επίδραση, ωστόσο επιθυμητές φαίνεται να είναι οι ενδιάμεσες τιμές</li> <li>■ αύξηση του πάχους του αρμού κονιάματος μειώνει την τιμή της συνάφειας κατά 23%.</li> <li>■ αν και ελαφρώς θετική η επίδραση, εντούτοις, δεν είναι κρίσιμες για αυτά τα υλικά</li> </ul>
(Austin et al. 1995)		εξόλκευση	0.27÷1.76 (τραχύτητα) 2.77 ÷2.98 (συνθήκες υγρασίας)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ συνθήκες επιφάνειας διάστρωσης: α)τραχύτητα, αρτιότητα και β)υγρασία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ α)με την εξασφάλιση της αρτιότητας μιας επιφάνειας, η αύξηση της τραχύτητας μιας λείας επιφάνειας αυξάνει την συνάφεια (από 0.27 σε 1.54MPa).</li> <li>■ Περαιτέρω αύξηση της τραχύτητας έχει μικρή επίρροη στην συνάφεια (από 1.54MPa για ελαφρώς τραχημένες επιφάνειες σε 1.76MPa για επιφάνειες με μεγάλη τραχύτητα).</li> <li>■ β) Μικρή η επίδραση των διαφόρων συνθηκών υγρασίας στην συνάφεια: μεγαλύτερες τιμές συνάφειας προέκυψαν για κορεσμένο υπόβαθρο με στεγνή επιφάνεια διάστρωσης. Ωστόσο, δεν επαρκεί να λαμβάνονται υπόψιν μόνον οι επιφανειακές συνθήκες υγρασίας, αλλά και ο τρόπος που το υπόβαθρο επηρεάζει τον ρυθμό και την κατεύθυνση απορρόφησης του νερού (εξαρτάται και από το υλικό επισκευής).</li> </ul>



ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Pu-Woei et al. 1995)		διάτμηση (απουσία θλιπτικού φορτίου)	28 ημέρες χωρίς ίνες 0.22±0.84 cv=2±13% με ίνες 0.63±1.44 cv=3±10%	80×40	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ υλικό επισκευής (προσθήκη ινών άνθρακα στο υλικό επισκευής και άλλων προσθέτων όπως πυριτική παυτάλη, λάτεις κτλ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ αύξηση των τιμών συνάφειας με την προσθήκη ινών άνθρακα, η οποία αποδίδεται στην μείωση της συστολής ξήρανσης στο υλικό επισκευής. Ωστόσο η συνάφεια μεταξύ νέου και παλιού σκυροδέματος εξαρτάται, πέραν της συστολής ξήρανσης, από την πρόσφυση του υλικού επισκευής.</li> </ul>
(Abu-Tair et al. 1996)		λοξή θλίψη  κάμψη 4 σημείων	28 ημέρες 16.7±24.5 cv=8±17%  2.63±4.01 cv=8±14%	55×100  100×100	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τραχύτητα</li> <li>■ επάλειψη ή μη του υποστρώματος με τσιμεντένιο προ της διάστρωσης του υλικού επισκευής (για δοκιμές λοξής θλίψης μόνον)</li> <li>■ τύπος φόρτισης (ανακυκλούμενη ή στατική)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ με την αύξηση της τραχύτητας της διεπιφάνειας αυξάνονται οι τιμές της συνάφειας έως 47% και 52% για τις δοκιμές λοξής θλίψης και κάμψης, αντιστοίχως. Η δοκιμή λοξής θλίψης αναδεικνύει περισσότερο τις διαφορές στην τραχύτητα του υποβάθρου και η δοκιμή κάμψης του υλικού επισκευής. Στις δοκιμές λοξής θλίψης, η αστοχία της διεπιφάνειας παρατηρείται για σχετικώς λείες διεπιφάνειες.</li> <li>■ υψηλότερες τιμές συνάφειας (κατά 15%) όταν της διάστρωσης του υλικού επισκευής προηγείται επάλειψη με τσιμεντένιο. Προσοχή: ισχύει για περιπτώσεις μικρής τράχυνσης, για έντονη τράχυνση δεν φαίνεται να επιδρά.</li> <li>■ μείωση της συνάφειας κατά 50% με την ανακύκλιση.</li> </ul>

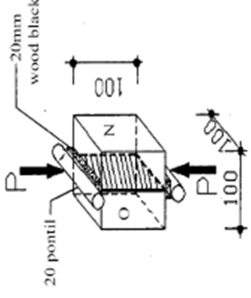

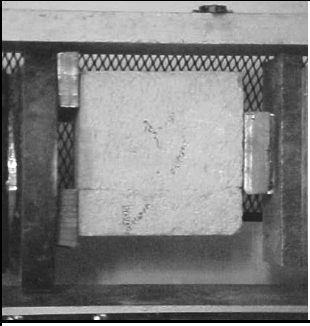
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	f <sub>bond</sub> [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Cabrerá et al. 1997)		λοξή θλίψη	28 ημέρες 12.5 ± 14.2	BS 6319 (part 4)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ συνθήκες συντήρησης (θερμοκρασία υγρασία)</li> <li>■ υλικό επισκευής (σκυρόδεμα με ή χωρίς ιπτάμενη τέφρα (ποσοστό αντικατάστασης 30%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ πτώση της τιμής συνάφειας για ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας και μείωσης της σχετικής υγρασίας.</li> <li>■ αμελητέα αύξηση (3%) της συνάφειας με την προσθήκη ιπτάμενης τέφρας: η αστοχία δεν παρουσιάσθηκε στην διεπιφάνεια, λόγω καλής πρόσφυσης και συμβατότητας (από άποψης μέτρου ελαστικότητας) των δυο υλικών.</li> </ul>
(Geissett et al. 1999)		διόρρηξη	56 ημέρες 2.14 ± 3.11 (Y) cv=12.2% 1.98 ± 2.83 (Y/YE) cv=12.5%	76 x 102	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ηλικία δοκιμής (7, 28 και 56 ημέρες)</li> <li>■ συνθήκες υγρασίας υποβάθρου προ της διάστρωσης του υλικού επισκευής</li> <li>■ ανθεκτικότητα (κύκλοι ύγρυνασης/ξήρανσης)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ αύξηση των τιμών συνάφειας με τον χρόνο συντήρησης</li> <li>■ για υγρό υπόβαθρο η συνάφεια είναι μικρότερη κατά 20% σε σχέση με την συνάφεια για στεγνό υπόβαθρο.</li> <li>■ πιο ανθεκτικά τα δοκίμια που κατά την παρασκευή τους το υπόβαθρο ήταν στεγνό. Μείωση των τιμών της συνάφειας για υγρό υπόβαθρο κατά 16%.</li> </ul>

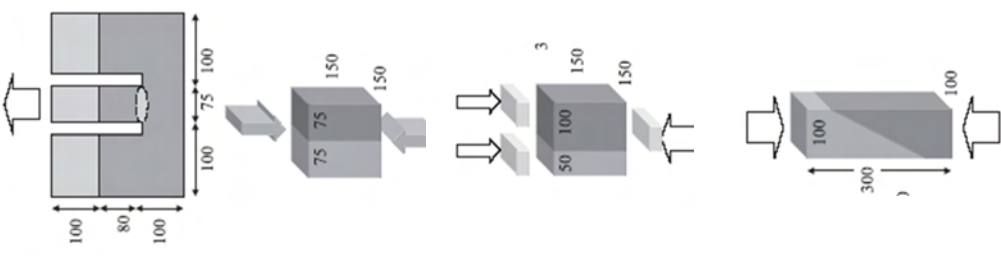
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Austin et al. 1999)		λοξή θλίψη	28 ημέρες 26.0±50.4	55x100	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τραχύτητα επιφάνειας</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ για σχετικώς μικρές έως μέσες τιμές της τραχύτητας (εκφρασμένη ως δείκτης SRI), η αστοχία εμφανίζεται στην διεπιφάνεια νέου και παλιού σκυροδέματος. Με την αύξηση της τραχύτητας, η αστοχία μεταφέρεται στο υλικό.</li> <li>■ πιο μεγάλη η συνάφεια για τραχείς επιφάνειες</li> </ul> <p>Για την περιγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών μιας διεπιφάνειας, προτείνεται η κατασκευή περιβάλλουσας αστοχίας (Robin and Austin, 1995)</p>
(Delatte et al. 2000)		εξόλκευση	2.6±3.7	102	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ωρίμανση σκυροδέματος (συνάρτηση των συνθηκών συντήρησης, θερμοκρασίας και χρόνου ενυδάτωσης)</li> <li>■ συνθήκες συντήρησης (στον ήλιο ή στην σκιά)</li> <li>■ λόγος νερού προς συνδετική κονία (από 0.30 σε 0.54) (σκυροδέμα τύπου V, με Ιπτάμενη Τέφρα σε ποσοστό 35%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ αύξηση με την ωρίμανση</li> <li>■ η ιδιότητα της συνάφειας είναι πιο ευαίσθητη στις συνθήκες συντήρησης από ότι η εφελκυστική ή θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [1]</li> <li>■ μείωση της τιμής της συνάφειας με την αύξηση του λόγου νερού προς συνδετική κονία (κατά 18% και 28% για τις δοκιμές εξόλκευσης και διάτμησης αντιστοίχως)</li> </ul>
(Li et al. 2001)		διάρρηξη	28 ημέρες 2.17±3.2	100x100 (ενδιαμέσως συνδετικό κόνιαμα πάχους 2±3mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ υλικό επισκευής (συνδετική κονία χωρίς ή με ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό αντικατάστασης 25%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ μεγαλύτερες τιμές συνάφειας για τα δοκίμια στα οποία έχει χρησιμοποιηθεί ιπτάμενη τέφρα.</li> </ul> <p>Παρατηρήσεις μικροδομής και ορυκτολογικής σύστασης της διεπιφάνειας (SEM και EDS): στην περίπτωση δοκίμιων με ιπτάμενη τέφρα, η διεπιφανεϊκή ζώνη είναι πιο συμπυκνή και απουσιάζουν κρύσταλλοι CH ή επιτριγκίτη. Αντιθέτως, απουσία ιπτάμενης τέφρας, η διεπιφανεϊκή ζώνη είναι πιο πορώδης και πλούσια σε μεγάλους κρυστάλλους (λόγω wall effect, τοπικά αυξάνεται ο λόγος νερού προς συνδετική κονία).</p>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Minoru et al. 2001)		κάμψη 3 σημείων (αρμός με εγκοπή)	7 ημέρες 0.69÷4.1	100×67 κονίαμα με κονίαμα	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τραχύτητα</li> <li>■ τραχύτητα</li> <li>■ διαστάσεις διεπιφάνειας</li> <li>■ υλικό επισκευής</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ θεματική αύξηση της συνάφειας με την τραχύτητα (από 0.69 MPa σε 4.1 MPa). Η εξέλιξη της συστολής και της ρηγμάτωσης στο υλικό επισκευής επηρεάζεται από τις συνθήκες τραχύτητας του υποβάθρου και τις ιδιότητες του υλικού επισκευής.</li> <li>(αφορούν ρητίνες)</li> <li>■ μεγαλύτερη συνάφεια για δοκίμια με τραχεία επιφάνεια.</li> <li>■ μείωση των τιμών συνάφειας με την αύξηση των απολύτων διαστάσεων της διεπιφάνειας.</li> <li>■ η καμπτική αντοχή συνάφειας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υλικού επισκευής (τύπος άμμου-θραυστή η ποταμίσια)</li> </ul>
(Xiong et al 2002)		διάρρηξη  λοξή θλίψη	28 ημέρες 2.0÷3.21 cv<4.5%	100×100 (ενδια- μέσως συνδε- τικό κονίαμα πλάτους 2÷3mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ παρουσία αδρανών στο συνδετικό κονίαμα</li> <li>■ τραχύτητα (δοκιμές διάρρηξης)</li> <li>■ υλικό επισκευής (συνδετική κονία χωρίς ή με ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό 15%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ δοκιμές διάρρηξης: παραπλήσιες τιμές συνάφειας για τα δοκίμια με ή χωρίς αδρανή. Δοκιμές λοξής θλίψης: διαφορές της τάξης του 15%</li> <li>■ πιο μικρές τιμές συνάφειας για επιφάνειες που έχουν προκύψει από δοκιμή (δλδ. με μεγάλη τραχύτητα) σε σχέση με εκείνες που έχουν τραχυνθεί μηχανικά.</li> <li>■ υψηλότερες τιμές για την σύνθεση με την ιπτάμενη τέφρα: αποδίδεται στην ποζολανική δράση και της δράσης της τέφρας ως μικροφιλλερ. Ο μηχανισμός συνάφειας αποδίδεται στην ανάπτυξη μοριακών δυνάμεων, μηχανικής αλληλεμπλοκής και χημικών αντιδράσεων.</li> <li>■ Παρατηρήσεις SEM και EDS: βλ. (Li et al. 2001)</li> </ul>

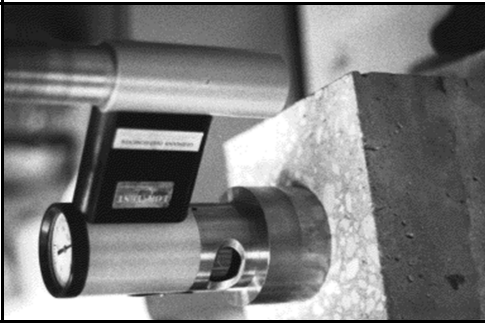
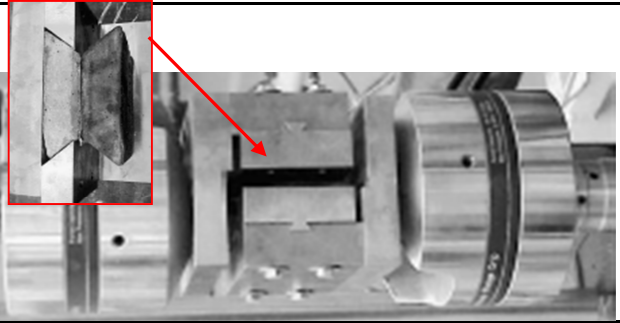
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{b,ond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		<p>άμεσος εφελκυσμός</p> <p>διάτμηση υπό διάφορες γωνίες</p>	<p>0.54±1.01 (απλά δοκίμια σκυρ/τος)</p> <p>0.22±0.46 (σύνθετα δοκίμια σκυρ/τος)</p> <p>0.12±0.56 (σύνθετα δοκίμια με λίθο)</p> <p>0.79±2.79</p>	<p>λόγος μήκους προς πλάτους =2</p> <p>κονίαμα με σκυρόδεμα ή λίθο</p> <p>λίθο (γρανίτης)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ απόλυτες διαστάσεις διεπιφάνειας</li> <li>■ υλικό επισκευής (με πυριτική πατάλη όλεις οι συνθέσεις αλλά με διαφορές στον λόγο συνδετικής κονίας προς αδρανή)</li> <li>■ υπόβαθρο (σκυρόδεμα ή λίθος) και τραχύτητά του</li> <li>■ γωνία επιβολής φορτίου θ (δοκίμης διάτμησης)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στις τιμές της αναπτυσσόμενης εφελκυστικής αντοχής συνάφειας και μπορούν να αγνοηθούν.</li> <li>■ υψηλότερες τιμές συνάφειας για λόγο συνδετικής κονίας προς αδρανή ίσο με 1 προς 3 (μετά 1:2 και τέλος 1:4). Το εν λόγω κονίαμα έχει την υψηλότερη θλιπτική αντοχή. Προκύπτει ότι το υλικό επισκευής (κονίαμα) επηρεάζει την συνάφεια περισσότερο από τον τύπο του υποβάθρου.</li> <li>■ γενικώς, αύξηση της τραχύτητας του υποβάθρου αυξάνει την συνάφεια. Για τις δοκιμές εφελκυσμού, η κατάταξη με αύξουσα σειρά είναι: επιφάνεια διάστρωσης σκυροδέματος, επιφάνεια σκυροδέματος που έχει προέλθει από κοπή, λίθος με επιφάνεια που έχει τραχυνθεί μηχανικά (τα προϊόντα ενυδάτωσης διεισδύουν στους πόρους και εππυγχάνεται η μηχανική αλληλεμπλοκή) και τέλος επιφάνεια σκυροδέματος που έχει τραχυνθεί μηχανικά.</li> <li>■ με την αύξηση της γωνίας θ αυξάνεται η συνάφεια (λόγω «shielding effect»)</li> </ul>

(Apra Rao et al. 2002)

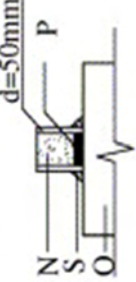
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b×l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Li 2003)	 	<p>διάρρηξη</p> <p>εξόλκευση</p>	<p>28 ημέρες</p> <p>1.9÷2.9</p> <p>365 ημέρες</p> <p>3.2÷4.5</p> <p>(από ιστό-γραμμο)</p> <p>7 ημέρες</p> <p>2.0÷2.3</p> <p>28 ημέρες</p> <p>2.4÷3.3MPa</p> <p>120 ημέρες</p> <p>3.0÷3.5MPa</p> <p>365 ημέρες</p> <p>3.6÷3.8MPa</p> <p>1095 ημέρες</p> <p>3.6÷4.2MPa</p>	<p>100×100</p> <p>(ενδια-μέσως, συνδε-τικό κονίαμα πάχους 2÷3mm)</p> <p>50</p>	<p>ηλικία δοκιμής</p> <p>υλικό επισκευής (σκυρόδεμα με ή χωρίς ιπτάμενη τέφρα) και τύπος συνδετικού κονιάματος (με ή χωρίς ιπτάμενη τέφρα 20%)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ αύξηση τιμών συνάφειας με τον χρόνο</li> <li>■ η αύξηση είναι μεγαλύτερη για τις συνθέσεις με την ιπτάμενη τέφρα (ως υλικό επισκευής ή ως συνδετικό κονίαμα) λόγω της ποζολανικής αντίδρασης. Ανεξάρτητα από τον τύπο του υποβάθρου, στα σύνθετα δοκίμια που δεν περιέχουν ιπτάμενη τέφρα, η αστοχία εμφανίζεται στην διεπιφάνεια, ενώ σε εκείνα με ιπτάμενη τέφρα και για μεγαλύτερες ηλικίες, η αστοχία εμφανίζεται στο υπόβαθρο.</li> <li>■ Παρατηρήσεις: μικροδομής και ορυκτολογικής σύστασης της διεπιφάνειας (SEM &amp; EDS): η προσθήκη της IT βελτιώνει την μικροδομή της διεπιφάνειας (ύπαρξη CSH, απουσία CH &amp; ετρινγκίτη) και μειώνει την συστολή ξήρανσης. Στα δοκίμια με σκυρόδεμα, διαπιστώνεται η παρουσία CSH (όχι σε τόσο πυκνή δομή), CH και ετρινγκίτη. Ρηγμάτωση λόγω συστολής.</li> </ul>
(Momaey et al. 2004)		<p>απευθείας διάτμηση (διπλέτα)</p>	<p>14 ημέρες</p> <p>1.54 ÷2.66</p> <p>28 ημέρες</p> <p>2.16÷3.81</p> <p>cn=6÷13%</p>	<p>150×150</p> <p>200×200</p> <p>(ενδια-μέσως, συνδε-τικό κονίαμα πάχους 3mm)</p>	<p>απόλυτες διαστάσεις διεπιφάνειας</p> <p>τραχύτητα</p> <p>υλικό επισκευής (με ή χωρίς πυριτική παπιάλη σε ποσοστό που κυμαίνεται από 0% έως 10%)</p> <p>μέγιστη διάμετρος κόκκου αδρανών στο υλικό επισκευής</p> <p>ηλικία δοκιμής</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ οι διεπιφάνειες με την μικρότερη διάσταση έδωσαν υψηλότερες τιμές της αντοχής συνάφειας κατά 15%</li> <li>■ αύξηση της αντοχής συνάφειας με την αύξηση της τραχύτητας (κατά 19%). Η επιρροή είναι πιο σημαντική για τα υλικά που έχουν μικρότερη πρόσφυση, όπως είναι τα τσιμεντοκινικά υλικά.</li> <li>■ γενικώς, αύξηση της αντοχής συνάφειας όταν χρησιμοποιούνται ισχυρότερα υλικά επισκευής. Θετική είναι η επίδραση της προσθήκης πυριτικής παπιάλης (βέλτιστο ποσοστό αντικατάστασης (ισο με 7%) διδει αύξηση της συνάφειας κατά 25%).</li> <li>■ αμελητέα η αύξηση της συνάφειας με την αύξηση της μέγιστης διαμέτρου των κόκκων των αδρανών.</li> <li>■ αύξηση της συνάφειας με την ηλικία: ο ρυθμός αύξησης είναι πιο έντονος στις 14 ημέρες (σχετίζεται με την πυριτική παπιάλη)</li> </ul>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		εξόλκευση	<p>28 ημέρες</p> <p>1.18±1.53</p>	75 (ενδια- μέσως, συνδε- τικό κόνιαμα πλάχους 3mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ υλικό επισκευής και τύπος συνδετικού κονιάματος (με ή χωρίς πυριτική παπιάλη σε ποσοστό που κυμαίνεται από 0% έως 10%)</li> <li>■ τραχύτητα (μικρή και μεγάλη)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ αύξηση της αντοχής συνάφειας με την προσθήκη πυριτικής παπιάλης (βέλτιστο ποσοστό αντικατάστασης ίσο με 7%). Μεγαλύτερη η βελτίωση για τις δοκιμές διάτμησης.</li> <li>■ αύξηση της αντοχής συνάφειας με την αύξηση της τραχύτητας. Η επιρροή είναι πιο σημαντική στην περίπτωση των δοκιμών διάτμησης, καθώς και στα υλικά που έχουν μικρή πρόσφυση, όπως είναι τα τσιμεντοπυκνωτικά υλικά.</li> </ul>
		διάρρηξη	1.19±1.64	150x150		
		απευθείας διάτμηση	2.4±3.66	150x150		
		λοξή θλίψη	8.12±13.02	100x200		

(Momyez et al. 2005)

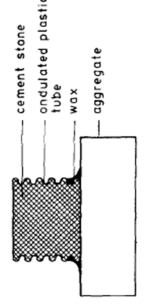
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Julio et al. 2004)		εξόλκευση  λοξή θλίψη	1.02-2.65 cv= 6.4÷13.5%  1.3÷14.13 cv= 8.5÷33.85%	75  100x200	<ul style="list-style-type: none"> <li>σε πρώτη φάση διερεύνησαν την επίδραση της θλιπτικής αντοχής του υλικού επισκευής</li> <li>επίδραση της τραχύτητας στην συνάφεια (μηχανική τράχυνση, αμμοβολή κα.) και της προϋγράνσης</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>όταν αυξάνεται η θλιπτική αντοχή του υλικού επισκευής, η αστοχία του σύνθετου δοκιμίου έναντι λοξής θλίψης ως μονολιθική.</li> <li>υψηλότερη συνάφεια για την τράχυνση με αμμοβολή λόγω της εκτεταμένης μικροτραχύτητας (όχι μεγάλα βέθη). Η προϋγράνση για αυτές τις διεπιφάνειες δεν παίζει ρόλο.</li> </ul>
(Kay et al. 2005)		απειθείας διάτμηση	1.50÷2.40 cv= 8÷12%	76x102 (ενδια- μέσως υλικό επάλει- ψης)	<ul style="list-style-type: none"> <li>τράχυνση (χημική ή μηχανική)</li> <li>υλικό επισκευής και τσιμεντένιο επάλειψης [σκυρόδεμα με πυριτική παιτάλη (8%), πυριτική παιτάλη (8%) και ιπτάμενη τέφρα (13%) ή ίνες (0.5%)]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>υψηλότερες τιμές στην περίπτωση της μηχανικής προετοιμασίας του υποβάθρου. Όπως και Wells [7].</li> <li>η προσθήκη της ιπτάμενης τέφρας αυξάνει κατά την αντοχή συνάφειας σε διάτμηση (αποδίδεται στην πρόσθετη –πέραν της πυριτικής παιτάλης– ποζολανική δράση της ιπτάμενης τέφρας του τσιμεντένιματος). Τονίζεται ότι οι υψηλότερες τιμές συνάφειας δεν παρουσιάζονται συστηματικά στο υλικό επισκευής με την υψηλότερη θλιπτική αντοχή.</li> </ul>

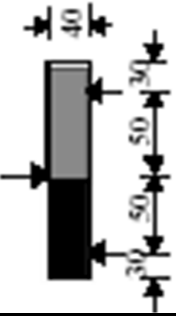


ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		εξόλκευση	$28$ ημέρες $0.56 \pm 1.36$ $cv = 7 \div 12\%$	50 σκυρό- δεμα ή λιθος με κονίαμα (ενδια- μέσως, συνδε- τικό κονίαμα πάχους 3mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ υλικό υποβάθρου (σκυρόδεμα ή γρανίτης) χωρίς τράχυνση</li> <li>■ τύπος συνδεδετικού κονιάματος (με ή χωρίς ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό αντικατάστασης ίσο με 10%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ανάπτυξη υψηλότερων τιμών συνάφειας στο υπόβαθρο από σκυρόδεμα (της τάξης του 50%). Αποδίδεται στην ανάπτυξη δυνάμεων Van der Waals σε συναφή υλικά.</li> <li>■ η επιρροή στις τιμές της συνάφειας είναι της τάξης του 20% (υψηλότερες τιμές για την σύνθεση με IT).</li> </ul> <p><u>Παρατηρήσεις_μικροδομής-SEM:</u>                      Στην διεπιφάνεια υποβάθρων και κονιάματος χωρίς ιπτάμενη τέφρα παρατηρήθηκαν αποκολλήσεις του κονιάματος λόγω συστολής ξήρανσης και μεγάλοι κρύσταλλοι πορτλανδίτη και επιγκίτη (αποδίδεται στην αύξηση του νερού στην διεπιφανειακή ζώνη (που οδήγησε τοπικά σε υψηλό πορώδες)).</p>

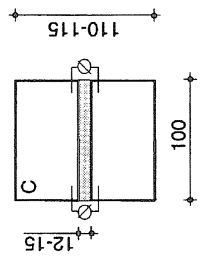
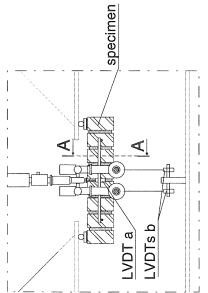
**A.2 ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ/ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ-  
ΤΩΝ, ΠΛΙΝΘΩΝ/ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑ-  
ΘΡΩΝ/ΕΝΕΜΑΤΩΝ**

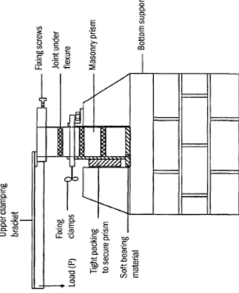
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βιβλιογραφική Αναδρομή σε Θέματα Συνάφειας **A16**

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b×l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		<p>εξόλκευση</p> <p>σε συνδυασμό με μελέτη της μικροδομής (δοκιμές XRD-EDAX-SEM)</p>	<p>28 <u>ημέρες</u> 0.45±0.82</p> <p>80 <u>ημέρες</u> 0.55±1.30</p> <p>≥80 <u>ημέρες</u> Πτώση στις μετρούμενες τιμές για πυριτικά αδρανή</p>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος συνδετικής κονιάς (τσιμέντο πόντλαντ ή σκυροτσιμέντο)</li> <li>■ τύπος υποβάθρου (διάφοροι τύποι πυρρικών αδρανών και ασβεστόλιθος με ή χωρίς τράχυνση)</li> <li>■ ηλικία</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε σύνθετα δοκίμια με χαλαζιακά αδρανή. Αν και η εξέλιξη της εφελκυστικής αντοχής των δύο τύπων τσιμέντου είναι παρόμοια, ωστόσο, σαφώς υψηλότερες τιμές εφελκυστικής αντοχής συνάφειας αναπτύσσονται για το τσιμέντο πόντλαντ.</li> <li>■ η αντοχή συνάφειας εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο του υποβάθρου. Έτσι, στα πυρρικά αδρανή η συνάφεια οφείλεται στην ανάπτυξη φυσικών και μηχανικών δυνάμεων. Υψηλότερη συνάφεια αναπτύσσεται για υποβάθρα από χαλαζία, μετά από καλοή, μετά από άστριους και τέλος για τον γρανίτη. Διαφορές επίσης παρατηρούνται αναλόγως της τραχύτητας. Στα ασβεστολιθικά υποβάθρα μετά από τις 28 ημέρες παρατηρείται αύξηση της αντοχής συνάφειας η οποία αποδίδεται στην χημική αντίδραση του υποβάθρου με την συνδετική κονία.</li> <li>■ η αντοχή συνάφειας αυξάνεται με την ηλικία. Μετά όμως από τις 80 ημέρες παρατηρείται πτώση της αντοχής συνάφειας που δεν αποδίδεται σε συστολή, αλλά στην δημιουργία κρυστάλλων πορτλανδίτη στην στρώση επαφής.</li> </ul>

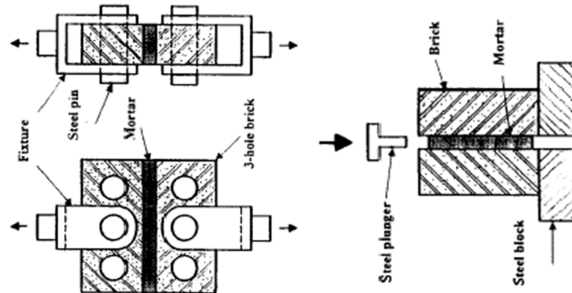
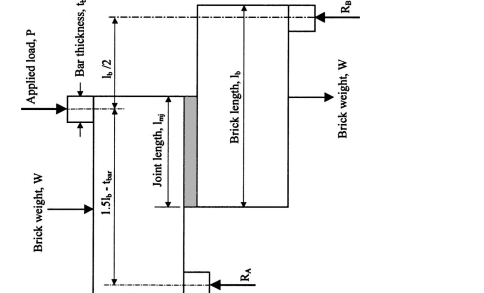
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b×l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Zimbelmann 1987)	Συνέχεια της εργασίας του 1985	εξόγκευση	28 ημέρες 1.70÷2.35		<ul style="list-style-type: none"> <li>Χρήση πλαστικοποιητή</li> <li>ενεργοποίηση ποζολανικής αντίδρασης στην διεπιφάνεια υποβάθρων γρανίτη με διάφορα διαλύματα και τεχνικές εφαρμογής</li> <li>τύπος τσιμέντου (καθαρός αλίτης ή κοινό τσιμέντο πόρτλαντ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>αύξηση της αντίστοιχης αντοχής συνάφειας κατά 200, 240 και 280% για υπόβαθρο από άσπριο, χαλαζία και ασβεστόλιθο, αντιστοιχώς. Η αύξηση οφείλεται στην μείωση του πάχους του επιπέδου επαφής και στην αλλαγή/πύκνωση της μικροδομής του ενδιάμεσου επιπέδου (λόγω του σχηματισμού CSH), που οδήγησε σε καλύτερη σύνδεση του επιπέδου επαφής με την τσιμεντόπαστα, μείωση του πάχους και του πορώδους της ITZ.</li> <li>αύξηση της μετρούμενης αντοχής από 0.45-0.82MPa σε 1.7-2.35 MPa (28 ημέρες), οφειλόμενη στην ενεργοποίηση της ποζολανικής αντίδρασης.</li> <li>υψηλότερες τιμές για τις διεπιφάνειες μαρμάρου και κοινού τσιμέντου πόρτλαντ. Αποδίδονται στην αντίδραση ανθρακικού ασβεστίου και της αργλικής φάσης.</li> </ul>
(Yuan et al. 1987)		διάρρηξη σε συνδυασμό με μελέτη της μικροδομής DTA, XRD SEM, EPM	3 ημέρες 0.42 έναντι 1.16 14 ημέρες 0.62 έναντι 1.50 28 ημέρες 0.77 έναντι 2.31	20×20		<ul style="list-style-type: none"> <li>Μικροδομή διεπιφανειακής ζώνης: Διαφορές στην σύνθεση της διεπιφανειακής ζώνης: μείωση του ποσοστού πορτλανδίτη με την απόσταση, διαφοροποίηση στην σύνθεση του C-S-H μεταξύ διεπιφανείας και τσιμεντόπαστας. Ο λόγος CaO/SiO<sub>2</sub> μειώνεται με την απόσταση.</li> </ul>
(Husem 2003)		κάμψη τριών σημείων	0.4÷1.1 cv= 10÷25%	40×40	<ul style="list-style-type: none"> <li>τύπος αδρανούς (κανονικά ή ελαφροβαρή)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>υψηλότερη συνάφεια για τα ελαφροβαρή αδρανή, λόγω μεγαλύτερης αλληλεμπλοκής της τσιμεντόπαστας ή του κονιάματος με τα αδρανή. Σημαντικό να μην διαφέρουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δυο συνιστωσώντων υλικών, έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωση εφελκυστικών τάσεων (οδηγεί σε ανάπτυξη και επιτάχυνση της μικρορρηγιμότητας).</li> <li>όχι σαφής η επίδραση. Θετική για κανονικά αδρανή και αρνητική για ελαφροβαρή.</li> </ul>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Dyrsdale et al. 1979)		διάτμηση με θλιπτικό φορτίο (τριπλέτα)	<u>Κριτήριο</u> M-C: $T_0 \sim 0.7 \text{MPa}$ $\tau_{\text{αφ}} = 0.3 \div 0.5$ (από διάγραμμα)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Τύποι υποβάθρων (με διαφορετικούς ΑΡΥ) και 3 τύποι κονιαμάτων</li> <li>επιρροή <math>\sigma</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>η τιμή της συνάφειας δεν είναι ανάλογη της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος, των πλίνθων αλλά καθορίζεται μάλλον από τις φυσικές ιδιότητες των υλικών. Σημαντική η επίδραση του ΑΡΥ: να αποφεύγονται οι ακραίες τιμές.</li> <li>γραμμική σχέση <math>\sigma</math>-<math>\tau</math> για μικρές τιμές της <math>\sigma</math> (ισχύς κριτηρίου Mohr Coulomb). Μείωση του συντελεστή τριβής με την αύξηση της επιβαλλόμενης <math>\sigma</math>.</li> </ul>
(Chinwah 1982)		διάτμηση			<ul style="list-style-type: none"> <li>οπτόπλινθοι με 3 κονιάματα</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>γραμμικός νόμος διατμητικής αντοχής και <math>\sigma</math></li> <li>μικρές μεταβολές του <math>\tau_{\text{αφ}}</math> δεν σχετίζονται με την σύνθεση και την αντοχή του κονιάματος.</li> <li>οι συνθέσεις χωρίς τσιμέντο εμφανίζουν μηδενική συνάφεια (συνοχή)</li> <li>μετά την αστοχία, πλήρης απώλεια της συνοχής και ελαφρά πτώση του συντελεστή τριβής με τους κύκλους επαναφόρτισης.</li> </ul>
(Stöckl et al. 1986)		διάτμηση (διπλέτα)	<u>Κριτήριο</u> M-C $\tau_0 = 0.2 \div 1.4 \text{MPa}$ $\tau_{\text{αφ}} \sim 0.5 \div 0.8$	120	<ul style="list-style-type: none"> <li>τύπος λιθοσώματος (αβεστοπιυρική ή αργλική οπτόπλινθος, θλιπτική αντοχή, υδαταπορρόφηση, τραχύτητα) και κονιαμάτων (θλιπτική αντοχή)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>όσο πιο ισχυρό το κονίαμα και το υπόβαθρο, τόσο μεγαλύτερη η αντοχή της συνάφειας.</li> <li>η προϋγρυνση των οπτόπλινθων οδηγεί σε υψηλότερες τιμές συνάφειας</li> <li>σημαντικός ο ρόλος της τραχύτητας στην συνάφεια.</li> <li>η οριακή διατμητική τάση αυξάνει με την ορθή θλιπτική τάση.</li> <li>δεν υπάρχει μαθηματική σχέση μεταξύ των παραμέτρων που διερευνήθηκαν και του <math>\tau_{\text{αφ}}</math>.</li> </ul>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Groot 1993), (Groot 1995)		<p>εφελκυσμός (2 συσκευές)</p> <p>μελέτη με X-RAY και NTM</p>			<p>■ τύπος υποβάθρου (δύο σπτόπλινθοι και μια από πυριπικό ασβέστιο, με διαφορές στον ρυθμό υδαταπορρόφησης και το μέγεθος πόρων)</p> <p>■ κονίαμα [λεπτότητα αδρανών, είδος συνδετικής κονιάς (κονίαμα με τσιμέντα πόρτλαντ με ασβέστη ή χωρίς και τσιμέντα τοιχοποιίας)]</p>	<p>■ μικρότερη συνάφεια για τον συνδυασμό υποβάθρων με υψηλή υδαταπορρόφηση &amp; κονιαμάτων με λεπτόκοκκα υλικά: για τα υποβάθρα με τους μεγάλους πόρους, οι χαμηλές τιμές αποδίδονται στον κακό λόγο τσιμέντου/λεπτόκοκκα στην ΙΤΖ, ενώ εκείνα με τους μικρούς πόρους στην μικρή περιεκτικότητα νερό στην ΙΤΖ. Η διαβροχή των υποβάθρων προς της διάστρωσης του κονιάματος δεν απέδωσε.</p> <p>■ μεγαλύτερη επίδραση στον ρυθμό μετακίνησης ύδατος έχει ο τύπος του υποβάθρου παρά το μέγεθος των αδρανών. Περισσότερα προϊόντα στην ΙΤΖ βρέθηκαν για το τσιμέντο πόρτλαντ παρά για το τσιμέντο τοιχοποιίας.</p>
(Van de Puijm 1997)		<p>κάμψη 4 σημείων</p>	<p>0.13 ± 0.73 (μια έτοιμη σύνθεση ανέπτυξε τιμές 2.24)</p> <p>0.19 ± 0.58</p>	<p>100x100 (εξαρτάται από τις διαστάσεις των υποβάθρων)</p> <p>165x400</p>	<p>■ τύπος υποβάθρου (μέτρο ελαστικότητας, ρυθμός απορρόφησης ύδατος, αντοχή)</p> <p>■ τύπος συνδετικού κονιάματος με την ίδια εξέλιξη - (έτοιμες συνθέσεις (λεπτή κόλλα, γενικής χρήσης κτλ). Για γενικής χρήσης εξετάστηκαν διαφορετικοί λόγο τσιμέντου-ασβέστη-άμμου</p> <p>■ πάχος αρμού</p>	<p>■ για το ίδιο τύπο κονιάματος, η αναπυσοσόμενη αντοχή συνάφειας εξαρτάται από τον τύπο του υποβάθρου. Η εξάρτηση αυτή αποδίδεται στον ΑΡΥ και στην υδαταπορρόφηση των υποβάθρων (όσο πιο ψηλές οι τιμές τόσο πιο χαμηλή η συνάφεια).</p> <p>■ Το μέτρο ελαστικότητας του υποβάθρου επιδρά στο μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου δοκιμίου</p> <p>■ φαίνεται να ισχύει ότι «όσο πιο ισχυρό το κονίαμα, τόσο μεγαλύτερη η αντοχή συνάφειας». Ωστόσο αυτή η επίδραση δεν είναι ανάλογη της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος και δεν ισχύει για όλους τους τύπους των υποβάθρων. Οι εξαιρέσεις συνδέονται με τις συνθήκες αρχικής υγρασίας των υποβάθρων.</p> <p>■ το πάχος του αρμού επηρεάζει την δυσκαμψία του σύνθετου δοκιμίου.</p>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b×l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		<p>δοκιμή καμπτικής ροπής</p>	<p>28 ημέρες 0.02±0.29 cv=20÷52%</p>	<p>ASTM C1072</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος υποβάθρου (δύο ωμόπλινθοι με σταθεροποιητές και μια αργιλική οπτόπλινθος), με διαφορετική επιφανειακή τραχύτητα, υδατορρόφηση (από 9 έως 12%) και θλιπτική αντοχή (από 4.5 έως 9MPa))</li> <li>■ αρχική υγρασία υποβάθρων κατά την διάστρωση των κονιαμάτων</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ για τις δύο ωμόπλινθους παρατηρούνται παραπλήριες τιμές συνάφειας (από 0.02 έως 0.29MPa), ενώ για την αργιλική οπτόπλινθο οι τιμές είναι μικρότερες με μικρότερο εύρος (από 0.05 έως 0.11MPa). Το υπόβαθρο με την μεγαλύτερη τραχύτητα έδωσε μεγαλύτερες τιμές συνάφειας για όλα τα κονιάματα</li> <li>■ η συνάφεια αυξάνεται με την αύξηση της αρχικής υγρασίας: υπάρχει ένα βέλτιστο ποσοστό (ανεξάρτητο του κονιάματος), πέραν του οποίου η συνάφεια μειώνεται δραματικά, ενώ για κορεσμένες συνθήκες, όλα τα υπόβαθρα αναπτύσσουν την ίδια συνάφεια ανεξαρτήτως του κονιάματος</li> <li>■ α) τα κονιάματα με τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά δίνουν μεγαλύτερες τιμές συνάφειας: Η μείωση του λόγου C:S (με αύξηση του λόγου W/C), οδηγεί ανεξαρτήτως του τύπου του υποβάθρου, σε μηδενισμό της αντοχής συνάφειας. β) Η προσθήκη ίλεως ή υδρασβέστου στην συνδετική κονία δίνει αντοχή συνάφειας συγκρίσιμη με εκείνη του ισχυρότερου τσιμεντοκονιάματος—Στην περίπτωση της ίλεως, αυτό αποδίδεται στην καλύτερη διαβάθμιση των κόκκων του κονιάματος που οδηγεί σε μείωση του πορώδους του και αύξηση της επιφάνειας επαφής κονιάματος και υποβάθρου.</li> </ul>

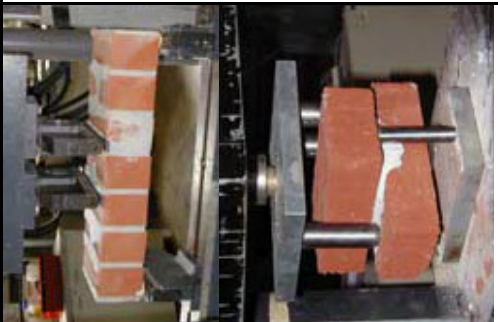
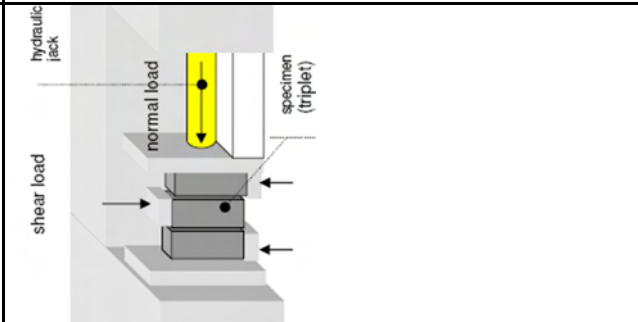


ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Zhu et al. 1997)		εφελκυσμός  άμεση διάτμηση	<u>7 ημέρες</u> χωρίς προφόρτιση $0.039 \pm 0.097$ $CV=4 \pm 8\%$ ΜΕ προφόρτιση $0.17 \pm 0.097$ $CV=3 \pm 6\%$ χωρίς προφόρτιση $0.13 \pm 0.27$ $CV=3 \pm 7\%$ ΜΕ προφόρτιση $0.43 \pm 0.63$ $CV=4 \pm 6\%$	200x90	<ul style="list-style-type: none"> <li>με ή χωρίς προφόρτιση από το ίδιο βάρος της πλίνθου (σε κορεσμένες συνθήκες) αμέσως μετά την διάστρωση του κονιάματος</li> <li>τύπος κονιάματος (τσιμέντο: πυριτική παυπάλη: αδρανή = 1:0.15:1, και διάφορα ποσοστά ιών άνθρακα (ίδιος λόγος νερού προς τσιμέντο, αλλά αύξηση του ρευστοποιητή με την αύξηση του ποσοστού των ιών)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>με την προφόρτιση του σύνθετου δοκιμίου αυξάνεται σημαντικά η συνάφεια, καθώς κλείνουν τυχόν κενά και μειώνονται οι τάσεις λόγω συστολής.</li> <li>αύξηση της συνάφειας με την προσθήκη ιών, που οφείλεται σε μείωση της συστολής ξήρανσης κατά τα πρώτα 24ώρο. Ωστόσο, υπάρχει ένα βέλτιστο ποσοστό πέραν του οποίου η συνάφεια μειώνεται –σε σχέση με την συνάφεια που προκύπτει χωρίς ίνες.</li> </ul>
(Khalaf 1998, 2005)			<u>28 ημέρες</u> $0.10 \pm 0.43$ $CV=14 \pm 21\%$	107 x 102	<ul style="list-style-type: none"> <li>τύπος κονιάματος: α) διάφορες αναλογίες συνδετικών κονιών (τσιμέντο, υδράσβεστος) και αδρανών και β) αντοχή</li> <li>τύπος υποβέθρου: πυριτική άσβεστος και οπτόπλινθος (με ή χωρίς σπές)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>σχετικώς, μικρή αύξηση της αντοχής συνάφειας με την αύξηση της αντοχής του κονιάματος: κατά 23% για αύξηση της θλιπτικής αντοχής από 8 MPa σε 22 MPa (λείες συμπαγείς οπτόπλινθους).</li> <li>οι οπτόπλινθοι εξασφαλίζουν πιο μεγάλη συνάφεια από εκείνη της πυριτικής ασβέστου (αποδίδεται στο ότι η επιφάνεια στα τελευταία λιθοσώματα είναι πιο λεία). Επίσης, οι συμπαγείς οπτόπλινθοι εξασφαλίζουν μεγαλύτερη συνάφεια καθώς η ενεργός επιφάνεια είναι πιο μεγάλη σε σχέση με εκείνη των οπτόπλινθων με σπές.</li> </ul>

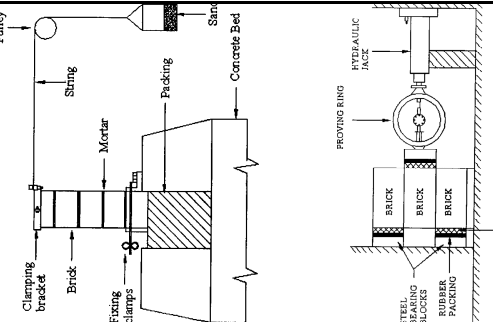
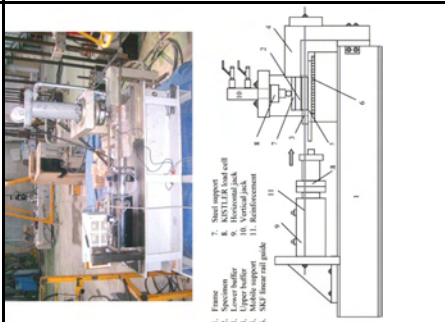
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Khalaf 2008)			28 ημέρες 0.44±0.59 cv= 7.3±17.3%	107×102	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος κονιάματος: α)διάφορες αναλογίες συνδετικών κονιών (τσιμέντο, υδράσβεστος) και αδρανών και β) θλιπτική αντοχή ή αντοχή διάρρηξης</li> <li>■ λεία επιφάνεια υποβάθρου ή ως έχει (έναν τύπος λιθοσώματος από σκυρόδεμα)</li> <li>■ κυκλική ή ορθγωνική διατομή</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ σχετικώς, μικρή αύξηση της αντοχής συνάφειας με την αύξηση της αντοχής του κονιάματος: κατά 23% για αύξηση της θλιπτικής αντοχής από 3.8 MPa σε 15.4 MPa.</li> <li>■ για λείες επιφάνειες κατά 10% πιο υψηλές τιμές της αντοχής συνάφειας. Αποδίδεται στην απελευθέρωση των πόρων.</li> <li>■ παραπλήσιες τιμές για τις δυο διατομές.</li> </ul>
(Groot et al. 1999)		σταυρωτή διπλέτα	28 ημέρες 0.08±0.55 (από διάνομιμα)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος υποβάθρου (οπτόπλινθοι με διαφορετικές τιμές ΑΡΥ, υδαταπορρόφηση, παρώδες και μέγεθος πόρων)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ σημαντικό ρόλο στην συνάφεια (αντοχή και μορφολογία) διεπιφανειών οπτόπλινθων και κονιαμάτων διαδραματίζει η μετακίνηση νερού του ύδατος από το κονίαμα στο υπόβαθρο. Αυτή η κίνηση εξαρτάται από ιδιότητες <ul style="list-style-type: none"> <li>■ του υποβάθρου: όπως ο ΑΡΥ (μέσες τιμές είναι επιθυμητές για την μεταφορά των σωματιδίων του κονιάματος στην ΙΤΖ) και το μέγεθος των πόρων του υποβάθρου (το πάχος της ΙΤΖ είναι πιο μεγάλο όταν οι πόροι του υποβάθρου έχουν μεγαλύτερη διάμετρο, εξάλου και ο βαθμός ενυδάτωσης του κονιάματος είναι μεγαλύτερος λόγω της επιστροφής του ύδατος στο κονίαμα).</li> <li>■ και του κονιάματος: όπως ο τύπος της συνδετικής κονίας και η λεπτότητά της.</li> </ul> </li> <li>■ κονίαμα (λόγος αδρανών προς συνδετική κονία, λεπτότητα συνδετικής κονίας, είδος συνδετικής κονίας (με ασβέστη ή χωρίς))</li> </ul>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Reda Taha et al. 2001)		δοκιμή καμπτικής ροπής	$\frac{28 \text{ ημέρες}}{0.42 \pm 0.81}$ $\frac{90 \text{ ημέρες}}{0.52 \pm 1.06}$ $\frac{180 \text{ ημέρες}}{0.56 \pm 1.14}$		<p>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος κονιάματος (συνδετική κονία με τσιμέντο πόρτλαντ, υδράσβεστο και διάφορα είδη ποζολάνης (ιπτάμενη τέφρα (κλάση F και C) ή σκωριστισμένου και υδράσβεστο)</li> </ul>	<p>ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ η επίδραση του είδους της ποζολάνης στην συνάφεια δεν περιορίζεται αποκλειστικώς στην ποζολανική αντίδραση και στην αντοχή που προσδίδουν τα προϊόντων ενυδάτωσης. Η συνάφεια επηρεάζεται και από άλλες αλληλεπιδράσιμες ιδιότητες της ποζολάνης, όπως: α) την ικανότητά της να βελτιώνει την εργασιμότητα και την συγκράτηση ύδατος του κονιάματος, β) το μέγεθος των κόκκων (επιθυμητοί όχι μόνον μικρής διαμέτρου κόκκοι) και την δυνατότητά τους να μειώνουν το «φαινόμενο τοίχου» και τέλος, γ) την δραστικότητα της ποζολάνης. Σε περίπτωση μεγάλης δραστικότητας, η ποζολανική αντίδραση εξελίσσεται ταχέως (με γρήγορη κατανάλωση του διαθεσίμου νερού). Αποτέλεσμα αυτής της δράσης είναι η δημιουργία πρώιμης συστολής και μικρορρηγιμάτων στην διεπιφάνεια υποβάθρου /κονιάματος με ταυτόχρονη μείωση της συνάφειας. Έτσι, μια μέτριας δραστικότητας ποζολάνη (τέφρα F) έδωσε πιο υψηλές τιμές συνάφειας από την πιο δραστική ποζολάνη (τέφρα C).</li> <li>■ αύξηση της συνάφειας με την ηλικία με διαφορετικό ρυθμό, αναλόγως της ποζολάνης</li> </ul>
(Almeida et al. 2002)		ήμεσος εφελκυσμίδος	$\frac{40 \times 40}{1.93 \pm 2.25}$ cn=22±36%		<p>ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ηλικία δοκιμίου</li> </ul>	<p>ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ τα κονιάματα με λόγο κονίας προς αδρανή 1:3 και 1:4, αναπτύσσουν της ίδιας τάξης μεγέθους συνάφεια.</li> <li>■ η μεγάλη διασπορά στα αποτελέσματα αποδίδεται σε ανομοιογένειες των υποβάθρων σε επίπεδο υλικού και γεωμετρίας</li> </ul>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Shrive et al. 2004)		δοκιμή καμπτικής ροπής	$\frac{28}{0.42} \pm 0.81$ $\frac{180}{0.5} \pm 1.14$ $\frac{28}{0.28} \pm 0.67$ $\frac{360}{0.57} \pm 1.2$ $\frac{28}{0.08} \pm 0.86$ $\frac{360}{0.18} \pm 0.95$ (B, C και D)	90 x 180	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ συνδετική κονία για κονιάματα με λόγο κονίας προς αδρανή 1:3 : με τσιμέντο πόρτλαντ, ιπτάμενη τέφρα κλάσης F και C, υδράσβεστο, σκωρισσιμένο και τσιμέντο τοιχοποιίας</li> <li>■ τύπος υποβάθρου: οπτόπλινθοι με διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά, αρχικό ρυθμό απορρόφησης ύδατος (APY) και τριχοειδούς αναρρόφησης</li> <li>■ ηλικία δοκιμίου</li> <li>■ συνθήκες συντήρησης δοκιμίων: υγρές (Υ) και ξηρές(Ξ)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ (βλ. και Reda Taha and Shrive 2001) Η επίδραση της μερικής αντικατάστασης του τσιμέντου πόρτλαντ και της υδράσβεστου από ιπτάμενη τέφρα (F class) δεν είναι πάντοτε θετική για την συνάφεια κονιάματος/οπτόπλινθου: φαίνεται να εξαρτάται κυρίως από τον αρχικό ρυθμό απορρόφησης ύδατος του υποβάθρου και την τριχοειδή αναρρόφηση.</li> <li>■ η συνάφεια αυξάνεται με την ηλικία, ιδιαίτερος για τις συνθέσεις που περιέχουν ιπτάμενη τέφρα</li> <li>■ σημαντική η επιρροή: πιο μικρές τιμές της συνάφειας για συντήρηση σε ξηρές συνθήκες</li> </ul>
(Bosiljkov et al. 2004)		δοκιμή καμπτικής ροπής	$\frac{7}{0.40} \pm 0.98$ $\frac{28}{0.73} \pm 1.32$ cn=5÷60% λόγω μη πλήρωσης των οριζόντιων αρμών		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ κονιάματα με λόγους συνδετικής κονίας προς αδρανή ίσους με 1:3 και 1:5. Η συνδετική κονία περιέχει τσιμέντο, υδράσβεστο και ποζολάνες (ιπτάμενη τέφρα ή σκωρία υψικαμίνου) σε διάφορα ποσοστά αντικατάστασης (του τσιμέντου)</li> <li>■ τύπος υποβάθρου: οπτόπλινθοι με διαφορετικό APY και υδαταπορρόφηση.</li> <li>■ ηλικία δοκιμίου</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ α)οι συνθέσεις με τον μεγαλύτερο λόγο συνδετικής κονίας προς άμμο (με την παρουσία της υδράσβεστου) δίδει υψηλότερες τιμές συνάφειας. β) Η παρουσία της υδράσβεστου στις συνθέσεις αυξάνει την ικανότητα συγκράτησης ύδατος των κονιαμάτων και συνεπώς στον όγκο της πάσας. γ) Με την προσθήκη βιομηχανικών παραπροϊόντων, αυξάνεται η λεπτότητα της συνδετικής κονίας και συνεπώς και η απαίτηση σε νερό στα κονιάματα. Αναφορικά με την συνάφεια, ο εκάστοτε συνδυασμός κονιάματος και δομικού λίθου είναι εκείνος που καθορίζει το βέλτιστο ποσοστό αντικατάστασης για τα βιομηχανικά παραπροϊόντα (κυμαίνεται από 10 έως 30% για την σύνθεση 1:3, ενώ για την 1:5 δεν υπάρχει βέλτιστο).</li> <li>■ με την προσθήκη των ποζολανών, η πρώιμη αντοχή συνάφειας είναι μικρότερη από εκείνη που επιτυγχάνεται από τα ασβεστοσιμεντοκονιάματα, αυξάνεται όμως με την ηλικία λόγω της ποζολανικής αντίδρασης.</li> </ul>

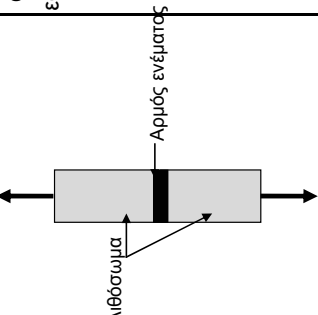
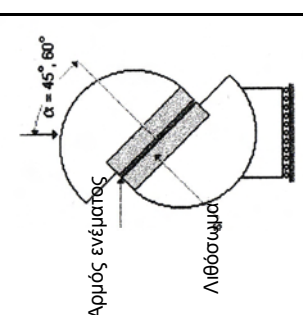
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Gregoire et al. 2004)		<p>κάμψη δοκιμή καμπτικής ροπής</p> <p>σταυρωτή διπλάτια</p> <p>απειθείας διάτμηση παρουσία θλιπτικού φορτίου</p>	<p>0.2±0.5</p> <p>0.2±0.3</p> <p>0.1±0.3</p> <p>Κριτήριο M-C: <math>T_o=0.6±0.8</math> <math>\tan\phi=0.53±0.90</math></p>	<p>250x120 και 250x90</p>	<p>τύπος υποβάθρου: οπτόπλινθοι με διαφορετικά χαρακτηριστικά [ΑΡΥ, υδαταπορρόφηση, πορώδες, θλιπτική αντοχή και τραχύτητα (με αμμοβολή ή λεία)]</p>	<p>παραπλήσιες τιμές συνάφειας για τα δύο υποβάθρα, ωστόσο το υποβάθρο με την λεία επιφάνεια, τον μικρότερο ΑΡΥ, υδαταπορρόφηση, πορώδες και την μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή έδωσε τις υψηλότερες τιμές συνάφειας. Πιθανότατα αυτό να οφείλεται στις αρχικές συνθήκες υγρασίας των υποβάθρων: προ της διάστρωσης των κονιαμάτων είχε προηγηθεί ξήρανση των οπτόπλινθων.</p> <p>υποσημείωση: παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών συνάφειας για το γενικής εφαρμογής κονίαμα.</p>
(Bei et al. 2004)		<p>διάτμηση με τριπλέτα παρουσία θλιπτικού φορτίου</p>	<p>Κριτήριο M-C: <math>T_o=0.11±0.22</math> MPa <math>\tan\phi=0.43±0.90</math></p>	<p>250x120 και 250x90</p>	<p>ύψος αρμού (10 και 20mm)</p> <p>απόλυτες διαστάσεις διατεμνόμενης επιφάνειας (πλάτος)</p> <p>μέγεθος της ορθής τάσης που επιβάλλεται στην διεπιφάνεια (από 0 έως 0.8MPa)</p> <p>τύπος διεπιφάνειας και αντοχή συνδετικού κονιάματος:</p> <p>1)πηλοκονίαμα (με ή χωρίς τσιμέντο ως σταθεροποιητή) και ωμόπλινθος ή 2)ασβεστοκονίαμα και οπτόπλινθος</p>	<p>σημαντικά (έως και 50%) πιο χαμηλές τιμές της αντοχής συνάφειας και του συντελεστή τριβής με την αύξηση του ύψους του αρμού λόγω αύξησης της ποσότητας υλικού με μικρότερη δυσκαμψία.</p> <p>η αλλαγή, κατά 25%, του πλάτους της διατομής δεν επηρεάζει τις τιμές της επιστρατευμένης συνάφειας.</p> <p>με την αύξηση της <math>\sigma</math>, αυξάνεται η διατηρητική αντοχή συνάφειας, <math>T_u</math>, η παραμένουσα συνάφεια, <math>T_{res}</math> και η δυσκαμψία της διεπιφάνειας, ενώ μειώνεται ο συντελεστής τριβής.</p> <p>πιο υψηλές τιμές συνάφειας για δοκίμια τύπου 2, αλλά για μικρότερες ολισθήσεις. Η <math>f_{wo}</math>, είναι περίπου η ίδια, διαφοροποιείται ο συντελεστής τριβής. Έτσι, <math>\tan\phi=0.43±0.62</math> για την περίπτωση (1) και <math>0.53±0.9</math> για την (2) Στην περίπτωση των δοκιμών (1) με τσιμέντο, παρατηρήθηκε πτώση της συνάφειας η οποία αποδόθηκε στην μείωση των δυνάμεων συνοχής μεταξύ κονιάματος και υποβάθρου.</p>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Wijffels et al. 2004)		δοκιμή καμπτικής ροπής	μέγιστη τιμή 0.80MPa στις (720 ημέρες)		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος υποβάθρου: δυο λιθασώματα ασβεστοκυρπυρικής προέλευσης (με διαφορές στην κατανομή των πόρων, στον APY και στην υδαταπορρόφηση) και μια σπτόπλινθος</li> <li>■ τύπος συνδετικής κονίας (κονιάματα τοχοποιίας, τσιμέντο με υδράσβεστο και έτοιμο τσιμέντο με οργανικά μάλλον πρόσθετα (για καλύτερη πρόσφυση))</li> <li>■ ηλικία δοκιμής (από 5 έως 720 ημέρες)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ εξαρτάται από τον συνδυασμό κονιάματος/υποβάθρου. Καθοριστικός ο ρόλος του υποβάθρου στην συνάφεια: <u>ασβεστοκυρπυρική</u> <u>υπόβαθρα</u>: τάση για πτώση της αντοχής συνάφειας με τον χρόνο, εξαρτώμενη από τον συνδυασμό υποβάθρου/κονιάματος. Έτσι, α) οι πιο μικρές τιμές της αρχικής συνάφειας και β) η δραματική μείωση της συνάφειας των μεγαλύτερων ηλικιών (720 ημέρες) για το υποβάθρο που διέθετε πόρους μικρής διαμέτρου, αποδίδονται α) στην μεγαλύτερη τριχοειδή αναρρόφηση που μειώνει το διαθέσιμο νερό για την ενυδάτωση των κονιών του κονιάματος και β) στην ενδεχόμενη εισαγωγή έντασης στην διεπιφάνεια κονιάματος/υποβάθρου εξαιτίας της μεγαλύτερης συστολής ενανθράκωσης του υποβάθρου. Στο άλλο υποβάθρο, η αρχική συνάφεια είναι περίπου ίση με την τελική, με εξαίρεση την περπτωση του ασβεστοσιμεντοκονιάματος όπου παρατηρήθηκε πτώση της αντοχής συνάφειας με τον χρόνο. <u>σπτόπλινθος</u>: αύξηση της συνάφειας με τον χρόνο.</li> <li>■ συνθήκες υγρασίας υποβάθρου κατά την διάστρωση του κονιάματος</li> <li>■ καλύτερη συνάφεια για αρχική υγρασία των ασβεστοκυρπυρικών υποβάθρων ίση με 8%</li> </ul>

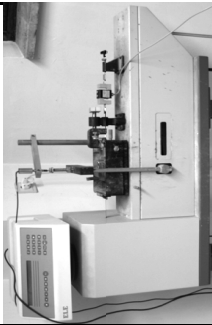
ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Sarangapani et al. 2005)	 <p>The diagram illustrates a bond strength test setup. It shows a brick resting on a concrete bed. Components labeled include: Clamping brackets, Brick, Mortar, Packing, Concrete Bed, Slant, and a Proving Ring. A cross-section shows the brick on a bed of cement mortar, with rubber packing and a PVC-Acrylic face. Labels include: BRICK, RUBBER PACKING, CEMENT MORTAR, PROVING RING, and PVC-ACRYLIC FACE.</p>	<p>δοκιμή καμπτικής ροπής</p> <p>δοκιμή με τριπλέτα χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου</p>	<p>28 ημέρες 0.088±0.323</p> <p>28 ημέρες 0.054±0.138</p>		<p>■ τύπος υποβάθρων με μεγάλη διασπορά στις ιδιότητες: οπτόπλινθοι κακής ποιότητας με διαφορές στην θλιπτική και καμπτική αντοχή, στην υδαταπορρόφηση και τον αρχικό ρυθμό απορρόφησης ύδατος (1.31÷3.53Kg/m<sup>2</sup>/min)</p> <p>■ τύπος κονιάματος: α) διαφορετικοί λόγοι συνδετικής κονίας προς αδρανή και β) προσθήκη ίλεως ή υδρασβέστου για την βελτίωση της πλαστικότητας</p> <p>■ προετοιμασία υποβάθρου: επάλειψη με στρώση τσιμεντενέματος και μηχανική τράχυνση (με σπές ή μορφή ρόμβου)</p>	<p>■ για το ίδιο τύπο κονιάματος, κατάτι πιο μεγάλες τιμές συνάφειας παρατηρούνται για το υπόβαθρο με τα υψηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά και τον ενδιάμεσο αρχικό ρυθμό απορρόφησης ύδατος. Η μεγάλη διασπορά στις φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά των υποβάθρων οδηγούν σε αντίστοιχη μεγάλη διασπορά και στις τιμές συνάφειας. ■ υψηλότερες τιμές συνάφειας για τα κονιάματα με μεγαλύτερη αναλογία κονίας προς αδρανή: στην περίπτωση του τσιμεντοκονιάματος αποδίδεται στην υψηλότερη του κονιάματος, ενώ στην περίπτωση των κονιαμάτων με ίλυ ή υδράσβεστο αποδίδεται στην καλύτερη δυνατότητα συγκράτησης ύδατος. ■ καλύτερη συνάφεια όταν της διάστρωσης του κονιάματος προηγείται η επάλειψη της διεπιφάνειας με τσιμεντένεμα, σε σχέση με την τράχυνση. Το είδος της τράχυνσης, δεν επηρεάζει τόσο. Μεγαλύτερη είναι η επίδραση της προετοιμασίας του υποβάθρου στις δοκιμές διάτμησης.</p>
(Abdou et al. 2006)	 <p>The figure shows a photograph of a laboratory setup on the left and a detailed schematic diagram of a mortar-capping test apparatus on the right. The diagram includes a list of numbered components: 1. Frame, 2. Steel support, 3. Lower holder, 4. Upper holder, 5. Vertical jack, 6. Horizontal jack, 7. Rubber ball, 8. Concrete block, 9. Mortar cap, 10. Mortar cap, 11. Mortar cap, 12. Mortar cap, 13. Mortar cap, 14. Mortar cap, 15. Mortar cap, 16. Mortar cap, 17. Mortar cap, 18. Mortar cap, 19. Mortar cap, 20. Mortar cap.</p>	<p>απειυθείας διάτμηση παρουσία ορθών θλιπτικών τάσεων</p>	<p>28 ημέρες Κρατήριο M-C: <math>\tau_0=1.61</math> MPa <math>\tan\phi=1.05</math></p>	<p>220x106</p>	<p>■ επιβαλλόμενη ορθή θλιπτική τάση, σ</p> <p>■ παρουσία οπών στο υπόβαθρο</p>	<p>■ αύξηση της διατμητικής αντοχής συνάφειας με την αύξηση της ορθής θλιπτικής τάσης και αλλαγή του τρόπου ασοχίας των σύνθετων δοκιμών: απουσία σ, η θραύση είναι απότομη, για μέσες τιμές της σ η συμπεριφορά είναι ημι-ψαθυρή. Για μεγάλες τιμές της σ, ασοχεί το υπόβαθρο. Παραμένουσα διατμητική αντοχή ίση με 84% της διατμητικής αντοχής ■ η παρουσία οπών δεν επηρεάζει την τριβή, αλλά την συνοχή (σχετίζεται με το μέγεθος της διατεταμένης επιφάνειας)</p>

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b×l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Venkatarama Reddy et al 2007)		τριπλέτα (χωρίς την παρουσία θλιπτικού φορτίου)	CSM: 0.14±0.24  CLM: 0.04±0.17	305	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος κονιάματος</li> <li>■ επιφάνεια διάστρωσης (επιρροή της τραχύτητας, παρουσία και διάταξη αβασών σκαφών, επάλειψη επιφάνειας διάστρωσης με τσιμεντένιμα)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ καλύτερη συνάφεια για το πηλοκονίαμα. Η αντοχή συνάφειας είναι συνάρτηση του περιεχόμενου τσιμέντου και αργίλου</li> <li>■ θετική η επίδραση της τραχύτητας (24±150%) και ακόμη περισσότερο της επάλειψης (70±325%). Η βελτίωση που επιτυγχάνεται είναι πιο μεγάλη για το ασβεστοσιμεντοκονίαμα.</li> </ul>
(Borchelt et al.) <a href="http://www.maconline.org/tech/materials/mortar/mortar.html">www.maconline.org/tech/materials/mortar/mortar.html</a>		δοκιμή καμπτικής ροπής	28 ημέρες 0.43±0.88		<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Τύπος υποβάθρου (με μικρό έως μέσο αρχικό ρυθμό απορρόφησης και διαφορετική επιφανειακή τραχύτητα)</li> <li>■ Τύπος κονιάματος: (ασβεστοσιμεντοκονίαμα, κονίαμα τοιχοποιίας και κονίαμα τσιμέντου)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ γενικώς, χαμηλότερες τιμές συνάφειας προκύπτουν για πλίνθους με χαμηλότερο ρυθμό αρχικής υδαταπορρόφησης και μικρότερη επιφανειακή τραχύτητα. Ωστόσο, οι πλίνθοι με χαμηλό APY είναι δυνατόν να δώσουν υψηλότερες τιμές συνάφειας σε σχέση με εκείνες που έχουν μέσες τιμές, όταν επιλεχθεί κατάλληλο κονίαμα δόμησης.</li> <li>■ σε αυτή την περίπτωση, κονιάματα με μικρότερη ικανότητα συγκράτησης ύδατος δίδουν πιο υψηλές τιμές συνάφειας.</li> </ul>



ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	b x l ή D [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
		<p>απευθείας εφελκυσμός</p>	<p>28 ημέρες 0.5÷4.0 MPa</p>	<p>60x60</p>	<p>■ διάφοροι τύποι ασβεστολιθικών υποβάθρων (ελλειπτική αντοχή, υδαταπορρόφηση και συνθήκες υγρασίας του υποβάθρου)</p> <p>■ τύπος συνδετικής κονίας (μηχανικά χαρακτηριστικά και παρουσία υλικών με ποζολανική δράση (πυρπική παιπάλη))</p>	<p>■ Ελλειπτική Αντοχή υλικών υποβάθρων και ενεμάτων: Γενικώς, το πιο ασθενές υλικό καθορίζει την αντοχή συνάφειας.</p> <p>■ Πορώδες υποβάθρων: Πρακαλεί μείωση του παραμένοντος ύδατος του ενέματος (+), επιτρέπει την καλύτερη πρόσφυση των ενεμάτων στα λιθασώματα (+), η παρουσία φιλμ ύδατος εμποδίζει την διείσδυση του ενέματος στο λιθόσωμα (-), υψηλότερο πορώδες συνήθως οδηγεί σε υψηλότερη υδαταπορρόφηση με πιθανή μείωση του διαθέσιμου προς ενυδάτωση των κονιών ύδατος (-).</p> <p>■ συνθήκες υγρασίας υποβάθρων: Στα porώδη υπόβαθρα, μερικός εμποτισμός του υποβάθρου μπορεί να έχει θετική επίδραση στην υπερβολική απομάκρυνση ύδατος από το ένεμα προς το υπόβαθρο. Ωστόσο, μπορεί να μειώσει την αντίσταση των λιθασωμάτων και των ενεμάτων, καθώς το παραμένον ποσό ύδατος θα είναι υψηλό.</p> <p>■ ποζολανικά υλικά: παίζουν σημαντικό ρόλο. Η αναπτυσσόμενη συνάφεια δεν είναι πάντα ανάλογη με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων.</p>
		<p>διάτμηση υπό διάφορες γωνίες</p>	<p>Κριτήριο M-C: <math>\tau_0 = 0.7 \div 3.0</math> MPa <math>\varphi = 32^0 \div 41^0</math></p>	<p>70x70</p>		

(Mittalou 1990), (Mittalou 1998)

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	$f_{bond}$ [MPa]	$b \times l$ ή $D$ [mm]	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
(Toumbakari 2002), (Toumbakari et al. 2007)		Άμεσος εφελκυστικός	$f_{bond}$ 0±1.76 (ασβεστό-λιθος) 0±0.89 (οπτό-πλινθος)	40	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ τύπος υποβάθρου (ασβεστόλιθος οπτόπλινθος)</li> <li>■ τύπος συνδετικής κονίας (τριμερείς συνθέσεις με συμβατική ποζολάνη με ή χωρίς την προσθήκη 4<sup>ου</sup> υλικού (πυριπική παιπάλη))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Διαφορετικός τρόπος αστοχίας στις δοκιμές εφελκυσμού ανάλογα με το υπόβαθρο. Διαφορετικός τρόπος αστοχίας στις δοκιμές διατήρησης ανάλογα με το υπόβαθρο, την σ και το ένεμα.</li> <li>■ Οι αναπτυσσόμενες τιμές της συνάφειας δεν καθορίζονται από την θλιπτική ή την εφελκυστική αντοχή του ενέματος. Δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές των τιμών της αντοχής συνάφειας για τις διάφορες εξεταζόμενες συνθέσεις (δοκιμές εφελκυσμού: διαφορές του 20% για τα ασβεστολιθικά υπόβαθρα, ενώ στα σύνθετα δοκίμια με την οπτόπλινθο αστοχεί το υπόβαθρο). Θετική αποδεικνύεται η προσθήκη ποζολανών στην συνάφεια, καθώς πέρα από την πύκνωση της μικροδομής του ενέματος παρατηρείται πύκνωση και στην διεπιφανειακή ζώνη λόγω της ποζολανικής αντίδρασης.</li> <li>■ Οι συνθήκες συντήρησης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αναπτυσσόμενη συνάφεια. Οι κύκλοι θερμοκρασιών/ξήρασης, οδηγούν σε μείωση της συνάφειας λόγω ρηγματώσεως.</li> <li>■ Με την αύξηση της επιβαλλόμενης σ παρατηρείται πτώση του συντελεστή τριβής, όπως στις διεπιφάνειες σκυροδεμάτων</li> </ul>
		απευθείας διάτμηση	$\frac{K}{M-C}$ $T_0 = 0.31 \pm 0.62$ MPa $\tan\phi = 0.50 \pm 0.63$ (ασβ/θος) $T_0 = 0.43 \pm 0.76$ MPa $\tan\phi = 0.17 \pm 1.45$ (οπτ/θος)	40x40	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ συνθήκες συντήρησης</li> <li>■ μέγεθος επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης σ</li> </ul>	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: Βιβλιογραφική Αναδρομή σε Θέματα Συνάφειας **A32**

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΡΕΟΛΟΓΙΚΑ ΕΝΕΜΑΤΩΝ

Αποτελέσματα δοκιμών

Διεισδυτικότητα, Σταθερότητας, Ρευστότητας



## B.1 ΕΝΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΕΜΑΤΩΝ

Ο λόγος ύδατος προς στερεά (w/s) των συνθέσεων προσδιορίστηκε, ώστε όλα τα ενέματα να διαθέτουν ίδια διεισδυτικότητα (βλ. Παράγραφο Β.1.1) και, ταυτοχρόνως, να διατηρούν την ομοιογένειά τους από την στιγμή της ανάμιξης μέχρι και την πήξη τους. Η τελευταία απαίτηση για σταθερότητα/συνεκτικότητα των συνθέσεων, εκφράζεται μέσω κριτηρίων εξίδρωσης (βλ. Παράγραφο Β.1.1) και απόμιξης (βλ. Παράγραφο Β.1.2). Προκειμένου να ικανοποιούνται οι παραπάνω απαιτήσεις, χωρίς ωστόσο να μειώνεται η ρευστότητα των ενεμάτων, σε ορισμένες από τις συνθέσεις τροποποιήθηκε: (1) η % κ.β. περιεκτικότητα του υπερρυστοποιητή με ταυτόχρονη μεταβολή του λόγου (w/s), (2) οι χρόνοι ανάδευσης και (3) η περιεκτικότητα της υδρασβέστου σε βάρος της ποζολάνης. Στα παρακάτω περιγράφονται οι απαιτήσεις για τις δοκιμές διεισδυτικότητας και σταθερότητας, που τέθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Επί πλέον, δίδονται οι συνθέσεις που, τελικώς, επιλέχθηκαν μαζί με τον χαρακτηρισμό τους από ρεολογικής άποψης (Παράγραφος Β.2). Η διαδικασία βελτιστοποίησης των ρεολογικών χαρακτηριστικών των ενεμάτων παρουσιάζονται στα δελτία δοκιμών διεισδυτικότητας/σταθερότητας της Παραγράφου Β.3.

### Εξίσωση Β1 (Dantu 1961)

$$d_{\text{voids}} = 0.15d_{\text{max}}$$

όπου,  
 $d_{\text{voids}}$  η εκτιμώμενη διάμετρος των κενών διαμέσου των οποίων θα διέλθει το ένεμα  
 $d_{\text{max}}$  η διάμετρος του μέγιστου κόκκου της άμμου



Εικόνα Β1. Δοκιμή ενεσιμότητας.

### B.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με το πρότυπο (EN 1771), διερευνάται η διέλευση ενέματος (υπό πίεση 1 atm) μέσα από στήλη άμμου συγκεκριμένου κλάσματος κόκκων. Το μέγεθος των κενών, μέσω των οποίων πρόκειται να διέλθει το ένεμα, προσομοιώνεται μέσω του μεγέθους των κόκκων της άμμου βάσει της Εξίσωσης Β1 (Dantu 1961). Σημειώνεται ότι, αυτή η τιμή αποτελεί το όριο για την διάμετρο του μέγιστου κόκκου της συνδετικής κονίας. Το υπό εξέταση ένεμα θεωρείται ενέσιμο, όταν διέρχεται από το ακροφύσιο εξόδου της στήλης άμμου (Εικόνα Β1). Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, επιλέχθηκε κλάσμα άμμου (1.00÷1.70mm). Έτσι, με την εφαρμογή της Εξίσωσης Β1, προκύπτει ότι τα ενέματα σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να διέρχονται από κενά μικρότερα των ~250μm. Κάπως μεγαλύτερη προκύπτει η διεισδυτικότητα των συνθέσεων της υδραυλικής ασβέστου (Kalagri et al. 2007), (Miltiadou et al. 2007), καθώς τα εν λόγω ενέματα διέρχονται από κενά μικρότερα των 200 μm.

### **Β.1.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ: ΕΞΙΔΡΩΣΗ-ΑΠΟΜΙΞΗ**

Μετά την παρασκευή του ενέματος, και εφόσον το υπό εξέταση ένεμα έχει περάσει επιτυχώς την δοκιμή διεισδυτικότητας, δείγμα του τοποθετείται σε ογκομετρικό σωλήνα 100ml. Για την αποφυγή εξάτμισης ύδατος του ενέματος, ο σωλήνας σφραγίζεται με υμένα παραφίνης. Ανά 15 min για την πρώτη ώρα και ανά μισή ώρα για την 2<sup>η</sup> ώρα, λαμβάνονται μετρήσεις για την ποσότητα του ύδατος που συγκεντρώνεται στο άνω τμήμα του σωλήνα και την ποσότητα της κονίας που δεν βρίσκεται σε αιώρηση (ιζήμα). Σταθερό θεωρείται ένα ένεμα όταν δεν παρουσιάζει τιμές εξίδρωσης μεγαλύτερες από 5% (Miltiadou 1990). Επί πλέον, ελέγχεται μακροσκοπικά τυχόν απόμιξη των ενεμάτων στον σωλήνα (Εικόνα Β2).

### **Β.2 ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ-ΛΟΓΟΣ ΝΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΣΤΕΡΕΑ (w/s)**

Στον Πίνακα Β-1 δίδονται οι τελικές συνθέσεις και λόγοι (w/s), όπως διαμορφώθηκαν από την πειραματική διαδικασία. Εν συντομία αναφέρονται τα βασικότερα σημεία αυτής της μελέτης.

- (1) Για την αύξηση της ρευστότητας των μιγμάτων, χρησιμοποιήθηκε υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικών πολυμερών (1.2-1.5%-κ.β.στερεών).
- (2) Στα Δελτία Δοκιμών Διεισδυτικότητας/Σταθερότητας στο τέλος του Παραρτήματος, παρατηρούνται οι μεγάλες τιμές καθίζησης και εξίδρωσης που καταγράφηκαν για το ένεμα αναφοράς G1 (της τάξης του 10%), οφειλόμενες στην μέθοδο ανάμιξης των συνθέσεων (με μηχανικό αναδευτήρα). Αυτό δεν θα συνέβαινε στην περίπτωση που η ανάμιξη των υλικών γίνονταν με συσκευή υπερήχων.
- (3) Αντιθέτως, στις συνθέσεις που περιείχαν ποζολάνη, λόγω της μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας, και άρα της μεγαλύτερης λεπτότητας των κονιών, παρατηρήθηκαν μικρότερες τιμές εξίδρωσης (Paillere et al. 1986), (Miltiadou 1990). Προκειμένου οι τιμές της εξίδρωσης να βρίσκονται στα επιθυμητά όρια ( $\leq 5\%$ ), χωρίς να μειωθεί η διεισδυτικότητα των συνθέσεων, στην περίπτωση της τριμερούς σύνθεσης με την μηλαϊκή γη G4, αρχικώς, αυξήθηκε η ποσότητα του υπερρευστοποιητή στο μίγμα, κατόπιν ο τελικός χρόνος ανάμιξης των κονιών (από δυο σε πέντε λεπτά). Τέλος, καθώς παρατηρήθηκε εξίδρωση με τον



Εικόνα Β2. Απόμιξη ενέματος.

σχηματισμό διαύλων (κανάλια), οι οποίοι στην επιφάνεια του μίγματος σχημάτιζαν μικρούς κρατήρες (Domone et al. 1994), αποφασίστηκε να αυξηθεί η ποσότητα της χρησιμοποιούμενης υδρασβέστου σε βάρος της περιεκτικότητας της ποζολάνης. Με αυτόν τον τρόπο, επιτεύχθηκε η ικανοποίηση των κριτηρίων των Παραγράφων Β.1.1 και Β.1.2. Τέλος, η χρήση του λεπτόκοκκου μετακαολίνη στα ενέματα G2 και G3, αν και εφαρμόστηκε χωρίς να χρειαστούν ειδικές συσκευές ανάμιξης (όπως είναι απαραίτητο όταν χρησιμοποιείται πυριτική παιπάλη), οδήγησε όπως ήταν αναμενόμενο σε αύξηση του λόγου νερού προς στερεών (από 0.85 σε 1.1). Παρά ταύτα, όπως και στην περίπτωση της φυσικής ποζολάνης, οι τιμές που καταγράφηκαν για την εξίδρωση ήταν πολύ μικρές (της τάξης του 1%).

Στο τέλος του παρόντος Παραρτήματος, παρατίθενται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για την εύρεση του λόγου w/s και τα σχετικά σχόλια που οδήγησαν στον σχεδιασμό των συνθέσεων που τελικώς χρησιμοποιήθηκαν. Τέλος, στον Πίνακα Β-1 παρατίθενται τα αντίστοιχα, από την βιβλιογραφία, στοιχεία για τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χαμηλότερες τιμές του λόγου w/s για τις αυτές τις συνθέσεις, οφείλονται στην μέθοδο ανάμιξης των εν λόγω ενεμάτων (αναμικτήρας υψηλού στροβιλώδους).

Πίνακας Β-1. Συνθέσεις υδραυλικών ενεμάτων-Αποτελέσματα δοκιμών ρευστότητας.

κωδικός ενέματος	σύνθεση [%-κβ]						w/s	SP [%-κ.β.]	χρόνος διέλευσης [sec]	
	C	L	HL			Μετα-καολίνης ΜΚ				Φυσική ποζο-λάνη
			ACAD	NHL5	CR					
G1	80	20					0.8	1.5	41	
G2	30	35				35	1.1	1.2	49	
G3	30	47				23	1.1	1.2		
G4	30	20					50	0.85	1.5	44
G5	30	35					35	0.90	1.2	
HL1 <sup>(1)</sup>			100				0.70		41	
HL <sup>(2)</sup>					100		0.80			
HL2 <sup>(2)</sup>				90			0.80	1	43	
HL3 <sup>(1)</sup>					100		0.70		48	

<sup>(1)</sup> (Kalagri et al. 2007)

<sup>(2)</sup> (Miltiadou et al. 2007)

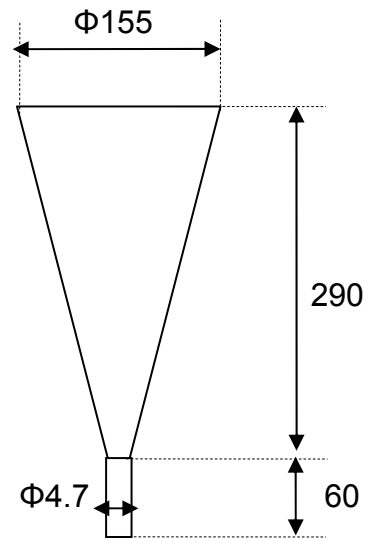
### Β.2.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΡΕΥΣΤΟΤΗΤΑΣ

Η ρευστότητα των ενεμάτων ελέγχθηκε με την χρήση κώνου Marsh. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν τα πρότυπα EN 12715:2000, EN 445. Σύμφωνα με αυτά, μετράται ο χρόνος εκροής ενέματος όγκου 1lt μέσω οπής που βρίσκεται στην βάση του κώνου. Η οπή έχει άνοιγμα 4.7mm. Χρόνοι μικρότεροι των 75 sec συνεπάγονται αποδεκτή



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ρεολογικά Ενεμάτων Β6

ρευστότητα και συνεκτικότητα των αιωρημάτων (Warner 2004). Τα αποτελέσματα του ελέγχου της ρευστότητας των ενεμάτων που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται στον Πίνακα Β1. Καταρχήν, διαπιστώνεται ότι όλες οι συνθέσεις ικανοποιούν το κριτήριο ελέγχου της ρευστότητας. Επί πλέον, παρατηρείται ότι για περίπου τον ίδιο λόγο w/s και περιεκτικότητα σε υδράσβεστο, η σύνθεση με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε τσιμέντο (σύνθεση G1) έχει μικρότερο χρόνο διέλευσης σε σχέση με την σύνθεση στην οποία μέρος του τσιμέντου έχει αντικατασταθεί από την φυσική ποζολάνη (σύνθεση G4). Αντιθέτως, για την ίδια περιεκτικότητα σε τσιμέντο, η αύξηση της περιεκτικότητας σε υδράσβεστο με ταυτόχρονη αύξηση της λεπτότητας της κονίας (σύνθεση G2), οδηγεί σε αναμενόμενη αύξηση του χρόνου διέλευσης διαμέσου του κώνου Marsh.



Εικόνα Β3. Διαστάσεις κώνου Marsh.

***Β.3 ΔΕΛΤΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ  
ΡΕΥΣΤΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ***



**Ένεμα G1 (C=80%, L=20%-κ.β.)**

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.90</b>	Δοκιμή 1:					
C=80%	-Χρόνος ανάμειξης 5.40 λεπτά.					
L=20%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 2 mm.					
w/solids= <b>0.90</b>	-Ωστόσο παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI αμέσως					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.00	4.00	10.00	12.00	14.00	15.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.90</b>	Δοκιμή 2:					
C=80%	-Χρόνος ανάμειξης 5.20 λεπτά.					
L=20%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 1 mm.					
w/solids= <b>0.90</b>	-Ωστόσο παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI αμέσως					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	φυσαλίδες		2.00	3.00	6.00	7.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.90</b>	Δοκιμή 3:					
C=80%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 2 mm.					
L=20%	-Ωστόσο παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
w/solids= <b>0.90</b>						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI αμέσως					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	φυσαλίδες		2.00	3.00	6.00	7.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.90</b>	Δοκιμή 4: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης)					
C=80%	-Αν και υδαρό, φαίνεται σταθερό.					
L=20%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 1 mm.					
w/solids= <b>0.90</b>	-Ωστόσο παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI αμέσως					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	2.06	5.15	7.22	8.25	9.28

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.90</b>	Δοκιμή 5: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης)					
C=80%	-Αν και υδαρό, φαίνεται σταθερό.					
L=20%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 1 mm.					
w/solids= <b>0.90</b>	-Ωστόσο παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
SP=1.2% κβ	-πολλές φυσαλίδες					
Διέλευση	NAI αμέσως					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	2.50	6.00	7.00	9.00	9.00

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ρεολογικά Ενεμάτων Β10

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.85</b>	Δοκιμή 1:					
C=80%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 1 mm.					
L=20%	-Όσoσo παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
w/solids=0.85						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	<10sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.00	3.50	8.00	10.00	11.00	11.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.85</b>	Δοκιμή 2:					
C=80%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 2 mm.					
L=20%	-Όσoσo παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
w/solids=0.85						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	6 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.00	2.90	6.80	6.80	11.70	12.60

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.80</b>	Δοκιμή 1:					
C=80%	-Παρατηρήθηκε κάθιση στερεών στο δοχείο ανάμειξης περίπου ίση με 1 mm.					
L=20%	-Όσoσo παρατηρήθηκε απόμιξη στο σωλήνα της εξίδρωσης (κατακόρυφες «ρωγμές»)					
w/solids=0.85						
SP=1.5% κβ	-Διάρκεια ανάμειξης 5.30 λεπτά.					
Διέλευση	6 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
		1.00	3.50	7.50	8.50	10.50

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G1-W0.80</b>	Δοκιμή 2:					
C=80%	-Μακροσκοπικά, παρατηρήθηκε απόμιξη.					
L=20%						
w/solids=0.80						
SP=1.5% κβ						
Διέλευση	NAI- 5 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
		0.56	3.33	6.66	7.77	8.88

**ENEMA G2 (C=30%, L=35%, MK=35%-κ.β.)**

AMMOΣ:0.8÷1.25mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.00</b> C=30% L=35% MK=35% w/solids=1.00 SP=1.2% κβ	-Παχύρρευστο ένεμα, αρκετά συνεκτικό και σταθερό. Ίσως λόγω του ότι οι κόνιες είναι αρκετά λεπτόκοκκες, <b>να χρειάζεται να αυξηθεί ο λόγος w/solids σε 1.1.</b> -Μακροσκοπικά, δεν παρατηρείται κάθιση στερεών στη βάση του ογκομετρικού σωλήνα. -Το σκληρυθέν ένεμα έχει χρώμα λευκό –ελαφρώς γκρί					
Διέλευση	ΟΧΙ-εισαγωγή άμμου στο ακροφύσιο εξόδου-ΑΛΛΑΓΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑΣ ΑΜΜΟΥ					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b> C=30% L=35% MK=35% w/solids=1.10 SP=1.2% κβ	-Καλή διάχυση του ενέματος στην στήλη της άμμου					
Διέλευση	NAI					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W0.90</b> C=30% L=35% MK=35% w/solids=0.90 SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI-αλλά πολύ αργά					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	<0.50			

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.00</b> C=30% L=35% MK=35% w/solids=1.00 SP=1.2% κβ	- Μακροσκοπικά, δεν παρατηρείται κάθιση στερεών στη βάση του ογκομετρικού σωλήνα.					
Διέλευση	NAI-φραγή ακροφύσιο εξόδου (ΒΕΛΤΙΩΣΗ)					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b> C=30% L=35% MK=35% w/solids=1.10 SP=1.2% κβ	Δοκιμή 1: -Ανάδευση 5 λεπτά περίπου -Δημιουργήθηκε το γνωστό προβληματάκι με την εισαγωγή αέρα στην στήλη άμμου, για αυτόν τον λόγο ο σωλήνας απορρίφθηκε.					
Διέλευση	NAI					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ρεολογικά Ενεμάτων Β12

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b>	Δοκιμή 2:					
C=30%	-Ανάδευση 5 λεπτά περίπου					
L=35%	-Δημιουργήθηκε το γνωστό προβληματάκι με την εισαγωγή αέρα στην στήλη άμμου, για αυτόν τον λόγο ο σωλήνας απορρίφθηκε.					
MK=35%	-παρέμεινε μικρή ποσότητα κονιών στα τοιχώματα του δοχείου ανάμειξης (έτσι εξηγούνται οι μεγαλύτερες τιμές της εξίδρωσης)					
w/solids=1.10						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b>	Δοκιμή 3:					
C=30%	-Ανάδευση 5 λεπτά περίπου					
L=35%	-Διατηρήθηκε το δοκίμιο					
MK=35%						
w/solids=1.10						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	<0.50	0.50	1.00	1.00	1.00

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b>	Δοκιμή 4: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης)					
C=30%	-Ανάδευση 6 λεπτά περίπου					
L=35%	-Ρηγματώσεις στον σωλήνα-δεν κρατήθηκε το δοκίμιο					
MK=35%						
w/solids=1.10						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI- 5 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	0.00			

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b>	Δοκιμή 5: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης)					
C=30%	-Ανάδευση 6 λεπτά περίπου					
L=35%	-Κρατήθηκε το δοκίμιο					
MK=35%						
w/solids=1.10						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI- 8sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G2-W1.10</b>	Δοκιμή 6: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης)					
C=30%	-Ανάδευση 6 λεπτά περίπου					
L=35%	-Κρατήθηκε το δοκίμιο					
MK=35%						
w/solids=1.10						
SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI- 6-7sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.50	<0.50

**ENEMA G3 (C=30%, L=47%, MK=23%-κ.β.)**

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G3-W1.10</b> C=30% L=47% MK=23% w/solids=1.10 SP=1.2% κβ	Δοκιμή 1: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης) -Ανάδευση 7 λεπτά περίπου -Κρατήθηκε το δοκίμιο					
Διέλευση	NAI- 6sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	0.49	0.49	0.49	0.49

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G3-W1.10</b> C=30% L=47% MK=23% w/solids=1.10 SP=1.2% κβ	Δοκιμή 2: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης) -Ανάδευση 8 λεπτά περίπου -Κρατήθηκε το δοκίμιο					
Διέλευση	NAI- 6sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G3-W1.10</b> C=30% L=47% MK=23% w/solids=1.10 SP=1.2% κβ	Δοκιμή 3: (χρησιμοποιήθηκε για παρασκευή δοκιμών κάμψης και θλίψης) -Ανάδευση 7.50 λεπτά περίπου -Κρατήθηκε το δοκίμιο					
Διέλευση	NAI- 6sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	0.00	<0.50	<0.50	<0.50	<0.50



**ENEMA G4 (C=30%, L=20%, LA=50%-κ.β.)**

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.80</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.80 SP=1.2% κβ	-Κάθιση, γύρω στο 1 mm. -Επαναλήφθηκε η ίδια δοκιμή και το ένεμα σταμάτησε σε ενδιάμεσο ύψος. Παρουσιάστηκαν συσσωματώματα στο ακροφύσιο εισόδου της στήλης άμμου.					
Διέλευση	OXI-συσσωματώματα στο ακροφύσιο					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.85 SP=1.2% κβ	-Ένεμα υδαρό. -κάθιση στο δοχείο ανάμιξης (1 mm). -Εμφανίστηκε «κρατήρας» στην άνω επιφάνεια του ενέματος μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα. (Domone)					
Διέλευση	NAI-10 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.47	3.43	5.88	8.33	10.78	

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.80</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.80 SP=1.5% κβ						
Διέλευση	OXI-συσσωματώματα στο ακροφύσιο					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.47	3.43	5.88	8.33	10.78	

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.80</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.80 SP=1.5% κβ	-Κρατήρας -Σε επαναληπτική δοκιμή, το ένεμα δεν διήλθε διαμέσου της στήλης. Δεδομένων και των πολύ υψηλών τιμών εξίδρωσης, η σύνθεση απορρίπτεται.					
Διέλευση	NAI-11 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.96	4.41	7.84	10.78	10.78	11.76

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.85 SP=1.5% κβ	-Κρατήρας -τρεις στρώσεις στον ογκομετρικό σωλήνα.					
Διέλευση	OXI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.90	4.76	5.71	7.62	9.52	

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=17.5% LA=52.5% w/solids=0.85 SP=1.5% κβ	-Αύξηση του χρόνου τελικής ανάμιξης από 2 σε 5 λεπτά, για αποφυγή κροκίδωσης. -Κρατήρας <b>-Αποφασίστηκε η αλλαγή του λόγου ασβέστη-ποζολάνης.</b>					
Διέλευση	NAI-11sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.98	1.94	5.88	6.86	9.31	9.80

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=20% LA=50% w/solids=0.85 SP=1.5% κβ	-Αύξηση του χρόνου τελικής ανάμιξης από 2 σε 5 λεπτά, για αποφυγή κροκίδωσης. <b>-Δεν παρατηρήθηκε κρατήρας</b>					
Διέλευση	NAI-10sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.49	1.94	2.91	3.88		

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=20% LA=50% w/solids=0.85 SP=1.5% κβ	-Αύξηση του χρόνου τελικής ανάμιξης από 2 σε 5 λεπτά, για αποφυγή κροκίδωσης. <b>-Δεν παρατηρήθηκε κρατήρας</b>					
Διέλευση	NAI-11sec					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.98	1.94	2.94	3.43	4.22	5.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G4-W0.85</b> C=30% L=20% LA=50% w/solids=0.85 SP=1.5% κβ	-Αύξηση του χρόνου τελικής ανάμιξης από 2 σε 5 λεπτά, για αποφυγή κροκίδωσης. <b>-Δεν παρατηρήθηκε κρατήρας</b>					
Διέλευση	NAI					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.74	0.99	1.96	2.48	3.47	3.96

**ENEMA G5 (C=30%, L=35%, LA=35%-κ.β.)**

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W1.00</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>1.00</b> SP=1.2% κβ	-Πολύ ρευστό, φάνηκε και από τα αποτελέσματα της εξίδρωσης (σχετικά μεγάλη) -άλλωστε οι κόκκοι της λάβας, έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από εκείνη του μετακαολίτη. -LAVA ATTICA, όχι σταθερή ποιότητα					
Διέλευση	NAI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	2.00	3.00		6.00		

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.85</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.85</b> SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI-μετρήσιμος χρόνος					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	2.00	2.00	2.50	3.00	4.00	5.50

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.80</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.80</b> SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI- χρόνος διέλευσης μετρήσιμος ≈10 sec					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	1.00	1.50	1.70	2.00	2.50	3.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.90</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.90</b> SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<1.00	1.00	2.00	2.00	3.50	4.00

AMMOΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.90</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.90</b> SP=1.2% κβ						
Διέλευση	NAI					
Εξίδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<0.50	1.00	1.50	2.50	3.00	3.50

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Ρεολογικά Ενεμάτων B17

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.90</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.90</b> SP=1.2% κβ	-Διάρκεια ανάμιξης 5.20 λεπτά. -Κάθιση στο δοκίμιο ανάμιξης περιπτου 2mm					
Διέλευση	ΝΑΙ					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<0.50	1.00	1.50	1.50	3.50	3.50

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.90</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.90</b> SP=1.2% κβ	Δοκίμιο 1: (χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή δοκιμών για το πείραμα κάμψης και θλίψης) -Διάρκεια ανάμιξης 6.20 λεπτά. -Ρηγμάτωση του ενέματος στην στήλη της άμμου.					
Διέλευση	ΝΑΙ					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	0.00	<0.50	1.46	1.46	2.43	2.91

ΑΜΜΟΣ:1.0÷1.7mm	Σχόλια:					
<b>G5-W0.90</b> C=30% L=35% LA=35% w/solids= <b>0.90</b> SP=1.2% κβ	Δοκίμιο 2: (χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή δοκιμών για το πείραμα κάμψης και θλίψης) -Διάρκεια ανάμιξης 6.30 λεπτά. -Διατήρηση σωληνίσκου.					
Διέλευση	ΝΑΙ					
Εξιδρωση %	15min	30min	45min	60min	90min	120min
	<0.50	<0.50	1.96	2.94	3.92	4.90



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΕΜΑΤΩΝ

Αντοχή σε κάμψη και θλίψη

Πυκνότητα

Ενανθράκωση



**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ****Ένεμα G1 (C=80%, L=20%-κ.β.)****Ηλικία: 7 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων		Βάρος	
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	0
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	0
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	0
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>	
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>7</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	38	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία παρασκευής	9/7/2004	ιστηρίτης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία θραύσης	15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης					
Ημερομηνία XRD					
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>	3,4	3,7	4,0	3,7	0,3
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa	11,8	12,9	16,2		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa	10,9	13,1	15,0		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>	11,3	13,0	15,6	13,3	2,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης ταυτίζεται με την διατομή του μέσου.  
Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης ανέρχεται στα 3-4 Kg/sec και της θλίψης στα 0,8KN/sec.  
Αστοχία σε θλίψη 45μοίρες-διπυράμιδο.

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,41	1,51	1,62
Αντοχή σε θλίψη 1	18,45	19,59	24,58
Αντοχή σε θλίψη 2	16,95	19,92	22,78
ΜΤ σε θλίψη	17,70	19,76	23,68

Ενανθράκωση:

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων		Βάρος	
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	370
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	370
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	365,5
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	39	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>	
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>28</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	39	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,48
Ημερομηνία παρασκευής	1/7/2004	ιστηρίτης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,48
Ημερομηνία θραύσης	28/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,46
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης					
Ημερομηνία XRD					
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>	3,7	3,1	3,5	3,4	0,3
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa	15,6	14,7	13,3		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa	15,8	14,4	14,0		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>	15,7	14,6	13,6	14,6	1,0

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης ταυτίζεται με την διατομή του μέσου.  
Η επιφάνεια θραύσης είναι αδρή. Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης ανέρχεται στα 3-4 Kg/sec και της θλίψης στα 0,4KN/sec.  
Αστοχία σε θλίψη 45μοίρες-διπυράμιδο.  
ΔΟΚ1: στο πείραμα της θλίψης και από την πλευρά που έχει κατακαθίσει το τοιμέντο, εμφανίζονται ρωγμές υπό γωνία 45<sup>0</sup>, ενώ από την πλευρά έγχυσης οι ρωγμές είναι κατακόρυφες. (μέτρηση SEM του ύψους απόμιξης).  
Η αντοχή σε κάμψη 28 ημερών είναι παραπλήσια με αυτή των 7 (φυσαλίδες, απόμιξη)

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,52	1,29	1,45
Αντοχή σε θλίψη 1	24,27	22,97	20,70
Αντοχή σε θλίψη 2	24,59	22,44	21,85
ΜΤ σε θλίψη	24,43	22,71	21,28

Ενανθράκωση:



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Φυσικο-Μηχανικά Χαρακτηριστικά Ενεμάτων Γ4

**Ηλικία: 60 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	295	
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	300	
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	34,5	g <sub>3</sub> (σε gr)=	305	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	34,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>60</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	35	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,34	
Ημερομηνία παρασκευής	3/12/2004	σπριγής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,36	
Ημερομηνία θραύσης				ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,36	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa		4,1	3,4	3,1	3,5	0,5
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		27,6	30,8	27,1		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		26,9	27,7	27,2		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa		27,3	29,3	27,1	27,9	1,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Λοξή ζώνη ενανθράκωσης( λόγω κακής ανάμιξης-μείωση με την αύξηση του ποσοστού τσιμέντου)

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,5	1,25	1,16
Αντοχή σε θλίψη 1	38,09	42,47	37,87
Αντοχή σε θλίψη 2	37,19	38,26	38,09
MT σε θλίψη	37,64	40,37	37,98

**Ενανθράκωση:**

6 χλσ πάνω που έχει συσσωρευτεί ο ασβέστης και σκούρο γκρι κάτω.

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 90 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος		
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	344		
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	345		
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38	g <sub>3</sub> (σε gr)=	339		
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>			
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>90</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	38	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,41		
Ημερομηνία παρασκευής	17/6/2004	σπριγής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,40		
Ημερομηνία θραύσης		15/9/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,39	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης							
Ημερομηνία XRD							
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>	
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa		4,8	4,1	4,5	4,5	0,3	
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		18,2	17,3	18,2			
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		19,2	16,7	18,0			
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa		18,7	17,0	18,1	17,9	0,8	

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,94	1,68	1,82
Αντοχή σε θλίψη 1	27,60	26,62	27,63
Αντοχή σε θλίψη 2	29,15	25,76	27,35
MT σε θλίψη	28,38	26,19	27,49

**Ενανθράκωση:**

**Ηλικία: 180 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	335	
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	335	
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	37	g <sub>3</sub> (σε gr)=	330	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	37	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>180</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	36,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,41
Ημερομηνία παρασκευής		22/6/2004	ιστομετρίας =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,41
Ημερομηνία θραύσης		17/12/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,41
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		5,3	4,1	4,6	4,7	0,6
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		27,4	23,8	28,3		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		24,7	25,7	25,7		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		26,0	24,7	27,0	25,9	1,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Διαγώνια θραύση στο πείραμα της κάμψης για τα δοκίμια 1 και 2.  
 Η πάνω στρώση στην οποία έχει συγκεντρωθεί ο ασβέστης έχει ρηγματωθεί και είναι μαλακή

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	2,1	1,6	1,8
Αντοχή σε θλίψη 1	40,50	35,17	41,33
Αντοχή σε θλίψη 2	36,52	38,08	37,57
MT σε θλίψη	38,51	36,63	39,45

**Ενανθράκωση:**

10 χλσ πάνω που έχει συσσωρευτεί ο ασβέστης και σκούρο γκρι κάτω. Μικροροηγματώσεις στην ζώνη με τον ασβέστη, ορατές με το μάτι (ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 368 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G1-W0,80		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=80%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	325	
L=20%		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	330	
w/solids=0,80		b <sub>1</sub> (σε mm)=	37	g <sub>3</sub> (σε gr)=	335	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	35	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>368</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	36,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,37
Ημερομηνία παρασκευής		25/6/2004	ιστομετρίας =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,47
Ημερομηνία θραύσης		24/6/2005			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,43
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		1,6	3,1	2,2	2,3	0,7
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		19,2	29,2	25,9		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		19,7	29,9	25,6		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		19,4	29,6	25,7	24,9	5,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: τριβεται ο ασβέστης, τσιμέντο κάτω 0,7 εκατοστά  
 ΔΟΚ2: τσιμέντο κάτω 1,4 εκατοστά, διαγώνια θραύση στην κάμψη  
 ΔΟΚ3: τσιμέντο κάτω 1,0 εκατοστά, διαγώνια θραύση στην κάμψη

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,63	1,15	0,85
Αντοχή σε θλίψη 1	28,36	40,87	37,76
Αντοχή σε θλίψη 2	29,10	41,87	37,34
MT σε θλίψη	28,73	41,37	37,55

**Ενανθράκωση:**

12 χλσ πάνω

ΦΩΤΟ

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ****Ένεμα G2 (C=30%, L=35%, ΜΚ=35%-κ.β.)****Ηλικία: 7 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	0	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	0	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	41	g <sub>3</sub> (σε gr)=	0	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	41	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		7	b <sub>3</sub> (σε mm)=	41	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία παρασκευής		9/7/2004	ιστηρίτης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία θραύσης		15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία ΧRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,3	1,3	1,3	1,3	0,0
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		5,0	5,1	5,1		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		5,0	5,1	5,1		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		5,0	5,1	5,1	5,1	0,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης δεν ταυτίζεται με την διατομή του μέσου (διαγώνια θραύση).  
Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης ανέρχεται στα 3-4 Kg/sec και της θλίψης στα 0,8KN/sec.

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,57	0,57	0,55
Αντοχή σε θλίψη 1	8,14	8,36	8,34
Αντοχή σε θλίψη 2	8,22	8,36	8,43
ΜΤ σε θλίψη	8,18	8,36	8,39

## Ενανθράκωση:

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	325	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	330	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	320	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		28	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,27
Ημερομηνία παρασκευής		8/12/2004	ιστηρίτης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,27
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,23
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία ΧRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		2,4	2,0	1,5	2,0	0,5
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		9,9	10,1	10,1		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		10,7	10,0	8,8		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		10,3	10,0	9,5	9,9	0,4

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: Θραύση στη δοκιμή της κάμψης στη μεσαία διατομή. Στην θλίψη διπύραμιδο στα 4 KN πέφτει το φορτίο μέχρι τα 3,7 και μετά αυξάνεται μέχρι το φορτίο θραύσης.  
ΔΟΚ2-3: Διαμητική Θραύση στη δοκιμή της κάμψης.  
Ρυθμός φόρτισης 0,4KN/sec στο πείραμα της θλίψης

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,03	0,88	0,64
Αντοχή σε θλίψη 1	15,76	16,34	16,37
Αντοχή σε θλίψη 2	17,10	16,12	14,30
ΜΤ σε θλίψη	16,43	16,23	15,34

## Ενανθράκωση: Πρακτικά μηδενική (ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 60 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	310	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	320	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	315	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		60	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,21
Ημερομηνία παρασκευής		10/1/2005	σκληρός =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,25
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,23
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		1,4	1,2	1,5	1,4	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		12,2	10,6	11,3		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		11,3	12,5	9,6		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		11,8	11,5	10,4	11,3	0,7

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: μικρορρηγματώσεις στην επιφάνεια διάστρωσης, αστοχία σε κάμψη με θραύση κεντρική, στην θλίψη -->συμπίεση περιοχής κάτω από την πλάκα επιβολής του θλιπτικού φορτίου.

ΔΟΚ2: αστοχία σε κάμψη κεντρικά

ΔΟΚ3: αστοχία σε κάμψη λοξή

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,61	0,52	0,63
Αντοχή σε θλίψη 1	19,57	16,97	18,03
Αντοχή σε θλίψη 2	18,11	19,98	15,40
MT σε θλίψη	18,84	18,48	16,72

## Ενανθράκωση:

0/2/0,5/2

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 90 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	325	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	330	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	325	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		90	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,27
Ημερομηνία παρασκευής		3/1/2005	σκληρός =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,29
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,27
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		1,2	0,8	1,0	1,0	0,2
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		13,2	12,5	11,9		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		12,7	11,9	12,4		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		13,0	12,2	12,2	12,4	0,4

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: αστοχία σε κάμψη κεντρικά

ΔΟΚ2-3: αστοχία σε κάμψη διαμητικά (λοξή αστοχία). Στο πείραμα της θλίψης για το ΔΟΚ3, στα 8KN ακούστηκε κρακ, στα 10 πέταξε το δεξί και αριστερό τμήμα και συνέχισε έτσι μέχρι την αστοχία.

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,51	0,36	0,41
Αντοχή σε θλίψη 1	21,13	20,02	19,10
Αντοχή σε θλίψη 2	20,31	19,06	19,80
MT σε θλίψη	20,72	19,54	19,45

## Ενανθράκωση:

1,5/2/0/3

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 180 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	290	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	295	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	295	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>180</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,13
Ημερομηνία παρασκευής		22/6/2004	στηριχής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,15
Ημερομηνία θραύσης		17/12/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,15
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Μρα		0,7	1,3	0,7	0,9	0,4
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		6,9	8,8	8,6		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		7,3	8,5	8,2		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Μρα		7,1	8,7	8,4	8,1	0,8

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,29	0,57	0,29
Αντοχή σε θλίψη 1	11,01	14,11	13,73
Αντοχή σε θλίψη 2	11,71	13,64	13,11
MT σε θλίψη	11,36	13,88	13,42

**Ενανθράκωση:**  
5/3/6/7  
(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 368 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	290	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	285	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	41	g <sub>3</sub> (σε gr)=	285	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	41,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>368</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	41	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,11
Ημερομηνία παρασκευής		25/6/2004	στηριχής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,07
Ημερομηνία θραύσης		24/6/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,09
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Μρα		0,3	0,2	0,3	0,3	0,0
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		5,0	5,2	4,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		5,2	5,0	4,8		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Μρα		5,1	5,1	4,6	4,9	0,3

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,13	0,11	0,12
Αντοχή σε θλίψη 1	8,13	8,67	7,25
Αντοχή σε θλίψη 2	8,54	8,23	7,80
MT σε θλίψη	8,34	8,45	7,53

**Ενανθράκωση:**  
11/7/13/11  
(ΦΩΤΟ)

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ****Ένεμα G3 (C=30%, L=47%, ΜΚ=23%-κ.β.)****Ηλικία: 7 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	0	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	0	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	41	g <sub>3</sub> (σε gr)=	0	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	41	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	41	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία παρασκευής		9/7/2004	σκληρός =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία θραύσης		15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		0,6	0,8	0,7	0,7	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		3,5	3,5	3,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		3,4	3,6	3,4		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		3,4	3,5	3,4	3,5	0,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης δεν ταυτίζεται με την μεσαία διατομή (διαγώνια θραύση).  
 Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης είναι ίσος με 3-4Kg/sec και της θλίψης 0,8KN/sec.  
 Χρωματισμός: Τα δοκίμια είναι ελαφρώς κίτρινα όπως και τα δοκίμια της σύνθεσης G2, αλλά οι επιφανείες θραύσης είναι πιο αδρές.

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,28	0,34	0,31
Αντοχή σε θλίψη 1	5,80	5,71	5,62
Αντοχή σε θλίψη 2	5,51	5,83	5,58
ΜΤ σε θλίψη	5,66	5,77	5,60

Ενανθράκωση:

adamis:  
έπεσε το δοκίμιο

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	320	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	325	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	325	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	41	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,25	
Ημερομηνία παρασκευής		9/7/2004	σκληρός =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,24
Ημερομηνία θραύσης		15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,27
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		2,3	2,6	1,9	2,3	0,4
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		7,4	7,1	7,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		7,1	7,3	7,6		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		7,3	7,2	7,5	7,3	0,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης δεν ταυτίζεται με την μεσαία διατομή (διαγώνια θραύση) για το ΔΟΚ3.  
 Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης είναι ίσος με 16Kg/sec και της θλίψης 0,4KN/sec.  
 Φυσαλίδες στην 2η στρώση συμπίκνωσης.  
 Στο πείραμα της θλίψης, αυξανόμενου του φορτίου όταν αυτό φτάνει τα 4KN, υπάρχει μια μικρή πτώση μέχρι το 3,8KN και μετά αυξάνεται το φορτίο μέχρι την θραύση.

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1	1,14	0,81
Αντοχή σε θλίψη 1	11,80	11,70	11,91
Αντοχή σε θλίψη 2	11,41	12,01	12,09
ΜΤ σε θλίψη	11,61	11,86	12,00

Ενανθράκωση:

(ΦΩΤΟ)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Φυσικο-Μηχανικά Χαρακτηριστικά Ενεμάτων Γ10

**Ηλικία: 60 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	295	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	300	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	295	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		60	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,15
Ημερομηνία παρασκευής		3/12/2004	στηριξής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,17
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,15
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		0,8	1,0	1,0	0,9	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		7,3	6,9	7,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		7,0	7,3	7,8		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		7,1	7,1	7,6	7,3	0,3

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: φιλοραγιασμένο φαίνεται να είναι  
 ΔΟΚ3: έχουν αποκολληθεί οι γωνίες κατά το ξεκαλούπωμα  
 Διαγώνιο επίπεδο θραύσης στην κάμψη  
 ΔΟΚ2: τα δυο κομμάτια που έχουν προκύψει από το πείραμα της κάμψης είναι ανισομεγέθη

adamis:  
 μικρότερο κομμάτι

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,33	0,43	0,43
Αντοχή σε θλίψη 1	11,62	11,05	11,85
Αντοχή σε θλίψη 2	11,15	11,67	12,53
MT σε θλίψη	11,39	11,36	12,19

**Ενανθράκωση:**

3 χλσ πάνω και 1,5 χλσ περιμετρικά  
 (ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 90 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	316	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	314	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	41	g <sub>3</sub> (σε gr)=	315	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		90	b <sub>3</sub> (σε mm)=	41	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,20
Ημερομηνία παρασκευής		18/6/2004	στηριξής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,23
Ημερομηνία θραύσης			15/9/2004		ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,20
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		1,4	1,2	1,3	1,3	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		8,1	7,7	7,7		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		7,8	8,0	8,0		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		8,0	7,8	7,9	7,9	0,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,63	0,53	0,58
Αντοχή σε θλίψη 1	13,30	12,30	12,70
Αντοχή σε θλίψη 2	12,80	12,80	13,05
MT σε θλίψη	13,05	12,55	12,88

**Ενανθράκωση:**

**Ηλικία: 180 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	275	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	285	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	285	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>180</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,07
Ημερομηνία παρασκευής		22/6/2004	σπριγής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,11
Ημερομηνία θραύσης		17/12/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,11
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		0,3	1,3	1,2	1,3	0,0
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		0,0	7,0	7,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		0,0	6,7	7,3		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		0,0	6,8	7,3	7,1	0,4

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1: όλες οι κάτω ακμές του δοκιμίου αποκολλήθηκαν (διάστρωση)  
 ΔΟΚ2: μια γωνία του δοκιμίου θρυμματισμένη, έτοιμη να θραυστεί και άλλη  
 ΔΟΚ3: ομοίως με 1  
 Ρυθμός φόρτισης σε κάμψης 10Kg/sec  
 Χρώμα: υποκίτρινο

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,13	0,55	0,53
Αντοχή σε θλίψη 1	0,00	11,19	11,83
Αντοχή σε θλίψη 2	0,00	10,65	11,60
MT σε θλίψη	0,00	10,92	11,72

## Ενανθράκωση:

5/5/6/7

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 368 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	265	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	260	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	41	g <sub>3</sub> (σε gr)=	260	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	41	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>368</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	41	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,01
Ημερομηνία παρασκευής		25/6/2004	σπριγής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,99
Ημερομηνία θραύσης		24/6/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,99
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		-	-	0,1	0,1	-
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		2,6	2,6	2,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		-	-	2,6		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		2,6	2,6	2,5	2,5	0,0

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ1-2: τα δοκίμια έσπασαν από μόνα τους.

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	-	-	0,06
Αντοχή σε θλίψη 1	4,21	4,19	3,90
Αντοχή σε θλίψη 2	0,00	-	4,34
MT σε θλίψη	4,21	4,19	4,12

## Ενανθράκωση:

έχει μείνει μια ζώνη 0,5\*0,5 εκατοστών μη ενανθρακωμένη



**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ**

Ένεμα G4 (C=30%, L=20%, LA=50%-κ.β.)

**Ηλικία: 7 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	0	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	0	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	0	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	39	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>7</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	39	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία παρασκευής	9/7/2004	στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία θραύσης	15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>	
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa	0,6	0,6	0,6	0,6	0,0	
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa	0,7	1,0	1,2			
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa	1,0	1,1	1,3			
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa	0,8	1,0	1,3	1,0	0,2	

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης ταυτίζεται με την διατομή του μέσου. Η επιφάνεια θραύσης είναι αδρή (περισσότερο από ότι στις άλλες συνθέσεις. Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης ανέρχεται στα 3-4 Kg/sec και της θλίψης στα 0,8KN/sec. Στο πείραμα της θλίψης, το φορτίο έφτανε εκείνο της θραύσης, αλλά η φόρτιση συνεχιζόταν (κάτι σαν φθιπός κλάδος). (Έσπαζε και συνέχιζε να επιβάλλει φορτίο μέχρι που το δοκίμιο κονιορτοποιόταν)

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,24	0,23	0,23
Αντοχή σε θλίψη 1	1,06	1,50	1,94
Αντοχή σε θλίψη 2	1,56	1,68	1,98
MT σε θλίψη	1,31	1,59	1,96

## Ενανθράκωση:

adamis:  
ο ρυθμός επιβολής του φορτίου ήταν 0,4KN/sec.

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	355	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	355	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	350	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>28</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,39	
Ημερομηνία παρασκευής	18/6/2004	στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,39	
Ημερομηνία θραύσης	15/7/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,37	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>	<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>	
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa	1,7	1,7	1,8	1,7	0,1	
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa	3,2	3,2	3,2			
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa	3,2	3,5	3,3			
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa	3,2	3,4	3,3	3,3	0,1	

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης ταυτίζεται με την διατομή του μέσου. Η επιφάνεια θραύσης είναι αδρή (πιο πολύ από τις άλλες συνθέσεις). Ο ρυθμός φόρτισης για το πείραμα της κάμψης ήταν 3-4Kg/sec και για το πείραμα της θλίψης 0,4KN/sec. Στο πείραμα της θλίψης, όταν τα φορτία φτάνουν στα 4KN, παρατηρείται μια στιγμιαία πτώση του φορτίου (κάτι σαν κράτυση) πριν το φορτίο φτάσει την τελική του τιμή (θραύση).

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,71	0,71	0,75
Αντοχή σε θλίψη 1	5,05	5,16	5,15
Αντοχή σε θλίψη 2	5,15	5,58	5,26
MT σε θλίψη	5,10	5,37	5,21

## Ενανθράκωση:

**Ηλικία: 60 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	295	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	285	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	295	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>60</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	38,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,18
Ημερομηνία παρασκευής		3/12/2004	ιστορίας =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,17
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,20
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,0	1,2	1,2	1,2	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		4,5	4,6	4,8		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		4,6	4,6	4,7		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		4,5	4,6	4,7	4,6	0,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,42	0,5	0,51
Αντοχή σε θλίψη 1	7,00	7,02	7,35
Αντοχή σε θλίψη 2	7,16	6,98	7,24
ΜΤ σε θλίψη	7,08	7,00	7,30

## Ενανθράκωση:

3 χλσ στις δυο παρείς και 2 χλσ στις άλλες δυο

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 90 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	302	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	300	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38	g <sub>3</sub> (σε gr)=	285	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>90</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	37	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,24
Ημερομηνία παρασκευής		18/6/2004	ιστορίας =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,23
Ημερομηνία θραύσης			15/9/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		2,3	1,8	1,6	1,9	0,3
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		7,8	8,0	7,6		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		8,1	6,8	7,4		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		7,9	7,4	7,5	7,6	0,3

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,92	0,71	0,65
Αντοχή σε θλίψη 1	11,80	12,20	11,20
Αντοχή σε θλίψη 2	12,30	10,30	10,90
ΜΤ σε θλίψη	12,05	11,25	11,05

## Ενανθράκωση:

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Φυσικο-Μηχανικά Χαρακτηριστικά Ενεμάτων Γ14

**Ηλικία: 180 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	285	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	290	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38,5	g <sub>3</sub> (σε gr)=	280	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>180</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	37,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,16
Ημερομηνία παρασκευής		22/6/2004	σπληνής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,19
Ημερομηνία θραύσης		17/12/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,17
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Μpa		0,8	1,4	1,7	1,3	0,5
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μpa		6,8	7,3	6,5		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μpa		6,6	7,6	6,8		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Μpa		6,7	7,5	6,6	6,9	0,5

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Μεγάλη ζώνη ενανθράκωσης

Ενδείξεις σσσευής σε ΚΝ

σε ΚΝ	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,31	0,55	0,67
Αντοχή σε θλίψη 1	10,42	11,16	9,72
Αντοχή σε θλίψη 2	10,23	11,57	10,19
ΜΤ σε θλίψη	10,33	11,37	9,96

Ενανθράκωση:

10/8,5/3/5

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 368 ημέρες**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	280	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	285	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	280	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	39	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		<b>368</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	39,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,12
Ημερομηνία παρασκευής		25/6/2004	σπληνής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,14
Ημερομηνία θραύσης		24/6/2004			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,11
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Μpa		0,5	0,4	0,3	0,4	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μpa		3,7	4,0	3,6		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μpa		3,4	3,9	3,8		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Μpa		3,6	3,9	3,7	3,7	0,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις σσσευής σε ΚΝ

σε ΚΝ	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,19	0,17	0,14
Αντοχή σε θλίψη 1	5,84	6,17	5,74
Αντοχή σε θλίψη 2	5,38	6,05	5,97
ΜΤ σε θλίψη	5,61	6,11	5,86

Ενανθράκωση:

ολόκληρη η διατομή!!!!

(ΦΩΤΟ)

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ**

Ένεμα G5 (C=30%, L=35%, LA=35%-κ.β.)

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-LA-W0,90		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=		
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=		
w/solids=0,90		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=		
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	38,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία παρασκευής		10/6/2004	120	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία θραύσης		8/7/2004		ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	0,00	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3	MT	σ
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		0,9	1,0	0,6	0,8	0,2
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		3,0	2,3	2,7		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		3,1	3,1	2,9		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		3,0	2,7	2,8	2,8	0,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο ΕΩΣ.

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,306	0,34	0,204
Αντοχή σε θλίψη 1	4,66	3,57	4,11
Αντοχή σε θλίψη 2	4,76	4,83	4,42
MT σε θλίψη	4,71	4,20	4,27

**Ηλικία: 90 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-LA-W0,90		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	277,5	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	278,5	
w/solids=0,90		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38	g <sub>3</sub> (σε gr)=	274,5	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	37,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,14	
Ημερομηνία παρασκευής		11/6/2004	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,15	
Ημερομηνία θραύσης		8/9/2004		ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,14	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ		ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3	MT	σ
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Mpa</b>		1,5	1,3	1,4	1,4	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		5,8	5,6	5,6		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		5,5	5,8	5,9		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Mpa</b>		5,7	5,7	5,8	5,7	0,1

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Στο πείραμα της κάμψης αυξήθηκε λίγο η ταχύτητα φόρτισης καθότι άλλαξε τμήμα της συσκευής φόρτισης. Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της θλίψης παραμένει ίσος με 0,4KN/sec. Το στρώμα της ενανθράκωσης προσεγγίζει τα 3χλσ. Κατά το πείραμα της θλίψης παρατηρήθηκε μια στιγμιαία πτώση του φορτίου από τα 4KN στα 3,8.

## Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,59	0,51	0,55
Αντοχή σε θλίψη 1	8,80	8,45	8,46
Αντοχή σε θλίψη 2	8,42	8,80	8,81
MT σε θλίψη	8,61	8,63	8,64

adamis:  
το δοκίμιο έπαυσε σε θλίψη στην μέση και όχι κάνοντας τον γνωστό κώνο.  
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ&ΑΣΒΕΣΤΟΝΕΡΟ**

Ένεμα G2 (C=30%, L=35%, ΜΚ=35%-κ.β.)

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	370	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	370	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	375	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,45	
Ημερομηνία παρασκευής		στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,45	
Ημερομηνία θραύσης				ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,46	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,9	1,5	2,2	1,9	0,3
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		-	11,1	12,8		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		-	11,4	10,3		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		-	11,3	11,5	11,4	0,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

λεία η επιφάνεια θραύσης

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,8	0,654	0,95
Αντοχή σε θλίψη 1	-	17,80	20,40
Αντοχή σε θλίψη 2	-	18,30	16,50
ΜΤ σε θλίψη	-	18,05	18,45

**Ηλικία: 90 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	370	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	370	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39,5	g <sub>3</sub> (σε gr)=	375	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	39,5	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		b <sub>3</sub> (σε mm)=	39,5	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,45	
Ημερομηνία παρασκευής		στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,45	
Ημερομηνία θραύσης				ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,46	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,1	0,6	1,2	1,0	0,3
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		14,5	13,5	13,5		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		13,1	14,6	12,7		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		13,8	14,1	13,1	13,6	0,5

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

ΔΟΚ2: ψαθυρή θραύση (θλίψη) το δοκίμιο θρυμματίζεται. Επίπεδο θραύσης:



Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,45	0,26	0,5
Αντοχή σε θλίψη 1	22,85	21,30	21,35
Αντοχή σε θλίψη 2	20,65	23,10	20,10
ΜΤ σε θλίψη	21,75	22,20	20,73

Ενανθράκωση:

**Ηλικία: 230 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G2-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	355	
L/P=1/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	360	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	355	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		232	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,39
Ημερομηνία παρασκευής		6/7/2005	ιστορικής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,41
Ημερομηνία θραύσης		22/2/2006			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,39
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,2	3,6	2,9	2,6	1,2
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		17,6	18,3	18,4		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		16,6	18,3	18,6		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		17,1	18,3	18,5	17,9	0,8

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

## Ενδείξεις σασκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,51	1,53	1,24
Αντοχή σε θλίψη 1	28,10	29,20	29,40
Αντοχή σε θλίψη 2	26,60	29,20	29,80
ΜΤ σε θλίψη	27,35	29,20	29,60

## Ενανθράκωση:

3/2/0/0

(ΦΩΤΟ)

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ&ΑΣΒΕΣΤΟΝΕΡΟ**

Ένεμα G3 (C=30%, L=47%, MK=23%-κ.β.)

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	347	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	349	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	39	g <sub>3</sub> (σε gr)=	350	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		28	b <sub>3</sub> (σε mm)=	39	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,39	
Ημερομηνία παρασκευής			στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,36	
Ημερομηνία θραύσης					ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,40	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		1,3	1,5	1,4	1,4	0,1
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		7,4	7,2	7,8		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		7,2	6,9	7,8		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		7,3	7,0	7,8	7,4	0,4

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,54	0,63	0,57
Αντοχή σε θλίψη 1	11,60	11,50	12,10
Αντοχή σε θλίψη 2	11,30	11,01	12,09
ΜΤ σε θλίψη	11,45	11,26	12,10

Ενδείξεις συσκευής σε KN

**Ενανθράκωση:**

(ΦΩΤΟ)

**Ηλικία: 230 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G3-W1,10		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	340	
L/P=2/1		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	345	
w/solids=1,10		b <sub>1</sub> (σε mm)=	40	g <sub>3</sub> (σε gr)=	340	
SP=1,2% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	40	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>		231	b <sub>3</sub> (σε mm)=	40	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,33	
Ημερομηνία παρασκευής		6/7/2005	στηρίξης =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,35	
Ημερομηνία θραύσης		21/2/2006			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )= 1,33	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>ΜΤ</b>	<b>σ</b>
<b>Αντοχή σε κάμψη σε Μρα</b>		2,4	1,7	2,4	2,2	0,4
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Μρα		9,7	10,3	10,2		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Μρα		9,1	10,2	10,1		
<b>Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&amp;2 σε Μρα</b>		9,4	10,2	10,2	9,9	0,5

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Το επίπεδο θραύσης στο πείραμα της κάμψης ταυτίζεται με την μεσαία διατομή.  
Ο ρυθμός φόρτισης στο πείραμα της κάμψης είναι ίσος με 3-4Kg/sec και της θλίψης 0,4KN/sec.  
Χρωματισμός: Τα δοκίμια είναι λευκά.

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	1,02	0,72	1,02
Αντοχή σε θλίψη 1	15,50	16,40	16,30
Αντοχή σε θλίψη 2	14,50	16,30	16,20
ΜΤ σε θλίψη	15,00	16,35	16,25

Ενδείξεις συσκευής σε KN

**Ενανθράκωση:**

3,5/3,5/1/3

ΦΩΤΟ

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΤΟΝ ΥΓΡΟ ΘΑΛΑΜΟ&ΑΣΒΕΣΤΟΝΕΡΟ**

Ένεμα G4 (C=30%, L=20%, LA=50%-κ.β.)

**Ηλικία: 28 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	355	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	355	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38	g <sub>3</sub> (σε gr)=	350	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>28</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	38	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,46	
Ημερομηνία παρασκευής		ιστορικής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,46	
Ημερομηνία θραύσης	15/6/2006			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,44	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa		0,9	1,3	1,3	1,1	0,2
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa			2,4	2,2		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa			2,4	2,0		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa			2,4	2,1	2,2	0,2

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,36	0,51	0,51
Αντοχή σε θλίψη 1	-	3,60	3,30
Αντοχή σε θλίψη 2	-	3,70	3,00
MT σε θλίψη	-	3,65	3,15

**Ηλικία: 230 ημέρες****ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΘΛΙΨΗΣ-ΚΑΜΨΗΣ**

ΣΥΝΘΕΣΗ G4-LA-W0,85		Γεωμετρία Δοκιμίων			Βάρος	
C=30%		l (σε mm)=	160	g <sub>1</sub> (σε gr)=	335	
L/P=1/2,5		h (σε mm)=	40	g <sub>2</sub> (σε gr)=	335	
w/solids=0,85		b <sub>1</sub> (σε mm)=	38	g <sub>3</sub> (σε gr)=	335	
SP=1,5% κβ		b <sub>2</sub> (σε mm)=	38	<b>Φαινόμενη πυκνότητα</b>		
<b>ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ</b>	<b>232</b>	b <sub>3</sub> (σε mm)=	38	ρ <sub>1</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,38	
Ημερομηνία παρασκευής	6/7/2005	ιστορικής =	100	ρ <sub>2</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,38	
Ημερομηνία θραύσης	22/2/2006			ρ <sub>3</sub> (σε gr/cm <sup>3</sup> )=	1,38	
Ημερομηνία διακοπής ενυδάτωσης						
Ημερομηνία XRD						
<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b>		<b>ΔΟΚ1</b>	<b>ΔΟΚ2</b>	<b>ΔΟΚ3</b>	<b>MT</b>	<b>σ</b>
Αντοχή σε κάμψη σε Mpa		1,6	2,0	1,6	1,7	0,2
Αντοχή σε θλίψη 1 σε Mpa		6,8	7,4	7,2		
Αντοχή σε θλίψη 2 σε Mpa		7,1	7,1	8,4		
Μέση Αντοχή σε θλίψη 1&2 σε Mpa		6,9	7,2	7,8	7,3	0,4

**Σχόλια-Φωτογραφίες:**

Μεγάλη ζώνη ενανθράκωσης

Ενδείξεις συσκευής σε KN

σε KN	ΔΟΚ1	ΔΟΚ2	ΔΟΚ3
Αντοχή σε κάμψη	0,65	0,8	0,65
Αντοχή σε θλίψη 1	10,30	11,20	11,00
Αντοχή σε θλίψη 2	10,80	10,80	12,70
MT σε θλίψη	10,55	11,00	11,85

Ενανθράκωση:

9/7/1/1

(ΦΩΤΟ)



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: Φυσικο-Μηχανικά Χαρακτηριστικά Ενεμάτων Γ20

Πίνακας Γ-1. Αποτελέσματα δοκιμών ενεμάτων στην στερεά κατάσταση.

κωδικός σύνθεσης	ηλικία [ημέρες]	$\rho$ [gr/cm <sup>3</sup> ]	$f_{g,t}$ [MPa]	$f_{g,c}$ [MPa]	ενανθράκωση [mm]
G1	7	-	3.7	13.3	
	28	1.47	3.4	14.6	
	60	1.35	3.5	27.9	6.0 (άνω ίνα)
	90	1.40	4.5	17.9	
	180	1.41	4.7	25.9	10.0 (άνω ίνα)
	368	1.42	2.3	24.9	12.0 (άνω ίνα)
G2	7	-	1.3	5.1	
	28	1.26	2.0	9.9	0
	60	1.23	1.4	11.3	1.0
	90	1.28	1.0	13.6	1.6
	180	1.14	0.9	8.1	5.3
	368	1.09	0.3	4.9	10.5
G3	7	-	0.7	3.5	
	28	1.25	2.3	7.3	
	60	1.16	0.9	7.3	1.9
	90	1.21	1.9	7.9	
	180	1.10	1.3	7.1	5.8
	368	1.00	0.1	2.5	17.5
G4	7	-	0.6	1.0	
	28	1.38	1.7	3.3	
	60	1.18	1.2	4.6	2.5
	90	1.22	1.9	7.6	
	180	1.17	1.3	6.9	6.6
	368	1.12	0.4	3.7	ολόκληρη η διατομή

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

**ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**  
**Αποτελέσματα και Διερευνήσεις**



## **Δ.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

Στους Πίνακες Δ-1 έως Δ-4 παρουσιάζονται συγκεντρωμένα τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού (τιμή εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών, τύποι αστοχίας και μακροσκοπικές παρατηρήσεις που αφορούν την ενανθράκωση, την ύπαρξη πόρων και ρηγματώσεων στον αρμό, την υφή και σταθερότητα του ενέματος) ανά ηλικία δοκιμής. Συνολικά, πραγματοποιήθηκαν 111 δοκιμές. Στο τέλος του παρόντος Παραρτήματος παρουσιάζονται τα δελτία της κάθε δοκιμής ξεχωριστά (ανά ηλικία, τύπο υποβάθρου και τύπο συγκολλητικής κονίας).

Με βάση τα Κριτήρια Απόρριψης Δοκιμών (§ 3.8.2.1), δεν γίνονται αποδεκτά για περαιτέρω διερεύνηση της εφελκυστικής αντοχής των διεπιφανειών υποβάθρων/ενεμάτων τα αποτελέσματα των παρακάτω δοκιμών:

- (1) Με βάση το Κριτήριο (1), λόγω ανεπαρκούς τράχυνσης των υποβάθρων απορρίπτονται οι δοκιμές: Δ5, Δ6 των δοκιμών μαρμάρου/G2 (60 ημέρες) και Δ2 τραβερίνη/G4 (60 ημέρες).
- (2) Βάσει του Κριτηρίου (2), απορρίπτεται η Δ1 οπτοπλίνθου/G2 (28 ημέρες), η Δ1 τραβερίνη/G2 (28 ημέρες), οι Δ1, Δ2 οπτοπλίνθου/G2 (60 ημέρες) λόγω μη πλήρωσης του αρμού με ένεμα. Επί πλέον, απορρίπτονται οι Δ2 και Δ3 με υπόβαθρο τον τραβερίνη/G4 (90 ημέρες) λόγω ενανθράκωσης του αρμού του ενέματος οφειλόμενη σε κακή ποιότητα του υποβάθρου (παρουσία πολλών πόρων και ασυνεχειών).
- (3) Τέλος, βάσει του Κριτηρίου 3, δεν γίνονται αποδεκτές οι τιμές Δ2/ G2 (180 ημέρες) και η τιμή Δ1 τραβερίνη/ G4 (28 ημέρες).

Σημειώνεται ότι βάσει του Κριτηρίου (3), θα έπρεπε να απορριφθούν οι δοκιμές Δ1 και Δ2 μαρμάρου/ενέματος G1 (28 ημέρες). Παρόλα αυτά, επειδή το μέγεθος της εφελκυστικής αντοχής που προέκυψε για αυτά τα δυο δοκίμια, είναι μεγαλύτερο από εκείνο του τρίτου δοκιμίου της ίδιας σειράς (με μικτό τύπο αστοχίας ITZ συνδυασμένο με G), μπορεί να ειπωθεί ότι η εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας των συγκεκριμένων σύνθετων δοκιμών για την ηλικία των 28 ημερών είναι μεγαλύτερη από τον μέσο όρο και των τριών δοκιμών (1.57MPa). Με το ίδιο σκεπτικό διατηρούνται και όλες οι δοκιμές των σύνθετων δοκιμών με την οπτόπλινθο που αστόχησαν στο υπόβαθρο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Δοκιμές Εφελκυσμού Δ4

Πίνακας Δ-1. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 28 ημερών (33 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες] 28	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]	10.00			0.50			4.50			
$f_{g,t}$ [MPa]	3.40			2.00			1.70			
$f_{g,c}$ [MPa]	14.60			9.90			3.30			
ενανθράκωση [mm]	δεν μετρήθηκε			δεν μετρήθηκε			δεν μετρήθηκε			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκίμιου	11.80			0.00			4.00		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1	0.76	1.85	0.89	0.85	0.74 <sup>(2)</sup>	0.91 <sup>(2)</sup>	0.51	0.27 <sup>(2)</sup>	0.82
	Δ2	0.89	1.65	0.93	0.97	1.17	0.84	0.23	1.58	0.97
	Δ3	1.14	1.20	0.74	1.29	1.44	<sup>(1)</sup>	0.24	1.38	0.86
	Δ4					1.46	0.60			
	Δ5					1.03	0.73			
	Δ6					1.69	0.81			
στατιστική επεξεργασία	m	<b>0.93</b>	<b>1.57</b>	<b>0.85</b>	<b>1.04</b>	<b>1.36</b>	<b>0.75</b>	<b>0.33</b>	<b>1.48</b>	<b>0.88</b>
	σ	<b>0.19</b>	<b>0.33</b>	<b>0.10</b>	<b>0.23</b>	<b>0.26</b>	<b>0.11</b>	<b>0.16</b>	<b>0.14</b>	<b>0.08</b>
	cv	<b>0.21</b>	<b>0.21</b>	<b>0.12</b>	<b>0.22</b>	<b>0.19</b>	<b>0.14</b>	<b>0.49</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>
πλήθος δοκιμών		3	3	3	3	6	6	3	3	3
τύπος αστοχίας	Δ1	ITZ(G)	S	S	Z	G	G	ITZ	S	S
	Δ2	ITZ(G)	S	S	Z(ITZ)	G	S	ITZ	Z	S
	Δ3	ITZ	ITZ+G	S	Z	G	<sup>(*)</sup>	ITZ	Z	S
	Δ4					Z(G)	S			
	Δ5					G(ITZ)	S			
	Δ6					Z	S			
ενανθράκωση [mm]	Δ1	4.0	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
	Δ2	2.0	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
	Δ3	2.5	<0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0
	Δ4					0.0	0.0			
	Δ5					0.0	0.0			
	Δ6					0.0	0.0			
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγμάτωση-πόροι-υφή		πορώδες επάνω, συμπαγές στην βάση								
σταθερότητα ενέματος		έντονη απόμιξη καθ' ύψος του αρμού			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκίμιου σε [MPa]  
 $\Delta i$ : αύξων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)  
m: μέση τιμή i-δοκιμών  
σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
(1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
(2) μη αποδεκτή δοκιμή

Πίνακας Δ-2. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 60 ημερών (30 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες] 60	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]				0.50			4.50			
$f_{g,t}$ [MPa]				1.40			1.20			
$f_{g,c}$ [MPa]				11.30			4.60			
ενανθράκωση [mm]				1.10			2.50			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκιμίου				0.00			3.20		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1				1.72	1.05	0.41 <sup>(2)</sup>	0.41	1.28	0.63
	Δ2				1.18	1.14	0.46 <sup>(2)</sup>	0.40	0.95 <sup>(2)</sup>	0.88
	Δ3				1.33	1.03	0.78	0.28	1.32	0.84
	Δ4				<sup>(1)</sup>	1.29	0.81		1.65	
	Δ5				0.84 <sup>(2)</sup>	2.28	0.67		1.04	
	Δ6				0.35 <sup>(2)</sup>	1.03	0.72 <sup>(2)</sup>		1.35	
στατιστική επεξεργασία	m				<b>1.41</b>	<b>1.30</b>	<b>0.75</b>	<b>0.36</b>	<b>1.33</b>	<b>0.78</b>
	σ				<b>0.28</b>	<b>0.49</b>	<b>0.11</b>	<b>0.07</b>	<b>0.22</b>	<b>0.13</b>
	cv				<b>0.20</b>	<b>0.37</b>	<b>0.14</b>	<b>0.20</b>	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>
πλήθος δοκιμών				6	6	6	3	6	3	
τύπος αστοχίας	Δ1				G(S)	G	άδειος	ITZ	Z(G)	S
	Δ2				G(S)	G	άδειος	ITZ	ITZ	S
	Δ3				Z	G(S)	S	ITZ	Z	S
	Δ4				(*)	S	S		ITZ	
	Δ5				ITZ	G	S		Z	
	Δ6				ITZ	Z	S+G		Z	
ενανθράκωση [mm]	Δ1				0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0
	Δ2				0.0	0.0	0.0	2.5	0.5	0.0
	Δ3				0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	0.0
	Δ4				3.0	<0.5	0.0		1.0	
	Δ5				1.5	<0.5	0.0		1.0	
	Δ6				4.0	<0.5	0.0		1.0	
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγμάτωση-πόροι-υφή					T: πόροι Δ1,Δ2,Δ3 και ρηγματώσεις στα Δ2,Δ3,Δ5.			M:εύθριπτος αρμός, T:ρηγματώσεις στο Δ1 και πόροι στο Δ6		
σταθερότητα ενέματος					δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκιμίου σε [MPa]  
Δi: αύξων αριθμός δοκιμής (i=1÷6)  
m: μέση τιμή i-δοκιμών  
σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
(1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
(2) μη αποδεκτή δοκιμή

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Δοκιμές Εφελκυσμού Δ6

Πίνακας Δ-3. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 90 ημερών (30 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες] 90	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]	10.00			0.50			4.50			
$f_{g,t}$ [MPa]	4.50			1.00			1.90			
$f_{g,c}$ [MPa]	17.90			12.40			7.60			
ενανθράκωση [mm]	δεν μετρήθηκε			1.60			δεν μετρήθηκε			
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκίμιου	11.80			0.00			2.50		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1	1.05	1.34	0.59	1.09	1.54	0.96	0.45	1.22	0.64
	Δ2	0.75	1.39	0.91	1.03	2.06	0.55	0.33	0.47 <sup>(2)</sup>	0.98
	Δ3	0.75	1.50	0.65	0.88	1.57	0.86	0.37	0.57 <sup>(2)</sup>	0.46
	Δ4									1.70
	Δ5									2.03
	Δ6									1.09
στατιστική επεξεργασία	m	<b>0.85</b>	<b>1.41</b>	<b>0.72</b>	<b>1.00</b>	<b>1.72</b>	<b>0.79</b>	<b>0.38</b>	<b>1.51</b>	<b>0.69</b>
	σ	<b>0.17</b>	<b>0.08</b>	<b>0.17</b>	<b>0.11</b>	<b>0.29</b>	<b>0.21</b>	<b>0.06</b>	<b>0.43</b>	<b>0.26</b>
	cv	<b>0.20</b>	<b>0.06</b>	<b>0.24</b>	<b>0.11</b>	<b>0.17</b>	<b>0.27</b>	<b>0.16</b>	<b>0.29</b>	<b>0.38</b>
πλήθος δοκιμών		3	3	3	3	3	3	3	6	3
τύπος αστοχίας	Δ1	Z	Z	S	Z	G	S	Z	G	S
	Δ2	Z	Z	S	Z	ITZ(G)	S	ITZ	G	S
	Δ3	ITZ	Z	S	ITZ	ITZ(G)	S	Z	G	S
	Δ4									Z
	Δ5									Z
	Δ6									Z
ενανθράκωση [mm]	Δ1	4.5	<0.5	0.0	3.0	<0.5	0.0	4.0	0.5	<0.5
	Δ2	5.0	<0.5	0.0	2.0	<0.5	0.0	3.0	0.5	<0.5
	Δ3	3.5	<0.5	0.0	2.0	<0.5	0.0	5.0	0.5	<0.5
	Δ4								0.0	
	Δ5								1.0	
	Δ6								0.0	
μακροσκοπικές παρατηρήσεις αρμού: ρηγμάτωση-πόροι-υφή		πορώδες επάνω, συμπαγές στην βάση			T: πόροι και ρηγματώσεις Δ1 συμπαγές ένεμα			M:εύθριπτος αρμός, T:ρηγματώσεις, πόροι, ενανθρακωμένος αρμός εσωτερικά (Δ1-3, 5)		
σταθερότητα ενέματος		έντονη απόμιξη καθ' ύψος του αρμού			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκιμίου σε [MPa]  
 $\Delta i$ : αύξων αριθμός δοκιμής ( $i=1\div 6$ )  
m: μέση τιμή i-δοκιμών  
σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
(1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
(2) μη αποδεκτή δοκιμή

Πίνακας Δ-4. Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού 180 ημερών (18 δοκιμές).

Κωδικός Ενέματος										
ηλικία [ημέρες] 180	G1 (C=80%,L=20%)			G2 (C=30%,L:MK=1:1)			G4 (C=30%,L:LA=1:2.5)			
εξίδρωση [%]				0.50			4.50			
$f_{g,t}$ [MPa]				0.90			1.30			
$f_{g,c}$ [MPa]				8.10			6.90			
ενανθράκωση [mm]										
σύνθετα δοκίμια										
εξίδρωση [%]	α/α Δοκι- μίου				0.00			4.00		
		M	T	O	M	T	O	M	T	O
$f_{bt}$ [MPa]	Δ1				1.12	1.54	<sup>(1)</sup>	-	1.70	0.84
	Δ2				0.76	1.23 <sup>(2)</sup>	1.13	0.43	2.03	1.08
	Δ3				0.79	1.95	0.94	0.75	1.09	0.70
στατιστική επεξεργασία	m				<b>0.89</b>	<b>1.57</b>	<b>1.04</b>	<b>0.59</b>	<b>1.61</b>	<b>0.87</b>
	σ				<b>0.20</b>	<b>0.36</b>	<b>0.13</b>	<b>0.23</b>	<b>0.48</b>	<b>0.19</b>
	cv				<b>0.22</b>	<b>0.23</b>	<b>0.13</b>	<b>0.38</b>	<b>0.30</b>	<b>0.22</b>
πλήθος δοκιμών					3	3	3	3	3	3
τύπος αστοχίας	Δ1				Z	G(ITZ)		ITZ	ITZ(S)	S
	Δ2				Z	S(G)	S	ITZ	ITZ	S
	Δ3				ITZ(Z)	G	S	ITZ	Z	S
ενανθρά- κωση [mm]	Δ1				2.0	<0.5	0.0	9.0	3.5	1.0
	Δ2				0.0	<0.5	0.0	5.0	1.5	1.0
	Δ3				0.0	<0.5	0.0	5.0	9.0	1.0
μακροσκο- πικές παρατηρή- σεις αρμού: ρηγμάτωση- πόροι-υφή					T: πόροι και ρηγματώσεις Δ1, Δ2			M:εύθριπτος αρμός, T: πόρος στο Δ3		
σταθερότητα ενέματος					δεν παρατηρήθηκε απόμιξη			δεν παρατηρήθηκε απόμιξη		

$f_{bt}$ : εφελκυστική αντοχή σύνθετου δοκιμίου σε [MPa]  
 $\Delta i$ : αύξων αριθμός δοκιμής ( $i=1\div 6$ )  
m: μέση τιμή i-δοκιμών  
σ: τυπική απόκλιση δείγματος  
cv: συντελεστής μεταβλητότητας (ορισμένος ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς την μέση τιμή του δείγματος)  
M: υπόβαθρο από μάρμαρο  
T: υπόβαθρο από τραβερτίνη  
O: υπόβαθρο από οπτόπλινθο  
(1) αρμός ενέματος μη πλήρης  
(2) μη αποδεκτή δοκιμή



## **Δ.2 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΗΣ ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΜΕΝΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΕΝΕΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

Υπενθυμίζεται ότι παρατηρήθηκε εν χρόνω πτώση των αντοχών στις τσιμεντόπαστες που συντηρήθηκαν στον υγρό θάλαμο, η οποία συσχετίζεται με αύξηση της ζώνης ενανθράκωσης (Πίνακας Γ-1, Παράρτημα Γ). Προκειμένου να διερευνηθεί η εν χρόνω πτώση των τιμών της εφελκυστικής αντοχής της διεπιφάνειας (Πίνακες Δ1-Δ4) σε ορισμένα από τα σύνθετα δοκίμια μαρμάρου ή τραβερτίνη και ενεμάτων, η οποία συνοδεύεται με αύξηση του μετρούμενου ύψους της ζώνης ενανθράκωσης στον αρμό του ενέματος των σύνθετων δοκιμίων, διερευνάται σε αυτό το σημείο η επίδραση του ύψους της ζώνης ενανθράκωσης στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας. Σημειώνεται ότι, λόγω της φύσης της τεχνικής ομογενοποίησης της μάζας μιας τοιχοποιίας με ενέματα, τα υλικά επέμβασης εισχωρούν στο εσωτερικό της τοιχοποιίας και επομένως δεν έρχονται σε εκτεταμένη -τουλάχιστον- επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος, ο οποίος περιέχει διοξείδιο του άνθρακα και αποτελεί τον κύριο παράγοντα πρόκλησης ενανθράκωσης. Με άλλα λόγια δηλαδή, στο εσωτερικό μιας τοιχοποιίας δεν αναμένεται να ενανθρακωθούν τα ενέματα, τουλάχιστον όχι στον βαθμό που ενανθρακώθηκαν εδώ. Για την χάρη της διερεύνησης, γίνεται η παραδοχή ότι η ενανθρακωμένη ζώνη δεν συνεισφέρει τόσο στην εφελκυστική αντοχή της διεπιφάνειας του σύνθετου δοκιμίου και συνεπώς μπορεί να αγνοηθεί. Εξαιτίας του τρόπου κατασκευής και συντήρησης των σύνθετων δοκιμίων (με την χρήση υδατοστεγανής αυτοκόλλητης ταινίας που εφαρμόζει μόνον στις 3 πλευρές του αρμού), ενανθράκωση παρατηρήθηκε μόνον στο ελεύθερο τμήμα του αρμού. Επομένως, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι το εφελκυστικό φορτίο παραλαμβάνεται από έναν ισοδύναμο αρμό με ύψος όσο το ύψος της διατομής του ενέματος που δεν έχει ενανθρακωθεί και πλάτος όσο το πλάτος του δοκιμίου. Τα αποτελέσματα της παραπάνω επεξεργασίας παρουσιάζονται στους Πίνακες Δ-5, Δ-6, Δ-7 και Δ-8: Δεν παρατηρείται ουσιαστική επίδραση στην τάξη μεγέθους των αποτελεσμάτων της προκύπτουσας αντοχής

Πίνακας Δ-5. Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G1 (C=80%, L=20%)μαρμάρου.

ηλικία (ημέρες)	α/α δοκι- μίου	διαστάσεις διατομής [mm × mm]				εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας $f_{bt}$ [MPa]	
		αρχική		μειωμένη		αρχική	μειωμένη
		Z	Y	Z'	Y'		
28	ΔΟΚ1	40.0	38.0	40.0	34.0	0.76	0.85
	ΔΟΚ2	40.0	37.0	40.0	35.0	0.89	0.94
	ΔΟΚ3	40.0	40.0	40.0	37.5	1.14	1.22
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.93</b>	<b>1.00</b>
90	ΔΟΚ1	41.0	39.0	41.0	34.5	1.05	1.19
	ΔΟΚ2	41.0	40.0	41.0	35.0	0.75	0.86
	ΔΟΚ3	41.0	40.0	41.0	36.5	0.75	0.82
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.85</b>	<b>0.95</b>

Πίνακας Δ-6. Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G2(C=30%, MK/L=1/1)μαρμάρου.

ηλικία (ημέρες)	α/α δοκι- μίου	διαστάσεις διατομής [mm × mm]				εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας $f_{bt}$ [MPa]	
		αρχική		μειωμένη		αρχική	μειωμένη
		Z	Y	Z'	Y'		
28	ΔΟΚ1	40.0	40.0	40.0	40.0	0.85	0.85
	ΔΟΚ2	40.0	40.0	40.0	40.0	0.97	0.97
	ΔΟΚ3	40.0	40.0	40.0	40.0	1.29	1.29
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>1.04</b>	<b>1.04</b>
60	ΔΟΚ1	41.0	41.0	41.0	41.0	1.72	1.72
	ΔΟΚ2	41.0	41.0	41.0	41.0	1.18	1.18
	ΔΟΚ3	41.0	39.0	41.0	39.0	1.33	1.33
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>1.41</b>	<b>1.41</b>
90	ΔΟΚ1	41.0	40.0	41.0	37.0	1.09	1.18
	ΔΟΚ2	41.0	41.0	41.0	39.0	1.03	1.08
	ΔΟΚ3	41.0	39.0	41.0	37.0	0.88	0.93
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>1.00</b>	<b>1.06</b>
180	ΔΟΚ1	40.0	41.0	40.0	39.0	1.12	1.18
	ΔΟΚ2	40.0	39.0	40.0	39.0	0.76	0.76
	ΔΟΚ3	40.0	40.0	40.0	40.0	0.79	0.79
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.89</b>	<b>0.91</b>

Πίνακας Δ-7. Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G4(C=30%, L/LA=1/2.5)μαρμάρου.

ηλικία (ημέρες)	α/α δοκι- μίου	διαστάσεις διατομής [mm × mm]				εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας $f_{bt}$ [MPa]	
		αρχική		μειωμένη		αρχική	μειωμένη
		Z	Y	Z'	Y'		
28	ΔΟΚ1	40.0	37.0	40.0	35.5	0.51	0.53
	ΔΟΚ2	40.0	39.0	40.0	37.5	0.23	0.24
	ΔΟΚ3	40.0	40.0	40.0	36.0	0.24	0.27
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.33</b>	<b>0.35</b>
60	ΔΟΚ1	40.0	40.0	40.0	39.0	0.41	0.42
	ΔΟΚ2	41.0	41.0	41.0	38.5	0.40	0.43
	ΔΟΚ3	41.0	41.0	41.0	39.0	0.28	0.29
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.36</b>	<b>0.38</b>
90	ΔΟΚ1	40.0	39.0	40.0	35.0	0.45	0.50
	ΔΟΚ2	41.0	41.0	41.0	38.0	0.33	0.36
	ΔΟΚ3	39.0	41.0	39.0	35.0	0.37	0.43
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.38</b>	<b>0.43</b>
180	ΔΟΚ1						
	ΔΟΚ2	41.0	41.0	41.0	36.0	0.43	0.49
	ΔΟΚ3	39.0	41.0	39.0	36.0	0.75	0.85
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>0.59</b>	<b>0.67</b>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Δοκιμές Εφελκυσμού Δ10

Πίνακας Δ-8. Επεξεργασία αποτελεσμάτων εφελκυστικής αντοχής σύνθετων δοκιμών ενέματος G4(C=30%. L/LA=1/2.5)/τραβερίνη.

ηλικία (ημέρες)	α/α δοκιμίο υ	διαστάσεις διατομής [mm × mm]				εφελκυστική αντοχή διεπιφάνειας $f_{bt}$ [MPa]	
		αρχική		μειωμένη		αρχική	μειωμένη
		Z	Y	Z'	Y'		
180	ΔΟΚ1	41.0	41.0	41.0	37.5	1.70	1.86
	ΔΟΚ2	42.0	41.0	42.0	39.5	2.03	2.16
	ΔΟΚ3	41.0	40.0	41.0	31.0	1.09	1.40
	<b>Μέση Τιμή</b>					<b>1.61</b>	<b>1.80</b>

αν αγνοηθεί η συνεισφορά της ενανθρακωμένης ζώνης στην ανάληψη του εφελκυστικού φορτίου.

Οι διαφορές της αντοχής μεταξύ αρχικής και μειωμένης διατομής κυμαίνονται μεταξύ 0 και 13%, με τις μεγαλύτερες αποκλίσεις να εμφανίζονται για τα σύνθετα δοκίμια 1) μαρμάρου/ενέματα G1 και G4 και 2) τραβερίνη/G4 στις μεγαλύτερες ηλικίες. Επομένως, παρά την «αφαίρεση» της ενανθράκωσης, από την παραπάνω διερεύνηση δεν εξηγείται η πτώση της αντοχής.

### **Δ.3 ΔΕΛΤΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**



**ΕΝΕΜΑ G1(C=80%. L=20%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

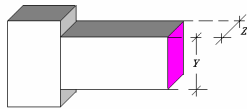
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0.80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 30/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	168	88	33	0,75	0,87	1,16
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,02	1,32
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,45	1,82



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1160,00	40	38	0,76
ΔΟΚ 2	1318,32	40	37	0,89
ΔΟΚ 3	1818,16	40	40	1,14

Μέση Τιμή **0,93**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1	4 mm
ΔΟΚ2	2 mm
ΔΟΚ3	2,5 mm
	2,8 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια και εφελκυστική αστοχία ενέματός

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Δ+E (Z)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια και εφελκυστική αστοχία ενέματός

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Δ+E (Z)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Δ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

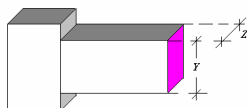
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0.80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 31/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	1,38	1,68
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	0,95	1,23
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	0,95	1,23



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1680,01	41	39	1,05
ΔΟΚ 2	1227,85	41	40	0,75
ΔΟΚ 3	1227,85	41	40	0,75

Μέση Τιμή **0,85**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

Ύψος τσιμεντού στη βάση λόγω απόμιξης:

ΔΟΚ1	4,5 mm
ΔΟΚ2	5,0 mm
ΔΟΚ3	3,5 mm
	4,3 mm

10 mm
3 mm
9 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια και εφελκυστική αστοχία ενέματός

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Δ+E (Z)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια και εφελκυστική αστοχία ενέματός

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Δ+E (Z)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Δ**

**ΕΝΕΜΑ G1(C=80%. L=20%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0,80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 30/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	2,18	2,73
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	2,11	2,65
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,38	1,73

	Nx(N)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2733,51	37	40	1,85
ΔΟΚ 2	2645,74	40	40	1,65
ΔΟΚ 3	1730,39	36	40	1,20

Μέση Τιμή: 1,57

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 <0,5 mm  
 ΔΟΚ2 <0,5 mm  
 ΔΟΚ3 <0,5 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υποβάθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Y

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Y

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος και αστοχία στην διεπιφάνεια.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Δ+E

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0,80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 31/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	1,53	1,98
ΔΟΚ 2	40	55	168	88	33	0,75	1,67	2,23
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	1,67	2,16

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1977,49	40	37	1,34
ΔΟΚ 2	2226,67	40	40	1,39
ΔΟΚ 3	2158,43	40	36	1,50

Μέση Τιμή: 1,36

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά: Ύψος τσιμεντού στη βάση λόγω απόμιξης:

ΔΟΚ1 <0,5 mm 11 mm  
 ΔΟΚ2 <0,5 mm 16 mm  
 ΔΟΚ3 <0,5 mm 16 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Z

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Z

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΕΝΕΜΑ G1(C=80%. L=20%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

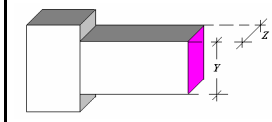
ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0,80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 30/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	164	84	36	0,85	1,24	1,47
ΔΟΚ 2	40	55	160	80	38	0,94	1,45	1,54
ΔΟΚ 3	40	55	160	80	38	0,94	1,16	1,23



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1466,61	36	46	0,89
ΔΟΚ 2	1536,46	36	46	0,93
ΔΟΚ 3	1229,17	36	46	0,74

Μέση Τιμή **0,85**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1	0 mm
ΔΟΚ2	0 mm
ΔΟΚ3	0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**



διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Y**



διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y**



διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

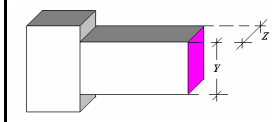
ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G1-W0,80**  
 C=80%  
 L=20%  
 w/solids=0,80  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 3/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 31/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	160	80	38	0,94	0,95	1,01
ΔΟΚ 2	40	55	161	81	37	0,92	1,38	1,50
ΔΟΚ 3	40	55	157	77	39	1,02	1,09	1,07



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1006,64	37	46	0,59
ΔΟΚ 2	1501,93	36	46	0,91
ΔΟΚ 3	1068,41	36	46	0,65

Μέση Τιμή **0,71**

**Σχόλια :**

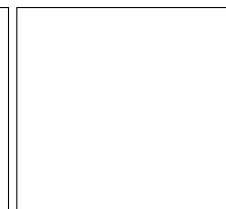
Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1	0 mm
ΔΟΚ2	0 mm
ΔΟΚ3	0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**



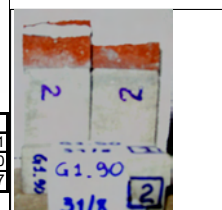
διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1



διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2



διατομή 1



διατομή 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3



**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. MK=35%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 16/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	168	88	33	0,75	1,02	1,36
ΔΟΚ 2	40	55	168	88	33	0,75	1,16	1,55
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	1,60	2,07

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Z

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Z (Δ)

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1360,00	40	40	0,85
ΔΟΚ 2	1546,67	40	40	0,97
ΔΟΚ 3	2067,96	40	40	1,29

Μέση Τιμή **1,04**

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου. Ακανόνιστη η επιφάνεια θραύσης

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 18/7/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	168	88	33	0,75	2,11	2,81
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,53	1,98
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,67	2,09

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Επιπρόσθετα, επιφανειακή στρώση του υποβάθρου με την αποκόλληση, προσκολλάται πάνω στο ένεμα.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 E (Y)

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Επιπρόσθετα, επιφανειακή στρώση του υποβάθρου με την αποκόλληση, προσκολλάται πάνω στο ένεμα.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 E (Y)

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2813,33	41	41	1,72
ΔΟΚ 2	1977,49	41	41	1,18
ΔΟΚ 3	2094,02	41	39	1,33

Μέση Τιμή **1,41**

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 18/11/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 16/1/2006

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟ**

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	0,00	0,00
ΔΟΚ 2	40	55	165	85	35	0,82	1,02	1,24
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	0,44	0,55

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Z**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια. Τμήμα του αρμού του ενέματος αποκόλληθηκε και από τα δυο υποβάθρα.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Δ**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	0,00	41	40	0,00
ΔΟΚ 2	1241,74	41	37	0,84
ΔΟΚ 3	551,72	40	40	0,35

Μέση Τιμή **0,84**

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 3,0 mm  
 ΔΟΚ2 1,5 mm  
 ΔΟΚ3 4,0 mm  
 2,8 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Z**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 14/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	1,38	1,78
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	1,38	1,73
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	1,09	1,41

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Συμπαγές ένεμα

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Z**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Συμπαγές ένεμα

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Z**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1783,62	41	40	1,09
ΔΟΚ 2	1730,39	41	41	1,03
ΔΟΚ 3	1408,80	41	39	0,88

Μέση Τιμή **1,00**

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 3 mm  
 ΔΟΚ2 2 mm  
 ΔΟΚ3 2 mm  
 2,3 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Δ**

**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. MK=35%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΜΑΡΜΑΡΟ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10

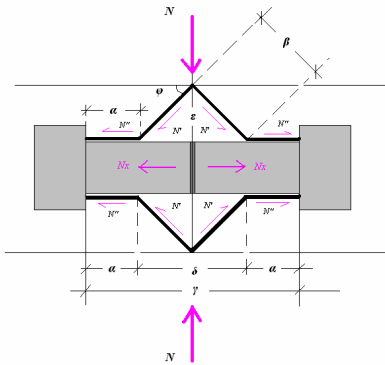
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

17/6/2005

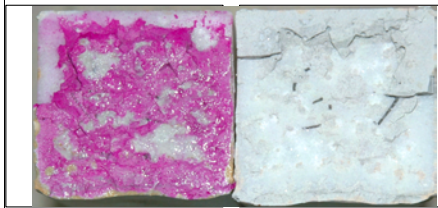
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ

180η μέρα > 13/12/2005



	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	168	88	33	0,75	1,38	1,84
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	0,95	1,19
ΔΟΚ 3	40	55	168	88	33	0,75	0,95	1,27

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**



Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Συμπαγές ένεμα

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Z

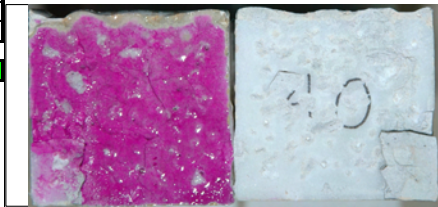


Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Συμπαγές ένεμα

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Z

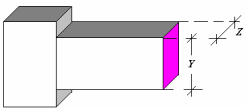


Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια-τοπικά ένεμα παρέμεινε συγκολλημένο και στην άλλη επιφάνεια του υποβάθρου.

Συμπαγές ένεμα

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Δ (Z)



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1840,00	40	41	1,12
ΔΟΚ 2	1191,21	40	39	0,76
ΔΟΚ 3	1266,67	40	40	0,79

Μέση Τιμή **0,89**

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παραεί:

ΔΟΚ1	2 mm
ΔΟΚ2	0 mm
ΔΟΚ3	0 mm
	<b>0,7 mm</b>



**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 16/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	0,73	0,89
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,45	1,87
ΔΟΚ 3	40	55	165	85	35	0,82	1,89	2,30

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος

Κακή διείσδυση του ενέματος μέσα στον αρμό. (σύριγγα) Το ένεμα δεν έχει πληρώσει ολόκληρο τον αρμό. Ως φυσαλίδες.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **E**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος

Κακή διείσδυση του ενέματος μέσα στον αρμό. (σύριγγα) Το ένεμα δεν έχει πληρώσει ολόκληρο τον αρμό. Ως φυσαλίδες.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **E**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	888,70	30	40	0,74
ΔΟΚ 2	1874,09	40	40	1,17
ΔΟΚ 3	2300,88	40	40	1,44

Μέση Τιμή **1,12**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **E**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Περιμετρικά στην διεπιφάνεια λόγω μη τράχυνσης της περιοχής.

Αρκετοί πόροι στο ένεμα.

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 5/7/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 1/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	2,11	2,57
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	1,38	1,73
ΔΟΚ 3	40	55	164	84	36	0,85	2,40	2,84

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου. Τοπικά και εφελκυστική αστοχία ενέματος. Ρηγματώσεις στο ένεμα.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Z (E)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Περιμετρικά αστοχία στην διεπιφάνεια.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **E**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2568,70	42	42	1,46
ΔΟΚ 2	1730,39	41	41	1,03
ΔΟΚ 3	2838,59	41	41	1,69

Μέση Τιμή **1,39**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Z**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Δοκιμές Εφελκυσμού Δ20

**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 18/7/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	1,38	1,68
ΔΟΚ 2	40	55	165	85	35	0,82	1,53	1,86
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,38	1,73

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Λιγότερα τα μακροσκοπικά κενά στο ένεμα από ότι στις 28 μέρες

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      E

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστικά αστοχία ενέματος. Λιγότερα τα κενά στο ένεμα στις 28 μέρες- κάτω πόρος μεγάλος (3%), είχε νερό μέσα

Ρηγματώσεις στο ένεμα.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      E

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1680,01	40	40	1,05
ΔΟΚ 2	1862,61	40	41	1,14
ΔΟΚ 3	1730,39	41	41	1,03

Μέση Τιμή: 1,07

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      0 mm  
 ΔΟΚ2      0 mm  
 ΔΟΚ3      0 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Επιπρόσθετα, επιφανειακή στρώση του υποβάθρου με την αποκόλληση, προσκολλάται πάνω στο ένεμα.

Ρηγματώσεις στο ένεμα.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3      E (Y)

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1.10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 18/11/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 16/1/2006

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟ**

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	1,60	2,01
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	3,02	3,79
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,31	1,64

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο Υπόβαθρο

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      Y

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Εφελκυστική αστοχία του ενέματος- (αστοχία τοπικά και στο υπόβαθρο)

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      E

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2006,25	39	40	1,29
ΔΟΚ 2	3786,79	41,5	40	2,28
ΔΟΚ 3	1642,62	40	40	1,03

Μέση Τιμή: 1,53

1,16

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      <0,5 mm  
 ΔΟΚ2      <0,5 mm  
 ΔΟΚ3      <0,5 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3      Z

**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 20/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 14/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	1,96	2,46
ΔΟΚ 2	40	55	165	85	35	0,82	2,84	3,46
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	2,11	2,65

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Εφελκυστική αστοχία του ενέματος. Ρωγμές στον αρμό ενέματος λόγω συστολής ξήρανσης.  
**Πόροι**

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **E**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2457,65	40	40	1,54
ΔΟΚ 2	3457,40	41	41	2,06
ΔΟΚ 3	2645,74	41	41	1,57

Μέση Τιμή **1,72**

Σχόλια : **1,89**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 <0,5 mm  
 ΔΟΚ2 <0,5 mm  
 ΔΟΚ3 <0,5 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Δ (E)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια λίγοι Πόροι

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **E (Y)**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Τοπικά αποκόλληση υποβάθρου. **Πόροι που έχουν ενανθρακωθεί.**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10**  
 C=30%  
 L/P=1/1  
 w/solids=1,10  
 SP=1,20%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 17/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 180η μέρα > 13/12/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	1,96	2,46
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,52	1,96
ΔΟΚ 3	40	55	168	88	33	0,75	2,40	3,20

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Εφελκυστική αστοχία του ενέματος και αστοχία στην διεπιφάνεια. Ρωγμές και κενά μέσα στον αρμό του ενέματος

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **E+Δ**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2457,65	40	40	1,54
ΔΟΚ 2	1964,56	40	40	1,23
ΔΟΚ 3	3200,00	40	41	1,95

Μέση Τιμή **1,57**

Σχόλια : **1,74**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 <0,5 mm  
 ΔΟΚ2 <0,5 mm  
 ΔΟΚ3 <0,5 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στο υπόβαθρο λόγω κακής ποιότητας του τραβερτίνη. Στην γωνία Εφελκυστική αστοχία ενέματος και αστοχία διεπιφάνειας

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **E**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Εφελκυστική αστοχία ενέματος. Ρωγμές στο ένεμα από πλαστική συστολή σαν συνέχεια ασυνεχιών τραβερτίνη



**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

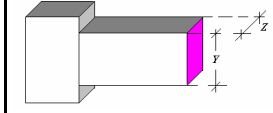
ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
20/5/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
28η μέρα > 16/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	157	77	39	1,02	1,53	1,50
ΔΟΚ 2	40	55	158	78	39	0,99	1,38	1,39
ΔΟΚ 3	40	55	159	79	38	0,97	0,36	



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1499,70	36	46	0,91
ΔΟΚ 2	1387,78	36	46	0,84
ΔΟΚ 3	371,55	38	46	0,21

Μέση Τιμή **0,55**

**0,87**

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
ΔΟΚ2 0 mm  
ΔΟΚ3 0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Ε: Εφελκυστική αστοχία ενέματος  
Λιγότερες Φυσαλίδες από ότι στον τραβερτίνη  
Αξιολόγηση?

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **E**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y**

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Το ένεμα δεν πλήρωσε όλον τον αρμό

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **-**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
5/7/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
28η μέρα > 1/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	164	84	36	0,85	0,87	1,03
ΔΟΚ 2	40	55	164	84	36	0,85	1,02	1,21
ΔΟΚ 3	40	55	157	77	39	1,02	1,45	1,42



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1028,99	37	46	0,60
ΔΟΚ 2	1206,40	36	46	0,73
ΔΟΚ 3	1421,28	38	46	0,81

Μέση Τιμή **0,72**

**0,67**

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
ΔΟΚ2 0 mm  
ΔΟΚ3 0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y**

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
20/5/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
60η μέρα > 18/7/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	155	75	40	1,07	0,44	0,41
ΔΟΚ 2	40	55	160	80	38	0,94	0,44	0,47
ΔΟΚ 3	40	55	160	80	38	0,94	1,02	1,08

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

άδειο-όπου είχε ένεμα έσπασε στην διεπιφάνεια από την πλευρά του λίθου

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 -

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

άδειο-όπου είχε ένεμα έσπασε στην διεπιφάνεια από την πλευρά του λίθου

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 -

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	410,10	22	46	0,41
ΔΟΚ 2	466,24	22	46	0,46
ΔΟΚ 3	1080,82	30	46	0,78

Μέση Τιμή: 0,55

0,78

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
ΔΟΚ2 0 mm  
ΔΟΚ3 0 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

παρόλο που δεν ήταν γεμάτο έσπασε στον λίθο.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Y

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
5/7/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
60η μέρα > 2/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	163	83	36	0,87	1,16	1,33
ΔΟΚ 2	40	55	157	77	39	1,02	1,16	1,14
ΔΟΚ 3	40	55	155	75	40	1,07	1,31	1,22

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Y

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Y

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1333,75	46	36	0,81
ΔΟΚ 2	1137,03	46	37	0,67
ΔΟΚ 3	1220,99	46	37	0,72

Μέση Τιμή: 0,73

0,74

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
ΔΟΚ2 0 mm  
ΔΟΚ3 0 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο και στην διεπιφάνεια. Συζήτηση για την αξιολόγηση

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Y+Δ



**ΕΝΕΜΑ G2(C=30%. L=35%. ΜΚ=35%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
20/5/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
90η μέρα > 14/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	157	77	39	1,02	1,67	1,64
ΔΟΚ 2	40	55	158	78	39	0,99	0,95	0,96
ΔΟΚ 3	40	55	162	82	37	0,89	1,38	1,54

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο. Τοπικά η αστοχία στον αρμό του ενέματος οφείλεται στο ότι εκεί ο αρμός δεν είχε πληρωθεί τελείως από το ένεμα.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y (E)**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1636,93	37	46	0,96
ΔΟΚ 2	955,35	38	46	0,55
ΔΟΚ 3	1543,35	39	46	0,86

Μέση Τιμή **0,79**

**0,91**

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1	0 mm
ΔΟΚ2	0 mm
ΔΟΚ3	0 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G2-W1,10  
C=30%  
L/P=1/1  
w/solids=1,10  
SP=1,20%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
17/6/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
180η μέρα > 13/12/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	163	83	36	0,87	0,87	0,00
ΔΟΚ 2	40	55	163	83	36	0,87	1,67	1,92
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,24	1,55

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο-Λάθος σύνδεση των καλωδίων στο καταγραφικό με αποτέλεσμα να μην ληφθεί η ένδειξη για την εφελκυστική αντοχή του δοκιμίου

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 **Y**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	0,00	36	46	0,00
ΔΟΚ 2	1920,15	37	46	1,13
ΔΟΚ 3	1554,84	36	46	0,94

Μέση Τιμή **1,03**

Σχόλια :

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1	0 mm
ΔΟΚ2	0 mm
ΔΟΚ3	0 mm

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 **Y**

**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 27/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 23/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	0,58	0,75
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	0,29	0,36
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	0,29	0,37

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια (και στις δυο πλευρές)

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	749,64	40	37	0,51
ΔΟΚ 2	363,63	40	39	0,23
ΔΟΚ 3	374,82	40	40	0,24

Μέση Τιμή: 0,33

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1      1,5 mm  
 ΔΟΚ2      1,5 mm  
 ΔΟΚ3      4 mm  
             2,3 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 9/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 7/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	0,51	0,66
ΔΟΚ 2	40	55	168	88	33	0,75	0,51	0,68
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	0,36	0,47

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      Δ

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      Δ

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	659,16	40	40	0,41
ΔΟΚ 2	680,00	41	41	0,40
ΔΟΚ 3	465,29	41	41	0,28

Μέση Τιμή: 0,36

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1      1,0 mm  
 ΔΟΚ2      2,5 mm  
 ΔΟΚ3      2,0 mm  
             1,8 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης  
 Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3      Δ

**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΜΑΡΜΑΡΟ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 9/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 6/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	0,58	0,71
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	0,44	0,55
ΔΟΚ 3	40	55	168	88	33	0,75	0,44	0,59

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Ο αρμός του ενέματος έσπασε σε τρία τμήματα.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      **Z**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	708,09	40	39	0,45
ΔΟΚ 2	551,72	41	41	0,33
ΔΟΚ 3	586,67	39	41	0,37

Μέση Τιμή **0,38**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια ρωγμή και μέσα στον αρμό

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      **Δ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3      **Z**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      4,0 mm  
 ΔΟΚ2      3,0 mm  
 ΔΟΚ3      5,0 mm  
             4,0 mm

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΜΑΡΜΑΡΟ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 27/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 180η μέρα > 22/11/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	0,58	0,73
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	0,58	0,73
ΔΟΚ 3	40	55	169	89	32	0,73	0,87	1,20

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια. Το ένεμα είχε ήδη αποκολληθεί προτού το δοκίμιο θραυστεί.

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      **Δ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια. Ρωγμές στο ένεμα κατά την θραύση

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      **Δ**

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	727,27	40	39	0,43
ΔΟΚ 2	1197,77	39	41	0,75

Μέση Τιμή **0,59**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 3      **Δ**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      9,0 mm  
 ΔΟΚ2      5,0 mm  
 ΔΟΚ3      5,0 mm  
             6,3 mm



**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

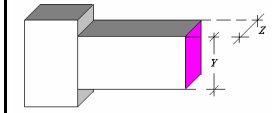
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 27/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 28η μέρα > 23/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	0,36	0,44
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,96	2,53
ΔΟΚ 3	40	55	165	85	35	0,82	1,82	2,22



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	438,26	40	40	0,27
ΔΟΚ 2	2533,25	40	40	1,58
ΔΟΚ 3	2215,66	40	40	1,38

Μέση Τιμή: 1,08  
1,48

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία στο υποβάθρο, μακριά από την επιφάνεια εφαρμογής του φορτίου Θραύση του υποβάθρου στην περιοχή σύνδεσης των δυο μελών του ταύ. Τα νερά του τραβερτίνης κάθεται στο επίπεδο θραύσης

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Y

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Z

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

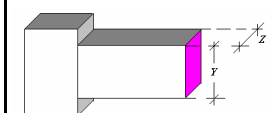
**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 9/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα > 7/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	1,67	2,16
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	1,24	1,55
ΔΟΚ 3	40	55	165	85	35	0,82	1,82	2,22



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2158,43	41	41	1,28
ΔΟΚ 2	1554,84	41	40	0,95
ΔΟΚ 3	2215,66	41	41	1,32

Μέση Τιμή: 1,18  
1,30

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
 ΔΟΚ1 0,5 mm  
 ΔΟΚ2 0,5 mm  
 ΔΟΚ3 0,5 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος ακανόνιστης μορφής, ένεμα παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Z (E)

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία στην διεπιφάνεια, λόγω ανόμοιας τράχυνσης των υποβάθρων.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Δ

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 18/11/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 60η μέρα >  
 16/1/2006

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟ**

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	2,18	2,73
ΔΟΚ 2	40	55	165	85	35	0,82	1,46	1,78
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,75	2,19

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία στην διεπιφάνεια και τοπικά εφελκυστική αστοχία ενέματος

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      Δ

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2733,51	41	41	1,65
ΔΟΚ 2	1777,40	42	41	1,04
ΔΟΚ 3	2194,33	41	40	1,35

Μέση Τιμή: 1,35

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      1 mm  
 ΔΟΚ2      1 mm  
 ΔΟΚ3      1 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.- Ρηγματώσεις στο ένεμα

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      Z

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 9/6/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα >  
 6/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	166	86	34	0,80	1,6	2,01
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	0,58	0,75
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	0,73	0,92

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Εφελκυστική αστοχία του ενέματος κεντρικά, ενώ στις γωνίες το ένεμα αποκολλήθηκε από το υπόβαθρο (λόγω της απουσίας τράχυνσης σε εκείνη την θέση). Ρηγματώσεις στο ένεμα

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 1      E

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2006,25	41	41	1,22
ΔΟΚ 2	749,64	40	40	0,47
ΔΟΚ 3	915,35	40	40	0,57

Μέση Τιμή: 0,75

0,780008  
 1,22  
 0,52

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1      0,5 mm  
 ΔΟΚ2      0,5 mm  
 ΔΟΚ3      0,5 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

**Σχολιασμός Επ. Θραύσης**

Εφελκυστική αστοχία του ενέματος. Στις γωνίες: είτε αποκαλλάται ένεμα από το υπόβαθρο είτε αστοχεί το υπόβαθρο (λόγω κακής ποιότητας). Ρηγματώσεις στο ένεμα

διατομή 1      διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2      E



**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 18/11/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 90η μέρα > 15/2/2006

**ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟ**

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	1,53	1,98
ΔΟΚ 2	40	55	167	87	34	0,77	1,53	1,98
ΔΟΚ 3	40	55	166	86	34	0,80	1,82	2,28

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Z

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Z

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1977,49	40	41	1,22
ΔΟΚ 2	1977,49	41	42	1,18
ΔΟΚ 3	2282,11	41	40	1,41

Μέση Τιμή: 1,27

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παραί: ΔΟΚ1 0 mm, ΔΟΚ2 1 mm, ΔΟΚ3 0 mm, 0,33 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

**ΥΠΟΒΑΘΡΟ:** ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ

**ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85**  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ**  
 27/5/2005

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ**  
 180η μέρα > 22/11/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	167	87	34	0,77	2,18	2,82
ΔΟΚ 2	40	55	166	86	34	0,80	2,76	3,46
ΔΟΚ 3	40	55	165	85	35	0,82	1,45	1,77

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια. Τοπικά: 1) στον αρμό του ενέματος που αποκόλληθηκε από το υποβάθρο, έχει προσκολληθεί επιφανειακό τμήμα του υποβάθρου 2) η επιφάνεια αστοχίας περνά από τον αρμό του ενέματος.

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Δ (Υ,Ε)

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στην διεπιφάνεια.

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Δ

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	2817,60	41	41	1,70
ΔΟΚ 2	3460,78	42	41	2,03
ΔΟΚ 3	1765,22	41	40	1,09

Μέση Τιμή: 1,61

**Σχόλια :**  
 Ενανθράκωση στην ελεύθερη παραί: ΔΟΚ1 3,5 mm, ΔΟΚ2 1,5 mm, ΔΟΚ3 9,0 mm, 4,7 mm

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία με αποκόλληση του αρμού ενέματος, ένεμα όμως παραμένει συγκολλημένο και στις δυο επιφάνειες του υποβάθρου.

Πόρος 10% διατομής αρμού ενέματος

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Z

**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

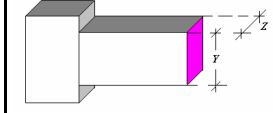
ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
 27/5/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
 28η μέρα > 23/6/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	159	79	38	0,97	1,31	1,35
ΔΟΚ 2	40	55	158	78	39	0,99	1,60	1,61
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	1,16	1,50



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1352,03	36	46	0,82
ΔΟΚ 2	1609,02	36	46	0,97
ΔΟΚ 3	1499,27	38	46	0,86

Μέση Τιμή **0,88**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο-  
Λοξή θραύση

ΔΟΚΙΜΙΟ 3

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

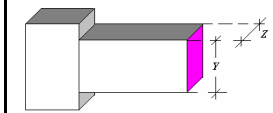
ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85  
 C=30%  
 L/P=1/2,5  
 w/solids=0,85  
 SP=1,50%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
 9/6/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
 60η μέρα > 7/8/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	162	82	37	0,89	0,95	1,06
ΔΟΚ 2	40	55	160	80	38	0,94	1,38	1,46
ΔΟΚ 3	40	55	160	80	38	0,94	1,38	1,46



	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1062,45	36	47	0,63
ΔΟΚ 2	1462,28	36	46	0,88
ΔΟΚ 3	1462,28	38	46	0,84

Μέση Τιμή **0,78**

**Σχόλια :**

Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:

ΔΟΚ1 0 mm  
 ΔΟΚ2 0 mm  
 ΔΟΚ3 0 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 2

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3

**ΕΝΕΜΑ G4(C=30%. L=20%. LA=50%)- ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85  
C=30%  
L/P=1/2,5  
w/solids=0,85  
SP=1,50%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
9/6/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
90η μέρα > 6/9/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	165	85	35	0,82	0,87	1,06
ΔΟΚ 2	40	55	162	82	37	0,89	1,45	1,62
ΔΟΚ 3	40	55	167	87	34	0,77	0,58	0,75

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1059,13	36	46	0,64
ΔΟΚ 2	1621,63	36	46	0,98
ΔΟΚ 3	749,64	36	45	0,46

Μέση Τιμή: 0,69

**Σχόλια :**  
Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
ΔΟΚ1 <0,5 mm  
ΔΟΚ2 <0,5 mm  
ΔΟΚ3 <0,5 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Y

Διατομή 1: διατομή 1

Διατομή 2: διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Y

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Y

Διατομή 1: διατομή 1

Διατομή 2: διατομή 2

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ**

ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ

ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ G4-W0,85  
C=30%  
L/P=1/2,5  
w/solids=0,85  
SP=1,50%κβ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ  
27/5/2005

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ  
180η μέρα > 22/11/2005

	α(mm)	β(mm)	γ(mm)	δ(mm)	ε(mm)	tanφ	N(KN)	Nx(KN)
ΔΟΚ 1	40	55	158	78	39	0,99	1,38	1,39
ΔΟΚ 2	40	55	159	79	38	0,97	1,82	1,88
ΔΟΚ 3	40	55	159	79	38	0,97	1,16	1,20

	Nx(N)	Z <sup>EN</sup> (mm)	Y <sup>EN</sup> (mm)	Ft(MPa)
ΔΟΚ 1	1387,78	36	46	0,84
ΔΟΚ 2	1878,39	37	47	1,08
ΔΟΚ 3	1197,22	37	46	0,70

Μέση Τιμή: 0,87

**Σχόλια :**  
Ενανθράκωση στην ελεύθερη παρειά:  
ΔΟΚ1 1 mm  
ΔΟΚ2 1 mm  
ΔΟΚ3 1 mm

**ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ**

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 1 Y

Διατομή 1: διατομή 1

Διατομή 2: διατομή 2

ΔΟΚΙΜΙΟ 2 Y

Σχολιασμός Επ. Θραύσης

Αστοχία στο υπόβαθρο

ΔΟΚΙΜΙΟ 3 Y

Διατομή 1: διατομή 1

Διατομή 2: διατομή 2





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  
Αποτελέσματα και Καταστατικοί Νόμοι

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε2

## **E.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ**

### **E.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ**

Όπως προαναφέρθηκε, συνολικά πραγματοποιήθηκαν 198 δοκιμές διατμήσεως σε σύνθετα δοκίμια υποβάθρου και υδραυλικών ενεμάτων. Στους Πίνακες E-1 έως E-9, παρουσιάζονται ανά τύπο υποβάθρου, συγκεντρωμένα τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διατμήσεως (τύποι αστοχίας, τιμή διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών, αντίστοιχη τιμή της ολίσθησης και της εγκάρσιας διόγκωσης, παραμένουσα τριβή), καθώς και ορισμένες μακροσκοπικές παρατηρήσεις που σχετίζονται με την ενανθράκωση, την ύπαρξη πόρων και ρηγματώσεων στον αρμό. Ακολουθεί η στατιστική επεξεργασία όλων των πειραματικών στοιχείων. Όπως θα φανεί στην οικεία ενότητα, η διασπορά των αποτελεσμάτων (ιδιαίτερως για τις μετακινήσεις) για αυτού του τύπου τις δοκιμές και τα υλικά, είναι αρκετά υψηλή.

Προκειμένου να είναι ευχερέστερη η διαχείριση των πειραματικών αποτελεσμάτων -έτσι ώστε να αναδειχθεί η επιρροή των εξεταζομένων παραμέτρων σε αυτά τα αποτελέσματα και να διατυπωθούν καταστατικοί νόμοι που θα περιγράφουν την συμπεριφορά έναντι διατμήσεως διεπιφανειών υποβάθρων και υδραυλικών ενεμάτων- ακολουθήθηκε διαδικασία ομαδοποίησης των πειραματικών καμπυλών, η οποία περιγράφεται στις παραγράφους E2.1÷E2.7. Στο πλαίσιο αυτής της ομαδοποίησης τέθηκαν ορισμένα κριτήρια απόρριψης δοκιμών. Παρά ταύτα, στην παρούσα Διατριβή επισυνάπτονται σε ηλεκτρονική μορφή όλες οι πειραματικές καμπύλες των δοκιμών διατμήσεως για πιθανή μελλοντική χρήση τους από άλλους ενδιαφερόμενους ερευνητές.

Στην τελευταία ενότητα του παρόντος Παραρτήματος, αρχικώς, δίδεται η προτεινόμενη εμπειρική σχέση για τον προσδιορισμό του (πραγματικού ή φαινομενικού) συντελεστή τριβής, καθώς και της αντίστοιχης διατμητικής αντοχής του αρμού. Τέλος, σχεδιάζονται οι

ανηγμένες καμπύλες «  $\frac{\tau}{\tau_u} - \frac{S}{S_u}$  » και «  $\frac{W}{W_u} - \frac{S}{S_u}$  » για όλες τις

εξεταζόμενες παραμέτρους (τύπος υποβάθρου, τύπος ενέματος, ηλικία και μέγεθος της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$ ) και εξετάζονται διάφορες μορφές καμπυλών για την πρόβλεψη των ανηγμένων πειραματικών καμπυλών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε4

Πίνακας Ε-1. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από μάρμαρο Διονύσου (18 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	G4	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ	0.300	1.000	0.910	0.618	0.050	0.167
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Δ	0.340	1.130	0.489	0.040	0.160	0.533
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Δ	0.150	0.500	0.212	0.058	0.060	0.200
		<b>m</b>			<b>0.263</b>	<b>0.877</b>	<b>0.537</b>	<b>0.239</b>	<b>0.090</b>	<b>0.300</b>
		<b>σ</b>			<b>0.100</b>	<b>0.333</b>	<b>0.351</b>	<b>0.329</b>	<b>0.061</b>	<b>0.203</b>
	<b>cv</b>			<b>0.380</b>	<b>0.379</b>	<b>0.655</b>	<b>1.377</b>	<b>0.676</b>	<b>0.676</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	G2	0.3	Δ1	Δ	1.290	4.300	1.231	0.988	0.230	0.767
			Δ2 <sup>(2)</sup>	Δ	0.910	3.030	0.974	0.786	0.350	1.167
			Δ3 <sup>(2)</sup>	Δ	0.420	1.400	0.519	0.042		
		<b>m</b>			<b>0.873</b>	<b>2.910</b>	<b>0.908</b>	<b>0.605</b>	<b>0.290</b>	<b>0.967</b>
		<b>σ</b>			<b>0.436</b>	<b>1.454</b>	<b>0.361</b>	<b>0.498</b>	<b>0.085</b>	<b>0.283</b>
	<b>cv</b>			<b>0.499</b>	<b>0.500</b>	<b>0.397</b>	<b>0.823</b>	<b>0.293</b>	<b>0.293</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	G1	0.3	Δ1 <sup>(3),(4)</sup>	Δ	0.430	1.430	0.701	0.242	0.150	0.500
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	0.570	1.900	0.904	0.333	0.250	0.830
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.420	1.400	0.456	0.000	0.320	1.070
		<b>m</b>			<b>0.473</b>	<b>1.577</b>	<b>0.687</b>	<b>0.192</b>	<b>0.240</b>	<b>0.800</b>
		<b>σ</b>			<b>0.084</b>	<b>0.280</b>	<b>0.224</b>	<b>0.172</b>	<b>0.085</b>	<b>0.286</b>
	<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.178</b>	<b>0.327</b>	<b>0.898</b>	<b>0.356</b>	<b>0.358</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	G4	0.3	Δ1	Δ	0.500	1.667	0.646	0.002	0.140	0.467
			Δ2	Δ	0.670	2.233	0.939	0.120	0.120	0.400
			Δ3	Δ	0.650	2.167	0.554	0.032	0.270	0.900
		<b>m</b>			<b>0.607</b>	<b>2.022</b>	<b>0.713</b>	<b>0.051</b>	<b>0.177</b>	<b>0.589</b>
		<b>σ</b>			<b>0.093</b>	<b>0.310</b>	<b>0.201</b>	<b>0.061</b>	<b>0.081</b>	<b>0.271</b>
	<b>cv</b>			<b>0.153</b>	<b>0.153</b>	<b>0.282</b>	<b>1.195</b>	<b>0.461</b>	<b>0.461</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	G2	0.3	Δ1	Δ	0.520	1.733	0.705	0.095	0.260	0.867
			Δ2	Δ	0.640	2.133	0.767	0.056	0.360	1.200
			Δ3	Δ	0.470	1.567	0.607	0.110	0.320	1.067
		<b>m</b>			<b>0.543</b>	<b>1.811</b>	<b>0.693</b>	<b>0.087</b>	<b>0.313</b>	<b>1.044</b>
		<b>σ</b>			<b>0.087</b>	<b>0.291</b>	<b>0.081</b>	<b>0.028</b>	<b>0.050</b>	<b>0.168</b>
	<b>cv</b>			<b>0.161</b>	<b>0.161</b>	<b>0.116</b>	<b>0.320</b>	<b>0.161</b>	<b>0.161</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
90	G1	0.3	Δ1	Δ	0.700	2.333	0.673	0.012		
			Δ2	Δ	0.670	2.233	0.812	0.119	0.120	0.400
			Δ3	Δ	0.450	1.500	0.650	0.040	0.230	0.767
		<b>m</b>			<b>0.607</b>	<b>2.022</b>	<b>0.712</b>	<b>0.057</b>	<b>0.175</b>	<b>0.583</b>
		<b>σ</b>			<b>0.137</b>	<b>0.455</b>	<b>0.088</b>	<b>0.055</b>	<b>0.078</b>	<b>0.259</b>
	<b>cv</b>			<b>0.225</b>	<b>0.225</b>	<b>0.123</b>	<b>0.973</b>	<b>0.444</b>	<b>0.444</b>	

<sup>(1)</sup> εύθρυπτος αρμός ενέματος

<sup>(2)</sup> μη αποδεκτή δοκιμή

<sup>(3)</sup> έντονη απόμειξη τσιμεντενέματος

<sup>(4)</sup> μη επαρκής τράχυνση υποβάθρου

Πίνακας Ε-2. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τεφρό ασβεστόλιθο (18 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	$\sigma$ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	$T_{u,f}$ [MPa]	$\mu_{u,f}$	$S_{u,f}$ [mm]	$W_{u,f}$ [mm]	$T_{r,f}$ [MPa]	$\mu_{res,f}$
28	HL1	0.3	$\Delta 1^{(1)}$	$\Delta$						
			$\Delta 2$	$\Delta$	0.220	0.733	0.709	0.019	0.210	0.700
			$\Delta 3$	$\Delta$	0.200	0.667	0.605		0.190	0.633
		<b>m</b>			<b>0.210</b>	<b>0.700</b>	<b>0.657</b>	<b>0.019</b>	<b>0.200</b>	<b>0.667</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.014</b>	<b>0.047</b>	<b>0.074</b>		<b>0.014</b>	<b>0.047</b>
	<b>cv</b>			<b>0.067</b>	<b>0.067</b>	<b>0.112</b>		<b>0.071</b>	<b>0.071</b>	
28	HL2	0.3	$\Delta 1$	$\Delta$	0.350	1.167	0.834	0.140	0.220	0.733
			$\Delta 2$	$\Delta$	0.290	0.967	0.361		0.240	0.800
			$\Delta 3$	$\Delta$	0.330	1.100	1.009	0.001	0.250	0.833
		<b>m</b>			<b>0.323</b>	<b>1.078</b>	<b>0.735</b>	<b>0.071</b>	<b>0.237</b>	<b>0.789</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.031</b>	<b>0.102</b>	<b>0.335</b>	<b>0.098</b>	<b>0.015</b>	<b>0.051</b>
	<b>cv</b>			<b>0.094</b>	<b>0.094</b>	<b>0.456</b>	<b>1.394</b>	<b>0.065</b>	<b>0.065</b>	
28	HL3	0.3	$\Delta 1$	$\Delta$	0.270	0.900	0.306	0.000	0.220	0.733
			$\Delta 2^{(1)}$	$\Delta$						
			$\Delta 3$	$\Delta$	0.320	1.067	0.309	0.021	0.220	0.733
		<b>m</b>			<b>0.295</b>	<b>0.983</b>	<b>0.308</b>	<b>0.011</b>	<b>0.220</b>	<b>0.733</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.035</b>	<b>0.118</b>	<b>0.002</b>	<b>0.015</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
	<b>cv</b>			<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.007</b>	<b>1.414</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	
180	HL1	0.3	$\Delta 1^{(1)}$	$\Delta$						
			$\Delta 2^{(1)}$	$\Delta$						
			$\Delta 3^{(1)}$	$\Delta$						
180	HL2	0.3	$\Delta 1$	$\Delta$	0.410	1.367	0.295		0.260	0.867
			$\Delta 2$	$\Delta$	0.320	1.067	0.375		0.230	0.767
			$\Delta 3$	$\Delta$	0.320	1.067	0.168		0.260	0.867
		<b>m</b>			<b>0.350</b>	<b>1.167</b>	<b>0.279</b>		<b>0.250</b>	<b>0.833</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.052</b>	<b>0.173</b>	<b>0.104</b>		<b>0.017</b>	<b>0.058</b>
	<b>cv</b>			<b>0.148</b>	<b>0.148</b>	<b>0.374</b>		<b>0.069</b>	<b>0.069</b>	
180	HL3	0.3	$\Delta 1^{(1)}$	$\Delta$						
			$\Delta 2$	$\Delta$	0.313	1.043	0.902		0.260	0.867
			$\Delta 3^{(1)}$	$\Delta$						
	<b>m</b>			<b>0.313</b>	<b>1.043</b>	<b>0.902</b>		<b>0.260</b>	<b>0.867</b>	

<sup>(1)</sup> το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε6

Πίνακας Ε-3. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-28 ημέρες (30 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	τ <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	σ <sub>u,f</sub> [mm]	ω <sub>u,f</sub> [mm]	τ <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>		
28	G4	0.1	Δ1 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.770	7.700	1.263	0.150	0.350	3.500		
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ+ (τΥ)	0.640	6.400	0.799	0.359	0.310	3.100		
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.560	5.600	0.788	0.002	0.340	3.400		
		<b>m</b>			<b>0.657</b>	<b>6.567</b>	<b>0.950</b>	<b>0.170</b>	<b>0.333</b>	<b>3.333</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.106</b>	<b>1.060</b>	<b>0.271</b>	<b>0.179</b>	<b>0.021</b>	<b>0.208</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.161</b>	<b>0.161</b>	<b>0.285</b>	<b>1.053</b>	<b>0.062</b>	<b>0.062</b>		
		0.3	Δ1 <sup>(2),(3)</sup>	Δ								
			Δ2 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.490	1.630	1.206	0.093	0.190	0.630		
			Δ3 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.410	1.370	0.459	0.019	0.180	0.600		
		<b>m</b>			<b>0.450</b>	<b>1.500</b>	<b>0.833</b>	<b>0.056</b>	<b>0.185</b>	<b>0.615</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.057</b>	<b>0.184</b>	<b>0.528</b>	<b>0.052</b>	<b>0.007</b>	<b>0.021</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.126</b>	<b>0.123</b>	<b>0.634</b>	<b>0.934</b>	<b>0.038</b>	<b>0.034</b>		
		0.6	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ	0.820	1.370	1.265	0.281	0.400	0.670		
			Δ2 <sup>(1),(3)</sup>	Δ	0.870	1.450	1.188	0.063	0.400	0.670		
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.700	1.160	0.860	0.057	0.350	0.580		
		<b>m</b>			<b>0.797</b>	<b>1.327</b>	<b>1.104</b>	<b>0.134</b>	<b>0.383</b>	<b>0.640</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.087</b>	<b>0.150</b>	<b>0.215</b>	<b>0.128</b>	<b>0.029</b>	<b>0.052</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.110</b>	<b>0.113</b>	<b>0.195</b>	<b>0.955</b>	<b>0.075</b>	<b>0.081</b>		
		28	G2	0.1	Δ1 <sup>(3),(4)</sup>	Z	1.160	11.600	1.106	0.291	0.320	3.200
					Δ2 <sup>(3)</sup>	Z (τΥ)	1.920	19.200	1.323	0.252	-	-
	Δ3 <sup>(3)</sup>			Z	1.720	17.200	1.066	0.118	0.230	2.300		
<b>m</b>					<b>1.600</b>	<b>16.000</b>	<b>1.165</b>	<b>0.220</b>	<b>0.275</b>	<b>2.750</b>		
<b>σ</b>					<b>0.394</b>	<b>3.940</b>	<b>0.138</b>	<b>0.091</b>	<b>0.064</b>	<b>0.636</b>		
<b>cv</b>					<b>0.246</b>	<b>0.246</b>	<b>0.119</b>	<b>0.412</b>	<b>0.231</b>	<b>0.231</b>		
0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>			Δ	1.300	4.330	1.678	0.697	-	-		
	Δ2 <sup>(3)</sup>			Z	2.120	7.060	2.080	1.045	-	-		
	Δ3 <sup>(3),(5)</sup>			Z	1.040	3.470	1.374	0.546	0.170	0.570		
<b>m</b>					<b>1.487</b>	<b>4.953</b>	<b>1.711</b>	<b>0.763</b>	<b>0.170</b>	<b>0.570</b>		
<b>σ</b>					<b>0.564</b>	<b>1.874</b>	<b>0.354</b>	<b>0.256</b>				
<b>cv</b>					<b>0.379</b>	<b>0.378</b>	<b>0.207</b>	<b>0.336</b>				
0.6	Δ1 <sup>(5),(6)</sup>			Z	1.420	2.360	2.077	0.011	0.380	0.630		
	Δ2 <sup>(5),(6)</sup>			Z	0.840	1.400	0.980	0.230	0.350	0.580		
	Δ3 <sup>(3)</sup>			Z	2.590	4.310	1.871	1.131	-	-		
<b>m</b>					<b>1.617</b>	<b>2.690</b>	<b>1.643</b>	<b>0.457</b>	<b>0.365</b>	<b>0.605</b>		
<b>σ</b>					<b>0.891</b>	<b>1.483</b>	<b>0.583</b>	<b>0.594</b>	<b>0.021</b>	<b>0.035</b>		
<b>cv</b>					<b>0.551</b>	<b>0.551</b>	<b>0.355</b>	<b>1.298</b>	<b>0.058</b>	<b>0.058</b>		
28	G1			0.1	Δ1	ITZ	0.12					
					Δ2 <sup>(7)</sup>		>6.23					
			Δ3 <sup>(7)</sup>	ITZ	0.12							
		0.3	Δ1	Δ	1.410	4.700	1.602	0.814	0.250	0.830		
			Δ2 <sup>(7)</sup>	-	0.37	1.230						
			Δ3	Δ	0.800	2.670	1.051	0.536	0.470	1.570		
		<b>m</b>			<b>1.105</b>	<b>3.685</b>	<b>1.327</b>	<b>0.675</b>	<b>0.360</b>	<b>1.200</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.431</b>	<b>1.435</b>	<b>0.390</b>	<b>0.197</b>	<b>0.156</b>	<b>0.523</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.390</b>	<b>0.390</b>	<b>0.294</b>	<b>0.291</b>	<b>0.432</b>	<b>0.436</b>		
		0.6	Δ1	Δ (τΥ)	4.580	7.630	2.153	0.849				
			Δ2	Δ (τZ)	0.970	1.620	1.055	0.739	0.230	0.380		
			Δ3 <sup>(8)</sup>									
		<b>m</b>			<b>2.775</b>	<b>4.625</b>	<b>1.604</b>	<b>0.794</b>	<b>0.230</b>	<b>0.380</b>		
		<b>σ</b>			<b>2.553</b>	<b>4.250</b>	<b>0.776</b>	<b>0.078</b>				
		<b>cv</b>			<b>0.920</b>	<b>0.919</b>	<b>0.484</b>	<b>0.098</b>				
		28	HL	0.3	Δ1 <sup>(6)</sup>	Δ	0.540	1.800	1.005	0.050	0.210	0.700
					Δ2 <sup>(6)</sup>	Δ	0.450	1.500	0.552	0.016	0.180	0.600
					Δ3 <sup>(6)</sup>	Δ	0.530	1.770	0.895	0.239	0.210	0.700
				<b>m</b>			<b>0.507</b>	<b>1.690</b>	<b>0.817</b>	<b>0.102</b>	<b>0.200</b>	<b>0.667</b>
				<b>σ</b>			<b>0.049</b>	<b>0.165</b>	<b>0.236</b>	<b>0.120</b>	<b>0.017</b>	<b>0.058</b>
<b>cv</b>					<b>0.097</b>	<b>0.098</b>	<b>0.289</b>	<b>1.182</b>	<b>0.087</b>	<b>0.087</b>		

(1) ύπαρξη φυσαλίδων στον αρμό του ενέματος σε θέσεις πόρων του υποβάθρου

(2) το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης

(3) μηδενική ενανθράκωση

(4) μικρορρηγμάτωση αρμού

(5) μη επαρκής τράχυνση

(6) ενανθράκωση ≤1mm

(7) μη ομοιογενής σύσταση αρμού

(8) μηδενική ορθή τάση

Πίνακας Ε-4. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-90 ημέρες (30 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G4	0.1	Δ1 <sup>(1)</sup>	Δ+Υ	1.430	14.300	1.361	0.449	0.250	2.500	
			Δ2 <sup>(2)</sup>								
			Δ3	Δ	0.900	9.000	0.544	0.271	0.140	1.400	
		<b>m</b>			<b>1.165</b>	<b>11.650</b>	<b>0.953</b>	<b>0.360</b>	<b>0.195</b>	<b>1.950</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.375</b>	<b>3.748</b>	<b>0.578</b>	<b>0.126</b>	<b>0.078</b>	<b>0.778</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.322</b>	<b>0.322</b>	<b>0.607</b>	<b>0.350</b>	<b>0.399</b>	<b>0.399</b>	
		0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ+Ζ	0.850	2.860	0.985	0.485	0.130	0.433	
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	1.160	3.870	1.555	0.436	0.120	0.400	
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ	0.920	3.070	1.052	0.556	0.180	0.600	
		<b>m</b>			<b>0.977</b>	<b>3.267</b>	<b>1.197</b>	<b>0.492</b>	<b>0.143</b>	<b>0.478</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.163</b>	<b>0.533</b>	<b>0.312</b>	<b>0.060</b>	<b>0.032</b>	<b>0.107</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.166</b>	<b>0.163</b>	<b>0.260</b>	<b>0.123</b>	<b>0.224</b>	<b>0.224</b>	
		0.6	Δ1	Δ	1.280	2.130	0.572	0.001	0.310	0.510	
			Δ2	Δ+Ζ	0.670	1.120	0.524	0.015	0.460	0.770	
			Δ3	Δ	1.010	1.680	0.703	0.002	0.100	0.170	
		<b>m</b>			<b>0.987</b>	<b>1.643</b>	<b>0.600</b>	<b>0.006</b>	<b>0.290</b>	<b>0.483</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.306</b>	<b>0.506</b>	<b>0.093</b>	<b>0.008</b>	<b>0.181</b>	<b>0.301</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.310</b>	<b>0.308</b>	<b>0.155</b>	<b>1.302</b>	<b>0.624</b>	<b>0.623</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G2	0.1	Δ1 <sup>(4)</sup>	Z (Y)	1.890	18.900	1.632	0.221	0.002		
			Δ2 <sup>(4)</sup>	Z (Y)	3.000	30.000	2.247	0.122	0.002		
			Δ3 <sup>(4)</sup>	Z	3.050	30.500	1.683	0.004	0.002		
		<b>m</b>			<b>2.647</b>	<b>26.467</b>	<b>1.854</b>	<b>0.116</b>	<b>0.002</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.656</b>	<b>6.558</b>	<b>0.341</b>	<b>0.109</b>	<b>0.000</b>		
		<b>cv</b>			<b>0.248</b>	<b>0.248</b>	<b>0.184</b>	<b>0.939</b>	<b>0.000</b>		
		0.3	Δ1 <sup>(5)</sup>	Δ (Y)	0.980	3.270	1.205	0.523	-	-	
			Δ2 <sup>(5)</sup>	Δ (Z)	0.870	2.900	1.157	0.384	0.180	0.600	
			Δ3 <sup>(5)</sup>	Δ+Ζ	0.670	2.230	0.856	0.270	0.340	1.130	
		<b>m</b>			<b>0.840</b>	<b>2.800</b>	<b>1.073</b>	<b>0.392</b>	<b>0.260</b>	<b>0.865</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.157</b>	<b>0.527</b>	<b>0.189</b>	<b>0.127</b>	<b>0.113</b>	<b>0.375</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.187</b>	<b>0.188</b>	<b>0.176</b>	<b>0.323</b>	<b>0.435</b>	<b>0.433</b>	
		0.6	Δ1 <sup>(6)</sup>	Δ	0.940	1.570	0.748	0.047	0.510	0.850	
			Δ2 <sup>(7)</sup>	Δ (Y)	1.130	1.880	0.805	0.212	0.470	0.780	
			Δ3 <sup>(7)</sup>	Δ+Ζ (Y)	1.470	2.450	1.374	0.539	0.250	0.420	
		<b>m</b>			<b>1.180</b>	<b>1.967</b>	<b>0.976</b>	<b>0.266</b>	<b>0.410</b>	<b>0.683</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.269</b>	<b>0.446</b>	<b>0.346</b>	<b>0.250</b>	<b>0.140</b>	<b>0.231</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.228</b>	<b>0.227</b>	<b>0.355</b>	<b>0.941</b>	<b>0.341</b>	<b>0.338</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	G1	0.1	Δ1	Δ	0.550	5.500	0.649	0.184	0.400	4.000	
			Δ2	Δ (τΖ)	0.730	7.300	0.601	0.072	0.410	4.100	
			Δ3	Z	0.550	5.500	0.507	0.045	0.200	2.000	
		<b>m</b>			<b>0.610</b>	<b>6.100</b>	<b>0.586</b>	<b>0.100</b>	<b>0.337</b>	<b>3.367</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.104</b>	<b>1.039</b>	<b>0.072</b>	<b>0.074</b>	<b>0.118</b>	<b>1.185</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.170</b>	<b>0.170</b>	<b>0.123</b>	<b>0.735</b>	<b>0.352</b>	<b>0.352</b>	
		0.3	Δ1 <sup>(8)</sup>	Δ+Ζ	4.340	14.467	2.400	0.000	-	-	
			Δ2	Δ	0.570	1.900	0.758	0.660	0.310	1.030	
			Δ3	Z	0.580	1.933	0.556	0.891	0.200	0.670	
		<b>m</b>			<b>1.830</b>	<b>6.100</b>	<b>1.238</b>	<b>0.517</b>	<b>0.255</b>	<b>0.850</b>	
		<b>σ</b>			<b>2.174</b>	<b>7.246</b>	<b>1.011</b>	<b>0.462</b>	<b>0.078</b>	<b>0.255</b>	
		<b>cv</b>			<b>1.188</b>	<b>1.188</b>	<b>0.817</b>	<b>0.894</b>	<b>0.305</b>	<b>0.299</b>	
		0.6	Δ1	Δ+Ζ	1.470	2.450	1.455	0.480	0.330	0.550	
			Δ2	Δ	0.850	1.420	0.539	0.373	0.650	1.080	
			Δ3	Z	0.910	1.520	0.576	0.032	0.580	0.970	
		<b>m</b>			<b>1.077</b>	<b>1.797</b>	<b>0.857</b>	<b>0.295</b>	<b>0.520</b>	<b>0.867</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.342</b>	<b>0.568</b>	<b>0.519</b>	<b>0.234</b>	<b>0.168</b>	<b>0.280</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.318</b>	<b>0.316</b>	<b>0.605</b>	<b>0.793</b>	<b>0.324</b>	<b>0.323</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>	
90	HL	0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>	Δ	0.510	1.700	0.336	0.003	0.240	0.800	
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ	0.610	2.030	0.594	0.002	0.280	0.933	
			Δ3 <sup>(7)</sup>	Δ	0.560	1.870	0.599	0.085	0.210	0.700	
		<b>m</b>			<b>0.560</b>	<b>1.867</b>	<b>0.510</b>	<b>0.030</b>	<b>0.243</b>	<b>0.811</b>	
		<b>σ</b>			<b>0.050</b>	<b>0.165</b>	<b>0.150</b>	<b>0.048</b>	<b>0.035</b>	<b>0.117</b>	
		<b>cv</b>			<b>0.089</b>	<b>0.088</b>	<b>0.295</b>	<b>1.588</b>	<b>0.144</b>	<b>0.144</b>	

(1) εύθραπτος αρμός

(2) το δοκίμιο αστόχησε κατά την τοποθέτηση στην συσκευή φόρτισης

(3) ενανθράκωση ≤0.5mm

(4) μηδενική ενανθράκωση

(5) μικρορρηγμάτωση αρμού

(6) ενανθράκωση ≤10mm

(7) ενανθράκωση ≤1mm

(8) μη ομοιόμορφη σύσταση αρμού



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε8

Πίνακας Ε-5. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από τραβερτίνη-60 και 180 ημέρες (12 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
60	G4	0.3	Δ1 <sup>(2)</sup>	Δ	0.600	2.000	0.944	0.083	0.250	0.830
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Δ (τZ)	0.690	2.300	0.676	0.404	-	-
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Z	0.620	2.070	0.959	0.307	0.280	0.930
		<b>m</b>			<b>0.637</b>	<b>2.123</b>	<b>0.860</b>	<b>0.265</b>	<b>0.265</b>	<b>0.880</b>
		<b>σ</b>			<b>0.047</b>	<b>0.157</b>	<b>0.159</b>	<b>0.165</b>	<b>0.021</b>	<b>0.071</b>
	<b>cv</b>			<b>0.074</b>	<b>0.074</b>	<b>0.185</b>	<b>0.622</b>	<b>0.080</b>	<b>0.080</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
60	G2	0.3	Δ1 <sup>(1)</sup>	Z	2.260	7.530	1.739	0.063	-	-
			Δ2	Z	1.370	4.570	1.368	0.569	-	-
			Δ3	Z	1.350	<b>4.500</b>	1.383	0.418	-	-
		<b>m</b>			<b>1.660</b>	<b>5.533</b>	<b>1.497</b>	<b>0.350</b>		
		<b>σ</b>			<b>0.520</b>	<b>1.730</b>	<b>0.210</b>	<b>0.260</b>		
	<b>cv</b>			<b>0.313</b>	<b>0.313</b>	<b>0.140</b>	<b>0.742</b>			
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
180	G4	0.3	Δ1 <sup>(4),(6)</sup>	Δ	0.560	1.870	0.548	0.002	0.230	0.770
			Δ2 <sup>(5),(6)</sup>	Δ	0.660	2.200	0.404	0.043	0.290	0.970
			Δ3 <sup>(5),(6)</sup>	Δ	0.730	2.430	0.839	0.261	0.240	0.800
		<b>m</b>			<b>0.650</b>	<b>2.167</b>	<b>0.597</b>	<b>0.102</b>	<b>0.253</b>	<b>0.847</b>
		<b>σ</b>			<b>0.085</b>	<b>0.281</b>	<b>0.222</b>	<b>0.139</b>	<b>0.032</b>	<b>0.108</b>
	<b>cv</b>			<b>0.131</b>	<b>0.130</b>	<b>0.371</b>	<b>1.365</b>	<b>0.127</b>	<b>0.127</b>	
180	G2	0.3	Δ1	Z (τY)	0.980	3.270	1.527	0.619	0.340	1.130
			Δ2	Z (τY)	1.100	3.670	1.827	0.674	0.260	0.870
			Δ3 <sup>(3)</sup>	Δ+Z	0.500	1.670	0.709	0.103	0.280	0.930
		<b>m</b>			<b>0.860</b>	<b>2.870</b>	<b>1.354</b>	<b>0.465</b>	<b>0.293</b>	<b>0.977</b>
		<b>σ</b>			<b>0.317</b>	<b>1.058</b>	<b>0.579</b>	<b>0.315</b>	<b>0.042</b>	<b>0.136</b>
	<b>cv</b>			<b>0.369</b>	<b>0.369</b>	<b>0.427</b>	<b>0.677</b>	<b>0.142</b>	<b>0.139</b>	

(1) μικρότερο ύψος αρμού  
(2) ενανθράκωση ≤1mm  
(3) ενανθράκωση ≤2mm  
(4) ενανθράκωση ≤10mm  
(5) ενανθράκωση ≤4mm  
(6) εύθρυπτος αρμός

Πίνακας Ε-6. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-28 ημέρες (9 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL1	0.3	Δ1	Δ	0.350	1.167	1.313	0.754	0.180	0.600
			Δ2	Δ	0.230	0.767	0.666	0.291	0.120	0.400
			Δ3	Δ	0.450	1.500	0.960	0.320	0.250	0.833
		<b>m</b>			<b>0.343</b>	<b>1.144</b>	<b>0.980</b>	<b>0.455</b>	<b>0.183</b>	<b>0.611</b>
		<b>σ</b>			<b>0.110</b>	<b>0.367</b>	<b>0.324</b>	<b>0.259</b>	<b>0.065</b>	<b>0.217</b>
	<b>cv</b>			<b>0.321</b>	<b>0.321</b>	<b>0.331</b>	<b>0.570</b>	<b>0.355</b>	<b>0.355</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL2	0.3	Δ1	Δ+Y	1.220	4.067	2.559	1.445	0.370	1.233
			Δ2	Δ+Y	0.860	2.867	1.909	1.262	0.270	0.900
			Δ3	Δ+Y	1.080	3.600	2.141	3.888	0.130	0.433
		<b>m</b>			<b>1.053</b>	<b>3.511</b>	<b>2.203</b>	<b>2.198</b>	<b>0.257</b>	<b>0.856</b>
		<b>σ</b>			<b>0.181</b>	<b>0.605</b>	<b>0.329</b>	<b>1.466</b>	<b>0.121</b>	<b>0.402</b>
	<b>cv</b>			<b>0.172</b>	<b>0.172</b>	<b>0.150</b>	<b>0.667</b>	<b>0.470</b>	<b>0.470</b>	
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>
28	HL3	0.3	Δ1	Δ+Y	1.000	3.333	3.054	2.059	0.180	0.600
			Δ2	Δ+Y	1.260	4.200	2.342	1.803	0.250	0.833
			Δ3	Δ+Y	0.990	3.300	2.263	1.986	0.150	0.500
		<b>m</b>			<b>1.083</b>	<b>3.611</b>	<b>2.553</b>	<b>1.949</b>	<b>0.193</b>	<b>0.644</b>
		<b>σ</b>			<b>0.153</b>	<b>0.510</b>	<b>0.436</b>	<b>0.132</b>	<b>0.051</b>	<b>0.171</b>
	<b>cv</b>			<b>0.141</b>	<b>0.141</b>	<b>0.171</b>	<b>0.068</b>	<b>0.265</b>	<b>0.265</b>	

Πίνακας Ε-7. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από ψαμμίτη-90 και 180 ημέρες (24 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	$\sigma$ [MPa]	$\alpha/\alpha$ δοκιμίου	τύπος αστοχίας	$T_{u,f}$ [MPa]	$\mu_{u,f}$	$S_{u,f}$ [mm]	$W_{u,f}$ [mm]	$T_{r,f}$ [MPa]	$\mu_{res,f}$
90	HL1	0.3	$\Delta 1$	$\Delta+Y$	0.800	2.667	1.406	0.130	0.230	0.767
			$\Delta 2$	$\Delta+Y$	1.100	3.667	1.800	0.588	0.300	1.000
			$\Delta 3$	$\Delta+Y$	0.910	3.033	1.950	0.708	0.160	0.533
		<b>m</b>			<b>0.937</b>	<b>3.122</b>	<b>1.719</b>	<b>0.475</b>	<b>0.230</b>	<b>0.767</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.152</b>	<b>0.506</b>	<b>0.281</b>	<b>0.305</b>	<b>0.070</b>	<b>0.233</b>
		<b>cv</b>			<b>0.162</b>	<b>0.162</b>	<b>0.163</b>	<b>0.642</b>	<b>0.304</b>	<b>0.304</b>
		0.6	$\Delta 1$	$\Delta+Y$	0.700	1.167	1.106	0.001	0.360	0.600
			$\Delta 2$	$\Delta(+Y)$	0.640	1.067	0.467	0.017	0.300	0.500
		<b>m</b>			<b>0.670</b>	<b>1.117</b>	<b>0.787</b>	<b>0.009</b>	<b>0.330</b>	<b>0.550</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.042</b>	<b>0.071</b>	<b>0.452</b>	<b>0.011</b>	<b>0.042</b>	<b>0.071</b>
		<b>cv</b>			<b>0.063</b>	<b>0.063</b>	<b>0.574</b>	<b>1.257</b>	<b>0.129</b>	<b>0.129</b>
		90	HL2	0.3	$\Delta 1$	Y	1.390	4.633	2.078	0.872
	$\Delta 2$			Y	1.470	4.900	2.512	0.969	0.300	1.000
	$\Delta 3$			Y	1.160	3.867	1.979	0.990	0.500	1.667
<b>m</b>					<b>1.340</b>	<b>4.467</b>	<b>2.190</b>	<b>0.944</b>	<b>0.327</b>	<b>1.089</b>
<b><math>\sigma</math></b>					<b>0.161</b>	<b>0.536</b>	<b>0.284</b>	<b>0.063</b>	<b>0.162</b>	<b>0.539</b>
<b>cv</b>					<b>0.120</b>	<b>0.120</b>	<b>0.129</b>	<b>0.067</b>	<b>0.495</b>	<b>0.495</b>
0.6	$\Delta 1$			Y	1.220	2.033	2.211	1.443	0.120	0.200
	$\Delta 2$			Y	1.314	2.190	2.315	0.279	0.350	0.583
<b>m</b>					<b>1.267</b>	<b>2.112</b>	<b>2.263</b>	<b>0.861</b>	<b>0.235</b>	<b>0.392</b>
<b><math>\sigma</math></b>					<b>0.066</b>	<b>0.111</b>	<b>0.074</b>	<b>0.823</b>	<b>0.163</b>	<b>0.271</b>
<b>cv</b>					<b>0.052</b>	<b>0.052</b>	<b>0.032</b>	<b>0.956</b>	<b>0.692</b>	<b>0.692</b>
90	HL3			0.3	$\Delta 1$	Y	1.270	4.233	2.397	0.000
			$\Delta 2$	Y	1.450	4.833	1.958	0.823	0.120	0.400
			$\Delta 3$	Y	1.480	4.933	2.206	0.003	0.140	0.467
		<b>m</b>			<b>1.400</b>	<b>4.667</b>	<b>2.187</b>	<b>0.275</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.114</b>	<b>0.379</b>	<b>0.220</b>	<b>0.474</b>	<b>0.053</b>	<b>0.176</b>
		<b>cv</b>			<b>0.081</b>	<b>0.081</b>	<b>0.101</b>	<b>1.723</b>	<b>0.331</b>	<b>0.331</b>
		0.6	$\Delta 1$	Y	1.350	2.250	2.027	1.291	0.180	0.300
			$\Delta 2$	Y	1.230	2.050	2.026	1.229	0.170	0.283
		<b>m</b>			<b>1.290</b>	<b>2.150</b>	<b>2.027</b>	<b>1.260</b>	<b>0.175</b>	<b>0.292</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.085</b>	<b>0.141</b>	<b>0.001</b>	<b>0.044</b>	<b>0.007</b>	<b>0.012</b>
		<b>cv</b>			<b>0.066</b>	<b>0.066</b>	<b>0.000</b>	<b>0.035</b>	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>
		180	HL1	0.3	$\Delta 1$	$\Delta$	0.370	1.233	1.094	
	$\Delta 2$			$\Delta$	0.450	1.500	0.923	0.194	0.160	0.533
	$\Delta 3$			$\Delta$	0.500	1.667	1.319	0.954	0.160	0.533
<b>m</b>					<b>0.440</b>	<b>1.467</b>	<b>1.112</b>	<b>0.574</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>
<b><math>\sigma</math></b>					<b>0.066</b>	<b>0.219</b>	<b>0.199</b>	<b>0.537</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
<b>cv</b>					<b>0.149</b>	<b>0.149</b>	<b>0.179</b>	<b>0.936</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>
0.6	$\Delta 1$			Y	1.570	5.233	2.481		0.320	1.067
	$\Delta 2$			Y	1.630	5.433	2.299		0.280	0.933
	$\Delta 3$			Y	1.490	4.967	2.173		0.330	1.100
<b>m</b>					<b>1.563</b>	<b>5.211</b>	<b>2.318</b>		<b>0.310</b>	<b>1.033</b>
<b><math>\sigma</math></b>					<b>0.070</b>	<b>0.234</b>	<b>0.155</b>		<b>0.026</b>	<b>0.088</b>
<b>cv</b>					<b>0.045</b>	<b>0.045</b>	<b>0.067</b>		<b>0.085</b>	<b>0.085</b>
180	HL2	0.3	$\Delta 1$	Y	1.440	4.800	2.557	1.157	0.190	0.633
			$\Delta 2$	Y	1.380	4.600	3.292	4.051	0.200	0.667
			$\Delta 3$	$\Delta+Y$	1.020	3.400	1.865	1.197	0.290	0.967
		<b>m</b>			<b>1.280</b>	<b>4.267</b>	<b>2.571</b>	<b>2.135</b>	<b>0.227</b>	<b>0.756</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.227</b>	<b>0.757</b>	<b>0.714</b>	<b>1.659</b>	<b>0.055</b>	<b>0.184</b>
		<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.177</b>	<b>0.278</b>	<b>0.777</b>	<b>0.243</b>	<b>0.243</b>
		0.6	$\Delta 1$	Y	1.440	4.800	2.557	1.157	0.190	0.633
			$\Delta 2$	Y	1.380	4.600	3.292	4.051	0.200	0.667
			$\Delta 3$	$\Delta+Y$	1.020	3.400	1.865	1.197	0.290	0.967
		<b>m</b>			<b>1.280</b>	<b>4.267</b>	<b>2.571</b>	<b>2.135</b>	<b>0.227</b>	<b>0.756</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.227</b>	<b>0.757</b>	<b>0.714</b>	<b>1.659</b>	<b>0.055</b>	<b>0.184</b>
		<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.177</b>	<b>0.278</b>	<b>0.777</b>	<b>0.243</b>	<b>0.243</b>
180	HL3	0.3	$\Delta 1$	Y	1.440	4.800	2.557	1.157	0.190	0.633
			$\Delta 2$	Y	1.380	4.600	3.292	4.051	0.200	0.667
			$\Delta 3$	$\Delta+Y$	1.020	3.400	1.865	1.197	0.290	0.967
		<b>m</b>			<b>1.280</b>	<b>4.267</b>	<b>2.571</b>	<b>2.135</b>	<b>0.227</b>	<b>0.756</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.227</b>	<b>0.757</b>	<b>0.714</b>	<b>1.659</b>	<b>0.055</b>	<b>0.184</b>
		<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.177</b>	<b>0.278</b>	<b>0.777</b>	<b>0.243</b>	<b>0.243</b>
		0.6	$\Delta 1$	Y	1.440	4.800	2.557	1.157	0.190	0.633
			$\Delta 2$	Y	1.380	4.600	3.292	4.051	0.200	0.667
			$\Delta 3$	$\Delta+Y$	1.020	3.400	1.865	1.197	0.290	0.967
		<b>m</b>			<b>1.280</b>	<b>4.267</b>	<b>2.571</b>	<b>2.135</b>	<b>0.227</b>	<b>0.756</b>
		<b><math>\sigma</math></b>			<b>0.227</b>	<b>0.757</b>	<b>0.714</b>	<b>1.659</b>	<b>0.055</b>	<b>0.184</b>
		<b>cv</b>			<b>0.177</b>	<b>0.177</b>	<b>0.278</b>	<b>0.777</b>	<b>0.243</b>	<b>0.243</b>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε10

Πίνακας Ε-8. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Α και τριμερή ενέματα (39 δοκιμές).

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	σ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	T <sub>u,f</sub> [MPa]	μ <sub>u,f</sub>	S <sub>u,f</sub> [mm]	W <sub>u,f</sub> [mm]	T <sub>r,f</sub> [MPa]	μ <sub>res,f</sub>				
28	G2	0.1	Δ1	Y	2.310	23.100	2.698	0.093	0.100	1.000				
			Δ2	Y	1.980	19.800	2.895	0.258	0.440	4.400				
			Δ3 <sup>(1)</sup>	Y	1.650	16.500	2.552	0.263	0.040	0.400				
		<b>m</b>		<b>1.980</b>	<b>19.800</b>	<b>2.715</b>	<b>0.205</b>	<b>0.193</b>	<b>1.933</b>					
		<b>σ</b>		<b>0.330</b>	<b>3.300</b>	<b>0.172</b>	<b>0.097</b>	<b>0.216</b>	<b>2.157</b>					
		<b>cv</b>		<b>0.167</b>	<b>0.167</b>	<b>0.063</b>	<b>0.473</b>	<b>1.116</b>	<b>1.116</b>					
		0.3	Δ1 <sup>(4)</sup>	Y	1.510	5.030	2.546	0.795						
			Δ2 <sup>(1)</sup>	Y	1.250	4.170	1.847	0.201						
			Δ3	Y	1.070	3.560	2.552	1.159						
		<b>m</b>		<b>1.277</b>	<b>4.253</b>	<b>2.315</b>	<b>0.718</b>							
		<b>σ</b>		<b>0.221</b>	<b>0.739</b>	<b>0.405</b>	<b>0.484</b>							
		<b>cv</b>		<b>0.173</b>	<b>0.174</b>	<b>0.175</b>	<b>0.673</b>							
		0.6	Δ1	Y	1.370	2.280	3.145	1.296						
			Δ2	Y	1.150	1.920	1.747	0.717						
			Δ3 <sup>(4)</sup>	Y	1.060	1.770	2.151	1.153	0.420					
<b>m</b>		<b>1.193</b>	<b>1.990</b>	<b>2.348</b>	<b>1.055</b>	<b>0.420</b>								
<b>σ</b>		<b>0.159</b>	<b>0.262</b>	<b>0.719</b>	<b>0.302</b>									
<b>cv</b>		<b>0.134</b>	<b>0.132</b>	<b>0.306</b>	<b>0.286</b>									
28	G1	0.1	Δ1		0.540	5.400	1.792	0.392	0.140	1.400				
			Δ2 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.700	17.000	3.441	0.679	0.620	6.200				
			Δ3		0.740	7.400	1.896	0.453						
		<b>m</b>		<b>0.993</b>	<b>9.933</b>	<b>2.376</b>	<b>0.508</b>	<b>0.380</b>	<b>3.800</b>					
		<b>σ</b>		<b>0.620</b>	<b>6.201</b>	<b>0.923</b>	<b>0.151</b>	<b>0.339</b>	<b>3.394</b>					
		<b>cv</b>		<b>0.624</b>	<b>0.624</b>	<b>0.389</b>	<b>0.298</b>	<b>0.893</b>	<b>0.893</b>					
		0.3	Δ1		0.370	1.233	0.558	0.001						
			Δ2		0.390	1.300	1.280	0.062	0.200	0.667				
			Δ3 <sup>(3)</sup>		1.420	4.733	1.503	0.037	0.210	0.700				
		<b>m</b>		<b>0.727</b>	<b>2.422</b>	<b>1.114</b>	<b>0.033</b>	<b>0.205</b>	<b>0.683</b>					
		<b>σ</b>		<b>0.601</b>	<b>2.002</b>	<b>0.494</b>	<b>0.031</b>	<b>0.007</b>	<b>0.024</b>					
		<b>cv</b>		<b>0.826</b>	<b>0.826</b>	<b>0.444</b>	<b>0.920</b>	<b>0.034</b>	<b>0.034</b>					
		60	G4	0.3	Δ1	Y	1.490	4.970	3.508	1.180	0.940	3.133		
					Δ2	Y	0.970	3.230	3.106	1.282	0.370	1.233		
					Δ3	Y	1.450	4.830	2.499	0.928	0.080	0.267		
<b>m</b>				<b>1.303</b>	<b>4.343</b>	<b>3.038</b>	<b>1.130</b>	<b>0.463</b>	<b>1.544</b>					
<b>σ</b>				<b>0.289</b>	<b>0.967</b>	<b>0.508</b>	<b>0.182</b>	<b>0.438</b>	<b>1.458</b>					
<b>cv</b>				<b>0.222</b>	<b>0.223</b>	<b>0.167</b>	<b>0.161</b>	<b>0.944</b>	<b>0.944</b>					
60	G2			0.3	Δ1	Y	1.510	5.030	3.589	0.004	0.180	0.600		
					Δ2	Y	1.760	5.870	3.053	0.679	-	-		
					Δ3	Y	1.770	5.900	2.874	0.470	0.060	0.200		
				<b>m</b>		<b>1.680</b>	<b>5.600</b>	<b>3.172</b>	<b>0.384</b>	<b>0.120</b>	<b>0.400</b>			
				<b>σ</b>		<b>0.147</b>	<b>0.494</b>	<b>0.372</b>	<b>0.346</b>	<b>0.085</b>	<b>0.283</b>			
				<b>cv</b>		<b>0.088</b>	<b>0.088</b>	<b>0.117</b>	<b>0.899</b>	<b>0.707</b>	<b>0.707</b>			
				90	G4	0.3	Δ1 <sup>(2)</sup>	Y	1.290	4.300	1.844	0.978	0.180	0.600
							Δ2 <sup>(4)</sup>	-						
							Δ3 <sup>(2)</sup>	Y	1.490	4.970	1.921	0.169	0.170	0.567
		<b>m</b>				<b>1.390</b>	<b>4.635</b>	<b>1.883</b>	<b>0.574</b>	<b>0.175</b>	<b>0.583</b>			
		<b>σ</b>				<b>0.141</b>	<b>0.474</b>	<b>0.054</b>	<b>0.572</b>	<b>0.007</b>	<b>0.024</b>			
		<b>cv</b>				<b>0.102</b>	<b>0.102</b>	<b>0.029</b>	<b>0.997</b>	<b>0.040</b>	<b>0.040</b>			
		90	G1			0.1	Δ1 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.580	15.800	3.908	1.685	-	-
							Δ2 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.250	12.500	2.112	0.239	0.500	
							Δ3 <sup>(3)</sup>	Y+Δ	1.740	17.400	2.997	-	0.050	
<b>m</b>						<b>1.523</b>	<b>15.233</b>	<b>3.006</b>	<b>0.962</b>	<b>0.275</b>				
<b>σ</b>						<b>0.250</b>	<b>2.499</b>	<b>0.898</b>	<b>1.022</b>	<b>0.318</b>				
<b>cv</b>						<b>0.164</b>	<b>0.164</b>	<b>0.299</b>	<b>1.063</b>	<b>1.157</b>				
0.3	Δ1 <sup>(3)</sup>					Y+Δ	1.090	3.630	2.586	0.454	0.040			
	Δ2 <sup>(3)</sup>					Y+Δ	1.310	4.370	2.580	1.044	0.050			
	Δ3 <sup>(3),(4)</sup>					Y+Δ	1.070	3.570	2.113	0.007	0.290			
<b>m</b>				<b>1.157</b>	<b>3.857</b>	<b>2.426</b>	<b>0.502</b>	<b>0.127</b>						
<b>σ</b>				<b>0.133</b>	<b>0.446</b>	<b>0.271</b>	<b>0.520</b>	<b>0.142</b>						
<b>cv</b>				<b>0.115</b>	<b>0.116</b>	<b>0.112</b>	<b>1.037</b>	<b>1.117</b>						
180	G4			0.1	1	Y	2.410	24.100	1.453	0.016	0.620	6.200		
					2	Y	1.770	17.700	1.499	0.366				
					3	Y	1.910	19.100	2.001	0.150	0.250	2.500		
		<b>m</b>		<b>2.030</b>	<b>20.300</b>	<b>1.651</b>	<b>0.177</b>	<b>0.435</b>	<b>4.350</b>					
		<b>σ</b>		<b>0.336</b>	<b>3.365</b>	<b>0.304</b>	<b>0.177</b>	<b>0.262</b>	<b>2.616</b>					
		<b>cv</b>		<b>0.166</b>	<b>0.166</b>	<b>0.184</b>	<b>0.996</b>	<b>0.601</b>	<b>0.601</b>					
		0.3	1	Y	1.690	5.630	3.749	0.003	0.130	0.433				
			2	Y	1.380	4.600	4.302	0.001	0.160	0.533				
			3	Y	1.910	6.370	2.755	0.808						
		<b>m</b>		<b>1.660</b>	<b>5.533</b>	<b>3.602</b>	<b>0.271</b>	<b>0.145</b>	<b>0.483</b>					
		<b>σ</b>		<b>0.266</b>	<b>0.889</b>	<b>0.784</b>	<b>0.465</b>	<b>0.021</b>	<b>0.071</b>					
		<b>cv</b>		<b>0.160</b>	<b>0.161</b>	<b>0.218</b>	<b>1.719</b>	<b>0.146</b>	<b>0.146</b>					
		0.6	1	Y	1.310	2.183	2.063	0.040	0.650	1.083				
			2	Y	1.890	3.150	2.599	2.047	0.140	0.233				
			3	Y	1.510	2.517	3.273	1.561	0.210	0.350				
<b>m</b>		<b>1.570</b>	<b>2.617</b>	<b>2.645</b>	<b>1.216</b>	<b>0.333</b>	<b>0.556</b>							
<b>σ</b>		<b>0.295</b>	<b>0.491</b>	<b>0.606</b>	<b>1.047</b>	<b>0.276</b>	<b>0.461</b>							
<b>cv</b>		<b>0.188</b>	<b>0.188</b>	<b>0.229</b>	<b>0.861</b>	<b>0.829</b>	<b>0.829</b>							

(1) παρουσία πόρων στο υπόβαθρο  
(2) συντήρηση δοκιμών εκτός υγρού θαλάμου  
(3) η αστοχία «Δ» παρουσιάζεται στην τσιμεντένυα που είναι πλούσια σε ασβέστη  
(4) το δοκίμιο δεν εξετάστηκε καθώς ήταν μη ορθογωνισμένο

Πίνακας Ε-9. Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης για δοκίμια με υπόβαθρο από οπτόπλινθο Β και ενέματα υδραυλικής ασβέστου (18 δοκιμές).

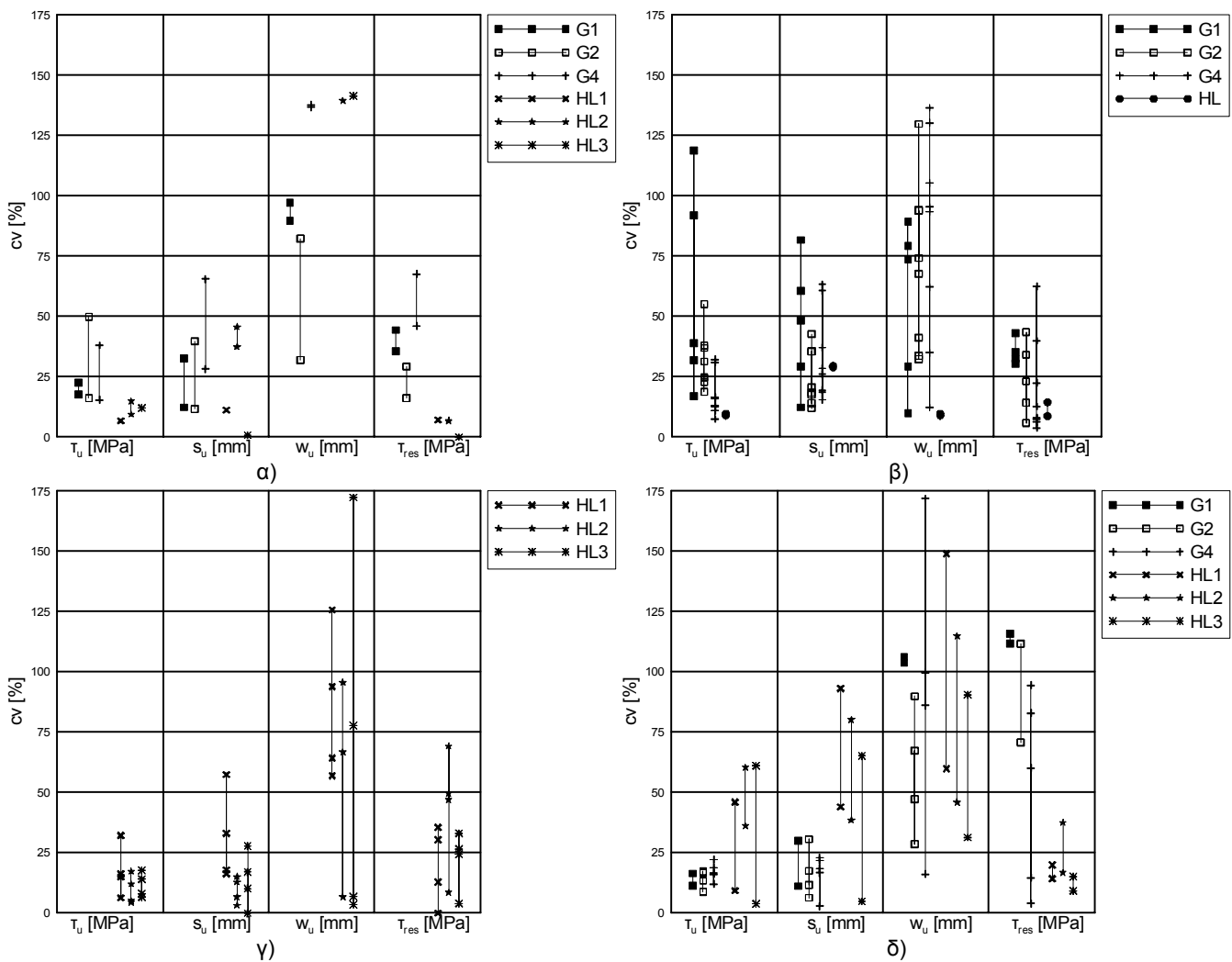
ηλικία [ημέρες]	κωδ. εν/τος	$\sigma$ [MPa]	α/α δοκιμίου	τύπος αστοχίας	$T_{u,f}$ [MPa]	$\mu_{u,f}$	$S_{u,f}$ [mm]	$W_{u,f}$ [mm]	$T_{r,f}$ [MPa]	$\mu_{res,f}$
28	HL1	0.3	Δ1	Z	0.520	1.733	1.424	1.167	0.180	0.600
			Δ2	ITZ	0.450	1.500	0.585	0.258	0.160	0.533
			Δ3	Z	0.440	1.467	1.537	0.998	0.120	0.400
			m		<b>0.470</b>	<b>1.567</b>	<b>1.182</b>	<b>0.808</b>	<b>0.153</b>	<b>0.511</b>
			$\sigma$		<b>0.044</b>	<b>0.145</b>	<b>0.520</b>	<b>0.483</b>	<b>0.031</b>	<b>0.102</b>
			cv		<b>0.093</b>	<b>0.093</b>	<b>0.440</b>	<b>0.599</b>	<b>0.199</b>	<b>0.199</b>
28	HL2	0.3	Δ1	Z	1.150	3.833	2.381	1.137	0.190	0.633
			Δ2	ITZ	0.320	1.067	0.494	0.000	0.190	0.633
			Δ3	ITZ	0.620	2.067	0.868	0.377	0.140	0.467
			m		<b>0.697</b>	<b>2.322</b>	<b>1.248</b>	<b>0.505</b>	<b>0.173</b>	<b>0.578</b>
			$\sigma$		<b>0.420</b>	<b>1.401</b>	<b>0.999</b>	<b>0.579</b>	<b>0.029</b>	<b>0.096</b>
			cv		<b>0.603</b>	<b>0.603</b>	<b>0.801</b>	<b>1.148</b>	<b>0.167</b>	<b>0.167</b>
28	HL3	0.3	Δ1	Y+Δ	1.200	4.000	2.092	1.614	0.150	0.500
			Δ2	Y+Δ	1.290	4.300	1.914	1.043	0.180	0.600
			Δ3	Y+Δ	1.270	4.233	2.067	2.012	0.170	0.567
			m		<b>1.253</b>	<b>4.178</b>	<b>2.024</b>	<b>1.556</b>	<b>0.167</b>	<b>0.556</b>
			$\sigma$		<b>0.047</b>	<b>0.158</b>	<b>0.096</b>	<b>0.487</b>	<b>0.015</b>	<b>0.051</b>
			cv		<b>0.038</b>	<b>0.038</b>	<b>0.048</b>	<b>0.313</b>	<b>0.092</b>	<b>0.092</b>
180	HL1	0.3	Δ1	Z	0.520	1.733	1.325	0.337	0.200	0.667
			Δ2	ITZ	0.260	0.867	0.370	0.009	0.180	0.600
			Δ3	ITZ	0.240	0.800	0.227	0.026	0.150	0.500
			m		<b>0.340</b>	<b>1.133</b>	<b>0.641</b>	<b>0.124</b>	<b>0.177</b>	<b>0.589</b>
			$\sigma$		<b>0.156</b>	<b>0.521</b>	<b>0.597</b>	<b>0.185</b>	<b>0.025</b>	<b>0.084</b>
			cv		<b>0.459</b>	<b>0.459</b>	<b>0.932</b>	<b>1.489</b>	<b>0.142</b>	<b>0.142</b>
180	HL2	0.3	Δ1	Z	0.400	1.333	0.828	0.468	0.220	0.733
			Δ2	ITZ	0.550	1.833	0.759	0.499	0.160	0.533
			Δ3	Z	0.820	2.733	1.470	1.006	0.100	0.333
			m		<b>0.590</b>	<b>1.967</b>	<b>1.019</b>	<b>0.658</b>	<b>0.160</b>	<b>0.533</b>
			$\sigma$		<b>0.213</b>	<b>0.709</b>	<b>0.392</b>	<b>0.302</b>	<b>0.060</b>	<b>0.200</b>
			cv		<b>0.361</b>	<b>0.361</b>	<b>0.385</b>	<b>0.459</b>	<b>0.375</b>	<b>0.375</b>
180	HL3	0.3	Δ1	ITZ	0.400	1.333	0.531	0.164	0.140	0.467
			Δ2	Δ+Y	1.320	4.400	2.116	1.140	0.190	0.633
			Δ3	Z	0.630	2.100	1.063	0.390	0.170	0.567
			m		<b>0.783</b>	<b>2.611</b>	<b>1.237</b>	<b>0.565</b>	<b>0.167</b>	<b>0.556</b>
			$\sigma$		<b>0.479</b>	<b>1.596</b>	<b>0.807</b>	<b>0.511</b>	<b>0.025</b>	<b>0.084</b>
			cv		<b>0.611</b>	<b>0.611</b>	<b>0.652</b>	<b>0.905</b>	<b>0.151</b>	<b>0.151</b>

## Ε.1.2 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες Ε-1÷Ε-9 και τις Εικόνες Ε1α÷Ε1δ, όπου απεικονίζονται οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας ανά τριάδα ομοειδών δοκιμίων, εν γένει, η διασπορά των πειραματικών τιμών της διατμητικής αντοχής  $\tau_u$ , της ολίσθησης  $s_u$  και της εγκάρσιας διόγκωσης  $w_u$  για τις οποίες επιστρατεύεται η  $\tau_u$ , καθώς και της παραμένουσας διατμητικής αντοχής  $\tau_{res}$  είναι υψηλή. Ας επισημανθεί ότι τούτο, δεν συμβαίνει μόνον στα αποτελέσματα της παρούσας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε12

εργασίας, αλλά το ίδιο παρατηρείται και στην βιβλιογραφία. Η μεγάλη διασπορά στα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης αποδίδεται στην διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες των ενεμάτων, σε σφάλματα που οφείλονται στην πειραματική διάταξη (ορθογωνικότητα δοκιμών, εκκεντρότητες στην επιβολή του φορτίου κα.) κα. Εξ άλλου, η υψηλότερη διασπορά για τις μετακινήσεις (ολίσθηση και άνοιγμα ρωγμής) σε σχέση με την διασπορά στις τιμές της διατμητικής αντοχής και της παραμένουσας διατμητικής τάσης, οφείλεται στην μεγαλύτερη ευαισθησία αυτών των μεγεθών έναντι των προαναφερθέντων παραγόντων, καθώς και έναντι χαρακτηριστικών του υποβάθρου, όπως είναι η επιφανειακή τραχύτητα.



Εικόνα Ε1. Συντελεστής μεταβλητότητας  $cv$  [%] των μεγεθών  $\tau_u$ ,  $s_u$ ,  $w_u$  και  $\tau_{res}$  ανά τύπο ενέματος για υπόβαθρο από α) μάρμαρο, β)τραβερίνη, γ) ψαμμίτη και δ) οπτόπλιθο (για όλες τις ηλικίες και τις  $\sigma_n$ ).

## **Ε.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ - ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ**

### **Ε.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Η διαδικασία ομαδοποίησης των διαγραμμάτων ( $\tau - s$ ) και ( $\tau - w$ ) των σύνθετων δοκιμών περιλαμβάνει τα ακόλουθα έξι βήματα:

1<sup>ο</sup> Βήμα. Ανά δύο ή τρία ομοειδή δοκίμια κατασκευάζονται οι μέσες καμπύλες επιστρατευομένης διατμητικής τάσης προς επιβαλλόμενη ολίσθηση ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ), εγκάρσιας διόγκωσης προς ολίσθηση ( $\bar{w} - \bar{s}$ ). Αγνοούνται τα δοκίμια που εμφανίζουν μεγάλες αποκλίσεις. Από τις μέσες καμπύλες, προκύπτουν οι τιμές για την μέγιστη μέση διατμητική αντοχή  $\bar{\tau}_u$ , καθώς και οι τιμές της ολίσθησης ( $\bar{s}_u$ ) και εγκάρσιας διόγκωσης ( $\bar{w}_u$ ) για τις οποίες επιστρατεύεται η  $\bar{\tau}_u$ .

Στον Πίνακα Ε-10 δίδονται οι τιμές των  $\bar{\tau}_u$ ,  $\bar{s}_u$  και  $\bar{w}_u$  της προαναφερθείσας επεξεργασίας, καθώς και οι δοκιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των μέσων καμπύλων.

2<sup>ο</sup> Βήμα. Για μια ηλικία και μια  $\sigma_n$ , σχεδιάζονται ανά υπόβαθρο οι μέσες καμπύλες για όλα τα ενέματα

3<sup>ο</sup> Βήμα. Για μια ηλικία και μια  $\sigma_n$ , σχεδιάζονται ανά ένεμα οι μέσες καμπύλες για όλα τα υπόβαθρα.

Από τα βήματα 2 και 3, εξετάζεται αν προκύπτουν τυχόν ομαδοποιήσεις για τις δυο παραμέτρους (τύπος ενέματος και τύπος υποβάθρου). Με βάση αυτές τις ομαδοποιημένες παραμέτρους, στα βήματα 4 και 5, διερευνάται η επιρροή της ηλικίας και της επιβαλλόμενης, στην διεπιφάνεια, ορθής θλιπτικής τάσης,  $\sigma_n$ , σε σχέση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ενεμάτων.

4<sup>ο</sup> Βήμα. Διερευνάται η επιρροή της ηλικίας ( $t$ ) στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο.

5<sup>ο</sup> Βήμα. Διερευνάται η επιρροή της ( $\sigma_n$ ) στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε: Δοκιμές Διάτμησης Ε14

Πίνακας Ε-10. Τιμές των  $\bar{\tau}_U$ ,  $\bar{s}_U$ ,  $\bar{w}_U$  και  $\bar{\tau}_{res}$ .

ηλικία [ημέρες]	κωδ. εντός	$\sigma=0.1\text{MPa}$				$\sigma=0.3\text{MPa}$				$\sigma=0.6\text{MPa}$			
		$\bar{\tau}_U$ [MPa]	$\bar{s}_U$ [mm]	$\bar{w}_U$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]	$\bar{\tau}_U$ [MPa]	$\bar{s}_U$ [mm]	$\bar{w}_U$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]	$\bar{\tau}_U$ [MPa]	$\bar{s}_U$ [mm]	$\bar{w}_U$ [mm]	$\bar{\tau}_{res}$ [MPa]
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΜΑΡΜΑΡΟ ή ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ</b>													
28	G1					0.43 <sup>(1)</sup>	0.697	0.213	0.24				
	G2					1.01 <sup>(2)</sup>	0.975	0.761	0.29				
	G4					0.32 <sup>(3)</sup>	0.504	0.222	0.09				
	HL1					0.21	0.609	0.010	0.20				
	HL2					0.29 <sup>(4)</sup>	0.835	0.071	0.24				
90	G1					0.30	0.308	0.011	0.22				
	G2					0.58 <sup>(5)</sup>	0.662	0.026	0.32				
	G4					0.55 <sup>(6)</sup>	0.705	0.064	0.31				
180	HL1					0.60	0.639	0.011	0.18				
	HL2					0.29 <sup>(7)</sup>	0.294		0.22				
	HL3					0.31	0.359						
<sup>(1)</sup> διατηρούνται και οι τρεις δοκιμές παρά την μεγάλη διασπορά των μετακινήσεων <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, καθώς έχουν παραπλήσια τιμή εγκάρσιας διόγκωσης <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, και τροποποιούνται οι ολισθήσεις τις δοκιμής Δ1 <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $s_u$ <sup>(5)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, από την Δ2 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$ <sup>(6)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, από την Δ3 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$ <sup>(7)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2, από την Δ3 αξιοποιείται μόνον η $\tau_u$													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΤΡΑΒΕΡΙΝΗΣ</b>													
28	G1					1.00	1.604	0.682	0.37	0.97	1.055	0.739	
	G2	1.28 <sup>(2)</sup>	1.032	0.189	0.28	0.98 <sup>(3)</sup>	1.374	0.486	0.14	0.96 <sup>(4)</sup>	0.990	0.115	0.30
	G4	0.59 <sup>(5)</sup>	0.798	0.181	0.34					0.82 <sup>(4)</sup>	1.194	0.140	0.41
	HL					0.50 <sup>(6)</sup>	0.900	0.148	0.22				
60	G2					1.36 <sup>(7)</sup>	1.376	0.195	0.27				
	G4					0.61 <sup>(8)</sup>	0.952	0.195	0.27				
	G1	0.63 <sup>(4)</sup>	0.604	0.125	0.43	0.52 <sup>(1)</sup>	0.556	0.775	0.26	0.85 <sup>(1)</sup>	0.538	0.203	0.62
	G2					0.90 <sup>(4)</sup>	1.157	0.433	0.19	1.01 <sup>(4)</sup>	0.745	0.112	0.50
90	G4	0.90 <sup>(5)</sup>	0.544	0.360	0.20	0.92 <sup>(8)</sup>	0.998	0.482	0.15	1.01 <sup>(8)</sup>	0.571	0.001	0.21
	HL					0.59 <sup>(1)</sup>	0.597	0.044	0.25				
	G2					1.04 <sup>(9)</sup>	1.537	0.640	0.34				
	G4					0.55 <sup>(4)</sup>	0.403	0.023	0.26				
<sup>(1)</sup> μη αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $s_u$ <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3, καθώς η $\tau_u$ επιστρατεύεται στην ίδια τιμή της $s_u$ <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ2 <sup>(5)</sup> λαμβάνοντας υπόψη και τα αποτελέσματα των άλλων δοκιμών για τις άλλες στάθμες της $\sigma$ , διατηρείται η Δ3 <sup>(6)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ1 και Δ3 <sup>(7)</sup> διατηρούνται οι δοκιμές Δ2 και Δ3 <sup>(8)</sup> μεταφορά των ολισθήσεων της Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΨΑΜΜΙΤΗΣ</b>													
28	HL1					0.45 <sup>(1)</sup>	0.960	0.320	0.25				
	HL2					0.86 <sup>(2)</sup>	1.905	0.631	0.20				
	HL3					1.07 <sup>(3)</sup>	2.254	1.894	0.20				
90	HL1					0.99 <sup>(3)</sup>	1.797	0.648	0.23	0.54	0.466	0.008	0.33
	HL2					1.23 <sup>(4)</sup>	1.979	0.916	0.34	1.26	2.203	0.825	0.24
	HL3					1.20	1.958	0.275	0.16	1.29	2.027	1.260	0.18
180	HL1					0.39 <sup>(5)</sup>	0.924	0.194	0.16				
	HL2					1.45 <sup>(3)</sup>	2.176		0.30				
	HL3					1.44 <sup>(4)</sup>	2.557	1.157	0.25				
<sup>(1)</sup> διατηρείται μόνον η Δ3 γιατί οι μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην $\tau_u$ είναι κοντά στις αντίστοιχες μέσες τιμές <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 και διορθώνεται το άλμα στην τιμή της εγκάρσιας διόγκωσης για την Δ3 <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 <sup>(4)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(5)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ Α</b>													
28	G1												
	G2	1.75	2.551	0.204	0.20	1.29 <sup>(2)</sup>	2.549	0.977	0.17	1.22 <sup>(1,4)</sup>	2.14	1.104	0.29
60	G2					1.68 <sup>(3)</sup>	2.877	0.575					
	G4					1.45 <sup>(2)</sup>	2.472	0.841					
90	G1					1.20 <sup>(1)</sup>	2.583	0.749					
	G4					1.33	1.842	0.574	0.18				
180	G4	2.05 <sup>(1)</sup>	1.450	0.189									
<sup>(1)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ2 <sup>(2)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(3)</sup> διατηρούνται οι Δ2, Δ3 <sup>(4)</sup> διόρθωση στις ολισθήσεις του Δ2													
<b>ΥΠΟΒΑΘΡΟ: ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ Β</b>													
28	HL1					0.45 <sup>(1)</sup>	1.414	1.027	0.15				
	HL2												
	HL3					1.18	1.907	1.468	0.17				
180	HL1					0.23 <sup>(2)</sup>	0.250	0.014	0.17				
	HL2					0.47 <sup>(2)</sup>	0.762	0.435	0.19				
	HL3					0.63 <sup>(2)</sup>	1.063	0.565	0.17				
<sup>(1)</sup> διατηρούνται οι Δ1, Δ3 <sup>(2)</sup> θέμα αξιοπιστίας πειραματικών αποτελεσμάτων													

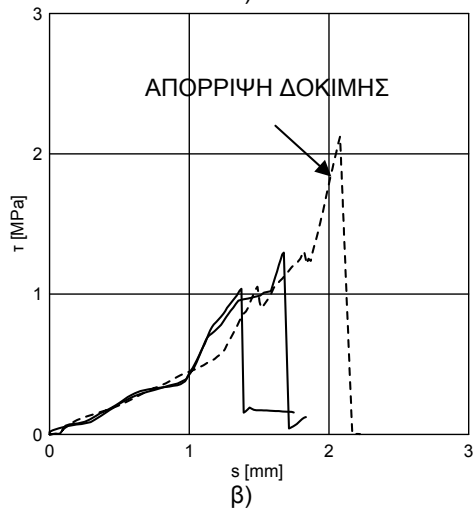
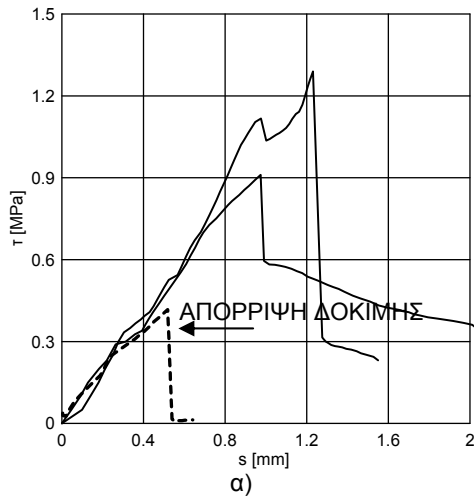
6<sup>ο</sup> Βήμα.

Σχεδιάζονται οι καμπύλες  $\mu_u$  ή  $\mu_{u, \text{fictitious}} - \sigma_n$ , και προτείνονται εμπειρικές σχέσεις για την πρόβλεψη α) του συντελεστή τριβής ( $\mu_u$  ή  $\mu_{u, \text{fictitious}}$ ) και β) της αντίστοιχης ολίσθησης και γ) του παραμένοντα συντελεστή τριβής. Για την παραπάνω επεξεργασία, χρησιμοποιούνται όλες οι πειραματικές τιμές, πλην εκείνων που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις (μεγαλύτερες του 100%).

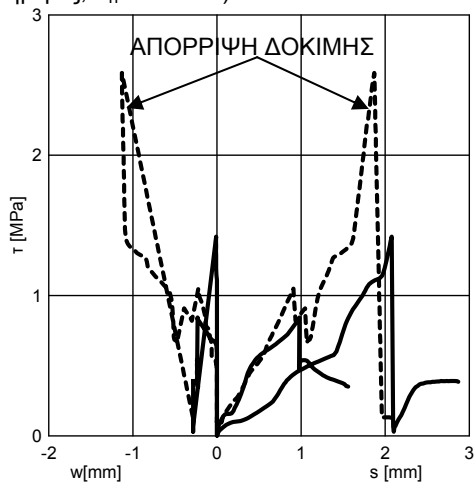
Τέλος, κατασκευάζονται οι ανηγμένες καμπύλες  $\frac{\tau}{\tau_u} - \frac{s}{s_u}$

και  $\frac{w}{w_u} - \frac{s}{s_u}$  και προτείνονται τοπικοί καταστατικοί νόμοι

για την περιγραφή της συμπεριφοράς των διεπιφανειών υδραυλικών ενεμάτων και υλικών τοιχοποιίας.



**Εικόνα Ε2.** Κριτήριο Α: Παραδείγματα απόρριψης πειραματικών αποτελεσμάτων α) ένεμα G2/υπόβαθρο μαρμάρου και β) ένεμα G2/ υπόβαθρο τραβερτίνη (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa).



**Εικόνα Ε3.** Κριτήριο Β: Παράδειγμα απόρριψης πειραματικών αποτελεσμάτων α) ένεμα G2/υπόβαθρο τραβερτίνη (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa).

## E.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 1ο. Διαδικασίες-Παρατηρήσεις

Γενικώς, η πρακτική που υιοθετήθηκε για την κατασκευή των μέσων καμπύλων, είναι: Από τις πειραματικές καμπύλες ομοειδών δοκιμών χρησιμοποιούνται εκείνες οι καμπύλες ( $\tau - s$ ) και ( $\tau - w$ ), για τις οποίες τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων αναπτύσσουν, σε παραπλήσιες τιμές της επιβαλλόμενης ολίσθησης, παρεμφερή διατμητική αντοχή (Κριτήριο Α). Παραδείγματα εφαρμογής του Κριτηρίου Α παρουσιάζονται στην Εικόνα Ε2. Σε διαφορετική περίπτωση, κριτήριο για την κατασκευή των μέσων καμπύλων αποτελεί η εγκάρσια διόγκωση (παρ' όλο που οι μετρηθείσες τιμές του εν λόγω μεγέθους παρουσιάζουν την μεγαλύτερη διασπορά): έτσι, διατηρούνται οι καμπύλες ( $\tau - s$ ) και ( $\tau - w$ ), για τις οποίες τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων αναπτύσσουν την διατμητική αντοχή σε παραπλήσιες τιμές του ανοίγματος ρωγμής. Παράδειγμα εφαρμογής του Κριτηρίου Β δίδεται στην Εικόνα Ε3.

Επισημαίνεται ότι για την κατασκευή των μέσων καμπύλων, εν γένει, επιλέγονται οι μικρότερες τιμές της διατμητικής αντοχής. Επομένως, δεδομένων και των δυσμενών συνθηκών παραγωγής και συντήρησης των σύνθετων δοκιμών, οι μέσες καμπύλες που παράγονται θεωρείται ότι αποτελούν ένα κάτω όριο για την απόκριση των διεπιφανειών ενεμάτων/υποβάθρων έναντι διατμήσεως. Εξ άλλου, καθώς αυτά τα στοιχεία θα χρησιμεύσουν για την σύνταξη καταστατικών νόμων, οι οποίοι προορίζονται για το Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής, σε επίπεδο



μεσο- και μακρο-κλίμακας προτιμάται η χρήση των κάτω ορίων των μηχανικών χαρακτηριστικών των διεπιφανειών και των σύνθετων δοκιμίων (προς την πλευρά της ασφάλειας). Τέλος, ας επισημανθεί, ότι κατά την παραγωγή των μέσων καμπυλών, δεν λαμβάνεται υπόψη ο τρόπος αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων.

Με βάση την επεξεργασία των στοιχείων κατά το 1<sup>ο</sup> Βήμα, γίνονται οι ακόλουθες διαπιστώσεις που αφορούν τα δοκίμια που δεν χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μέσων καμπυλών:

- (1) *Η μέγιστη διατμητική αντοχή ορισμένων σύνθετων δοκιμίων με υπόβαθρο τον τραβερίνη είναι πάρα πολύ μεγάλη σε σχέση με εκείνη των άλλων δύο δοκιμίων.*

Σε αυτήν την κατηγορία εμπίπτουν τα σύνθετα δοκίμια με τσιμεντένεμα και το τριμερές ένεμα του μετακαολίνη. Στην περίπτωση του τσιμεντένεματος, οι αποκλίσεις αποδίδονται στην μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο στον αρμό του ενέματος, που οφείλεται στην παρατηρηθείσα απόμιξη της εν λόγω σύνθεσης. Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνεται από μακροσκοπικές παρατηρήσεις. Πράγματι, σε δύο σύνθετα δοκίμια με υπόβαθρο τον τραβερίνη με ηλικίες 28 και 90 ημέρες (Πίνακας E-3: δοκιμή G1-T-28-06-1, Πίνακας E-4: δοκιμή G1-T-90-03-1), στα οποία διαπιστώθηκε μακροσκοπικά μεγάλη περιεκτικότητα σε τσιμέντο στον αρμό, μετρήθηκαν πολύ υψηλές τιμές της διατμητικής αντοχής (περίπου ίσες με 4.5MPa). Στην περίπτωση του τριμερούς ενέματος με τον μετακαολίνη, στην ηλικία των 28 ημερών μετρήθηκαν σε επτά δοκίμια επί συνόλου είκοσι τεσσάρων δοκιμών (ποσοστό περίπου 30%), σχετικώς υψηλές τιμές της αντοχής συνάφειας (της τάξης των 2 με 2.5 MPa): δοκιμές G2-T-28-01-2, G2-T-28-03-2, G2-T-28-06-3, G2-T-60-03-1, G2-T-90-01-1, 2, 3 (Πίνακες E-3, E-4 και E-5). Η συχνότητα εμφάνισης αυτών των τιμών ή αντιθέτως, η μεγάλη συχνότητα εμφάνισης μικρότερων τιμών, σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις της μικροδομής [όπου διαπιστώνονται ρηγματώσεις και αποκολλήσεις και δευτερογενείς μικρορηγματώσεις μέσα στο υλικό του μετακαολίνη (ενδεχομένως, οφειλόμενες στην ενανθράκωση των ένυδρων ασβεσταργιλικών συστατικών)] οδηγεί στην εύλογη υπόθεση ότι, οι υψηλότερες τιμές της  $\tau_u$  σχετίζονται με την συνάφεια της διεπιφάνειας που δύναται να αναπτυχθεί απουσία φαινομένων ισχυρής μικρορηγματώσης. Εντούτοις, προκειμένου να υιοθετηθεί ένα κάτω όριο για την συμπεριφορά

των σύνθετων δοκιμών του τραβερίνη με το ένεμα του μετακαολίνη, τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών (με τις πιο μεγάλες τιμές της  $\tau_u$ ) δεν περιλαμβάνονται στην περαιτέρω διερεύνηση.

- (2) Η μέγιστη διατμητική αντοχή ενός εκ των τριών δοκιμών έχει περίπου το ίδιο μέγεθος με τις άλλες δύο δοκιμές, αλλά επιστρατεύεται για μεγαλύτερες ολισθήσεις.

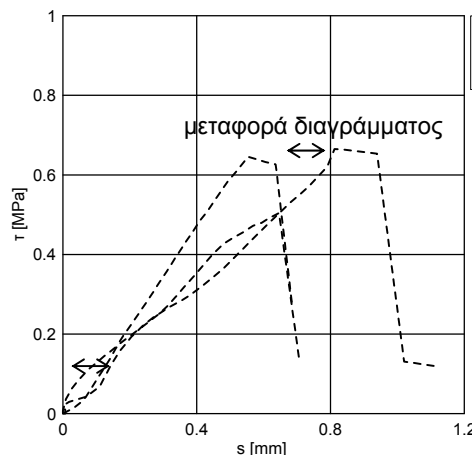
Στην περίπτωση των πιο ισχυρών υποβάθρων (μάρμαρο και τραβερίνης), ανά τριάδα δοκιμών, η κλίση ενός εκ των τριών διαγραμμάτων ( $\tau - s$ ) είναι, αρχικώς, πολύ μικρή σε σχέση με εκείνη των άλλων δυο δοκιμών και μετά αυξάνεται, όπως φαίνεται άλλωστε στην Εικόνα Ε4 (Πίνακας Ε-1: δοκιμές G4-M-90-03-2, G1-M-90-03-2, Πίνακες Ε-3, Ε-4 και Ε-5: δοκιμές G4-T-28-01-1, G2-T-90-06-3, G1-T-90-06-1 και G4-T-180-03-3).

Αυτό αποδίδεται σε μικρομετακινήσεις του δοκιμίου εντός της πειραματικής διάταξης, οφειλόμενες πιθανότατα στην κακή εφαρμογή των δοκιμών εντός αυτής της σκάφης. Καθώς η παραπάνω συμπεριφορά αποδίδεται σε τυχηματικό σφάλμα (κοπή σύνθετων δοκιμών και κακή εφαρμογή τους εντός της συσκευής), σε αυτές τις δοκιμές αμελείται, συνήθως, η πρώτη κλίση της καμπυλών και διατηρείται μόνον η δεύτερη.

Στην περίπτωση των πιο μαλακών υποβάθρων, όπως είναι ο ψαμμίτης και οι οπτόπλινθοι, παρατηρείται διασπορά στις τιμές των ολισθήσεων για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή, χωρίς να μεταβάλλεται η κλίση των καμπύλων ( $\tau - s$ ). Σε αυτές τις περιπτώσεις, συνήθως όλες οι δοκιμές λαμβάνονται υπόψη για την κατασκευή των μέσων καμπύλων.

- (3) Η μέγιστη διατμητική αντοχή ενός εκ των τριών δοκιμών έχει περίπου το ίδιο μέγεθος με τις άλλες δύο δοκιμές, αλλά επιστρατεύεται για μικρότερες ολισθήσεις.

Δεν είναι το σύνθητες. Παρατηρείται μόνον για ορισμένα δοκίμια (για πρδ. HL2-τεφρός ασβεστόλιθος-28-03-2, HL2-τεφρός ασβεστόλιθος-180-03-3). Η εν λόγω δοκιμή διατηρείται για περαιτέρω διερεύνηση μόνον ως προς τις «τ».



**Εικόνα Ε4.** Διαφορά στις μετακινήσεις σε σύνθετα δοκίμια μαρμάρου/ένεματος G4 (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3$  MPa).

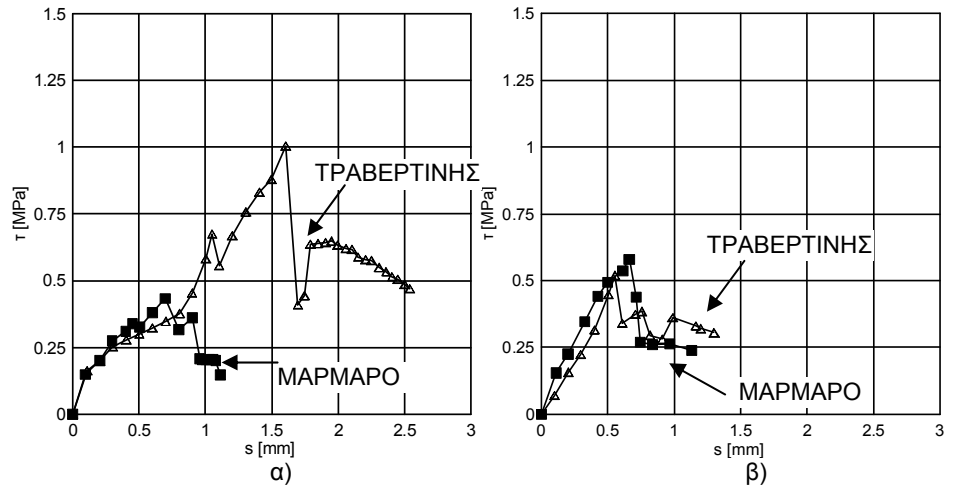
**Ε.2.3 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ:** Βήμα 2ο. Σχεδίαση μέσων καμπυλών ανά τύπο ενέματος (για μια ηλικία και τιμή της ορθής τάσης  $\sigma_n$ )

### ***Ε.2.3.1 Μέσες καμπύλες για το ένεμα G1***

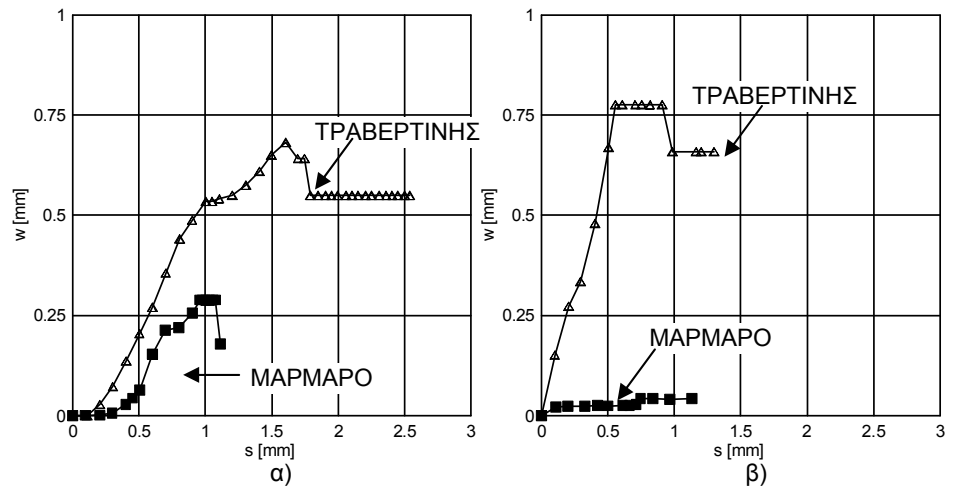
Στις Εικόνες Ε5α και Ε5β έχουν σχεδιαστεί οι μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) των σύνθετων δοκιμών με υπόβαθρο από μάρμαρο και τραβερτίνη για το ένεμα αναφοράς G1 (ηλικίες 28 και 90 ημερών). Όπως έχει ήδη αναδειχθεί στο οικείο μέρος του Κεφαλαίου 3 και επιβεβαιώνεται εδώ, η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών της σύνθεσης αναφοράς με το μάρμαρο δεν διαφοροποιείται εν χρόνω, ενώ η παρατηρηθείσα μείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφάνειας του εν λόγω ενέματος με τον τραβερτίνη μπορεί να ενταχθεί στα όρια της διασποράς. Εξ άλλου, από την Εικόνα Ε5β διαπιστώνεται ότι τα δοκίμια (και οι διεπιφάνειες) του τσιμεντενέματος με το μάρμαρο και τον τραβερτίνη, σε μεγαλύτερες ηλικίες, συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο έναντι διατμήσεως (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ). Αντιθέτως, σε ότι αφορά τις εγκάρσιες διογκώσεις, η εικόνα διαφέρει: οι εγκάρσιες διογκώσεις είναι μεγαλύτερες για το πιο μαλακό υπόβαθρο (Εικόνες Ε6α και Ε6β). Ωστόσο, με τον χρόνο παρατηρείται αύξηση της αρχικής κλίσης των καμπύλων μέσης εγκάρσιας διόγκωσης ( $\bar{w}$ ) και επιστρατευομένης ολίσθησης ( $\bar{s}$ ).

### ***Ε.2.3.2 Μέσες καμπύλες για το τριμερές ένεμα G2***

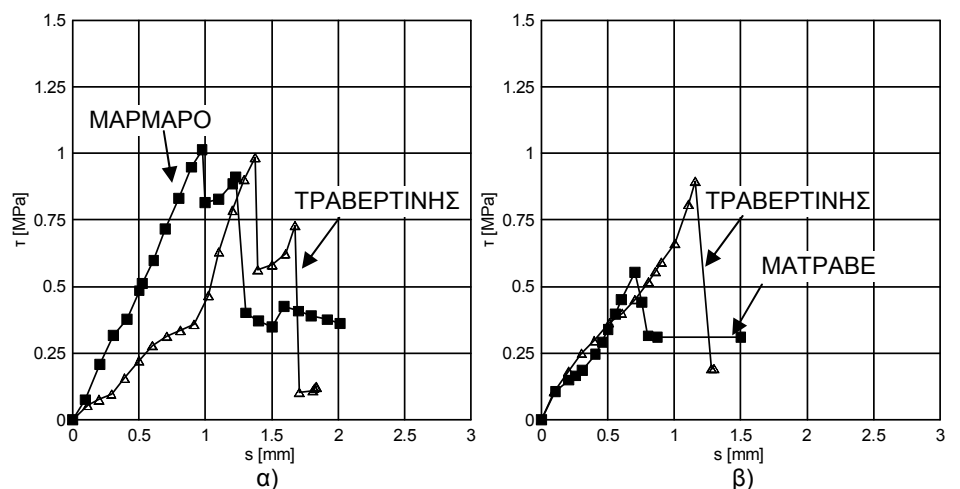
Ομοίως, στις Εικόνες Ε7α και Ε7β έχουν σχεδιαστεί οι μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για τα δοκίμια της τριμερούς σύνθεσης με τον μετακαολίνη (για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ). Σε αυτήν την περίπτωση του τριμερούς ενέματος με τον μετακαολίνη, διαπιστώνεται ότι η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών για τα δύο υπόβαθρα (μάρμαρο και τραβερτίνης) στις 28ημέρες είναι παρεμφερής. Αντιθέτως, στις 90 ημέρες, παρατηρείται μια απροσδόκητη πτώση στις τιμές της αντοχής των δοκιμών (βλ. και § 3.8.4.6.3 και § 3.8.4.7.3), κυρίως, στις διεπιφάνειες με το μάρμαρο [οφειλόμενη σε (πρωτογενή ή/και δευτερογενή) μικρορηγμάτωση του ενέματος και σε αποκόλληση του αρμού του ενέματος από το υπόβαθρο (βλ. Παράγραφο 3.7)]. Στην περίπτωση των εγκάρσιων διογκώσεων (Εικόνα Ε8α), οι καμπύλες για τις 28 ημέρες δεν παρου-



Εικόνα Ε5. Ένεμα G1/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau}$  -  $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε6. Ένεμα G1/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}$  -  $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε7. Ένεμα G2/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau}$  -  $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

σιάζουν την αναμενόμενη τάση: πράγματι, υψηλότερες εμφανίζονται οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης που αντιστοιχούν στις διεπιφάνειες του μαρμάρου σε σχέση με εκείνες του τραβερίνη. Σε αυτήν την τριάδα δοκιμών (με υπόβαθρο από μάρμαρο) σημειώνεται ότι εμφανίστηκαν μεγάλες διασπορές τόσο στην διατμητική αντοχή, όσο και στις εγκάρσιες διογκώσεις, επομένως δεν μπορούν να υιοθετηθούν και ως οι πλέον αντιπροσωπευτικές. Η εικόνα αποκαθίσταται στην μεγαλύτερη ηλικία των 90 ημερών (Εικόνα Ε8β).

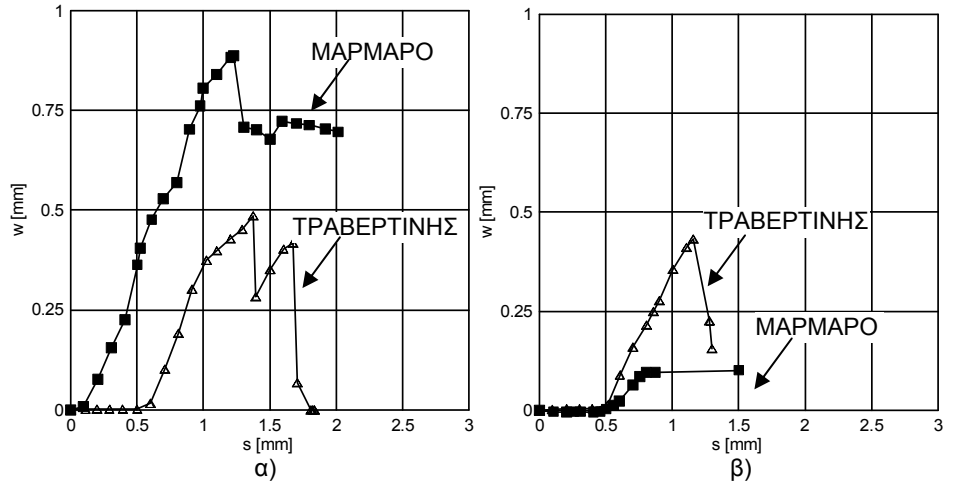
### ***Ε.2.3.3 Μέσες καμπύλες για το τριμερές ένεμα με την φυσική ποζολάνη, G4***

Και για τις δυο ηλικίες, επαληθεύεται η βελτιωμένη συμπεριφορά των διεπιφανειών του τραβερίνη έναντι εκείνων του μαρμάρου (βλ. Εικόνα Ε9, Πίνακες Ε-1, Ε-3 και Ε-4). Αξίζει να σημειωθεί ότι, από την παρατήρηση των μέσων καμπυλών, στην μικρότερη ηλικία δεν προκύπτει διαφοροποίηση της συμπεριφοράς των σύνθετων δοκιμίων του τριμερούς ενέματος της φυσικής ποζολάνης για τα δυο υπόβαθρα. Με άλλα λόγια, η ασθενέστερη διεπιφάνεια και ο αρμός του ενέματος είναι εκείνα τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την απόκριση των σύνθετων δοκιμίων της σύνθεσης G4. Αντιθέτως, με την ισχυροποίηση του πηγματος και της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης, οι διαφορές ανάμεσα στις διεπιφάνειες του μαρμάρου και του τραβερίνη αναδεικνύονται σε μεγαλύτερη ηλικία (Εικόνα Ε9β). Αναφορικά με τις εγκάρσιες διογκώσεις των σύνθετων δοκιμίων με το ένεμα της φυσικής ποζολάνης παρατηρήθηκε ότι και στην περίπτωση του τριμερούς ενέματος με τον μετακαολίνη (βλ. Εικόνα Ε10).

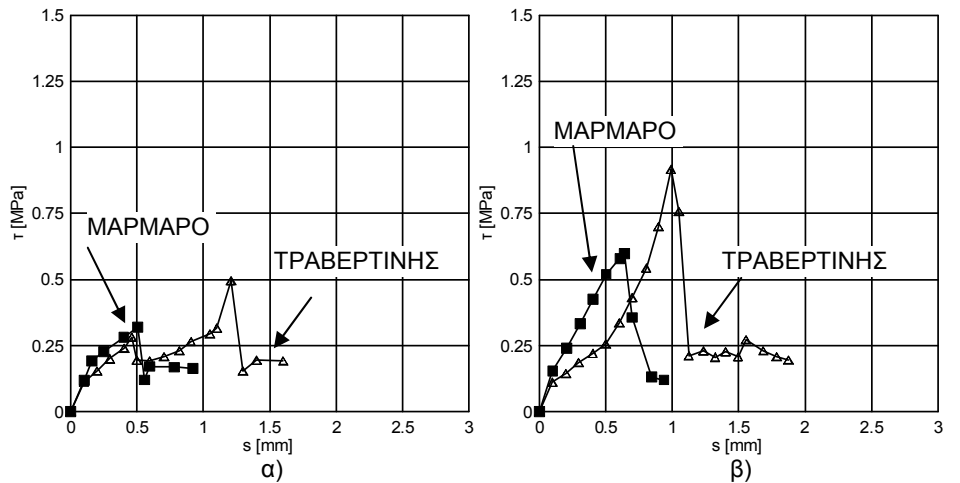
### **Ε.2.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕ-**

**ΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ:** Βήμα 3ο. Σχεδίαση μέσων καμπυλών ανά τύπο υποβάθρου (για μια ηλικία και τιμή της ορθής τάσης  $\sigma_n$ )

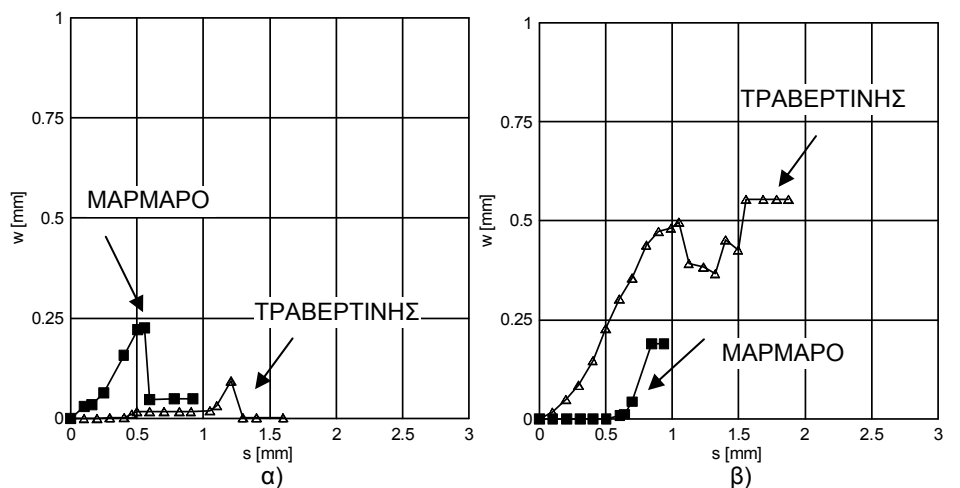
Σε αυτό το Βήμα, διερευνάται η δυνατότητα ομαδοποίησης των εξεταζομένων συνθέσεων ενεμάτων ανά τύπο υποβάθρου. Αυτή η προσπάθεια φαίνεται να συμβαδίζει, καταρχήν, με τα αποτελέσματα των μηχανικών δοκιμών (εφελκυσμού και διατμήσεως), καθώς και με τις παρατηρήσεις της μικροδομής για την εν χρόνω συμπεριφορά των διεπιφανειών και των πηγμάτων των τριμερών ενεμάτων (Παράγραφος 3.7).



Εικόνα Ε8. Ένεμα G2/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}$ - $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε9. Ένεμα G4/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau}$ - $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε10. Ένεμα G4/υπόβαθρα μαρμάρου και τραβερτίνη: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}$ - $\bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

### **Ε.2.4.1 Υπόβαθρο: Μάρμαρο και τεφρός ασβεστόλιθος**

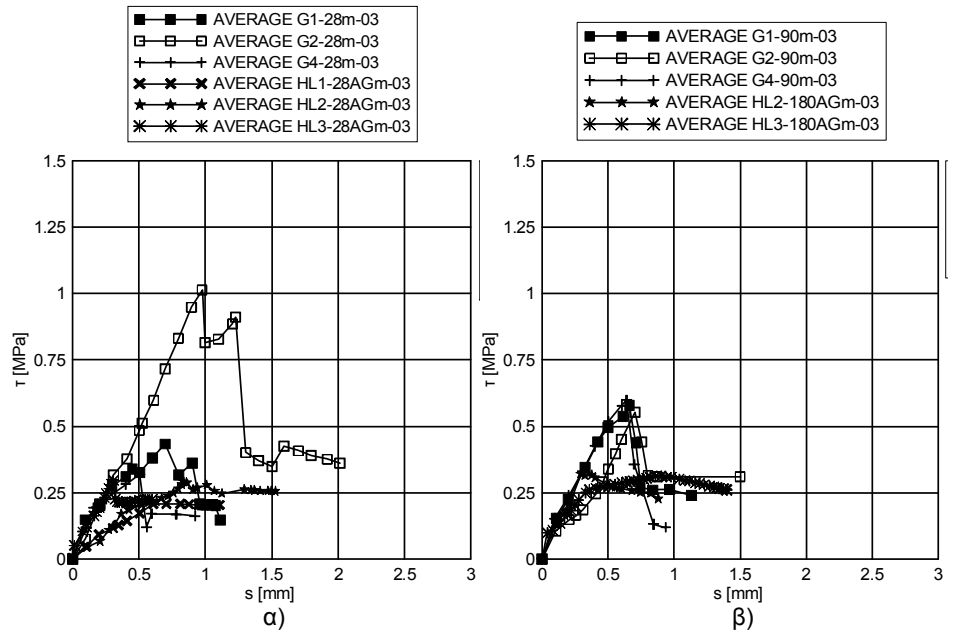
Χάριν απλούστευσης, τα δυο ισχυρότερα υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος) ομαδοποιούνται, καθώς έχουν παρεμφερή φυσικο-μηχανικά χαρακτηριστικά (βλ. §3.3). Προκειμένου να απλοποιηθεί περαιτέρω η παρούσα διερεύνηση, οι μέσες καμπύλες των δοκιμών με τα ενέματα τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης για τις 90 ημέρες σχεδιάζονται στο ίδιο διάγραμμα με εκείνες των συνθέσεων της υδραυλικής ασβέστου για τις 180 ημέρες.

#### **Ε.2.4.1.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ )**

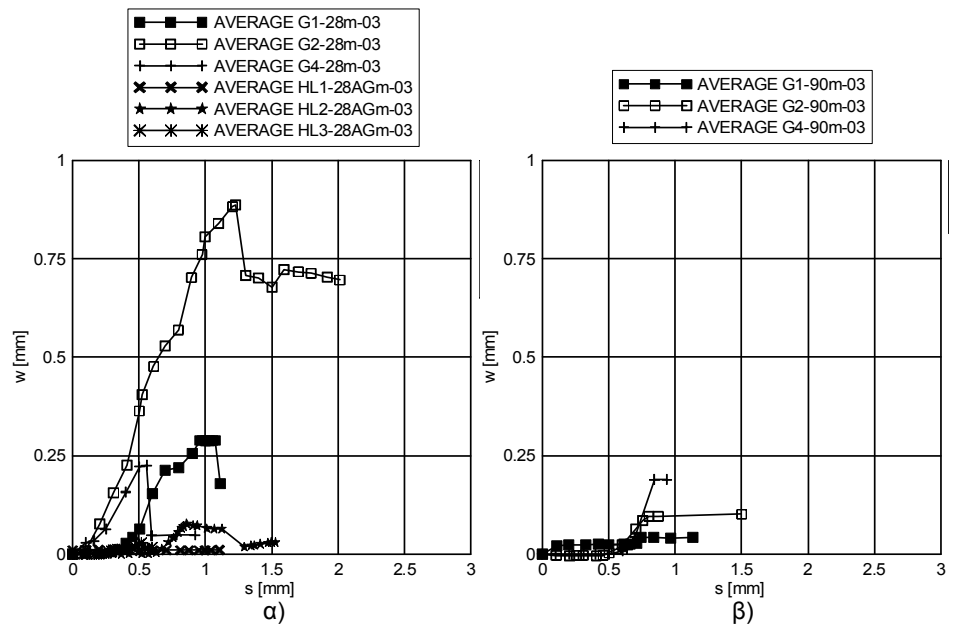
Από την Εικόνα Ε11 προκύπτει ότι, στις 28 ημέρες, οι καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για τις διεπιφάνειες ισχυρότερων υποβάθρων/ενεμάτων G1, G2, G4 και HL3, παρουσιάζουν την ίδια κλίση για τιμές της  $\bar{s}$  έως 0.3mm. Μετά από αυτήν την τιμή, η κλίση, καθώς και η  $\bar{\tau}_u$  διαφοροποιείται αναλόγως της σύστασης του ενέματος. Αντίστοιχα, για τα ενέματα HL1 και HL2, η κλίση του ελαστικού κλάδου είναι μικρότερη, υποδηλώνοντας ότι οι διεπιφάνειες με αυτά τα ενέματα είναι λιγότερο δύσκαμπτες. Παρόμοια, με εκείνη των 28 ημερών είναι η εικόνα σε μεγαλύτερη ηλικία. Όπως φαίνεται στην Ε11β, κατά την έννοια της παρούσας μεθοδολογίας κατασκευής των ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ), τα ενέματα G1, G2 και G4, συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο, παρ' όλο που έχουν διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά (βλ. §3.3). Μικρές διαφορές εν χρόνω εμφανίζονται στην απόκριση του ενέματος G2: Παρατηρείται πτώση της αρχικής κλίσης της καμπύλης ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ), καθώς και των μηχανικών ιδιοτήτων της διεπιφάνειας [λόγω μικρορηγμάτωσης και αποκόλλησης (βλ. §3.7)]. Έτσι, οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν είναι: 1) για τις 28 και 180 ημέρες, ομαδοποιούνται οι συνθέσεις HL2 και HL3 (με το πλήθος των δοκιμών της HL3 για τις 180 ημέρες να μην κρίνεται επαρκές) και 2) για τις 90 ημέρες, ομαδοποιούνται οι συνθέσεις G1, G2 και G4.

#### **Ε.2.4.1.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{w} - \bar{s}$ )**

Όπως φαίνεται στην Εικόνα Ε12, σε ορισμένες δοκιμές διαπιστώνεται υστέρηση της εγκάρσιας διόγκωσης  $\bar{w}$  έναντι της  $\bar{s}$ . Ας επισημανθεί ότι, για τις εξεταζόμενες συνθέσεις, οι διαφορές στις τιμές της  $\bar{w}_u$  αμβλύνονται εν χρόνω: Όλες οι συνθέσεις για τις οποίες διατίθενται με-



Εικόνα Ε11. Ισχυρά υπόβαθρα/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ή 180 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε12. Ισχυρά υπόβαθρα/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για τις ηλικίες των α) 28 και β) 90 ή 180 ημερών ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

τρήσεις (δλδ. για τα ενέματα G1, G2, G4) εμφανίζουν, πρακτικώς, το ίδιο άνοιγμα ρωγμής.



## **Ε.2.4.2 Υπόβαθρο: Τραβερίνης**

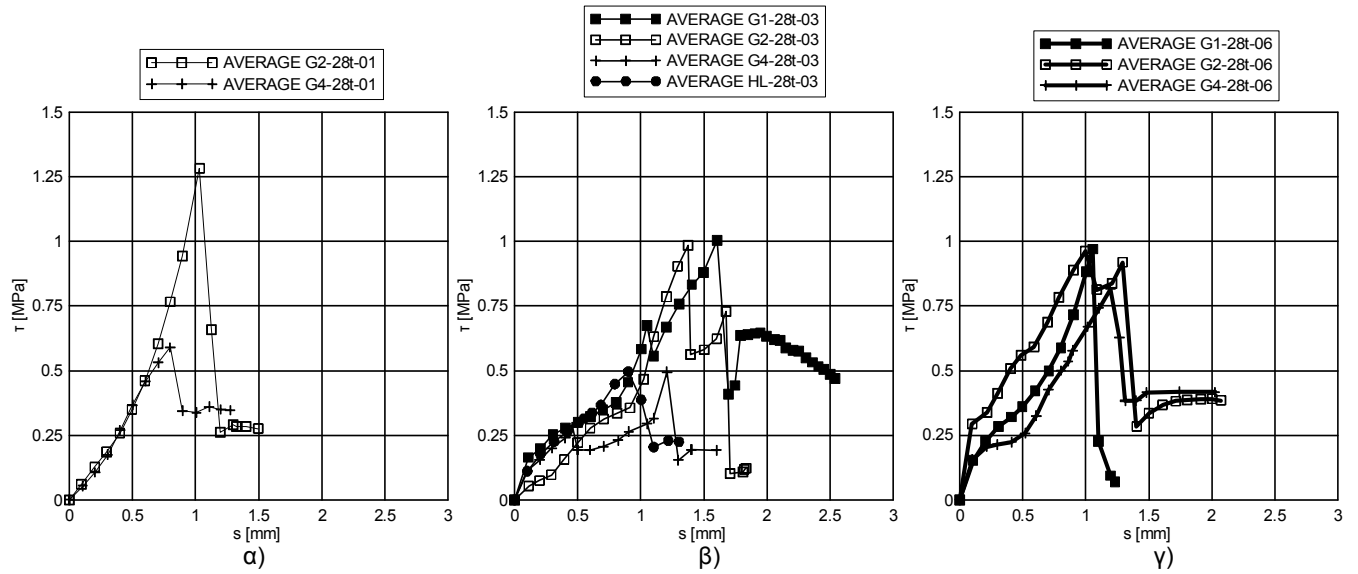
### **Ε.2.4.2.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{T} - \bar{s}$ )**

Στις Εικόνες Ε13 έως Ε15 σχεδιάζονται οι μέσες καμπύλες ( $\bar{T} - \bar{s}$ ) των δοκιμών του τραβερίνη για όλες τις ηλικίες και στάθμες της ορθής θλιπτικής τάσης,  $\sigma_n$ . Έτσι, κατά την έννοια της παρούσας μεθοδολογίας ομαδοποίησης:

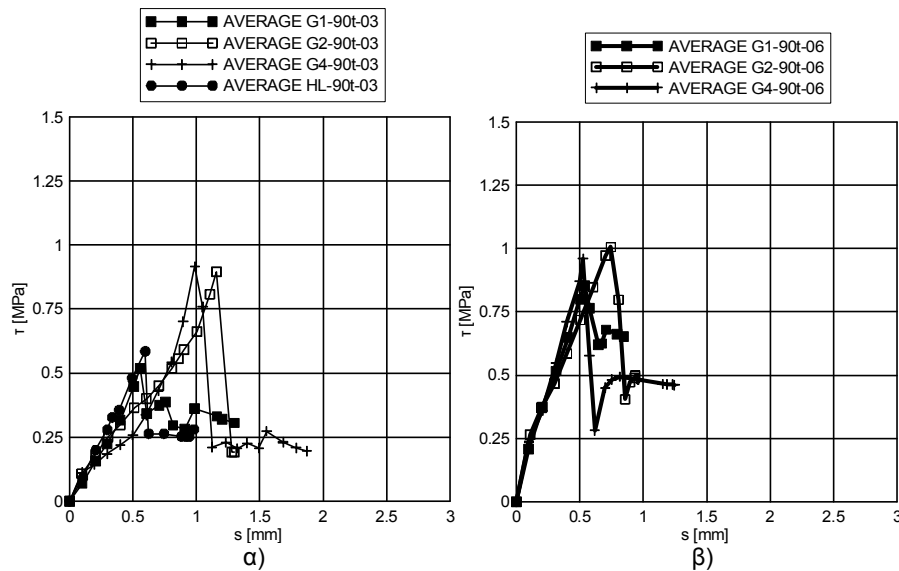
Για τις 28 ημέρες (Εικόνα Ε13), διαπιστώνεται ότι, η μορφή των μέσων καμπυλών των ενεμάτων G2 και G4 (για  $\sigma_n = 0.1 \text{MPa}$ ) για τιμές της  $\bar{s}$  έως 0.6mm, είναι η ίδια. Ωστόσο, καθώς η συμπεριφορά των διεπιφανειών των δύο ενεμάτων διαφοροποιείται μετά από αυτήν την τιμή της διατμητικής τάσης, δεν προκύπτει σχετική ομαδοποίηση. Η εικόνα διαφοροποιείται για τις μεγαλύτερες στάθμες της ορθής θλιπτικής τάσης. Πράγματι, όπως φαίνεται στην Εικόνα Ε13β (για  $\sigma_n = 0.3 \text{MPa}$ ), διαφαίνονται δυο ομαδοποιήσεις: α) η μια αφορά τα πιο ισχυρά ενέματα G1 και G2 και β) η άλλη αφορά τα ενέματα με χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά (G4 και HL). Εξ άλλου, για  $\sigma_n = 0.6 \text{MPa}$ , οι τρεις συνθέσεις (G1, G2 και G4) συμπεριφέρονται με τον ίδιο τρόπο.

Για τις 90 ημέρες (Εικόνα Ε14), διαφαίνεται μια ομαδοποίηση για τα τριμερή ενέματα (G2 και G4), ενώ και η συμπεριφορά των διεπιφανειών του ενέματος HL προκύπτει παρεμφερής με εκείνη του τσιμεντένιματος (βλ. Εικόνα Ε14α). Για την μεγαλύτερη στάθμη της επιβαλλόμενης θλιπτικής τάσης ( $\sigma_n = 0.6 \text{MPa}$ ), όπως και στην περίπτωση των 28 ημερών, η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών του τραβερίνη προκύπτει ανεξάρτητη του τύπου του ενέματος. Επομένως, όπως και στην περίπτωση των ισχυρότερων υποβάθρων (εν προκειμένω του μαρμάρου), κατά την έννοια της παρούσας ομαδοποίησης, η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως των ενεμάτων G1, G2 και G4, θεωρείται πρακτικώς η ίδια.

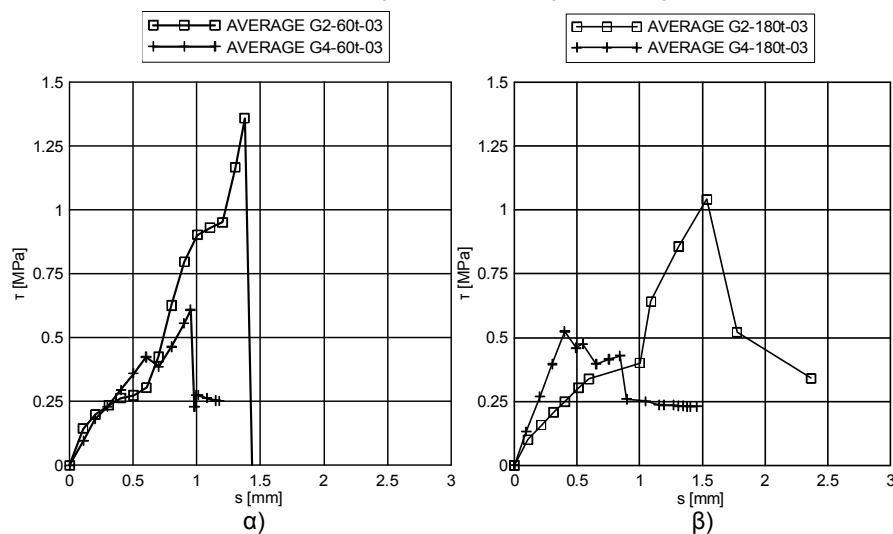
Για τις 60 και 180 ημέρες (Εικόνα Ε15), η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμών του μετακαολίνη φαίνεται να είναι καλύτερη από εκείνη του ενέματος με την φυσική ποζολάνη, αν και η απροσδόκητη πτώση των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφάνειας για την τελευταία σύνθεση (αποδιδόμενη ενδεχομένως σε εκτεταμένη ενανθράκωση του ενέματος) δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική (βλ. §3.8.4.7).



Εικόνα E13. Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n = \alpha$  0.1MPa,  $\beta$ ) 0.3MPa και  $\gamma$ ) 0.6MPa (28 ημέρες).



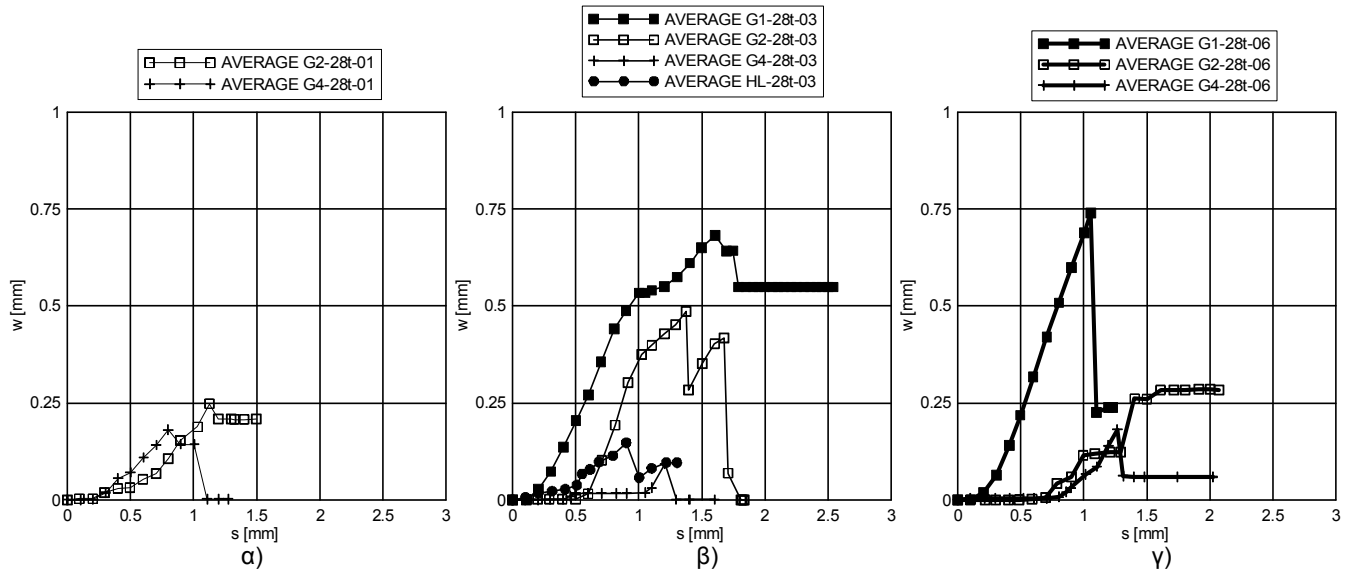
Εικόνα E14. Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n = \alpha$ ) 0.3 MPa και  $\beta$ ) 0.6 MPa (90 ημέρες).



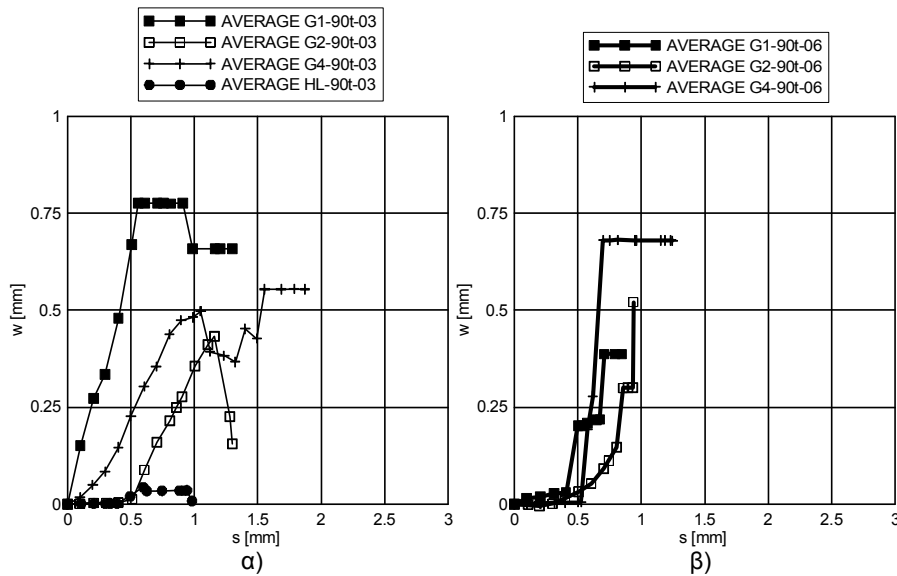
Εικόνα E15. Υπόβαθρο τραβερίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για  $\alpha$ ) 60 και  $\beta$ ) 180 ημέρες ( $\sigma_n = 0.3$  MPa).

#### Ε.2.4.2.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{w}-\bar{s}$ )

Στις Εικόνες Ε16 και Ε17, πλην ορισμένων εξαιρέσεων και δεδομένης της μεγάλης διασποράς των πειραματικών αποτελεσμάτων για την  $w$ , οι προτεινόμενες ομαδοποιήσεις των ενεμάτων για τις ηλικίες των 28 και 90 ημερών, φαίνονται να επιβεβαιώνονται από τις μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ). Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται, ότι οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης για  $\sigma_n=0.1$  MPa είναι συστηματικά χαμηλότερες σε σχέση με εκείνες για τις μεγαλύτερες  $\sigma_n$ , συμπεριφορά, ωστόσο, που δεν είναι αναμενόμενη.



Εικόνα Ε16. Υπόβαθρο τραβερτίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) των 28 ημερών για  $\sigma_n = \alpha) 0.1, \beta) 0.3$  και  $\gamma) 0.6$  MPa.



Εικόνα Ε17. Υπόβαθρο τραβερτίνη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) των 90 ημερών για  $\sigma_n = \alpha) 0.3$  MPa και  $\beta) 0.6$  MPa.

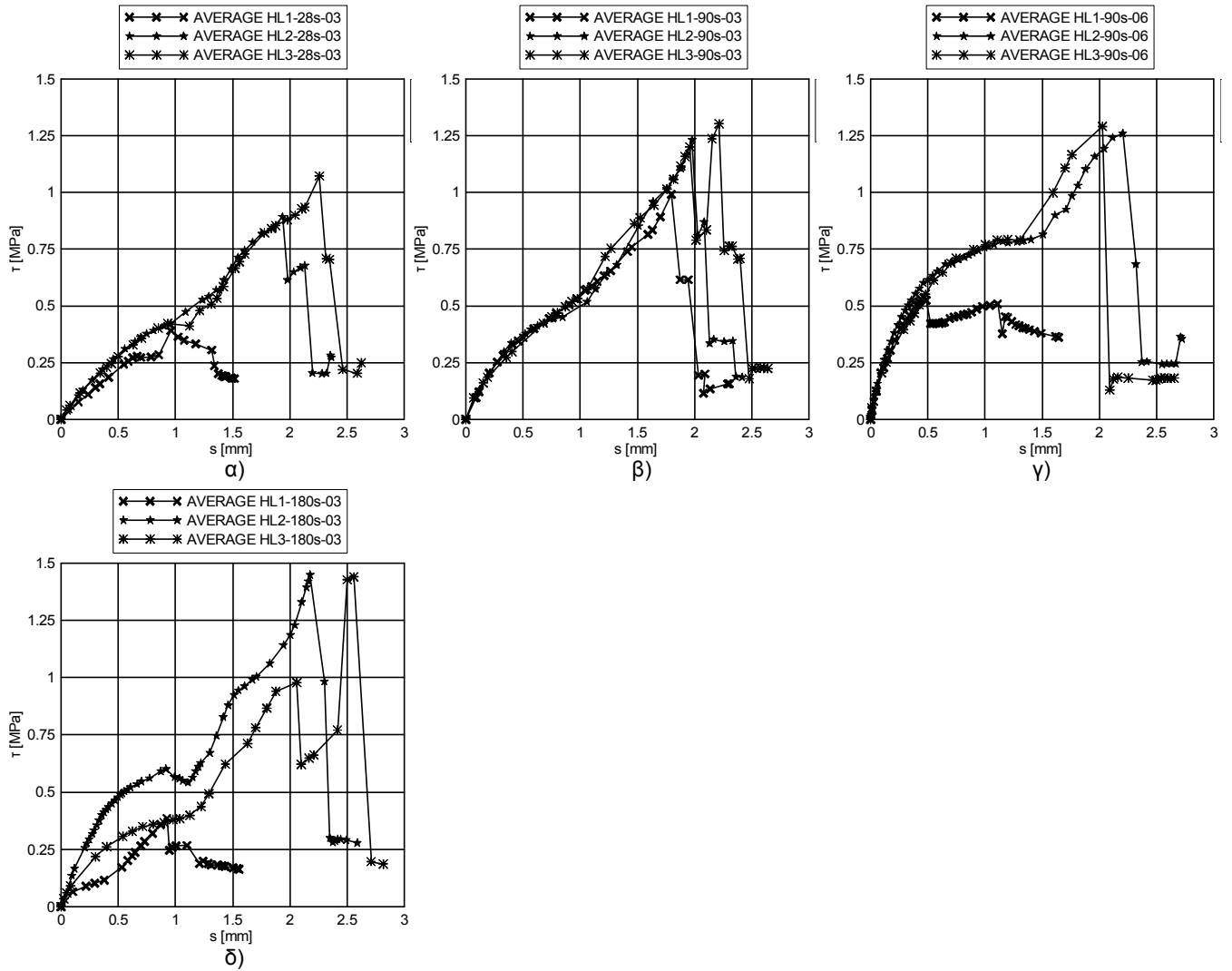
### **Ε.2.4.3 Υπόβαθρο: Ψαμμίτης**

#### **Ε.2.4.3.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{T}-\bar{s}$ )**

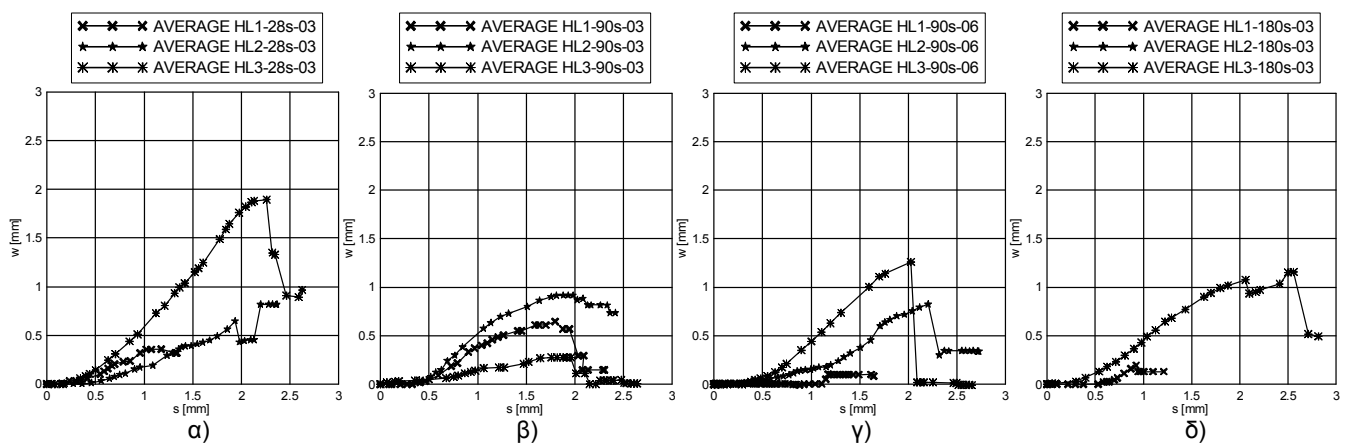
Από την λεπτομερή παρατήρηση των μέσων καμπυλών της Εικόνας Ε18, διαφαίνεται ότι, για όλες τις ηλικίες, η συμπεριφορά των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου ΗΛ2 και ΗΛ3, πέρα από κάποιες μικρές αποκλίσεις, είναι πρακτικώς η ίδια (δεδομένων άλλωστε και των μεγάλων τιμών του συντελεστή μεταβλητότητας, ιδιαίτερως για τις ολισθήσεις). Επομένως, προκύπτει ομαδοποίηση των συνθέσεων ΗΛ2 και ΗΛ3. Επί πλέον, η κλίση του πρώτου κλάδου των μέσων διαγραμμάτων ( $\bar{T}-\bar{s}$ ) (έως την τιμή  $\bar{s}=0.5\text{mm}$ ) είναι εν γένει η ίδια για τις τρεις συνθέσεις (εκτός από τις 180 ημέρες) και αυξάνεται αυξανομένης της  $\sigma_n$  και της ηλικίας (Εικόνες Ε18α-γ).

#### **Ε.2.4.3.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{w}-\bar{s}$ )**

Όπως φαίνεται στην Εικόνα Ε19, η μορφή των μέσων καμπυλών είναι πρακτικώς η ίδια για όλες τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου, με την κλίση της καμπύλης ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) να διαφοροποιείται αναλόγως του ενέματος. Επί πλέον, τα μέγιστα των μέσων καμπυλών ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) διαφοροποιούνται, χωρίς όμως να διαφαίνεται σαφής επιρροή του τύπου του ενέματος σε αυτά τα μέγιστα. Αναφέρεται ότι οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης είναι μεγαλύτερες σε σχέση με εκείνες που καταγράφηκαν για μικρότερες τιμές της ορθής τάσης  $\sigma_n$ .



Εικόνα E18. Υπόβαθρο φαμίτη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n =$  α) 0.3 MPa (28 ημέρες), β) 0.3 MPa (90 ημέρες), γ) 0.6 MPa (90 ημέρες) και δ) 0.3 MPa (180 ημέρες).



Εικόνα E19. Υπόβαθρο φαμίτη/ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για  $\sigma_n =$  α) 0.3 MPa (28 ημέρες), β) 0.3 MPa (90 ημέρες), γ) 0.6 MPa (90 ημέρες) και δ) 0.3 MPa (180 ημέρες).

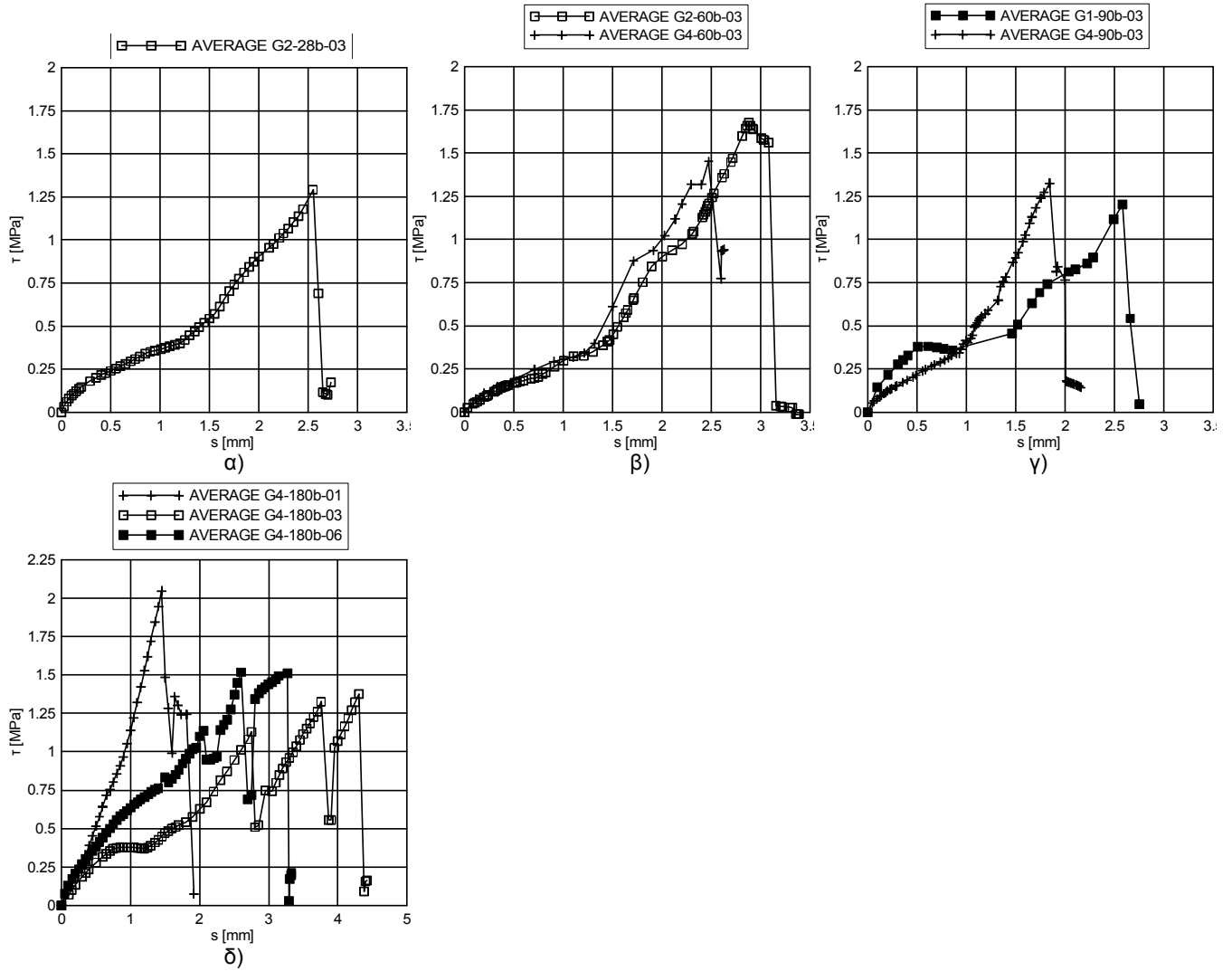
#### **Ε.2.4.4 Υπόβαθρο: Οπτόπλινθος Α**

##### **Ε.2.4.4.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ )**

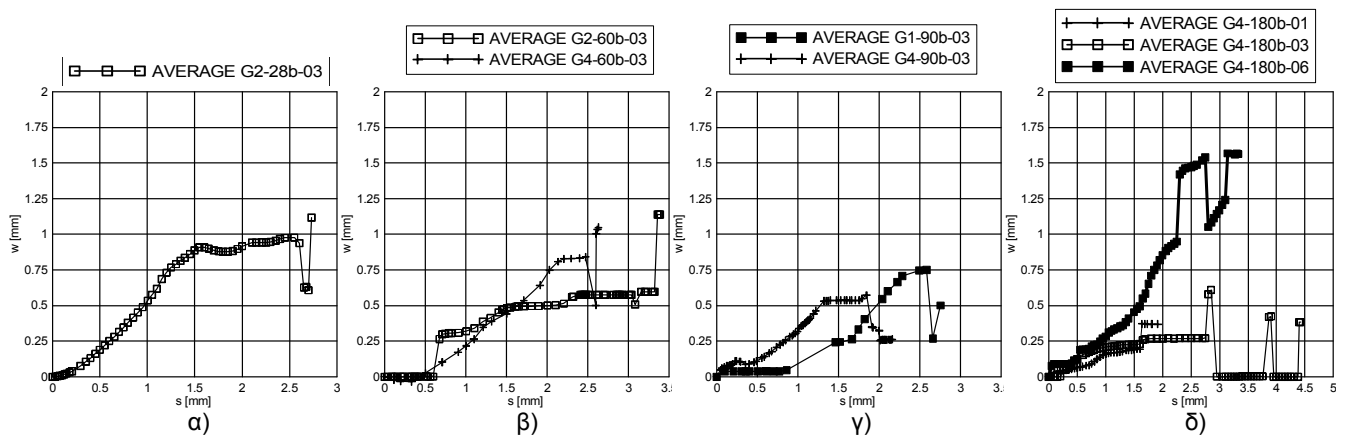
Μολονότι η διασπορά των αποτελεσμάτων είναι σχετικώς μεγάλη (και δη για τις ολισθήσεις), οι τιμές της μέσης διατμητικής αντοχής είναι της ίδιας τάξης για όλες τις συνθέσεις (Εικόνα Ε20). Ορισμένες αποκλίσεις παρουσιάζονται στις δοκιμές των 28 ημερών για το τσιμεντένεμα, που οφείλονται στην παραγωγική διαδικασία και την συντήρηση, και, επομένως, απορρίπτονται. Βάσει των Εικόνων Ε20, ομαδοποιούνται όλες οι συνθέσεις για όλες τις ηλικίες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ). Στην ηλικία των 180 ημερών, για το ένεμα G4 αγνοούνται στην παρούσα επεξεργασία τα δεδομένα για  $\sigma_n=0.1\text{ MPa}$  (καθώς προκύπτουν αρκετά υψηλότερα από εκείνα για τις δυο άλλες στάθμες της  $\sigma_n$ ). Ας σημειωθεί ωστόσο, ότι η εντατική κατάσταση στο επίπεδο αστοχίας (λοξές επιφάνειες) δίδει ίδιες τιμές για τον «φαινομενικό» συντελεστή τριβής με εκείνες για μεγαλύτερες στάθμες της  $\sigma_n$ .

##### **Ε.2.4.4.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{w} - \bar{s}$ )**

Όπως προκύπτει από τις Εικόνες Ε21, η μορφή των μέσων καμπυλών ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) είναι η αυτή.



Εικόνα E20. Υπόβαθρο οπτόπλινθου /τριμερή ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για α)  $\sigma_n=0.3$  MPa (28 ημέρες), β)  $\sigma_n=0.3$  MPa (60 ημέρες), γ)  $\sigma_n=0.3$  MPa (90 ημέρες) και δ) 180 ημέρες (για όλες τις  $\sigma_n$ ).



Εικόνα E21. Υπόβαθρο οπτόπλινθου/ τριμερή ενέματα: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για α)  $\sigma_n=0.3$  MPa (28 ημέρες), β)  $\sigma_n= 0.3$  MPa (60 ημέρες), γ)  $\sigma_n= 0.3$  MPa (90 ημέρες) και δ) 180 ημέρες (για όλες τις  $\sigma_n$ ).



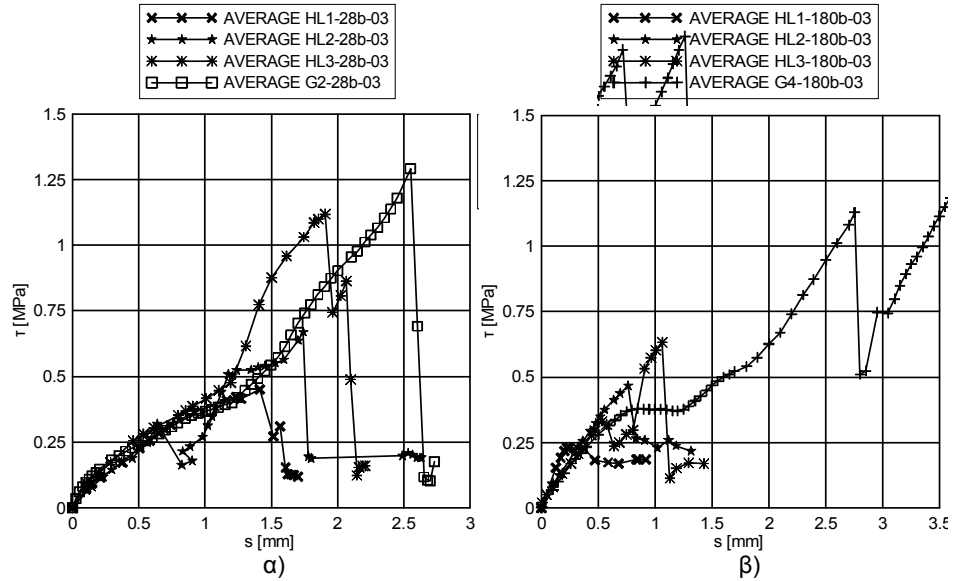
### **E.2.4.5 Υπόβαθρο: Οπτοπλίνθος Β**

#### **E.2.4.5.1 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{T}-\bar{s}$ )**

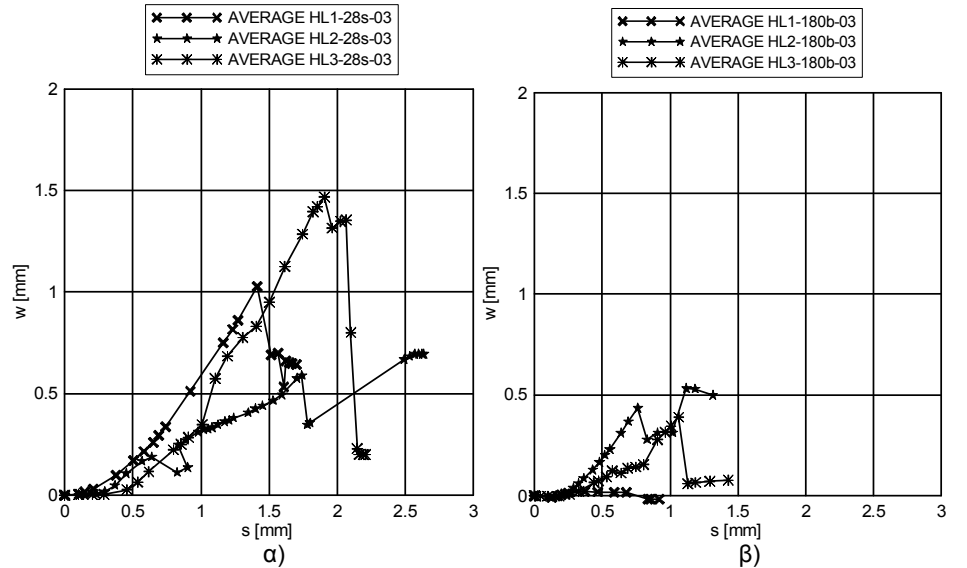
Σε αντίθεση με τα δοκίμια του ψαμμίτη και του τεφρού ασβεστόλιθου, στα δοκίμια της οπτοπλίνθου Β, οι μέσες καμπύλες με τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3 εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά μόνον στην μεγαλύτερη ηλικία (Εικόνα E22). Επί πλέον, από την σύγκριση των μέσων καμπυλών των δοκιμίων της οπτοπλίνθου Β/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και της οπτοπλίνθου Α/ενέματος G2 ή G4 επιβεβαιώνεται η βελτιωμένη συμπεριφορά των δοκιμίων της οπτοπλίνθου Α έναντι εκείνων της οπτοπλίνθου Β. Από την λεπτομερή εξέταση όλων των σχετικών στοιχείων, προκύπτει ότι η εμφάνιση της προαναφερθείσας συμπεριφοράς των δοκιμίων της οπτοπλίνθου Β σχετίζεται με τις ιδιότητες του υποβάθρου (για πρδ. πιθανές αιτίες ενδεχομένως να είναι η διαφορετική μικροτραχύτητα της επιφάνειας έγχυσης του ενέματος, οι μη κοινές συνθήκες περιεχόμενης υγρασίας του υποβάθρου κατά την έγχυση, η σύσταση της οπτοπλίνθου, που λόγω προσμίξεων μπορεί να αντέδρασε με κάποια από τις φάσεις των υδραυλικών ασβέστων προκαλώντας μικρορηγμάτωση κα.).

#### **E.2.4.5.2 ΜΕΣΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ( $\bar{w}-\bar{s}$ )**

Όπως φαίνεται στις Εικόνες E23, η μορφή των καμπύλων ( $\bar{w}-\bar{s}$ ) βεβαιώνει την ομαδοποίηση για τα ενέματα HL2 και HL3.



Εικόνα Ε22. Υπόβαθρο οπτόπλινθου Α ή Β/ενέματα G2, G4 και υδραυλικής ασβέστου: Μέσες καμπύλες ( $\bar{\tau} - \bar{s}$ ) για α)  $\sigma_n=0.3$  MPa (28 ημέρες) και β)  $\sigma_n=0.3$  MPa (180 ημέρες).



Εικόνα Ε23. Υπόβαθρο οπτόπλινθου Α ή Β/ενέματα G2, G4 και υδραυλικής ασβέστου: Μέσες καμπύλες ( $\bar{w} - \bar{s}$ ) για α)  $\sigma_n=0.3$  MPa (28 ημέρες) και β)  $\sigma_n=0.3$  MPa (180 ημέρες).

## Ε.2.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ 1 ΕΩΣ 3

- (1) Εν γένει, η διασπορά στα αποτελέσματα είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερη ηλικία (90 ή 180 ημέρες) πιθανότατα λόγω επιδείνωσης της μικροδομής της διεπιφανειακής ζώνης (βλ. και Παράγραφο 3.7).
- (2) Συστηματικώς, οι μετρήσεις για  $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ , δεν είναι τόσο «έγκυρες»: εμφανίζονται αρκετά υψηλές τιμές της διατμητικής αντοχής συνάφειας για τις διεπιφάνειες του τραβερτίνη, εν γένει πιο υψηλές από ότι για  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ . Αυτή η παρατήρηση είναι πιο έντονη για το ένεμα G2, για το οποίο, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγική ενότητα (βλ. Παράγραφο Ε2.2), διαπιστώθηκαν μεγάλες αποκλίσεις στην συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμίων του με το εν λόγω υπόβαθρο λόγω διαφορετικής μικροδομής (παρουσία ή απουσία μικρορηγμάτωσης).
- (3) Επί πλέον, περιστασιακά, παρατηρείται πτώση των τιμών της διατμητικής αντοχής σε μεγαλύτερη ηλικία (180 ημέρες), η οποία συνοδεύεται με διαφοροποίηση του τρόπου αστοχίας των αντίστοιχων σύνθετων δοκιμίων. Για κάθε υπόβαθρο αυτή η αλλαγή της εν χρόνω συμπεριφοράς αποδίδεται σε διαφορετικά αίτια: στα δοκίμια της οπτοπλίνθου και των ενεμάτων υδραυλικών ασβέστων αποδίδεται στην διαφορετική επιφανειακή τραχύτητα και στην συστολή ξήρανσης, στα δοκίμια τραβερτίνη και των ενεμάτων με τον μετακαολίνη ή την φυσική ποζολάνη (στις 180 ημέρες) οφείλεται σε ενανθράκωση και συστολή ξήρανσης. Ειδικότερα, για την σύνθεση HL1 της υδραυλικής ασβέστου, διαπιστώθηκαν σημαντικές πτώσεις με τον χρόνο και εν γένει χαμηλές τιμές της αντοχής συνάφειας σχεδόν για όλα τα υπόβαθρα. Αυτή η συμπεριφορά πιθανότατα να οφείλεται σε μικρορηγμάτωση του ενέματος.
- (4) Αν αμεληθούν οι παρατηρούμενες πτώσεις, τότε, με τον χρόνο η συμπεριφορά των τριμερών ενεμάτων και του τσιμεντενέματος είναι ευθέως συγκρίσιμη. Σχετικώς με τις υδραυλικές ασβέστους, οι συνθέσεις HL2 και HL3 παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά. Στα πιο ισχυρά υπόβαθρα, οι πρώτες συνθέσεις φαίνεται να αναπτύσσουν υψηλότερη διατμητική αντοχή σε σχέση με τις υδραυλικές ασβέστους (τουλάχιστον κατά 2 φορές), με το ένεμα με την φυσική άσβεστο να έχει συμπεριφορά που βελτιώνεται με τον

χρόνο. Οι υδραυλικές συνθέσεις (HL2 και HL3) παρουσιάζουν συγκριτικά μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά της διεπιφάνειας (κατά 50%), με ωστόσο σταθερή συμπεριφορά στον χρόνο [κυρίως η σύνθεση HL2 (St. Astier+ποζολάνη)]. Επομένως, επιβεβαιώνεται ότι η προσθήκη φυσικής ποζολάνης στις συνθέσεις είναι ευεργετική για την ανθεκτικότητα της διεπιφάνειας. Ανάλογη είναι η εικόνα στο υπόβαθρο του τραβερίνη, με την υδραυλική σύνθεση χωρίς την ποζολάνη (St. Astier 100%), να εμφανίζει καλύτερη συμπεριφορά από εκείνη του μαρμάρου και να προσεγγίζει το 50 με 60% της αντοχής των τριμερών ενεμάτων και του τσιμεντενέματος.

- (5) Τέλος, οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν από την παραπάνω διερεύνηση και που θα εξετασθούν στα Βήματα 4 και 5 είναι οι ακόλουθες:
- α4) σύνθετα δοκίμια μαρμάρου και ενεμάτων G1 (ένεμα αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) και G4,
  - β4) σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων τσιμέντου-υδρασβέστου-ποζολάνης (για  $\sigma_n=0.6$  MPa)
  - γ5) σύνθετα δοκίμια των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου, HL2 και HL3, για όλους τους τύπους των υποβάθρων,
  - δ5) σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4 (90 ημέρες).

**E.2.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ:** Βήμα 4ο. Επιρροή ηλικίας στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο [Καμπύλες  $(\tau_u - t)$ ,  $(s_u - t)$  και  $(w_u - t)$ ]

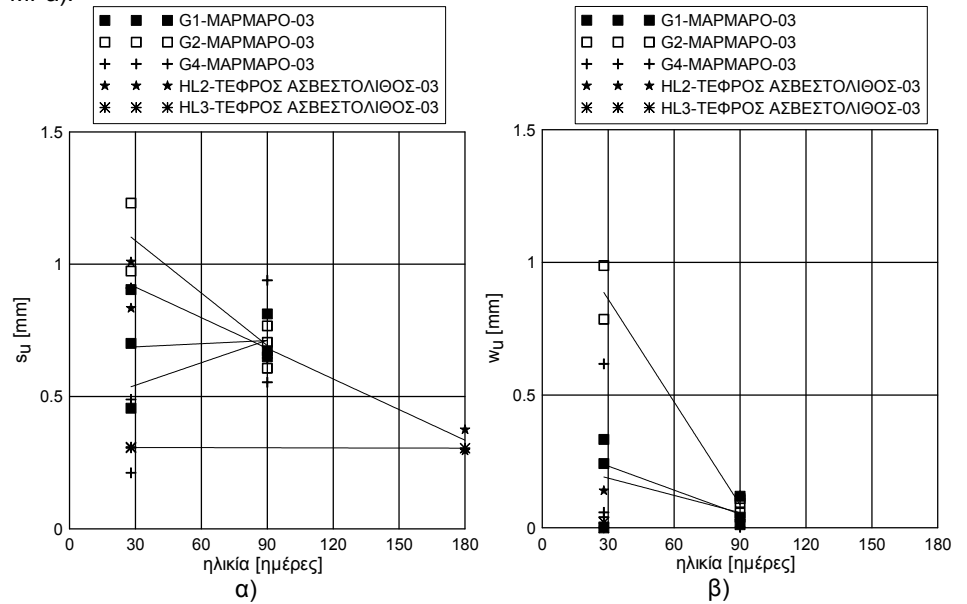
**E.2.6.1 Σύνθετα δοκίμια ισχυρότερων υποβάθρων και ενεμάτων α) G1 (αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα μετακαολίνη) και G4 (τριμερές ένεμα φυσικής ποζολάνης) και β) υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3**

Πρακτικώς, η συμπεριφορά των σύνθετων δοκιμίων ισχυρών υποβάθρων και τσιμεντενέματος ή ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου είναι σταθερή με τον χρόνο. Ως προς τα τριμερή ενέματα, στις διεπιφάνειες του μαρμάρου με τον μετακαολίνη καταγράφεται μείωση με τον χρόνο της διατμητικής τους αντοχής, ενώ οι διεπιφάνειες του ενέματος με την φυσική ποζολάνη εμφανίζονται ενισχυμένες εν χρόνω (βλ. Εικόνα E24). Αναφορικά με το μέγεθος των τιμών της διατμητικής αντοχής συνάφειας σε μεγαλύτερη ηλικία (90 ή 180 ημέρες), κυμαίνεται στα 0.6 MPa για τα ενέματα G1, G2 και G4, και στα 0.3 MPa για τα ενέματα HL2 και HL3. Εντούτοις, το τελευταίο ένεμα δεν παρουσιάζει σταθερή εν χρόνω συμπεριφορά (αστοχία 2 δοκιμίων κατά την τοποθέτησή τους στην πειραματική διάταξη), κάτι αντίστοιχο άλλωστε διαπιστώθηκε και για την καμπτική αντοχή του εν λόγω ενέματος. Τέλος, οι ολισθήσεις και οι εγκάρσιες διογκώσεις που αντιστοιχούν στην  $\tau_u$ , μειώνονται με τον χρόνο (Εικόνες E25α και E25β, αντιστοίχως).

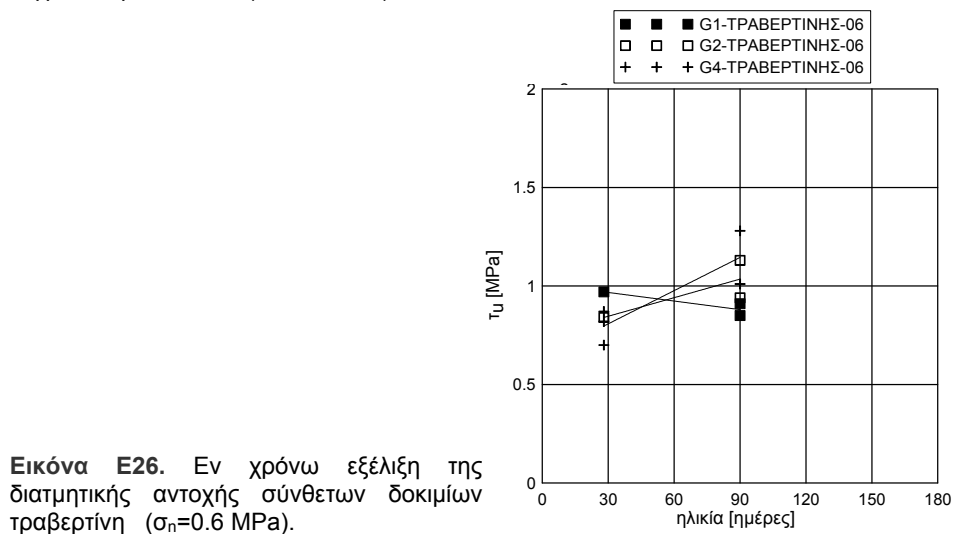
**E.2.6.2 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και ενεμάτων G1 (αναφοράς), G2 (τριμερές ένεμα με μετακαολίνη) και G4 (τριμερές ένεμα με φυσική ποζολάνη) για  $\sigma=0.6$  MPa**

Για αυτήν την ομαδοποίηση, διαπιστώνεται ότι η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως των σύνθετων δοκιμίων με το υπόβαθρο του τραβερίνη για  $(\sigma_n=0.6$  MPa), πέρα από κάποιες μικροαποκλίσεις, είναι σταθερή με τον χρόνο (Εικόνα E26: μικρή μείωση για ένεμα αναφοράς και αυξήσεις για τις δυο τριμερείς συνθέσεις). Εν γένει, οι τιμές της μέσης διατμητικής

**Εικόνα E24.** Εν χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



**Εικόνα E25.** Εν χρόνω εξέλιξη της α)  $s_u$  και β)  $w_u$  σύνθετων δοκιμών μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου ( $\sigma_n=0.3$  MPa).

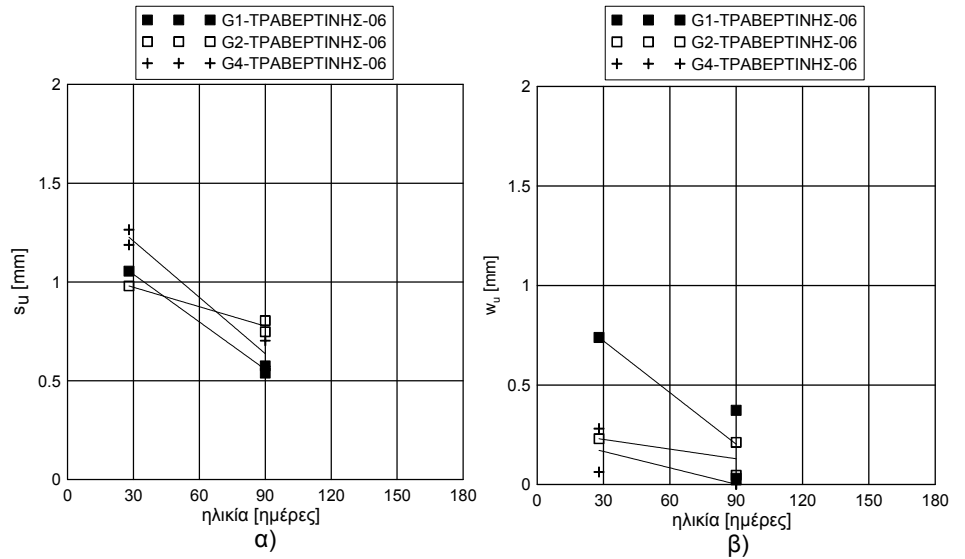


**Εικόνα E26.** Εν χρόνω εξέλιξη της διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τραβερτίνη ( $\sigma_n=0.6$  MPa).

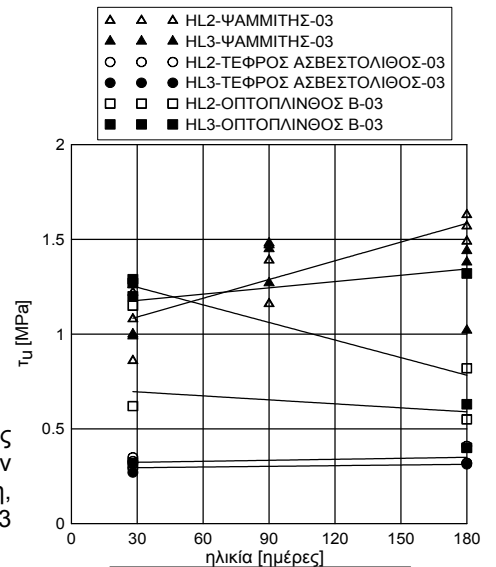
αντίστασης είναι της τάξης του 1 MPa. Ως προς τις τιμές των ολισθήσεων και των εγκάρσιων διογκώσεων για τις οποίες επιστρατεύεται η μέση μέγιστη διατμητική αντοχή, όπως είναι αναμενόμενο μειώνονται μεταξύ των 28 και 90 ημερών (Εικόνες E27α και E27β).

### ***E.2.6.3 Σύνθετα δοκίμια των ενεμάτων της υδραυλικής ασβέστου (HL2 και HL3) για όλους τους τύπους των υποβάθρων***

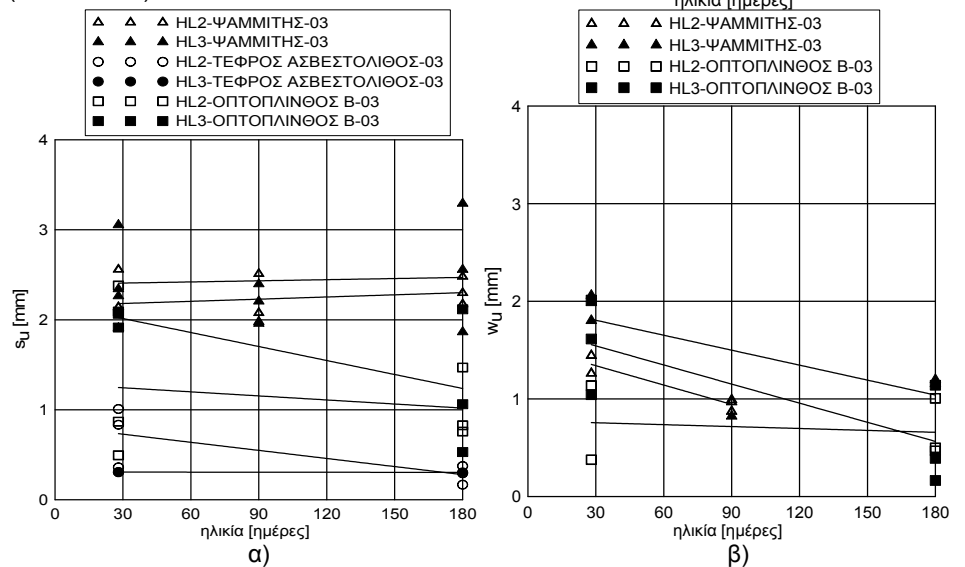
Αύξηση της διατμητικής αντοχής των σύνθετων δοκιμών με την ηλικία καταγράφεται μόνο στην περίπτωση των δοκιμών του ψαμμίτη (Εικόνα E28). Στις περιπτώσεις του τεφρού ασβεστόλιθου και της οπτοπλίνθου Β, όπως φαίνεται στην Εικόνα E28, η διατμητική αντοχή των σύνθετων δοκιμών παραμένει σταθερή ή μειώνεται, αντιστοίχως. Εξ άλλου, εν γένει, για τις δοκιμές της οπτοπλίνθου, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι τιμές της διασποράς προκύπτουν μεγαλύτερες σε μεγαλύτερη ηλικία. Αναφορικός με το μέγεθος της διατμητικής αντοχής, υψηλότερες τιμές καταγράφονται για τα δοκίμια του ψαμμίτη, μετά ακολουθούν εκείνα της οπτοπλίνθου Β και τέλος, έπονται εκείνα με τον τεφρό ασβεστόλιθο. Ως προς τις μέσες τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης και της ολίσθησης για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή, εν γένει, μειώνονται με τον χρόνο (Εικόνα E29).



Εικόνα Ε27. Εν χρόνω εξέλιξη της α)  $s_U$  και β)  $w_U$  σύνθετων δοκιμών τραβερτίνη ( $\sigma_n=0.6$  MPa).



Εικόνα Ε28. Εν χρόνω εξέλιξη της μέσης διατμητικής αντοχής σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



Εικόνα Ε29. Εν χρόνω εξέλιξη της α)  $s_U$  και β)  $w_U$  σύνθετων δοκιμών τεφρού ασβεστόλιθου, ψαμμίτη, οπτοπλίνθου και ενεμάτων HL2 και HL3 ( $\sigma_n=0.3$  MPa).



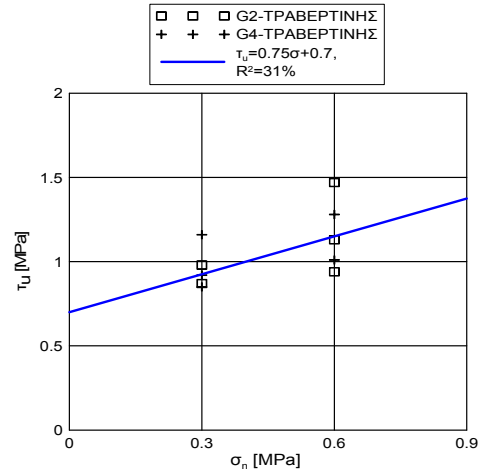
**Ε.2.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕ-**

**ΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΩΝ: Βήμα 5ο.** Η επιρροή της επιβαλλόμενης ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στην αντίστοιχη ομαδοποιημένη παράμετρο [Καμπύλες  $(\tau_u-t)$ ,  $(s_u-t)$  και  $(w_u-t)$ ]

**Ε.2.7.1 Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων G2 και G4**

Καταρχήν, καταγράφεται η θετική επίδραση της  $\sigma_n$  στην  $\tau_u$  (βλ. §3.8.4.6.4 και §3.8.4.7.4). Βάσει της ομαδοποίησης της συμπεριφοράς των διεπιφανειών των δυο τριμερών ενεμάτων G2 και G4 με τον τραβερίνη στις 90 ημέρες, η εκτίμηση μιας σχέσεως τύπου Mohr-Coulomb που θα περιγράφει την επίδραση της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης στην διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας του τραβερίνη με τις δυο τριμερείς συνθέσεις, δίδει την Εξίσωση Ε1.

Ως προς τις μετακινήσεις για τις οποίες επιστρατεύεται η μέση τιμή της μέγιστης διατμητικής αντοχής, ας επισημανθεί ότι, με την αύξηση της ορθής τάσης μειώνονται, εν γένει, οι τιμές της εγκάρσιας διόγκωσης και της ολίσθησης (βλ. Εικόνα Ε31, §3.8.4.6.4 και §3.8.4.7.4).

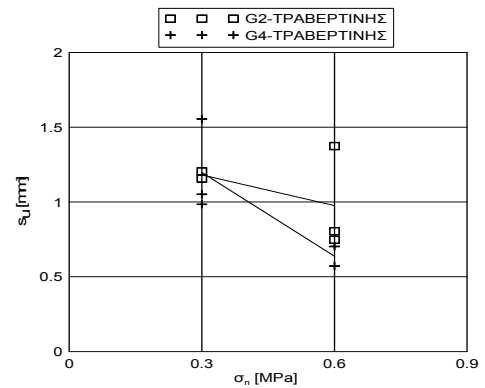


**Εικόνα Ε30.** Σύνθετα δοκίμια τραβερίνη /τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στην διατμητική αντοχή (90 ημέρες).

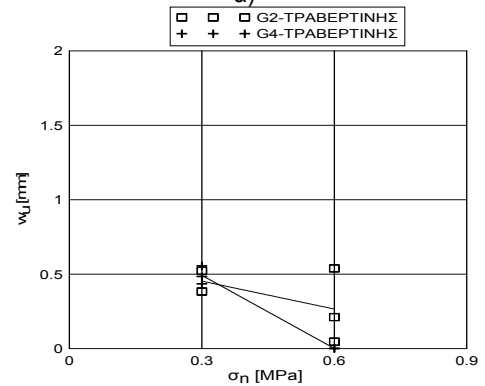
**Εξίσωση Ε1**

$$\tau_u = 0.70 + 0.75\sigma_n$$

όπου,  
 $\tau_u$  η μέγιστη διατμητική αντοχή συνάφειας  
 $\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

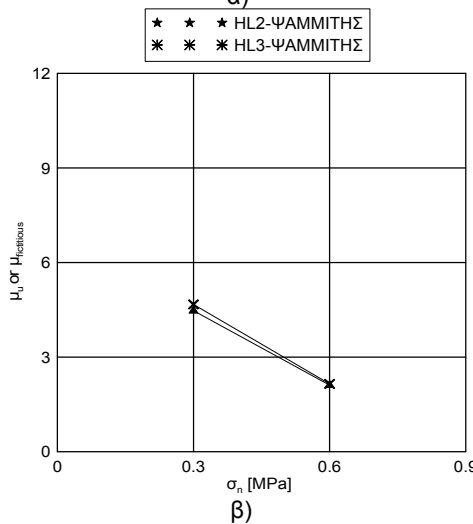
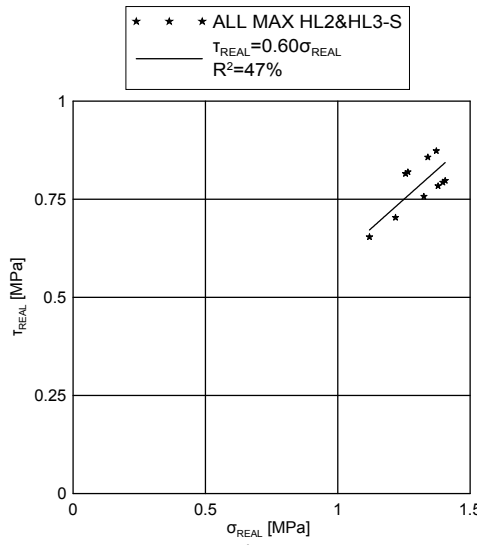


α)

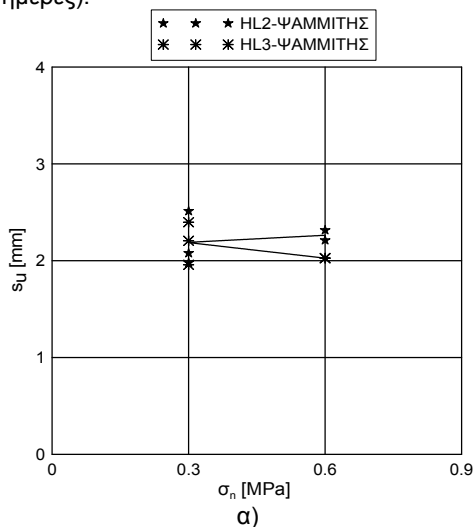


β)

**Εικόνα Ε31.** Δοκίμια τραβερίνη/τριμερών ενεμάτων: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στις α)  $s_u$  και β)  $w_u$  (90 ημέρες).

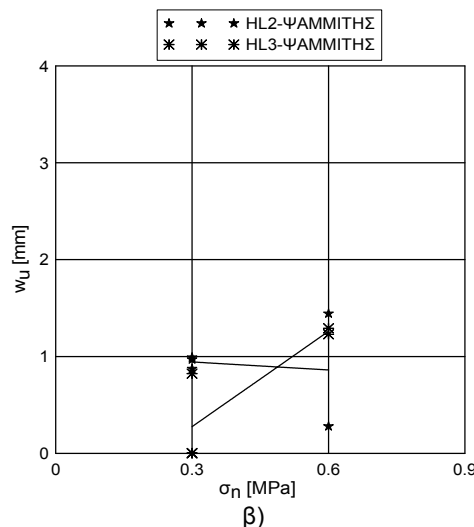


**Εικόνα E32.** Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , α) στην διατμητική αντοχή κατά το επίπεδο αστοχίας και β) στον συντελεστή τριβής  $\mu_{u,fictitious}$  (90 ημέρες).



### E.2.7.2 Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3

Με δεδομένο ότι τα δοκίμια του ψαμμίτη με τα ενέματα HL2 και HL3 αστόχησαν στο υπόβαθρο, η επιρροή της  $\sigma_n$  στην διατμητική αντοχή δύναται να αξιολογηθεί μόνον κατά το επίπεδο αστοχίας αυτών των σύνθετων δοκιμίων, το οποίο είναι κεκλιμένο ως προς τον άξονα επιβολής της ολίσθησης (βλ. § 3.8.4.7.4, Εικόνα E32α). Αντιθέτως, δεν δύναται να αναδειχθεί η επιρροή της  $\sigma_n$  στην διατμητική αντοχή συνάφειας των δοκιμίων κατά το οριζόντιο επίπεδο, παρά μόνον για τον συντελεστή τριβής  $\mu_{u,fictitious}$  (Εικόνα E32β). Ως προς τις μετακινήσεις, η αύξηση της  $\sigma_n$  οδήγησε, όπως ήταν αναμενόμενο, σε μείωση των τιμών του ανοίγματος ρωγμής και των ολισθήσεων (Εικόνα E33).



**Εικόνα E33.** Σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη/ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου HL2 και HL3: Επιρροή της ορθής τάσης,  $\sigma_n$ , στις α)  $s_u$  και β)  $w_u$  (90 ημέρες).

## Ε.2.8 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ

### Ε.2.8.1 Συντελεστής τριβής $\mu_{u,cal}$ και διατμητική αντοχή $\tau_{u,cal}$

Για την εκτίμηση του συντελεστή τριβής,  $\mu_{u,cal}$ , (πραγματικού  $\mu_u$  ή φαινομενικού  $\mu_{u,fictitious}$ ) για τις διεπιφάνειες ενεμάτων και υποβάθρων, καταστρώθηκε σχέση (Εξίσωση Ε2) αντίστοιχη εκείνης που χρησιμοποιείται για διεπιφάνειες σκυροδεμάτων (Tassios et al. 1987). Με την εισαγωγή του συντελεστή  $\beta$ , η προτεινόμενη εξίσωση δύναται να εφαρμοσθεί για διάφορα υλικά τοιχοποιίας. Καθώς από τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών διάτμησης, μεταξύ άλλων, αναδείχθηκε η επίδραση του τύπου του υποβάθρου στην αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή ενεμάτων/υποβάθρων και στον τρόπο που αυτά τα σύνθετα δοκίμια αστοχούν έναντι διάτμησης (βλ. § 3.8.4), για την εκτίμηση του συντελεστή τριβής επιλέχθηκε να γίνει ένας διαχωρισμός των τύπων των υποβάθρων ανάλογα με το πορώδες τους. Έτσι, τα υπόβαθρα που μελετήθηκαν εδώ, κατατάχθηκαν σε τρεις κατηγορίες: α) σε υπόβαθρα μικρού πορώδους και μικρής επιφανειακής τραχύτητας, στα οποία συγκαταλέγονται το μάρμαρο Διονύσου και ο τεφρός ασβεστόλιθος, β) σε υπόβαθρα μεσαίου πορώδους και μέσης επιφανειακής τραχύτητας (τραβερτίνης) και γ) σε υπόβαθρα υψηλού πορώδους, στα οποία εντάσσονται οι οπτόπλινθοι (Α και Β) και ο ψαμμίτης. Στον Πίνακα Ε11 παρατίθενται οι προσδιορισθείσες τιμές του  $\beta$ , ανά υπόβαθρο, για τις ηλικίες των 28 ημερών και σε μεγαλύτερη ηλικία (90 και 180 ημέρες), καθώς και οι τιμές του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  (%). Ας σημειωθεί ότι, στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την στατιστική επεξεργασία προσδιορισμού του συντελεστή  $\beta$ , περιλαμβάνονται οι δοκιμές από τις οποίες κατασκευάστηκαν οι μέσες καμπύλες, καθώς και τα πειραματικά αποτελέσματα που, ανά τριάδα δοκιμών, δεν είχαν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, τόσο στην τιμή της διατμητικής αντίστασης όσο και στον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών τους (βλ. Πίνακα Ε11). Όπως φαίνεται στον Πίνακα Ε11, ο συντελεστής  $\beta$  λαμβάνει μικρότερες τιμές για τα πιο ισχυρά υπόβαθρα (μάρμαρο, τεφρός ασβεστόλιθος και τραβερτίνης) και μεγαλύτερες για τα ασθενέστερα υπόβαθρα των οπτόπλινθων και του ψαμμίτη. Ως προς τις τιμές του συντελεστή προσδιορισμού, όπως προκύπτει από τον Πίνακα Ε11, σε ορισμένες περιπτώσεις, ο  $R^2$  λαμβάνει σχετικώς χαμηλές τιμές (βλ. για παράδει-

#### Εξίσωση Ε2

$$\mu_{u,cal} = 0.44 \left( \frac{\sigma_n}{f_c} \right)^{-\beta}$$

όπου,

$\beta$  συντελεστής που αντανακλά τον τύπο του υποβάθρου (λαμβάνεται από τον Πίνακα Ε11)

$\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

$f_c$  το ελάχιστο μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του ενέματος και της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου

## Εξίσωση E3

$T_{u,cal} = \sigma_n \mu_{u,cal}$   
 όπου,  
 $\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια  
 ενέματος/υποβάθρου  
 $\mu_{u,cal}$  ο συντελεστής τριβής  
 προσδιοριζόμενος βάσει της Εξίσωσης  
 E2.

γμα τις δοκιμές με υπόβαθρο από μάρμαρο). Αυτό οφείλεται στην, σχετικώς, υψηλή διασπορά των πειραματικών αποτελεσμάτων.

Ας επισημανθεί ότι στην Εξίσωση E2, η επιρροή του τύπου του υποβάθρου στον συντελεστή τριβής υπεισέρχεται, αφενός, μέσω του συντελεστή  $\beta$  και, αφετέρου, άμεσα ή έμμεσα μέσω της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου (στην περίπτωση αστοχίας του υποβάθρου) ή της αντοχής του ενέματος (στην περίπτωση των ισχυρότερων υποβάθρων) αντιστοίχως. Ως προς την διατμητική αντοχή, η  $T_{u,cal}$  εκτιμάται κατά τα γνωστά μέσω του συντελεστή τριβής (πραγματικού ή φαινομενικού) από την Εξίσωση E3.

Πίνακας E11. Τιμές συντελεστή  $\beta$ .

ΥΠΟΒΑΘΡΟ	Δοκιμές που απορρίφθηκαν		Όλες οι τιμές		Μέσες τιμές	
			$\beta$	$R^2$ [%]	$\beta$	$R^2$ [%]
μάρμαρο και τεφρός ασβεστόλιθος	28 ημέρες	G2 (Δ3) G4 (Δ3)	0.44	41	0.46	51
	90 ή 180 ημέρες	G2 (Δ3)	0.39	42	0.38	91
	όλες οι ηλικίες		0.41	40	0.41	47
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.40</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					
τραβερίνης	28 ημέρες	G1-03 (Δ3) G1-06 (Δ2) G2-01 (Δ2) G2-03 (Δ2)	0.71	72	0.70	77
	90 και 180 ημέρες	G1-03 (Δ1) G2-01 (ΟΛΕΣ) G2-03 (Δ3) G4-01 (Δ2) G4-06 (Δ2) G2-03 (Δ3) G2-03 (Δ3)	0.52	57	0.54	49
	όλες οι ηλικίες		0.58	40	0.60	47
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.60</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					
ψαμμίτης και οπτόπλινθοι Α και Β	28 ημέρες Α: B:	G1-01 (Δ1, Δ3) G1-03 (Δ1, Δ2) HL1 (ΟΛΕΣ) HL2 (Δ2, Δ3)	0.78	86	0.75	82
	90 και 180 ημέρες Α: B:	G4-03 (Δ3) HL1 (ΟΛΕΣ) HL2 (Δ1, Δ2) HL3 (Δ1, Δ3)	0.72	56	0.72	61
	όλες οι ηλικίες		0.74	67	0.74	71
	<b>Επιλέγεται <math>\beta=0.75</math> για όλες τις ηλικίες και ενέματα</b>					

**E.2.8.2 Παραμένουσα διατμητική αντοχή  $T_{res,cal}$** 

Κατά την αξιολόγηση των πειραματικών στοιχείων (βλ. § 3.8.4.7.4) διαφάνηκε ότι, ο παραμένων συντελεστής τριβής  $\mu_{res}$  μειώνεται ελαφρώς αυξανόμενης της επιβαλλόμενης ορθής τάσης  $\sigma_n$ . Εντούτοις, η συσχέτιση μεταξύ των, ομολογουμένως περιορισμένου πλήθους, διαθέσιμων πειραματικών τιμών του  $\mu_{res}$  και της  $\sigma_n$  είναι μικρή για τις

υψηλότερες τιμές της ορθής θλιπτικής τάσης ( $\geq 0.3$  MPa). Επί πλέον, διαπιστώθηκε ότι η παραμένουσα αντίσταση των διεπιφανειών εμφανίζεται ενισχυμένη με την αύξηση της ορθής θλιπτικής τάσης. Γι' αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας γίνεται η υπόθεση ότι, η  $T_{res}$  εξαρτάται αποκλειστικώς από την  $\sigma_n$ . Εξ άλλου, αυτή η υπόθεση βρίσκεται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα της διερεύνησης των (Atkinson et al. 1989) σε διεπιφάνειες κονιαμάτων. Έτσι, αναζητήθηκε γραμμική σχέση (βλ. Εξίσωση Ε4) που να συνδέει την μέση τιμή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής,  $T_{res}$ , με την επιβαλλόμενη θλιπτική τάση για τα σύνθετα δοκίμια που αστόχησαν στην διεπιφάνεια (δοκίμια μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερίνη). Στον Πίνακα Ε12, παρατίθενται συγκεντρωμένα για κάθε συνδυασμό υποβάθρου, ενέματος και ηλικίας διεξαγωγής της δοκιμής, οι τιμές του συντελεστή « $\delta$ », καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ .

**Εξίσωση Ε4**

$$T_{res} = \delta \sigma_n$$

όπου,

$\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

$\delta$  παραμένων συντελεστής τριβής

**Πίνακας Ε12.** Τιμές συντελεστή  $\delta$ .

Συντελεστής « $\delta$ »									
υπόβαθρο	ηλικία (ημέρες)	κωδικός ενέματος				R <sup>2</sup> [%]			
		G1	G2	G4	HL	G1	G2	G4	HL
μάρμαρο Διονύσου	28	0.67	0.97	0.37	-	100	100	100	-
	90	0.67	1.04	0.60	-	100	100	100	-
τραβερίνης	28 <sup>(1)</sup>	0.55	0.59	0.65	0.67	27.0	99.9	99.4	100
	90 <sup>(1)</sup>	0.86	0.72	0.55	0.83	99.0	97.0	82.0	100
	180	-	0.97	0.83	-	-	100	100	-
υπόβαθρο	ηλικία (ημέρες)	κωδικός ενέματος			R <sup>2</sup> [%]				
		HL1	HL2	HL3	HL1	HL2	HL3		
τεφρός ασβ/θος	28	0.67	0.83	0.73	100	100	100		
	90	-	0.83	0.87	-	100	100		

<sup>(1)</sup> για την εκτίμηση του συντελεστή  $\delta$ , αξιοποιήθηκαν τα πειραματικά στοιχεία για  $\sigma_n=0.3$  και  $0.6$  MPa.

Από τα στοιχεία του Πίνακα Ε12 διαπιστώνεται ότι, εν γένει, για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου και του τεφρού ασβεστόλιθου ο συντελεστής « $\delta$ » δεν μεταβάλλεται με τον χρόνο. Μια αύξηση (κατά 60%) παρατηρείται για το τριμερές ένεμα με την μηλαϊκή γη, G4. Ας σημειωθεί ότι, η παρατηρηθείσα εν χρόνω αύξηση της παραμένουσας τριβής για τις διεπιφάνειες του ενέματος HL3 στηρίζεται στα αποτελέσματα μιας δοκιμής και επομένως, δεν δύναται να αξιολογηθεί. Ως προς τις διεπιφάνειες τραβερίνη, παρατηρείται αύξηση του  $T_{res}$  με την ηλικία. Έτσι, η παραμένουσα τριβή, φαίνεται να εξαρτάται από την ηλικία, αλλά για τις μεγαλύτερες ηλικίες εξαρτάται πρωτίστως από την επιβαλλόμενη ορθή τάση (αυξάνεται με την αύξηση της  $\sigma_n$ ) και από τον τύπο του υποβάθρου (επιφανειακή τραχύτητα) [για πρδ. μεγαλύτερες τιμές του  $\delta$  παρουσιάζονται για τις διεπιφάνειες του τραβερίνη από ότι

**Εξισώσεις E5**

G1 ή G4 και μάρμαρο, HL1 και τεφρός ασβεστόλιθος:  
 $T_{res} = 0.65\sigma_n$   
 HL2 ή HL3 και τεφρός ασβεστόλιθος:  
 $T_{res} = 0.80\sigma_n$   
 G1 ή G4 ή HL και τραβερτίνη:  
 $T_{res} = 0.85\sigma_n$   
 G2 και μάρμαρο ή τραβερτίνη:  
 $T_{res} = 1.00\sigma_n$

**Εξίσωση E6**

διεπιφάνειες μαρμάρου και τεφρού ασβεστόλιθου:  
 $T_{res} = 0.72\sigma_n$ ,  $R^2=86\%$   
 διεπιφάνειες τραβερτίνη:  
 $T_{res} = 0.74\sigma_n$ ,  $R^2=72\%$

**Εξίσωση E7**

διεπιφάνειες μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερτίνη:  
 $T_{res} = 0.75\sigma_n$ ,  $R^2=77\%$

για εκείνες του μαρμάρου, παρατήρηση που συμφωνεί με το ότι η γωνία τριβής κατά μήκος ασυνεχειών σε ασβεστόλιθους είναι μεγαλύτερη από εκείνη σε μάρμαρο (Giani 1992, σελ 104)] και δευτερευόντως από την τραχύτητα σε επίπεδο μικροδομής (οφειλόμενη στο ένεμα). Δεδομένου του ότι 1) συνήθως κατά τις πρώτες μέρες έγχυσης των ενεμάτων σε μια τοιχοποιία η πιθανότητα εμφάνισης σεισμού είναι πολύ μικρή και 2) σε μικρές ηλικίες δεν αναμένεται η συνεισφορά της διεπιφάνειας στην ανάληψη των φορτίσεων μιας κατασκευής, αλλά μόνον των τοιχοποιιών της, επιλέγεται να αξιοποιηθούν οι προσδιορισθείσες τιμές του συντελεστή  $\delta$  για τις μεγαλύτερες ηλικίες (δλδ. για τις 90 και 180 ημέρες). Έτσι, μια πρώτη γενίκευση για την εκτίμηση της παραμένουσας διατμητικής αντίστασης αποτελούν οι Εξισώσεις E5. Λαμβάνοντας υπ' όψιν, α) τις προκύπτουσες ομαδοποιήσεις για την συμπεριφορά των διεπιφανειών με τα τριμερή ενέματα (βλ. §E2.2 έως §E2.7), καθώς και β) των μικρών αποκλίσεων που παρουσιάζουν, ανά τύπο υποβάθρου, οι προσδιορισθείσες τιμές του « $\delta$ » για τα ενέματα της υδραυλικής ασβέστου και του τσιμεντενέματος (βλ. Εξισώσεις E5), νομιμοποιείται η αναζήτηση ενός συντελεστή  $\delta$ , ο οποίος θα εξαρτάται αποκλειστικώς από τον τύπο του υποβάθρου (στις 90 ή 180 ημέρες). Εξ άλλου, αυτή η παραδοχή ευρίσκεται σε συμφωνία με την κατηγοριοποίηση των υποβάθρων (βλ. §E2.8.1). Έτσι, με την παραπάνω παραδοχή και αναλόγως του τύπου του υποβάθρου, οι Εξισώσεις E5 λαμβάνουν την μορφή των Εξισώσεων E6. Τέλος, δεδομένης της μεγάλης διασποράς των πειραματικών αποτελεσμάτων και καθώς ο συντελεστής  $\delta$  έχει πρακτικώς την ίδια τιμή για τους δύο τύπους υποβάθρων, για την εκτίμηση της παραμένουσας τριβής -αντί των Εξισώσεων E6- υιοθετείται η γενικευμένη σχέση της Εξίσωσης E7. Σύμφωνα με αυτήν την εξίσωση, για τις διεπιφάνειες του μαρμάρου, του ασβεστόλιθου και του τραβερτίνη υιοθετείται μια ενιαία τιμή για την παραμένουσα γωνία τριβής γύρω στις  $35^\circ$ . Αυτή η τιμή της παραμένουσας γωνίας τριβής, βρίσκεται καταρχήν εντός των ορίων της βιβλιογραφίας για διεπιφάνειες λίθων και κονιαμάτων ή ενεμάτων (βλ. τιμές της  $\tan\phi$  στο § 2.10.2.3), όπως επίσης και για ασυνέχειες σε βράχους [για πρδ. (Byerlee 1978), (Giani 1992), (Sibson 1994)]. Ας σημειωθεί ότι, προφανώς, με την χρήση ενός ενιαίου παραμένουσας συντελεστή τριβής για τα λίθινα υποβάθρα, υποδηλώνεται εμμέσως πλην σαφώς ότι τα ενέματα εξασφαλίζουν την άμβλυση της μετά την αστοχία συμπεριφοράς αυτών των διεπιφανειών έναντι διατμήσεως (για τις δικές μας συνθήκες).

### E.2.8.3 Ολίσθηση $s_{u,cal}$ για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή $\tau_{u,cal}$

Όπως και στην περίπτωση του συντελεστή τριβής, αναζητήθηκε σχέση που να λαμβάνει υπόψη την επιρροή της  $\sigma_n$ , της ηλικίας και του τύπου του ενέματος (μέσω της θλιπτικής αντοχής του  $f_{c,gr}$ ) και του υποβάθρου (μέσω του συντελεστή  $\gamma$ , που περιγράφει τον τρόπο αστοχίας των δοκιμών). Μια προσεγγιστική σχέση που ικανοποιεί τις πειραματικές τιμές του λόγου  $\tau_u/s_u$  φαίνεται να είναι η σχέση της Εξίσωσης Ε8. Από τον συνδυασμό των Εξισώσεων Ε3 και Ε8, προκύπτει η Εξίσωση Ε9 ως εκτιμήτρια για τις ολισθήσεις  $s_{u,cal}$ . Έτσι, με βάση την προσεγγιστική Εξίσωση Ε9, στις Εικόνες Ε34 απεικονίζεται η υπολογιστική τιμή των ολισθήσεων  $s_{u,cal}$  σε σχέση με τον πειραματική τιμή των ολισθήσεων  $s_u$  (ή  $s_{u,exp}$ ) για τις ηλικίες των 28 και 90 ή 180 ημερών. Τα σημεία που σχεδιάζονται στην Εικόνα Ε34α αφορούν όλα τα αποδεκτά πειραματικά στοιχεία, ενώ στην Εικόνα Ε34β παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των δεδομένων αυτών. Όπως και στην περίπτωση του συντελεστή τριβής, η εικόνα είναι ικανοποιητική (δεδομένης και της ακόμα μεγαλύτερης διασποράς των πειραματικών τιμών της ολίσθησης) για το διάγραμμα των μέσων τιμών (Εικόνα Ε34β). Ας επισημανθεί ότι, η προσεγγιστική σχέση (Εξίσωση Ε9) υπερεκτιμά την τιμή της ολίσθησης για την οποία επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή για τις μεγαλύτερες ηλικίες, ενώ την υποεκτιμά για τις μικρότερες ηλικίες.

Εναλλακτικώς και καθώς παρατηρείται γραμμική σχέση μεταξύ των πειραματικών τιμών  $s_{u,exp}$  και  $\mu_{u,exp}$ , για τιμές του συντελεστή τριβής μικρότερες από 4 (Εικόνα Ε35Α), ενώ για τις μεγαλύτερες τιμές του  $\mu_{u,exp}$  η ολίσθηση σταθεροποιείται γύρω από μια τιμή εξαρτώμενη κυρίως από τον τύπο του υποβάθρου, προτείνονται οι Εξισώσεις Ε10 για την πρόβλεψη των ολισθήσεων  $s_{u,cal}$ . Όπως φαίνεται στην Εικόνα Ε37Β, όπου έχουν σχεδιαστεί οι υπολογιστικές τιμές  $s_{u,cal}$  (βάσει των Εξισώσεων Ε10) συναρτήσεως των πειραματικών τιμών των ολισθήσεων, με την εφαρμογή των Εξισώσεων Ε10 θεωρείται ότι προσεγγίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό οι πειραματικές τιμές των ολισθήσεων για τις οποίες επιστρατεύεται η διατμητική αντοχή  $\tau_u$  ή  $\tau_{u,f}$ .

#### Εξίσωση Ε8

$$\frac{\tau_u}{s_u} = \frac{3 \left( 1 - \frac{\sigma_n}{f_{c,gr}} \right) \sigma_n}{\gamma}$$

όπου,

$\sigma_n$  η ορθή τάση στην διεπιφάνεια ενέματος/υποβάθρου

$f_c$  το ελάχιστο μεταξύ της θλιπτικής αντοχής του ενέματος και της θλιπτικής αντοχής του υποβάθρου

$\gamma$  μια σταθερά η οποία λαμβάνει τιμές ανάλογα με τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών ( $\gamma=1$ , για αστοχία ITZ ή Z και  $\gamma=2$ , για αστοχία υποβάθρου)

#### Εξίσωση Ε9

$$s_{u,cal} = \frac{\gamma \mu_{u,cal}}{3 \left( 1 - \frac{\sigma_n}{f_{c,gr}} \right)}$$

#### Εξίσωση Ε10

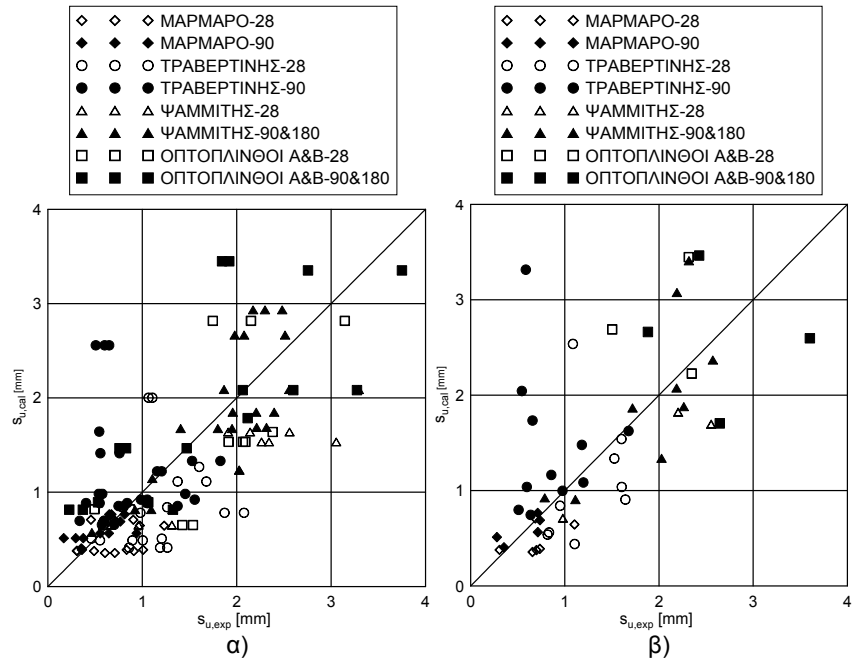
$$s_{u,cal} = \alpha \mu_{u,cal}, \text{ για } \mu_{u,cal} \leq 4$$

$$s_{u,cal} = 4\alpha, \text{ για } \mu_{u,cal} \geq 4,$$

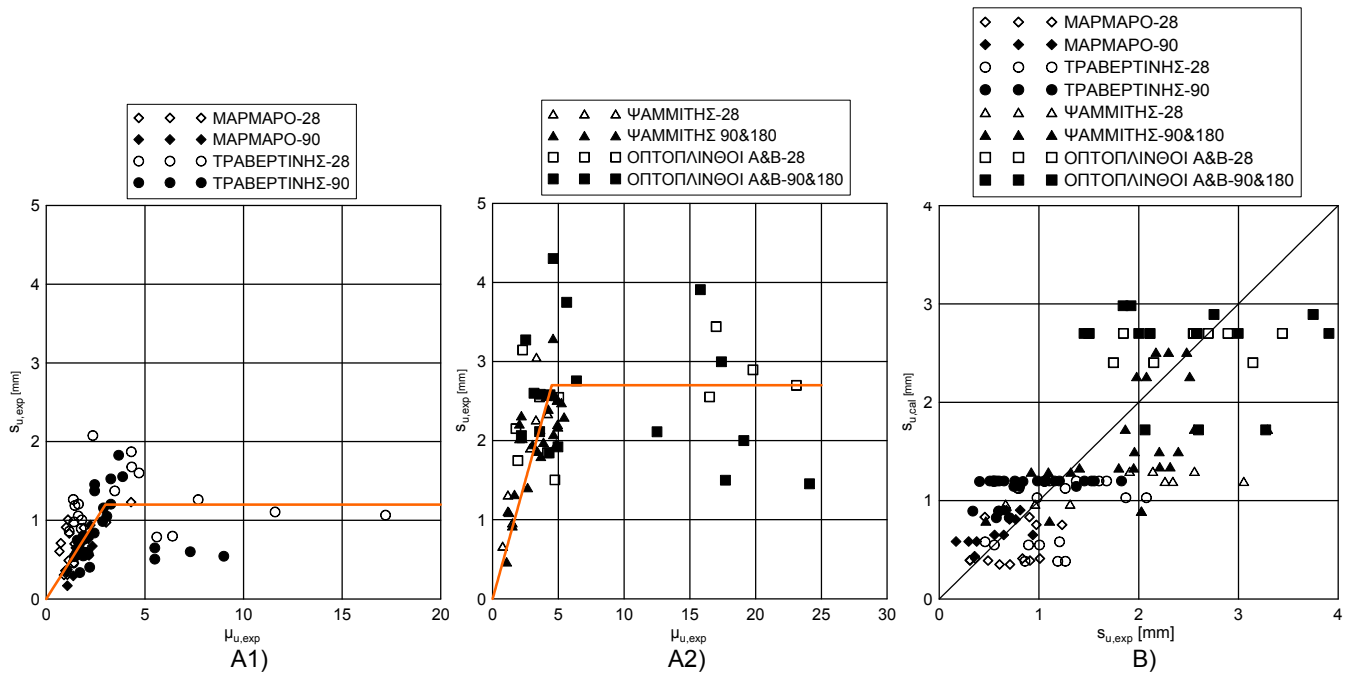
όπου,

$\alpha$  ένας συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου με τιμές:

$\alpha=0.4$  για τα υπόβαθρα του μαρμάρου/τραβερίνη (με  $R^2=89\%$ ), και  $\alpha=0.6$  για τα υπόβαθρα του ψαμμίτη/οπτοπλίνθου (με  $R^2=78\%$ )



**Εικόνα Ε34.** Υπολογιστική τιμή της ολίσθησης  $s_{u,cal}$  προσδιοριζόμενη από την Εξίσωση Ε9 συναρτήσει της πειραματικής τιμής  $s_{u,exp}$  α) για όλες τις τιμές των σύνθετων δοκιμίων και β) για τις μέσες τιμές των σύνθετων δοκιμίων (28 και 90 ημέρες).



**Εικόνα Ε35.** Α)  $s_{u,exp}$  συναρτήσει του  $\mu_{u,exp}$  για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και 1) μαρμάρου, τεφρού ασβεστόλιθου και τραβερτίνη, 2) ψαμμίτη και οπτόπλινθων Α και Β, Β)  $s_{u,cal}$  προσδιοριζόμενη βάσει της Εξίσωσης Ε10 συναρτήσει της  $s_{u,exp}$  για όλα τα σύνθετα δοκίμια (28, 90 και 180 ημέρες).



## Ε.2.9 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ - ΑΝΗΓΜΕΝΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Σε αυτήν την παράγραφο, παρουσιάζονται οι ανηγμένες πειραματικές

καμπύλες  $\frac{\tau}{\tau_u} - \frac{S}{S_u}$  και  $\frac{W}{W_u} - \frac{S}{S_u}$  για όλους τους συνδυασμούς

ενεμάτων, υποβάθρων, ηλικιών και τιμών της επιβαλλόμενης ορθής θλιπτικής τάσης  $\sigma_n$ , που διερευνήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας (Εικόνες Ε36 έως Ε43). Έπειτα, εξετάζονται διάφορες μορφές καμπύλων για την πρόβλεψη των ανηγμένων πειραματικών καμπύλων και σχολιάζεται η μορφή τους σε σχέση με τα πειραματικά αποτελέσματα.

### Ε.2.9.1 Καμπύλες $\frac{\tau}{\tau_u} - \frac{S}{S_u}$

Εξετάζονται δύο τύποι καμπυλών για την σχέση που συνδέει τα μεγέθη

$\frac{\tau}{\tau_u}$  και  $\frac{S}{S_u}$  πριν και μετά την επίτευξη της διατμητικής αντοχής: α) η

γραμμική σχέση  $\frac{\tau}{\tau_u} = \frac{S}{S_u}$  (πορτοκαλί χρώμα) και β) η παραβολική

σχέση  $\frac{\tau}{\tau_u} = (\frac{S}{S_u})^\beta$  (κόκκινο χρώμα), όπου ο συντελεστής  $\beta$  λαμβάνει τις

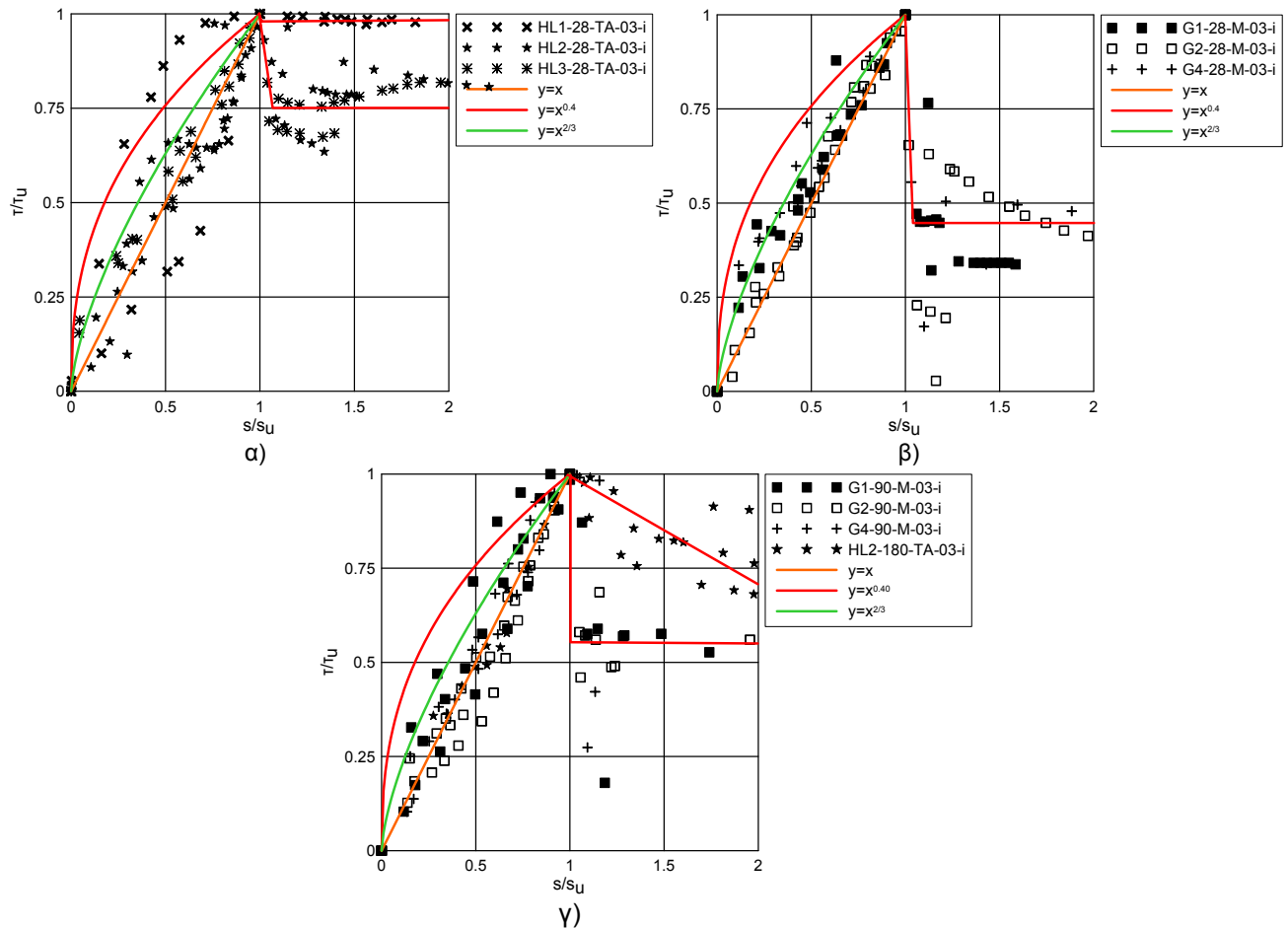
τιμές του Πίνακα Ε11, αναλόγως του τύπου του υποβάθρου. Στην περίπτωση της παραβολικής μορφής καμπύλης, διερευνάται η εφαρμογή ενός ενιαίου συντελεστή  $\beta$  για όλα τα σύνθετα δοκίμια ενεμάτων/υποβάθρων, ο οποίος λαμβάνεται ίσος με 2/3. Επομένως,

εναλλακτικώς της σχέσης  $\frac{\tau}{\tau_u} = (\frac{S}{S_u})^\beta$ , διερευνάται η καμπύλη

$\frac{\tau}{\tau_u} = (\frac{S}{S_u})^{2/3}$  (πράσινο χρώμα).

**ΤΡΙΜΕΡΗ ΕΝΕΜΑΤΑ Ή ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΙ/ΜΑΡΜΑΡΟ Ή ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ (β=0.40)**

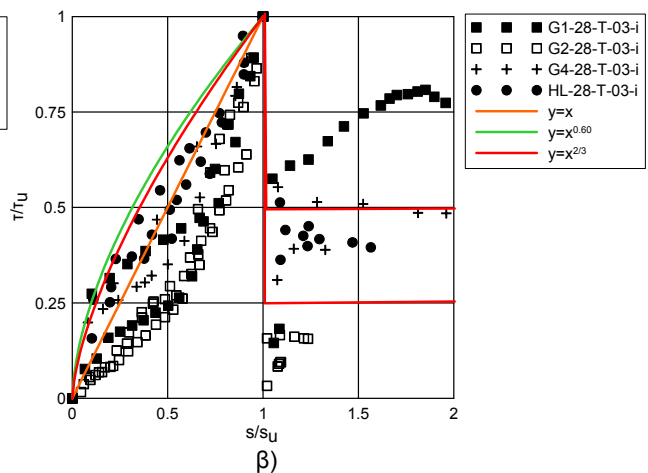
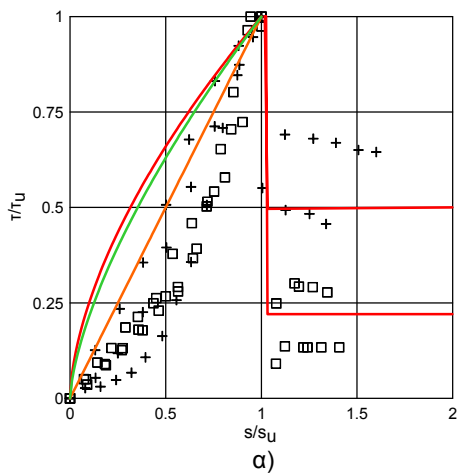
ηλικία	κωδικός ενέματος	$\frac{s}{s_U} \leq 1.0$	$\frac{s}{s_U} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{0.4}$ $\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{2/3}$ $\frac{T}{T_U} = \frac{s}{s_U}$	0.90	Η συμπεριφορά των διεπιφανειών είναι πρακτικώς η ίδια για όλες τις συνθέσεις της υδραυλικής ασβέστου. Η περιγραφή μέσω της καμπύλης για $\beta=0.4$ δεν θεωρείται ικανοποιητική. Αντιθέτως, καλύτερη προσέγγιση προκύπτει για $\beta=2/3$ ή για την γραμμική σχέση. Μετά την αστοχία, το ποσοστό της παραμένουσας τριβής είναι μεγαλύτερο για τα πιο ισχυρά υπόβαστρα και τα πιο ασθενή ενέματα.
	HL2, HL3		0.75	
28	G1, G2, G4	0.45		
180	HL2		πτωτική τάση	Με την ηλικία, η γραμμική προσέγγιση μοιάζει πιο καλή, με δεδομένη και την εν χρόνω μείωση των τιμών της $\tau_u$ .
	G1, G2, G4		0.55	

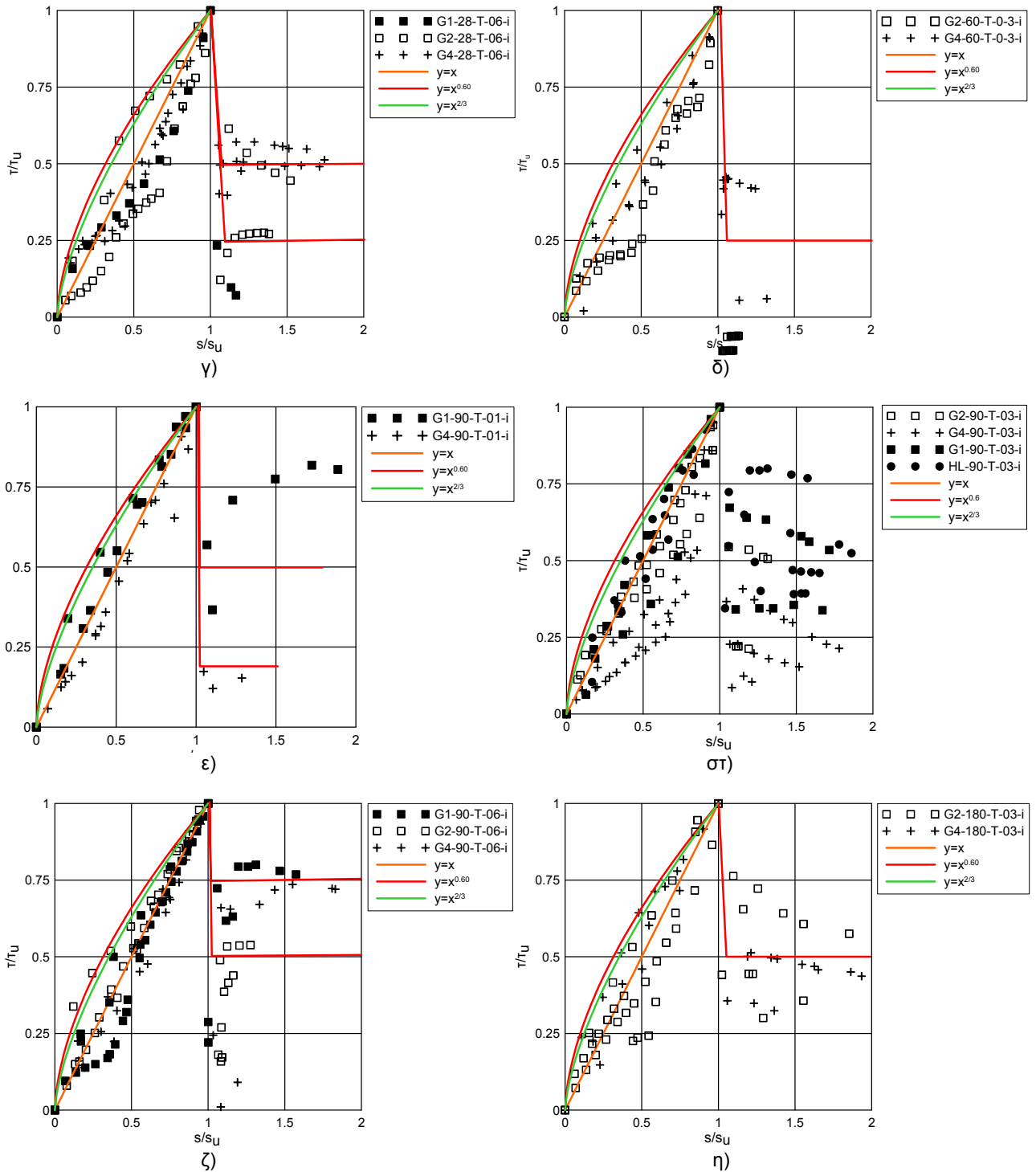


**Εικόνα E36.** Ανηγμένες καμπύλες  $\tau/T_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια μαρμάρου και α) ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (28 ημέρες) β) τριμερών ενεμάτων (28 ημέρες) και γ) τριμερών ενεμάτων ή ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου (90 ή 180 ημέρες).

**ΤΡΙΜΕΡΗ ΕΝΕΜΑΤΑ Ή ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ/ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ (β=0.60)**

ηλικία	Κωδικός ενέματος	$\frac{s}{s_U} \leq 1.0$	$\frac{s}{s_U} \geq 1.0$	Σχόλια
28	G2 $\sigma_n=0.1\text{MPa}$	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{0.6}$	0.25	Δεν διακρίνεται σαφής διαφοροποίηση αναλόγως του τύπου του ενέματος. Η περιγραφή μέσω των παραβολικών καμπυλών (για $\beta=0.6$ ή $2/3$ ) δεν είναι επαρκής. Αντιθέτως, πιο καλή προσέγγιση των πειραματικών σημείων επιτυγχάνεται με την γραμμική σχέση. Βεβαίως, τα περισσότερα σημεία βρίσκονται κάτω από την καμπύλη « $y=x$ ». Μετά την αστοχία, το ποσοστό της παραμένουσας τριβής είναι μεγαλύτερο για το πιο ασθενές ένεμα.
	G4 $\sigma_n=0.1\text{MPa}$	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{2/3}$ $\frac{T}{T_U} = \frac{s}{s_U}$	0.50	
28	G1, G4, HL G2 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$		0.50 0.25	Ομοίως με πριν, τα σημεία είναι πιο κοντά στην γραμμική σχέση.
28	G4, G1, G2 $\sigma_n=0.6\text{MPa}$		0.50 0.25	
60	G2, G4 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$		0.25	Με την ηλικία, η γραμμική προσέγγιση μοιάζει πιο καλή, με δεδομένη και την εν χρόνω μείωση των τιμών της $\tau_u$ .
90	G1 G4 $\sigma_n=0.1\text{MPa}$		0.50 0.20	
	G1, G4, HL G2 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$			
	G1, G4, G2 $\sigma_n=0.6\text{MPa}$		0.75 0.50	
180	G2, G4 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$		0.50	

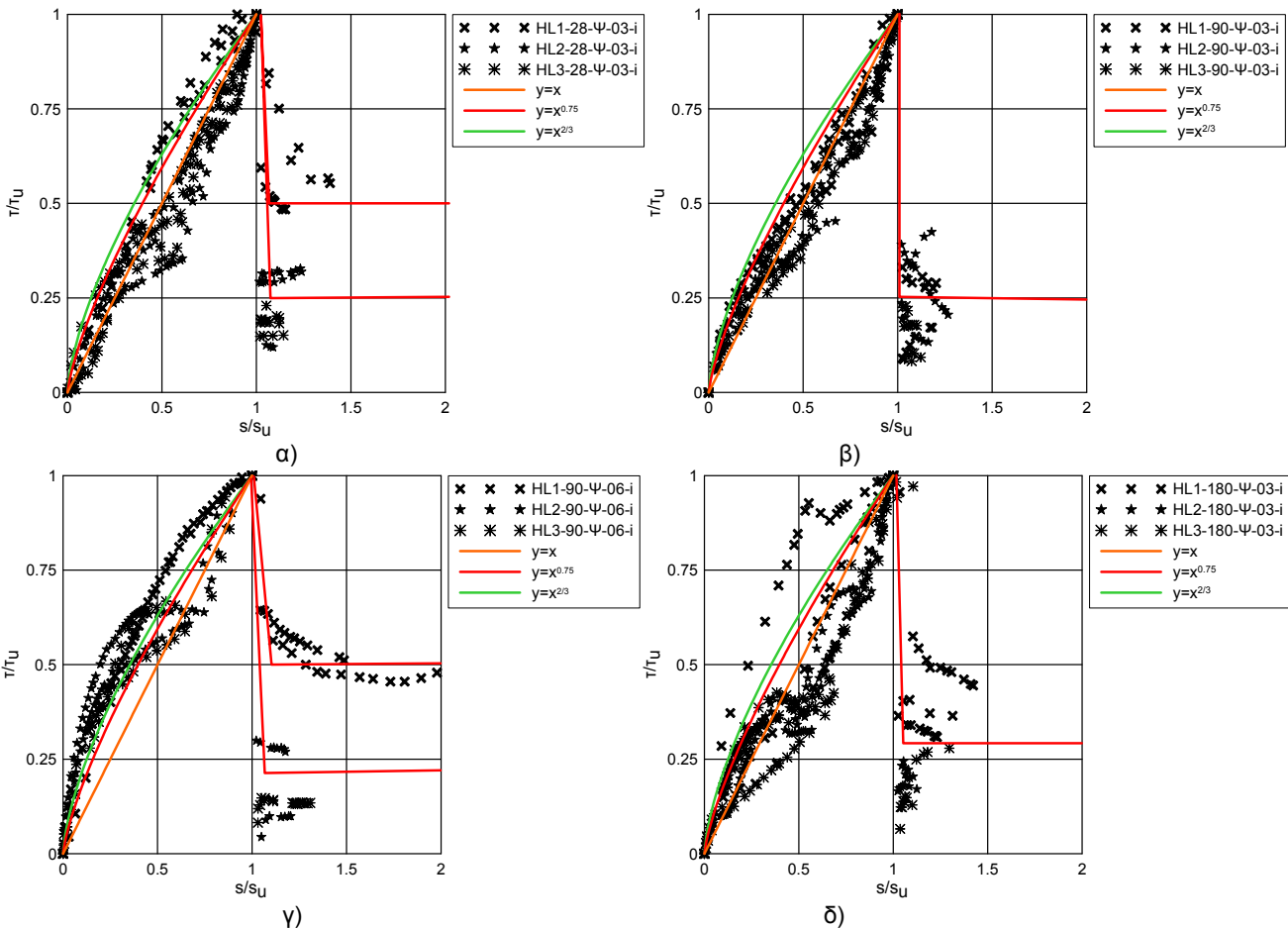




**Εικόνα Ε37.** Ανηγμένες καμπύλες  $\tau/\tau_u$ - $s/s_u$  για σύνθετα δοκίμια τραβερτίνη και τριμερών ενεμάτων στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), β) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), δ) 60 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), ε) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), στ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), ζ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ) και η) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

**ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ/ΨΑΜΜΙΤΗΣ (β=0.75)**

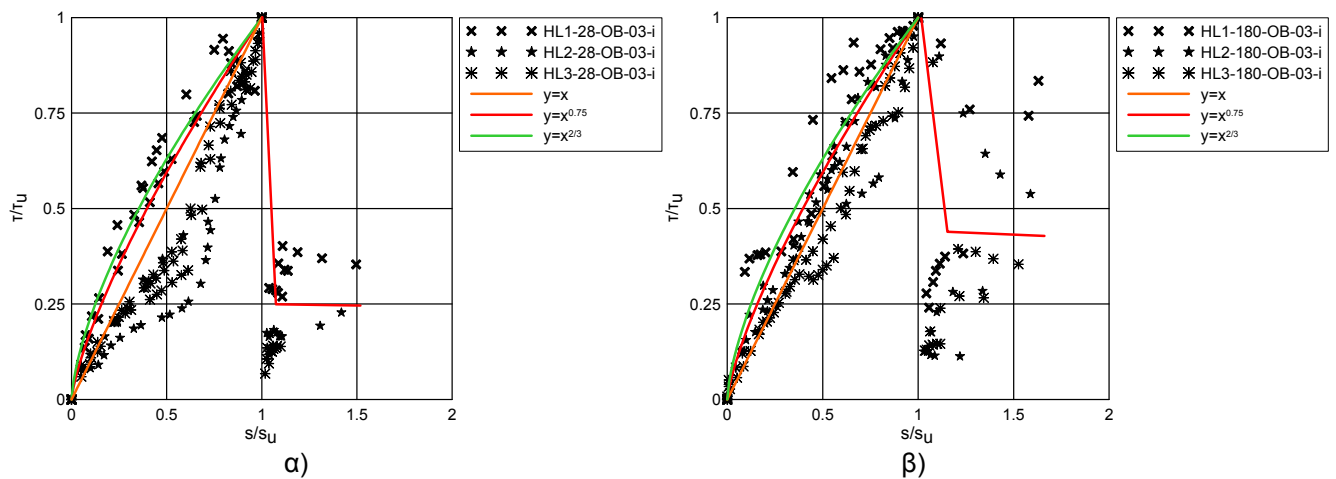
ηλικία	Κωδικός ενέματος	$\frac{s}{s_U} \leq 1.0$	$\frac{s}{s_U} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{0.75}$	0.50	Στο πιο ασθενές ένεμα, η προσέγγιση με την καμπύλη παραβολικής μορφής για εκθέτη ίσο με 2/3 φαίνεται ικανοποιητική.
	HL2, HL3	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{2/3}$	0.25	Στα πιο «ισχυρά» ενέματα, η γραμμική σχέση φαίνεται να προσεγγίζει καλύτερα τις πειραματικές καμπύλες.
	HL1, HL2, HL3	$\frac{T}{T_U} = \frac{s}{s_U}$		Σημειώνεται ότι για τα πιο μαλακά ενέματα, το ποσοστό της παραμένουσας τριβής επί της μέγιστης είναι μεγαλύτερο.
90	HL1, HL2, HL3 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$		0.25	Λιγότερο διασπαρμένα από πριν.
	HL1, HL2, HL3 $\sigma_n=0.6\text{MPa}$		0.50 0.25	
180	HL1, HL2, HL3		0.30	Πιο διασπαρμένα τα αποτελέσματα → μη αναμενόμενο.



**Εικόνα Ε38.** Ανηγμένες καμπύλες  $\tau/\tau_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ) και δ) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

**ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΙ/ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ (β=0.75)**

ηλικία	Κωδικός ενέματος	$\frac{s}{s_U} \leq 1.0$	$\frac{s}{s_U} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1	$\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{0.75}$ $\frac{T}{T_U} = \left(\frac{s}{s_U}\right)^{2/3}$ $\frac{T}{T_U} = \frac{s}{s_U}$	0.25 έως 0.35	Στο πιο ασθενές ένεμα, η προσέγγιση με την καμπύλη για β=2/3 φαίνεται ικανοποιητική.
	HL2, HL3		0.10 έως 0.25	Στα πιο ισχυρά ενέματα, τα πειραματικά σημεία βρίσκονται εν γένει κάτω από την εξίσωση «γ=x».
	HL1, HL2, HL3			Μια εναλλακτική προσέγγιση είναι μέσω της γραμμικής σχέσης. Σημειώνεται ότι, στην περίπτωση των πιο μαλακών ενεμάτων ή όταν παρατηρούνται εν χρόνω πτώσεις της τ <sub>υ</sub> , το ποσοστό της παραμένουσας τριβής επί της μέγιστης είναι μεγαλύτερο.
180	HL1, HL2, HL3		0.10 έως 0.80	Επίσης, σε μεγαλύτερες ηλικίες (με πτώση της τ <sub>υ</sub> ) οι μέση τιμή στα ανηγμένες πειραματικές καμπύλες βρίσκονται πιο κοντά στην ευθεία «γ=x».



**Εικόνα E39.** Ανηγμένες καμπύλες  $\tau/\tau_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια πλίνθων και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και β) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).



**E.2.9.2 Καμπύλες  $\frac{W}{W_u} - \frac{S}{S_u}$** 

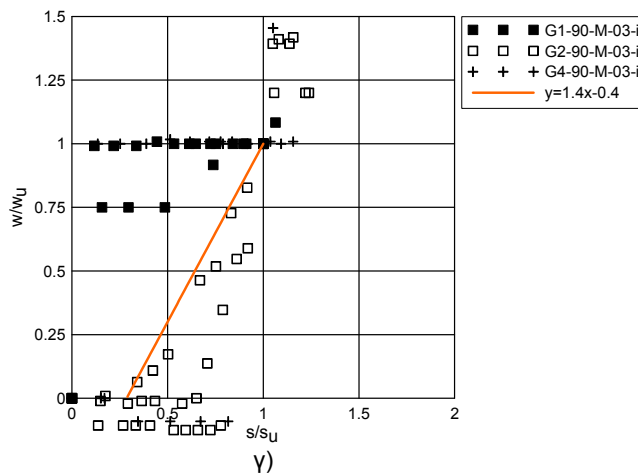
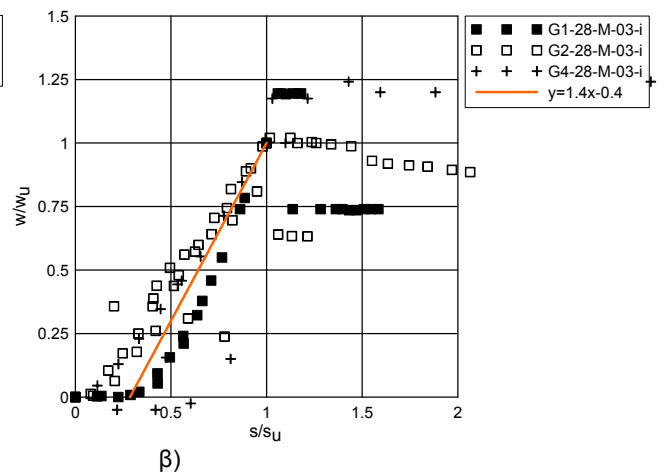
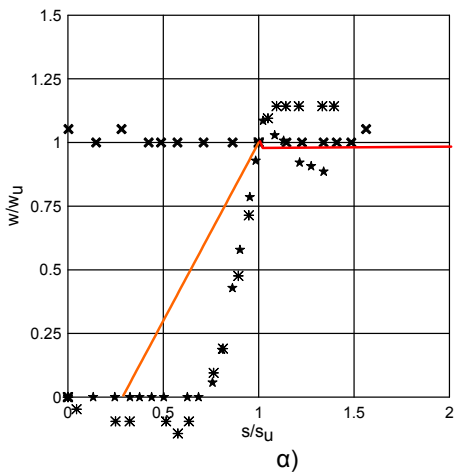
Καθώς από την παραπάνω διερεύνηση προέκυψε ότι, η γραμμική σχέση «y=x» προσεγγίζει πιο ικανοποιητικά τα πειραματικά σημεία των καμπυλών  $\tau/\tau_u - s/s_u$ , για την πρόβλεψη των καμπυλών  $\tau/\tau_u - s/s_u$  αναζητήθηκε αντίστοιχης μορφής γραμμική σχέση. Στα παρακάτω δίδονται τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης.





**ΤΡΙΜΕΡΗ ΕΝΕΜΑΤΑ Ή ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΑΣΒΕΣΤΟΙ/ΜΑΡΜΑΡΟ Ή ΤΕΦΡΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ (β=0.40)**

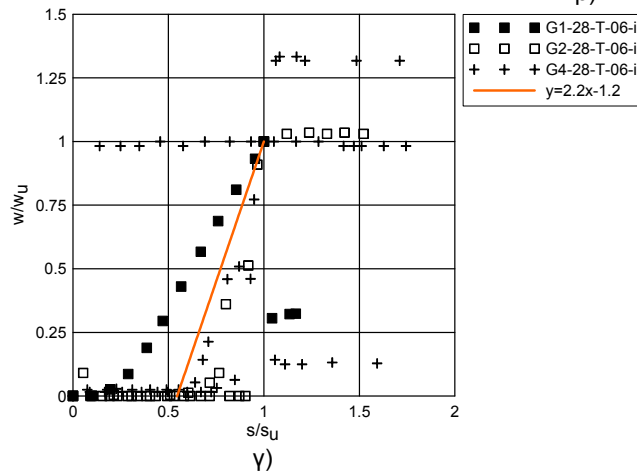
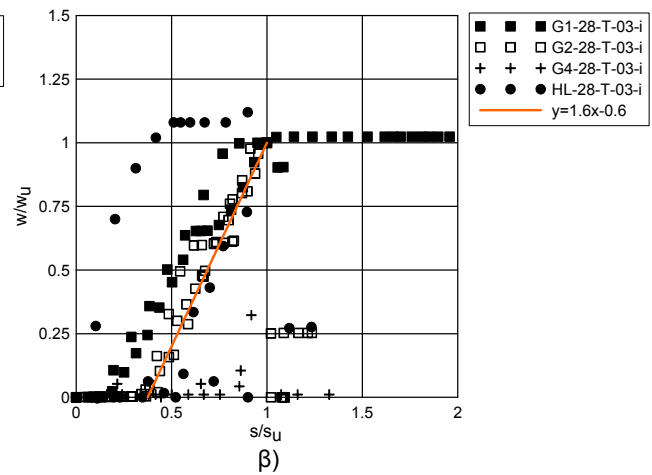
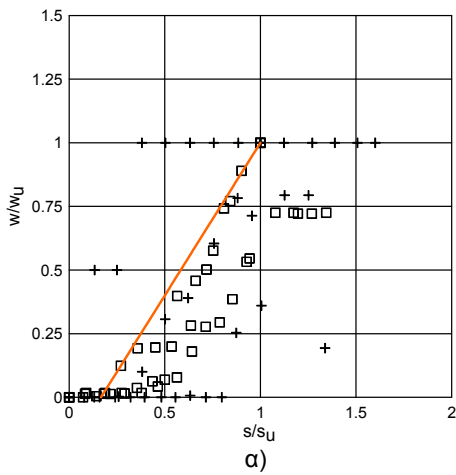
ηλικία	Κωδικός ενέματος	$A1 \leq \frac{s}{s_u} \leq 1$	$\frac{s}{s_u} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1, HL2, HL3	$\frac{w}{w_u} = (1 + \varepsilon\beta/\gamma) \left( \frac{s}{s_u} \right) - \varepsilon\beta/\gamma$  $A1 = \frac{\varepsilon\beta}{\gamma \left( 1 + \frac{\varepsilon\beta}{\gamma} \right)}$  β: συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου	1	ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΣ ΔΕΙΓΜΑ
28	G1, G2, G4	γ: συντελεστής που εκφράζει τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών (εδώ =1)	1	
180	G1, G2, G4	ε: ένας διορθωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης.  $\varepsilon = \sigma_n / 0.3 \text{MPa}$	1	ΜΗ ΕΠΑΡΚΕΣ ΔΕΙΓΜΑ

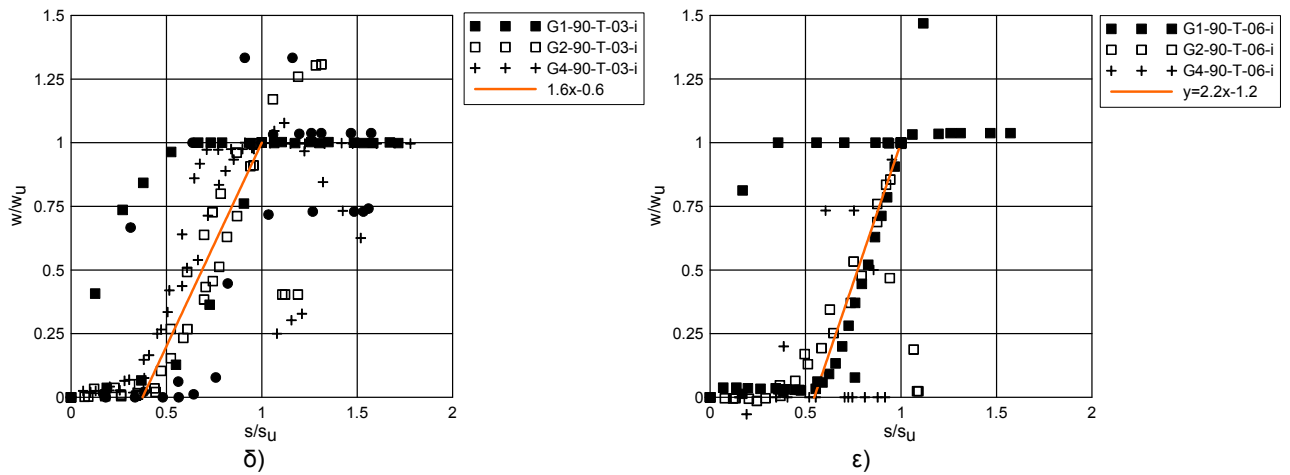


**Εικόνα Ε40.** Ανηγγμένες καμπύλες  $w/w_u - s/s_u$  για σύνθετα δοκίμια ενεμάτων και α) τεφρού ασβεστόλιθου (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), β) μαρμάρου (28 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και γ) μαρμάρου (90 ημέρες,  $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).

**ΤΡΙΜΕΡΗ ΕΝΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ/ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ (β=0.60)**

ηλικία	Κωδικός ενέματος	$A1 \leq \frac{S}{S_u} \leq 1$	$\frac{S}{S_u} \geq 1.0$	Σχόλια
28	G2, G4 $\sigma_n=0.1\text{MPa}$	$\frac{w}{w_U} = (1 + \varepsilon\beta/\gamma) \left(\frac{S}{S_u}\right) - \varepsilon\beta/\gamma,$	1	
28	G1, G4, HL G2 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ $\sigma_n=0.6\text{MPa}$	$A1 = \frac{\varepsilon\beta}{\gamma \left(1 + \frac{\varepsilon\beta}{\gamma}\right)}$	1	
60	G2, G4 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$	$\beta$ : συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου		
180	G2, G4 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$	$\gamma$ : συντελεστής που εκφράζει τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμών (εδώ =1)		
90	G1, G4, HL G2 $\sigma_n=0.3\text{MPa}$	$\varepsilon$ : ένας διορθωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης.	1	
	G1, G4, G2 $\sigma_n=0.6\text{MPa}$	$\varepsilon = \sigma_n/0.3\text{MPa}$	1	

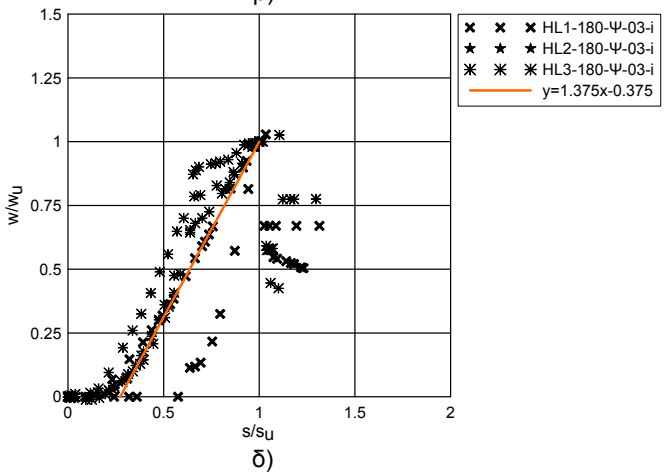
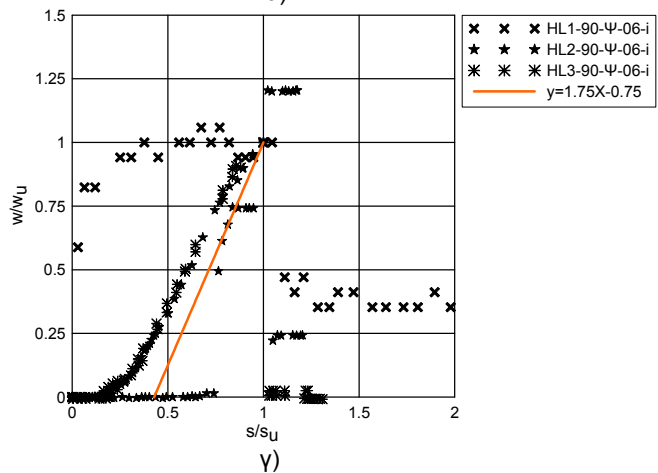
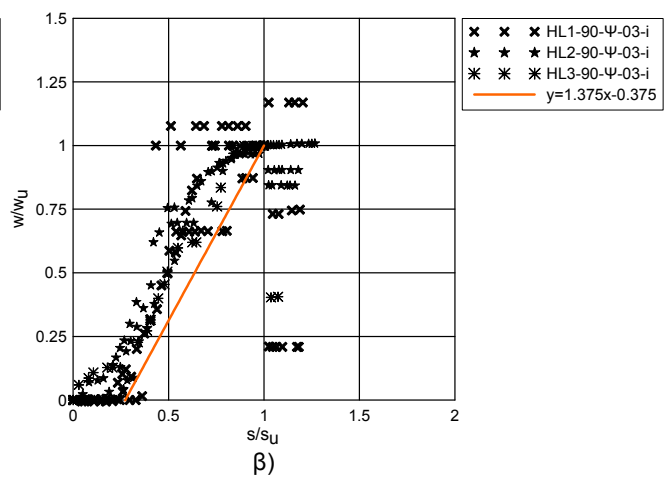
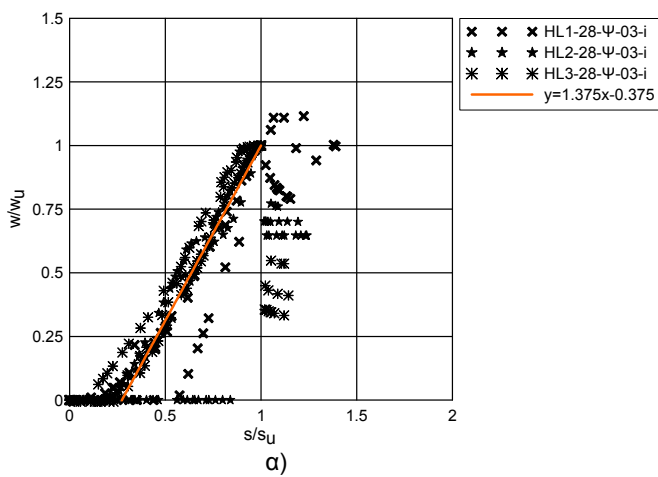




**Εικόνα Ε41.** Ανηγγμένες καμπύλες  $w/w_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια τραβερίνη και τριμερών ενεμάτων στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.1\text{MPa}$ ), β) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ), γ) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ), δ) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και ε) 90 ημέρες ( $\sigma_n=0.6\text{MPa}$ ).

**ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ/ΨΑΜΜΙΤΗΣ (β=0.75)**

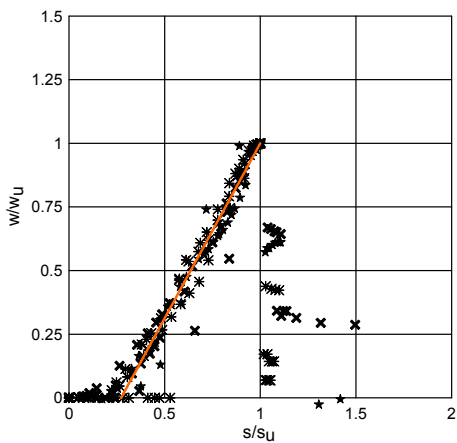
ηλικία	Κωδικός ενέματος	$A1 \leq \frac{s}{s_u} \leq 1$	$\frac{s}{s_u} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1, HL2, HL3	$\frac{w}{w_U} = (1 + \varepsilon\beta/\gamma) \left( \frac{s}{s_u} \right) - \varepsilon\beta/\gamma,$ $A1 = \frac{\varepsilon\beta}{\gamma \left( 1 + \frac{\varepsilon\beta}{\gamma} \right)}$ <p>β: συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου</p> <p>γ: συντελεστής που εκφράζει τον</p>	1	
90	HL1, HL2, HL3 σ <sub>n</sub> =0.3MPa	<p>τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων (εδώ =2)</p> <p>ε: ένας διορθωτικός συντελεστής, ο</p>	1	
90 180	σ <sub>n</sub> =0.6MPa σ <sub>n</sub> =0.3MPa	<p>οποίους λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης.</p> <p>ε=σ<sub>n</sub>/0.3MPa</p>	1	Η προσέγγιση, κυρίως, για τις υψηλότερη στάθμη της ορθής θλιπτικής τάσης δεν θεωρείται ικανοποιητική.



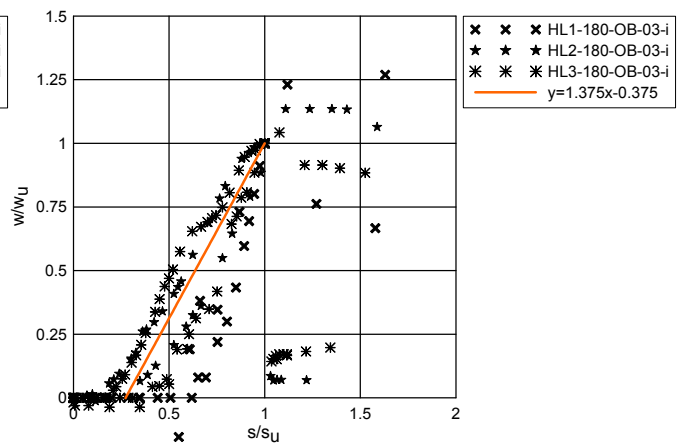
**Εικόνα Ε42.** Ανηγμένες καμπύλες  $w/w_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια ψαμμίτη και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες (σ<sub>n</sub>=0.3MPa), β) 90 ημέρες (σ<sub>n</sub>=0.3MPa), γ) 90 ημέρες (σ<sub>n</sub>=0.6MPa) και δ) 180 ημέρες (σ<sub>n</sub>=0.3MPa).

**ΕΝΕΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ/ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΣ (β=0.75)**

ηλικία	Κωδικός ενέματος	$A1 \leq \frac{s}{s_u} \leq 1$	$\frac{s}{s_u} \geq 1.0$	Σχόλια
28	HL1, HL2, HL3	$\frac{w}{w_U} = (1 + \epsilon\beta/\gamma) \left( \frac{s}{s_u} \right) - \epsilon\beta/\gamma,$ $A1 = \frac{\epsilon\beta}{\gamma \left( 1 + \frac{\epsilon\beta}{\gamma} \right)}$	1	
180	HL1, HL2, HL3	β: συντελεστής που εκφράζει τον τύπο του υποβάθρου γ: συντελεστής που εκφράζει τον τρόπο αστοχίας των σύνθετων δοκιμίων (εδώ =2) ε: ένας διορθωτικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπ' όψιν την επιρροή της ορθής θλιπτικής τάσης. ε=σ <sub>n</sub> /0.3MPa	1	Τα αποτελέσματα είναι πιο διεσπαρμένα! Τα πιο ισχυρά ενέματα μάλλον πιο ομαλή καμπύλη από ότι το μαλακό.  Γραμμική → μετακινείται προς αριστερά άρα πιο δύσκαμπτη η συμπεριφορά.



α)



β)

**Εικόνα Ε43.** Ανηγμένες καμπύλες  $w/w_U - s/s_U$  για σύνθετα δοκίμια πλίνθων και ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου στις α) 28 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ) και β) 180 ημέρες ( $\sigma_n=0.3\text{MPa}$ ).



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- (1) Binda L., Modena C. and Baronio G. 1993. "Strengthening of masonries by injection technique", 6th North American Masonry Conf., I, 1-14, Philadelphia.
- (2) Binda L., Baronio G. and Tiraboschi C. 1993. "Repair of brick-masonries by injection of grouts: Experimental Research", Journal of Structural Engineering, 20, 1, 29-44.
- (3) Binda L., Modena C., Baronio G., Abbaneo S. 1997. "Repair and investigation techniques for stone masonry walls", Construction and Building Materials, 11, 3, 133-142.
- (4) Binda L., Saisi A., Tedeschi C. 2006. "Compatibility of materials used for repair masonry buildings: Research and Applications", Fracture and Failure of Natural Building Stones, 167–182.
- (5) ICCROM 1982. "Mortars, cements and grouts used in the conservation of historic building". Proceedings of International Symposium, Rome (3-6 November 1981).
- (6) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- (7) Mororpoulou A., Bakolas A. and Moundoulas P. 2000a. "Criteria and methodology for restoration mortars compatible to the historic materials and structures". Proceedings of 9th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Venice, 403-412.
- (8) Mororpoulou A., Bakolas A., Moundoulas P. and Avdelidis N.P. 2000b. "Evaluation of compatibility between restoration mortars and traditional building materials by the control of the microstructure". Proceedings «Conoscenze e Sviluppo di Criteri per la Definizione e Valutazione della Compatibilità nelle Malte per il Restauro», Scienza e Beni Culturali, Bressanone, 71-78.
- (9) Tomazevic M. 1992, "Laboratory and in-situ tests of the efficiency of grouting and tying of stone masonry walls, International Workshop on the Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Milano, 95-116.
- (10) Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tenoutasse N. and Tassios T.P. 1999. "Effect of mixing procedure on injectability of cementitious grouts", Cement and Concrete Research, Vol. 29, 867-872.



- (11) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (12) Toumbakari E.-E., Adami Ch.-E. and Vintzileou E. 2005. "Ιδιότητες και επιτελεστικότητα τριπλών ενεμάτων υδρασβέστου-φυσικής ποζολάνης-τσιμέντου με προσθήκη τεχνητών ποζολανών", 1ο Συνέδριο ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, 141-150.
- (13) -...παράθεση (Van Rickstal 2000) "Grout injection of masonry: Scientific approach and modelling", Doctor Thesis, KU Leuven, 192.
- (14) Vintzileou E. 2009, "The mechanics of three-leaf masonry before and after grouting", Symposium in honour of Luigia Binda, May, Milan.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>. ΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **ΜΕΡΟΣ Ι: ΤΡΙΣΤΡΩΤΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ**

- (1) Binda L., Fontana A. and Anti L. 1991. "Load transfer in multiple leaf masonry walls", Proceedings of 9th International Brick/Block Masonry Conference, Berlin, 1488-1497.
- (2) Binda L., Baronio G. and Tiraboschi C. 1993, "Repair of brick-masonries by injection of grouts: Experimental Research", Journal of Structural Engineering, Vol. 20, No. 1, 29-44.
- (3) Binda L., Pina-Henriques J., Anzani A., Fontana A. and Lourenco P.B. 2006. "A contribution for the understanding of load-transfer mechanisms in multi-leaf masonry walls: testing and modelling", Engineering Structures, Vol. 26, 1132-1148.
- (4) Bouineau A. 1985. "Renforcement des masonneries par injection de coulis", Proceedings of the 5th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 939-947.
- (5) Egermann R. 1991. "Experimental analysis of multiple leaf masonry wallets under vertical loading", Proceedings of the 20nd Structural, Repair and Maintenance of Historical Buildings II, Spain, 197-208.
- (6) Egermann R. 1993. "Investigations of the load bearing behaviour of multiple leaf masonry", Report of the IABSE Symposium on Structural preservation of the architectural heritage, Rome, 305-312.
- (7) Kalagri A., Miltiadou-Fezans A. and Vintzileou E. 2007. "Design and evaluation of hudraylic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures", Proceedings of the International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya, 371-378.
- (8) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.

- (9) Miltiadou-Fezans A., Vintzileou E., Papadopoulou E. and Kalagri A. 2006. "Mechanical properties of three-leaf stone masonry after grouting", Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 792-798.
- (10) Oliveira D.V., Lourenco P.B, Garbin E., Valluzzi M.R. and Modena C. 2006. "Experimental investigation on the structural behavior and strengthening of three-leaf stone masonry walls", Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 818-826.
- (11) prEN 1996-1-1: 2002. "Eurocode 6: Design of Masonry Structures-Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures".
- (12) Tomazevic M. and Sheppard P. 1982. "The strengthening of stone-masonry buildings for revitalization in seismic regions", 7th European Conference on Earthquake Engineering, Athens, Vol5. , 275-282.
- (13) Tomazevic M., Weiss P., Velechovsky T. and Apih V. 1991. "The strengthening of stone masonry walls with grouting", Proceedings of the 2nd Structural, Repair and Maintenance of Historical Buildings II, Spain, 215-225.
- (14) Tomazevic M. 1992. "Laboratory and in-situ tests of the efficiency of grouting and tying of stone masonry walls, International Workshop on the Effectiveness of injection techniques for retrofitting of stone and brick masonry walls in seismic areas, Milano, 95-116.
- (15) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (16) Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tassios T. and Vintzileou E. 2003. "Effect of the mechanical properties of injection grouts on the structural behaviour of three leaf masonry walls", Proceedings of the 9th North American Masonry Conference, South Carolina.
- (17) Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tassios T.P. and Vintzileou E. 2004. "Experimental investigation and analytical modeling of the effect of injection grouts on the structural behaviour of three-leaf masonry walls", Proceedings International Seminar 'Structural Analysis of Historical Constructions', Padua, Balkema Publ., 707-717.
- (18) Valluzzi, M.R. 2000. "Comportamento meccanico di murature storiche consolidate con materiali e tecniche a base di calce", Doctor Thesis, Università di Trieste.
- (19) Valluzzi M.R., da Porto F. and Modena C. 2001. "Behavior of multi-leaf stone masonry walls strengthened by different intervention techniques", Proceedings of the 3rd International Seminar on "Structural Analysis of Historical Constructions" Guimaraes, Portugal, 1023-1032.
- (20) Valluzzi M.R. 2003. "Consolidamento e recupero delle murature", Faenza editrice, Faenza.

- (21) Valluzzi M.R., da Porto F. and Modena C. 2004. "Behavior and modelling of strengthened three-leaf stone masonry walls", *Materials and Structures*, Vol. 37, 184-192.
- (22) Vintzileou E. and Tassios T. 1995. "Three-leaf stone masonry strengthened by injecting cement grout", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 121, No. 5, 848-856.
- (23) Vintzileou E. 2006. "Grouting of three-leaf stone masonry: types of grouts, mechanical properties of masonry before and after grouting", *Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions*, New Delhi, 41-58.
- (24) Vintzileou E., Miltiadou-Fezans A., Vrouva A. and Anagnostopoulou S. 2006. "Mechanical properties of three-leaf stone masonry", *Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions*, New Delhi, 783-790.
- (25) Vintzileou E. 2007. "Grouting of three-leaf masonry: Experimental results and prediction of mechanical properties", *Seminario Internazionale, Evoluzione Nella Sperimentazione per le costruzioni*, Cipro, 172-189.
- (26) Vintzileou E. and Miltiadou-Fezans A. 2007. "Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts", *Journal of Engineering Structures*, 2265-2276.

## **ΜΕΡΟΣ II: ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ**

- (1) Abdou L., Ami Saada R., Meftah F. and Mebarki A. 2006. "Experimental investigations of the joint-mortar behaviour", *Mechanics Research Communications*, 33, 370-384.
- (2) Abu-Tair A.I., Rigden S.R. and Burley E. 1996. "Testing the bond between repair materials and concrete substrate", *ACI Mater. J.*, 553-558.
- (3) Alexander K. M. and Wardlaw J. 1960. "Dependence of Cement-Aggregate Bond-Strength on Size of Aggregate" *Nature* 187, 230 – 231.
- (4) Alexander K.M., Wardlaw J. and Gilbert D.J 1965. "Aggregate-cement bond, cement paste strength and the strength of concrete", *International Conference on the Structure of Concrete, Cement and Concrete Association*, London, 59-81.
- (5) Alexander M.G. 1993. "Two experimental techniques for studying the effects of the interfacial zone between cement paste and rock", *Cement and Concrete Research*, 23, 567-575.
- (6) Alexander M.G., Mindess S., Diamond S. and Qu L. 1995. "Properties of paste-rock interfaces and their influence on the composite behaviour", *Materials and Structures*, 28, 497-506.

- (7) Almeida J.C., Lourenco P.B. and Barros J.A. 2002. "Characterization of brick and brick-mortar interface under uniaxial tension", 7<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries.
- (8) Amde M., Vide A. and Colville J. 2008. "A new test method for flexural bond strength of masonry prisms", Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference, Sydney.
- (9) Appa Rao G. and Raghu Prasad B.K. 2002. "Influence of the Roughness of Aggregate Surface on the Interface Bond Strength", Cement and Concrete Research, 32, 253-257.
- (10) Aquino M., Li Z. and Shah S. 1995. "Mechanical properties of the aggregate and cement interface", Journal of Advanced Cement-Based Materials, 2, 211-223.
- (11) ASTM C496-02. "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens".
- (12) ASTM C952-02. "Standard Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units".
- (13) ASTM C1072-10. "Standard Test Method for Measurement of Masonry Flexural Bond Strength".
- (14) Atkinson R. H., Amadei B. P., Saeb S., and Sture S. 1989. "Response of masonry bed joints in direct shear." Journal of Structural Engineering, 115, 9, 2276–2296.
- (15) Austin S.A., Robins P.J. and Pan Y. 1995. "Tensile bond testing of concrete repairs", Mat. and Struct., 28, 249–259.
- (16) Austin S., Robins P. and Pan Y. 1999. "Shear bond testing of concrete repairs", Cement and Concrete Research 29, 7, 1067-1076.
- (17) Baker L.R. 1979. "Some factors affecting the bond strength of brickwork", Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Brick Masonry Conference, Washington, USA, 84-89.
- (18) Barnes B.D., Diamond S. and Dolch W.L. 1978. "Hollow shell hydration of cement particles in bulk cement paste", Cement and Concrete Research, 8, 263-272.
- (19) Barnes B.D., Diamond S. and Dolch W.L. 1978. "The contact zone between Portland cement paste and glass "aggregate" surfaces", Cement and Concrete Research, 8, 234-244.
- (20) Bei G. and Papayianni I. 2004. "Experimental study of shear bond strength of traditional masonry", Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference, Amsterdam.
- (21) Bentur A. and Cohen M.D. 1987. "Effect of condensed silica fume on the microstructure of the interfacial zone in Portland cement mortars", Journal of American Ceramic Society, 70, 10, 738-743.
- (22) Bentur A., Goldman A., and Cohen M.D. 1988. "The contribution of the transition zone to the strength of high quality silica fume concretes", Mindess S. & Shah S. eds., MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites", 97-103.

- (23) Borchelt J.G., Tann P.E. and J.A. "Bond strength and water penetration of low IRA brick and mortar", <http://www.maconline.org/tech/materials/ira.pdf>.
- (24) Bosiljkov V.B., Sugo H.O., Page A.w. and Lawrence S.J. 2004. "The influence of cement replacement materials on the flexural bond strength of masonry", Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference, Amsterdam.
- (25) Bourdette B., Ringot E. and Ollivier J.P. 1995. "Modelling of the transition porosity", Cement and Concrete Research, 25, 4, 741-751.
- (26) Breton D., Carles-Gibergues A., Ballivy G. and Grandet J. 1993. "Contribution to the formation mechanism of the transition zone between rock-cement paste", Cement and Concrete Research, 23, 335-346.
- (27) Buck A.D. and Dolch W.L. 1966. "Investigation of a reaction involving non-dolomitic limestone aggregate in concrete" J. Amer.Concr.Inst., 63, 7, 755-763.
- (28) Cabrera J.G. and Al-Hasan A.S. 1997. "Performance properties of concrete repair materials", Construction and Building Materials, 11, 5-6, 283-290.
- (29) Cather B. 1994. "Curing: the true story?", Magazine of Concrete Research, 46, 168, 157-161.
- (30) ...παράθεση Danish Building Research Institute 1999. "Bending and Shear Tests with Masonry", Bulletin 123, 40.
- (31) Debieb F. and Kenai S. 2008. "The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete", Construction and Building Materials, 22, 886-893.
- (32) Davison J.I. 1961. "Loss of moisture from fresh mortars to bricks", Materials Research and Standards, 1, 5, 385-388.
- (33) Delatte N. J., Williamson M. S. and Fowler D. W. 2000. "Bond Strength Gain with Maturity of High Early Strength Bonded Concrete Overlays", ACI Materials Journal, 201-207.
- (34) Dias M. 2007. "Cracking due to shear in masonry mortar joints and around the interface between masonry walls and reinforced concrete beams", Construction and Building Materials, 21, Issue 2, 446-457.
- (35) Domède N., Pons G., Sellier A. and Fritih Y. 2009. "Mechanical behaviour of ancient masonry", Materials and Structures, 42, 123-133.
- (36) Drysdale R.G., Vanderkeyl R. And Hamid A.A. 1979. "Shear strength of brick masonry joints", Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Brick Masonry Conference, Washington, USA, 106-113.
- (37) El-Sakhawy N.R., Abdel Raof H. and Gouhar A. 2002. "Shearing Behavior of Joints in Load-Bearing Masonry Wall", J. Mat. in Civ. Engineering, 14, 2, 145-150.
- (38) EN 1052-5: 2005. "Methods of test for masonry - Part 5: Determination of bond strength by the bond wrench method".

- (39) Farran J. 1956. "Contribution minéralogique à l'étude de l'adhérence entre les constituants hydratés des ciments et les matériaux enrobés", *Revue des Matériaux de Construction et Travaux Publics*, 490-491, 155-172.
- (40) Geissert D.G., Li S.E., Frantz G.C. and Stephens E.J. 1999. "Splitting prism test method to evaluate concrete-to-concrete bond strength", *ACI Mater. J.*, 96, 3, 359–366.
- (41) Garbacz A., Courard L. and Kostana K. 2006. "Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems", *Materials Characterization*, 56, 281-289.
- (42) Goodwin J.F. and West H.W.H. 1982. "A review of the literature on brick/mortar bond", *Load-bearing brickwork (7)*, West H.W.H, Editor, *Proceedings of the British Ceramics Society*, No. 30, Stoke-on-Trent, England: British Ceramic Society, 23-37.
- (43) Grandet J. and Ollivier J.P. 1980. "Etude de la formation du monocarboaluminate de calcium hydrate au contact d'un granulat calcaire dan une pate de ciment Portland", *Cement and Concrete Research*, 10, 759-770.
- (44) Gregoire Y. and de Barquin F. 2004. "Mortar-brick bond strength of glued masonry for veneer walls", *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (45) Groot C. 1993. "Effects of water on mortar-brick bond", PhD Thesis, Delft University of Technology, 187.
- (46) Groot C.J.W.P. 1995. "Effects of Water on Mortar-Brick Bond", *Heron*, 40, 1, 57-70.
- (47) Groot C.J.W.P. and Larbi J. 1999. "The Influence of Water Flow (Reversal) on Bond Strength Development in Young Masonry", *Heron*, 44, 2, 63-78.
- (48) Gu P., Xie P. and Beaudoin J.J. 1993. "Microstructural characterization of the transition zone in cement systems by means of A.C. impedance spectroscopy" *Cement and Concrete Research*, 23, 581-591.
- (49) Hanley R. and Pavia S. 2008. "A study of the workability of natural hydraulic lime mortars and its influence on strength", *Materials and Structures*, 4(2), 373–381.
- (50) Hendry A.W. 1998. "Structural masonry", (2nd edition ed.), Macmillan Press Ltd, London, 71–89.
- (51) Hori N., Inoue N., Purushotam D., Nishida T. and Kobayashi J. 2006. "Experimental and analytical studies on earthquake resisting behaviour of confined concrete block masonry structures", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 35, 1699-1719.
- (52) Hsu T.C. and Slate F.O. 1963. "Tensile Bond Strength Between Coarse Aggregate and Cement Paste or Mortar." *ACI Journal*, *Proceedings* 60, 4, 465-486.

- (53) Husem M. 2003. "The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-cement paste on mechanical properties of concrete", *Materials Science and Engineering, A* 363, 152-158.
- (54) Isberner A.W. 1969. "Properties of masonry cement mortars", *Research and Development Bulletin RD 019.01M*, Portland Cement Association.
- (55) Jiang L. 1999. "The interfacial transition zone and bond strength between aggregates and cement pastes incorporating high volume of fly ash", *Cement and Concrete Composites*, 21, 313-316.
- (56) Júlio E.N.B.S., Branco F.A.B. and Silva V.D. 2004. "Concrete-to-concrete bond strength. Influence of the roughness of the substrate surface" *Construction and Building Materials*, 18, 9, 675-681.
- (57) Khalf F.M. 1998. "Simple test for the determination of masonry flexural bond strength", *Proceedings of the Fifth International Masonry Conference*, 8, 23-27.
- (58) Khalf F.M. 2005. "New test for determination of masonry tensile bond strength", *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, Nov-Dec, 725-732.
- (59) Khalf F.M. 2008. "The point bending test to determine masonry shear bond strength", *Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Brick and Block Masonry Conference*, Sydney.
- (60) Koliass S., Williams R. I. T. 1978. "Uni-axial tension tests on cement-stabilised granular materials", *ASTM, Geotechnical Testing Journal*, 1, 4, 190-198.
- (61) Kreigh J.D. 1976. "Arizona Slant Shear Test", *Journal of ACI*, 73, 372–373.
- (62) Kuroda M., Watanabe T. and Terashi N. 2000. "Increase of bond strength at interfacial transition zone by the use of fly ash", *Cement and Concrete Research*, 30, 253-258.
- (63) Lange D.A., DeFord H.D. and Werner A.M. 1999. "Microstructural Investigation of Mortar/unit Interaction" *TMS Journal (journal of The Masonry Society)*, 17, 1, 31-44.
- (64) Larbi J.A. and Bijen M.J.M. 1990. "Orientation of calcium hydroxide at the Portland cement aggregate interface in mortars in the presence of silica fume: a contribution" , *Cement and Concrete Research*, 20, 461-470.
- (65) Li G.Y., Xie H.C. and Xiong G.J. 2001. "Transition zone studies of new-to-old concrete with different binders", *Cement and Concrete Research*, 23, 381-387.
- (66) Li G. 2003. "A new way to increase the long-term bond strength of new-to-old concrete by the use of fly ash", *Cement and Concrete Research*, 33, 799-806.
- (67) Lourenco P.B., Barros J.O and Oliveira J.T. 2004." Shear testing of stack bonded masonry", *Construction and Building Materials*, 18, 125–132.

- (68) Lyubimova, T. Yu and Pinus E.R., 1962. "Crystallization structure in the contact zone between aggregate and cement in concrete", *Colloid J. USSR*, 24, 5, 491-498.
- (69) Malyszko L. 2005. "In-plane shear and tensile strength tests of small brickwork specimens", *Proceedings of the International Seminar 'Structural Analysis of Historical Constructions'*, Padua, Balkema Publ., 291-298.
- (70) Marzahn G. 1996. "Improving the Shear Bond Behaviour of Masonry", *LACER*, No. 1, pp. 245-268.
- (71) Maso J.-C. 1980. The bond between aggregates and hydrated cement pastes, 7th Int. Cong. on the Chem. of Cement, Paris, France, 3, VII-1/3 -VII-1/15 (1980).
- (72) McGinley W. M. 1990. "IRA and the Flexural Bond Strength of Clay Brick Masonry", *ASTM STP 1063: Masonry - "Components to Assemblages"*, 217-234.
- (73) Mehta P. and Monteiro P. 2005. "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", 3rd edition, McGraw-Hill Professional Pubs., 659.
- (74) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- (75) Miltiadou-Fezans A. 1998. "Criteria for the design of Hydraulic grouts injectable into fine cracks and evaluation of their efficiency", In book *Compatible materials for the protection of European cultural heritage [Volume 2] PACT*, 56, Technical Chamber of Greece, 149-163.
- (76) Mindess S. 1988. "Bonding in cementitious composites, how important is it?", Mindess S. & Shah S. eds., in *MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites"*, 3-10.
- (77) Minoru K., Toshiro K., Yuichi U. and Keitetsu R. 2001. "Evaluation of bond properties in concrete repair materials", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Mar-Apr, 98-105.
- (78) Mitsui K., Li Z., Lange D. and Shah S. 1994. "Relationship between microstructure and mechanical properties of the paste-aggregate interface", *ACI Materials Journal*, Jan-Feb, 30-39.
- (79) Monteiro P.J.M and Mehta P.K. 1985. "Ettringite formation on the aggregate-cement paste interface", *Cement and Concrete Research*, 15, 378-380.
- (80) Monteiro P.J.M. 1986. "Improvement of the aggregate-cement paste transition zone by grain refinement of hydration products, 8th Int. Cong. on the Chem. of Cement, Rio, Brasilia, 3, 433-437.
- (81) Monteiro P.J.M and Mehta P.K. 1986. "Interaction between carbonate rock and cement paste", *Cement and Concrete Research*, 16, 127-134.
- (82) Momayez A., Ehsani M. R., Ramezani pour A. A. and Rajaie H. 2005. "Comparison of methods for evaluating bond strength between



- concrete substrate and repair materials”, *Cement and Concrete Research*, 35, 748-757.
- (83) Momayez A., Ramezani pour A.A., Rajaie H. and Ehsani M.R. 2004. “Bi-surface shear test for evaluating the bond between existing and new concrete” *ACI Mater J*, 101, 2, 99–106.
- (84) Odler I. and Zurz A. 1988. “Structure and bond strength of cement-aggregate interfaces”, Mindess S. & Shah S. eds., in *MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites"*, 21-27.
- (85) Ollivier J.-P. and Grandet J. 1982. “Processus de formation de l'aurole de transition”, *Liaison pates de ciment matériaux associés*, Coll. Int., Toulouse, France, A.14 – A.22.
- (86) Ollivier J.P., Maso J.C. and Bourdette B. 1995. “Interfacial Transition Zone in concrete”, *Journal of Advanced Cement-Based Materials*, 2 , 30-38.
- (87) Ollivier J.-P. 1998. “Durability of Concrete”, *Boletim Tecnico de Escola Politecnica da USP, Departamento de Engenharia de Construcao Civil, San Paolo. ISSN 0103-9830*.
- (88) -...παράθεση Otsuki N., Hisada M., Diola N.B. and Uddin T. 1998. “Experimental study on interfacial transition zones in reinforced concrete”, *J. Materials, Conc. Struct., Pavements, JSCE*, 592/V39, 155-167.
- (89) Pavia S. and Hanley R. 2009. “Flexural bond strength of natural hydraulic lime mortar and clay brick”, *Materials and Structures*, DOI. 10.1617/s11527-009-9555-2.
- (90) Paulon V.A., Dal Molin D. and Monteiro P.J.M. 2004. “Statistical Analysis of the effect of mineral admixtures on the strength of the interfacial transition zone” *Interface Science*, 12, 399-410.
- (91) Perry C. and Gillot J.E. 1995. “The influence of silica fume on the strength of the cement-aggregate bond”, *ACI, SP-156*, 191-211.
- (92) prEN 1996-1-1: 2002. “Eurocode 6: Design of Masonry Structures-Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures”.
- (93) Pu-Woei Chen, Xuli Fu and Chung D.D.L. 1995. “Improving the bonding between old and new concrete by adding carbon fibers to the new concrete”, *Cement Cement and Concrete Research*, 25, 3, 491-496.
- (94) Ray I., Davalos J. and Luo S. 2005. “Interface evaluations of overlay-concrete bi-layer composites by a direct shear test method” *Cement and Concrete Composites*, 27, 3, 339-347.
- (95) Reda Taha M.M. and Shrive N.G. 2001. "The Use of Pozzolans to Improve Bond and Bond Strength" *Proceedings of the 9<sup>th</sup> Canadian Masonry Symposium*, Fredericton, NB, Canada.
- (96) Santos P.M.D, Júlio E.N.B.S., Silva V.D. 2007. “Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the

- substrate surface”, *Construction and Building Materials*, 21, 8, 1688-1695.
- (97) Sarangapani G., Venkatarama Reddy B.V. and Jagadish K.S. 2005. “Brick-mortar bond and masonry compressive strength”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Mar-Apr, 229-237.
- (98) Sarkar S., Diatta Y., and Aitcin P.-C. 1988. “Microstructural study of aggregate/hydrated paste interface in very high strength river gravel concretes”, Mindess S. & Shah S. eds., *MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites"*, 111-116.
- (99) Shrive N. G. and Reda Taha M.M. 2004. "Bond Strength of Clay Masonry Prisms Constructed with Normal and Fly Ash Substituted Mortars", *Proceedings of 13th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC)*, Amsterdam, The Netherlands.
- (100) Sinha B.P. and Hendry A.W. 1966. “Further investigations of bond tension, bond shear and the effect of precompression on shear strength of model brick masonry couplets” *Proceedings of the British Ceramic Research Association, Stoke-on-Trent, Technical Note 80*.
- (101) Stöckl S. and Hofmann P. 1986. “Tests on the shear bond behaviour of the bed joints of masonry”, *Masonry International*, 9, 372-386.
- (102) Struble L. and Skanly J. 1980. “A review of the cement-aggregate bond”, *Cement and Concrete Research*, 10, 277-286.
- (103) Struble L. and Mindess S. 1983. “Morphology of the cement-aggregate bond”, *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 5, 2, 79-86.
- (104) Struble L. 1988, “Microstructure and fracture at the cement paste-aggregate interface”, Mindess S. & Shah S. eds., in *MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites"*, 11-20.
- (105) Sugo H.O., Page A.W. and Lawrence S.J. 2000. “A study of bond strength and mortar microstructure developed using masonry cement”, *Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC)*, Madrid, Spain, 1753-1763.
- (106) Sugo H.O., Page A.W. and Lawrence S.J. 2001. “The development of mortar/unit bond”, *Proceeding of the 9<sup>th</sup> Canadian Masonry Symposium*, Frederickton, Canada, Paper 2D-2.
- (107) Tassios T.P., Spanos Ch. and Vachliotis Ch. 1987. “Constitutive laws for the behaviour of reinforced brick masonry”, *Proceedings of the 8th Hellenic Congress on Concrete*, Kavala, 1987 (in greek).
- (108) Tassios T.P. and Vintzileou E. 1987. “Concrete-to-concrete friction” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, vol. 113, 832-849.
- (109) Tasong W.A., Lynsdale C.J. and Cripps J.C. 1998. “Aggregate cement paste interface Part II. Influence of aggregate physical properties”, *Cement and Concrete Research*, 28, 1453-1465.
- (110) Tasong W.A., Lynsdale C.J. and Cripps J.C. 1999. “Aggregate cement paste interface Part I. Influence of aggregate geochemistry”, *Cement and Concrete Research*, 29, 1019-1025.

- (111) Taylor M. and Broms B. 1964. "Shear bond strength between coarse aggregate and cement paste or mortar", *Journal of the ACI* 61, 8, 939-956.
- (112) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (113) Toumbakari, E.-E., Vintzileou E., Tassios T. and Van Gemert D. 2007. "Shear Behaviour of masonry units and lime-pozzolan-cement grout interfaces", *Proceedings of the 10<sup>th</sup> North American Masonry Conference*, Missouri, 767-778.
- (114) Van der Pluijm R. 1997. "Non-linear behaviour of masonry under tension", *Heron*, 42, 1, 25-54.
- (115) Van der Pluijm R., Rutten H. and Ceelen M. 2000. "Shear behaviour of bed joints", *Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC)*, Madrid, Spain, 1848-1862.
- (116) Vasconcelos G. and Lourenco P.B. 2009. "Construction and Building Materials", 23, 3337-3345.
- (117) Venu Madhava Rao K., Venkatarana Reddy B.V. and Jagadish K.S. 1996. "Flexural bond strength of masonry using various blocks and mortars", *Materials and Structures*, 29, 119-124.
- (118) Venu Madhava Rao K., Venkatarana Reddy B.V. and Jagadish K.S. 1997. "Strength characteristics of stone masonry", *Materials and Structures*, 30, 233-237.
- (119) Venkatarama Reddy B.V., Richardson Lal, Nanjunda Rao K.S. 2007. "Enhancing bond strength and characteristics of soil-cement block masonry", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Feb, 164-172.
- (120) Venkatarama Reddy B.V. and Uday Vyas Ch. V. 2008. "Influence of shear bond strength on compressive strength and stress-strain characteristics of masonry", *Materials and Structures*, DOI. 10.1617/s11527-008-9358-x.
- (121) Wall J.S. and Shrive N.G. 1988. "Factors affecting bond between new and old concrete", *ACI Mater. J.*, 117-125.
- (122) Wang J. and Maji A.K. 1995. "Experimental studies and modelling of the concrete/rock interface" ", *ACI*, SP-156, 45-38.
- (123) Wijffels T.J. and Adan O.C.G. 2004. "Bond strength in calcium silicate facing brick masonry", *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (124) Xiong G., Liu J., Li G. and Xie H. 2002. "A way for improving interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials", *Cement and Concrete Research*, 1-5.
- (125) Xiong G., Luo B., Wu X., Li G. and Chen L. 2006. "Influence of silane coupling agent on quality of interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials", *Cement and Concrete Composites*, 28, 1, 97-101.

- (126) Yuan C.Z. and Odler I. 1987. "The interfacial zone between marble and tricalcium silicate paste", *Cement and Concrete Research*, 17, 784-792.
- (127) Yuan C. and Guo W. 1987. "Effect of bond strength between aggregate and cement paste on the mechanical behaviour of concrete", Mindess S. & Shah S. eds., in *MRS Symposium Proc. on "Bonding in cementitious composites"*, 41-47.
- (128) Yuan C.Z. and Guo W.J. 1987. "Bond between marble and cement paste", *Cement and Concrete Research*, 17, 544-552.
- (129) Zhang M.H. and Gjorv O.E. 1990. "Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste", *Cement and Concrete Research*, 20, 610-618.
- (130) Zhu M. and Chung D.D.L. 1997. "Improving brick-to-mortar bond strength by the addition of carbon fibers to the mortar", *Cement and Concrete Research*, 27, 12, 1829-1839.
- (131) Zimbelmann R. 1985. "A contribution to the problem of cement-aggregate bond", *Cement and Concrete Research*, 15, 801-808.
- (132) Zimbelmann R. 1987. "A method for strengthening the bond between cement stone and aggregates", *Cement and Concrete Research*, 17, 651-660.
- (133) Βιντζηλαίου Ε., Τουμπακάρη Ε.-Ε. και Αδάμη Χ.-Ε. 2009. "Διεξαγωγή δοκιμών για την ανάπτυξη ενός κονιάματος επισκευής συμβατού με τα υπάρχοντα λιθοσώματα στην Αμαθούντα της Κύπρου" -Αδημοσίευτα δεδομένα.
- (134) Ιγνατάκης Χ. 1991. "Αναλυτική έρευνα της απόκρισης τοιχοποιίας υπό μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρι αστοχίας", *Διδακτορική Διατριβή*, ΑΠΘ, 349.
- (135) Καββαδάς Μ. 1996. "Στοιχεία Εδαφομηχανικής", *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, 390.
- (136) Κατσάκου Μ. 2005. "Μηχανικά χαρακτηριστικά ανακυκλωμένων με τσιμέντο αμμοχάλικων και φρεζαρισμένων ασφαλομιγμάτων", *ΕΜΠ*, 368.
- (137) Κορωναίος Α. και Πουλάκος Ι. 2006. "Τεχνικά Υλικά-Τόμος 1", *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, 136.
- (138) Στρατάκος Ι., Σακελλαρίου Μ. 2006. "Ανάπτυξη συστήματος μικρο-αποτύπωσης επιφανειών βράχου", *2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών*.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

- (1) Kalagri A., Miltiadou-Fezans A. and Vintzileou E. 2007. "Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures", *Proceedings of the International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya*, 371-378.

- (2) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- (3) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (4) Valluzzi M.R., da Porto F. and Modena C. 2004. "Behavior and modelling of strengthened three-leaf stone masonry walls", *Materials and Structures*, Vol. 37, 184-192.
- (5) Vintzileou E. 2007. "Grouting of three-leaf masonry: Experimental results and prediction of mechanical properties", *Seminario Internazionale, Evoluzione Nella Sperimentazione per le costruzioni, Cipro*, 172-189.

## ΜΕΡΟΣ Ι: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

- (1) Aggelakopoulou E., Moropoulou A. and Bakolas A. 2005. "Optimization assessment of compatible repair Byzantine concrete for historic structures' restoration intervention", *Measuring, Monitoring and Modelling Concrete Properties*, eds. Konsta-Gdoutos M.S., 675-684.
- (2) Alvarez V.I.P. 2006 "Performance Analysis of Hydraulic Lime Grouts for Masonry Repair, Master Thesis, University of Pennsylvania, 164.
- (3) Ambroise J., Maximilien S. and Pera J. 1994. "Properties of metakaolin blended cements", *Advanced Cement Based Materials*, 1, 4, 161-168.
- (4) ASTM C97-02. "Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone".
- (5) Bragg W.L. 1913. "The Diffraction of Short Electromagnetic Waves by a Crystal", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 17, 43-57.
- (6) Callebaut K., Elsen J., Van Balen K. and Viaene W. 2001, "Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's church (Leuven, Belgium) – natural hydraulic lime or cement?", *Cement and Concrete Research*, 31, 397-403.
- (7) EN 1771: 2004. "Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of injectability and splitting test".
- (8) EN 196-1:1994. "Methods of testing cement. Determination of strength".
- (9) Exadaktylos G.E, Vardoulakis I. and Kourkoulis S.K. 2001. "Influence of nonlinearity and double elasticity on flexure of rock beams – II. Characterization of Dionysos marble", *International Journal of Solids and Structures*, 38, 4119-4145.

- (10) Kakali G., Perraki T., Tsvivilis S. and Badogiannis E. 2001. "Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity", *Applied Clay Science*, 73–80.
- (11) Kalagri A., Miltiadou-Fezans A. and Vintzileou E. 2007. "Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures", *Proceedings of the International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya*, 371-378.
- (12) Katsaragakis E. 1987. "A new direct tensile test for concrete", *Materials and Structures*, 20, 463-466.
- (13) Kourkoulis S.K., Exadaktylos G.E. and Vardoulakis I. 1999. "U-notched Dionysos Pentelicon marble in three point bending: The effect of nonlinearity, anisotropy and microstructure", *International Journal of Fracture*, 98, 369-392.
- (14) Largent R. 1978. "Estimation de l' activite pouzzolanique". *Bull. Liasons Lab. Pont Chausees*, 93, 61–65.
- (15) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", *Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris*.
- (16) Miltiadou A. 2004. "Grouts for the rehabilitation of traditional masonries", *Lectures on the Pathology of Structures, organized by the Technical Chamber of Greece*.
- (17) Miltiadou-Fezans A., Vintzileou E., Papadopoulou E. and Kalagri A. 2006. "Mechanical properties of three-leaf stone masonry after grouting", *Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi*, 785-792.
- (18) Miltiadou-Fezans A., Kalagri A., Delinikolas N. 2007. "Design of hydraulic grout and application methodology for stone masonry structures bearing mosaics and mural paintings". *Proceedings of the International Symposium "Studies on Historical Heritage". Antalya*, 649-656.
- (19) Moropoulou A., Bakolas A. and Aggelakopoulou E. 2004. "Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis" *Thermochimica Acta*, 420, 135–140.
- (20) Moropoulou A., Bakolas A., Moundoulas P., Aggelakopoulou E. and Anagnostopoulou S. 2005. "Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries", *Cement and Concrete Composites*, 27, 289–294.
- (21) Murat M. 1983. "Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals: II. Influence of mineralogical properties of the raw-kaolinite on the reactivity of metakaolinite" *Cement and Concrete Research*, 13, 511–518.
- (22) -...παράθεση Neville A.M. 1995. "Properties of Concrete", 4<sup>th</sup> Edition, *Pearson Education Limited (σελ. 445, 503, 504), 844*.

- (23) Papayianni I., "A diachronic principle in construction: the use of mixed type binders – Durability aspects", Proceedings of the J.C.Cabrera Symposium on "Durability of Building Materials", Bangkok, (1998) 115 -129.
- (24) Penelis G., Karaveziroglou M. and Papayianni I., "Grouts for Repairing and Strengthening Old Masonry Structures", Proceedings of the International Conference on "Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings-STREMAH I", Computational Mechanics Publ., Florence (1988) 179-188.
- (25) Tassios, T.P., Vachliotis, C., Spanos, C., "In-situ strength measurement of masonry mortars", International Technical Conference in Structural Conservation of Stone Masonry, Athens, (1989).
- (26) Toumbakari, E.-E., Van Gemert D. and Tassios T.P. 1999. "Methodology for the design of injection grouts for consolidation of ancient masonry". International RILEM Workshop on "Historic Mortars: Characteristics and Tests", P.J.M. Bartos, C.Groot, J.Hughes eds, Paisley, Scotland 1999, RILEM Publ. PRO12, 395-405.
- (27) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (28) Toumbakari E.-E., Vintzileou E., Tassios T.P. and Van Gemert D. 2007. "Shear behaviour of masonry units and lime-pozzolan-cement grout interfaces", Proceedings of the 10th NAMC, St. Louis, 767-778.
- (29) Valluzzi M.R., da Porto F. and Modena C. 2001. "Behavior of multi-leaf stone masonry walls strengthened by different intervention techniques", Proceedings of the 3rd International Seminar on "Structural Analysis of Historical Constructions" Guimaraes, Portugal, 1023-1032.
- (30) Vardoulakis I., Kourkoulis S.K., Exadaktylos G.E. and Rosakis A. 2001. "Mechanical properties and compatibility of natural building stones of ancient monuments: Dionysos marble", Proceedings of the Interdisciplinary Workshop "The building stone in monuments", Athens, 187-210 (in Greek).
- (31) [www.imerys.com](http://www.imerys.com)
- (32) [www.lava.gr](http://www.lava.gr)
- (33) ΔΙΤΕΑ (Διεύθυνση Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης)/Υπουργείο Πολιτισμού 2008. Αδημοσίευτα δεδομένα.
- (34) ΙΓΜΕ, Τζίτζιρα Α. και Κυνηγαλάκη Μ. 1997. "Ανάπτυξη νέων υλικών δομικής-επιφανειακής συντήρησης μνημείων βάσει των υλικών κατασκευής και μηχανισμών φθοράς", ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- (35) Λεγάκη Σ. 1999. "Μελέτη ποζολανικότητας υλικών που χρησιμοποιούνται ως κύρια συστατικά στο τσιμέντο portland και το σκυρόδεμα", Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

**ΜΕΡΟΣ II: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

- (1) Abdou L., Ami Saada R., Meftah F. and Mebarki A. 2006. "Experimental investigations of the joint-mortar behaviour", *Mechanics Research Communications*, 33, 370-384.
- (2) Almeida J.C., Lourenco P.B. and Barros J.A. 2002. "Characterization of brick and brick-mortar interface under uniaxial tension", 7<sup>th</sup> International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries.
- (3) Ambroise J., Maximilien S. and Pera J. 1994. "Properties of metakaolin blended cements", *Advanced Cement Based Materials*, 1, 4, 161-168.
- (4) Appa Rao G. and Raghu Prasad B.K. 2002. "Influence of the Roughness of Aggregate Surface on the Interface Bond Strength", *Cement and Concrete Research*, 32, 253-257.
- (5) Atkinson, R. H., Amadei, B. P., Saeb, S., and Sture, S. 1989. "Response of masonry bed joints in direct shear." *Journal of Structural Engineering*, 115, 9, 2276–2296.
- (6) Bakolas A., Aggelakopoulou E. And Moropoulou A. 2008. "Evaluation of the pozzolanic activity and physico-machanical characteristics in ceramic powder-lime pastes", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92, 345-351.
- (7) Bei G. and Papayianni I. 2004. "Experimental study of shear bond strength of traditional masonry", *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (8) Drysdale R.G., Vanderkeyl R. And Hamid A.A. 1979. "Shear strength of brick masonry joints", *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Brick Masonry Conference*, Washington, USA, 106-113.
- (9) Feldman R.F., Ramachandran V.S. and Sereda P.J. 1965. "Influence of CaCO<sub>3</sub> on the hydration of 3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", *Journal of American Ceramic Society*, 48, 1, 25-30.
- (10) Glasser F.P., Kindness A. and Stronach S.A. 1999. "Stability and solubility relationships in AFm phases Part I. Chloride, sulphate and hydroxide", *Cement and Concrete Research*, 29, 861-866.
- (11) Gregoire Y. and de Barquin F. 2004. "Mortar-brick bond strength of glued masonry for veneer walls", *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (12) Hawkins P., Tennis P. and Detwiler R. 2003. "The use of limestone in Portland cement: A state of the art review", *Engineering Bulletin* 227, PCA, 37.
- (13) -...παράθεση Hendry A.W. 1998. "Structural masonry", (2nd edition ed.), Macmillan Press Ltd, London, 71–89.
- (14) Kakali G., Tsivilis S., Aggeli E. and Bati M. 2000. "Hydration products of C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S and Portland cement in the presence of CaCO<sub>3</sub>", *Cement and Concrete Research*, 30, 1073-1077.



- (15) Marzahn G. 1996. "Improving the Shear Bond Behaviour of Masonry", LACER, No. 1, pp. 245-268.
- (16) Matschei T., Lothenbach B. and Glasser F.P. 2007. "The Afm phase in Portland Cement", Cement and Concrete Research, 37, 118-130.
- (17) Monteiro P.J.M. 1986. "Improvement of the aggregate-cement paste transition zone by grain refinement of hydration products, 8th Int. Cong. on the Chem. of Cement, Rio, Brasilia, 3, 433-437.
- (18) Murat M. 1983. "Hydration reaction and hardening of calcined clays and related minerals: II. Influence of mineralogical properties of the raw-kaolinite on the reactivity of metakaolinite" Cement and Concrete Research, 13, 511-518.
- (19) Lo Y. and Lee H.M. 2002. "Curing effects on carbonation of concrete using a phenolphthalein indicator and Fourier-transform infrared spectroscopy", Building and Environment, 37, 507 – 514.
- (20) Parrott L.J. 1987. "A review of carbonation in reinforced concrete", Cement and Concrete Association, Report for Building Research Establishment, Watford, UK, 126.
- (21) Paulon V.A., Dal Molin D. and Monteiro P.J.M. 2004. "Statistical Analysis of the effect of mineral admixtures on the strength of the interfacial transition zone" Interface Science, 12, 399-410.
- (22) Roy D.M. and Scheetz B.E. 2006. "CO<sub>2</sub>-Resistant Cement", Final Report, Pennsylvania Transportation Institute, 18.
- (23) Sarangapani G., Venkatarama Reddy B.V. and Jagadish K.S. 2005. "Brick-mortar bond and masonry compressive strength", Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, Mar-Apr, 229-237.
- (24) Siddique R. 2008. "Waste Materials and By-Products in Concrete", Springer, 414.
- (25) Stöckl S. and Hofmann P. 1986. "Tests on the shear bond behaviour of the bed joints of masonry", Masonry International, 9, 372-386.
- (26) Tassios T.P., Spanos Ch. and Vachliotis Ch. 1987. "Constitutive laws for the behaviour of reinforced brick masonry", Proceedings of the 8th Hellenic Congress on Concrete, Kavala, 1987 (in greek).
- (27) Tassios T.P. and Vintzileou E. 1987. "Concrete-to-concrete friction" Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 113, 832-849.
- (28) Taylor M. and Broms B. 1964. "Shear bond strength between coarse aggregate and cement paste or mortar", Journal of the ACI 61, 8, 939-956.
- (29) Toumbakari E.-E. 2002. "Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls", Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (30) Toumbakari E.-E., Malami Ch., Adami Ch., Vintzileou E. 2005. "Development of lime-pozzolan-cement compositions for the repair and strengthening of historic structures", Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry, Delft, 362-373.

- (31) Toumbakari E.-E., Vintzileou E., Tassios T.P. and Van Gemert D. 2007. "Shear behaviour of masonry units and lime-pozzolan-cement grout interfaces", Proceedings of the 10th NAMC, St. Louis, 767-778.
- (32) Van der Pluijm R. 1997. "Non-linear behaviour of masonry under tension", Heron, 42, 1, 25-54.
- (33) Van der Pluijm R. 2000. "Shear behaviour of bed joints", Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC), Madrid, Spain, 1848-1862.
- (34) Zimbelmann R. 1985. "A contribution to the problem of cement-aggregate bond", Cement and Concrete Research, 15, 801-808.
- (35) Βιντζηλαίου Ε., Παπαδημητρίου Γ., Τσακίριδης Π., Τουμπακάρη Ε.-Ε. και Αδάμη Χ.-Ε. 2009. "Διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ λίθων/οπτοπλίνθων και υλικών επεμβάσεως (ενέματα)", Τεχνική Έκθεση Ερευνητικού Προγράμματος Βασικής Έρευνας «Κ. Καραθεοδωρή», ΕΜΠ.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>. ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΕΩΣ-ΚΑΤΑΣΤΑΤΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ**

- (1) Atkinson R. H., Amadei B. P., Saeb S., and Sture S. 1989. "Response of masonry bed joints in direct shear." Journal of Structural Engineering, 115, 9, 2276–2296.
- (2) Byerlee J. 1978. "Friction of Rocks", Pure and Applied Geophysics, 116, 4-5, 615-626.
- (3) Giani G.P. 1992. "Rock slope stability analysis", Eds A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 367pp.
- (4) Sibson R. H. 1994. "An Assessment of Field Evidence for 'Byerlee' Friction", Pure and Applied Geophysics, 142, 3-4, 645-662.
- (5) Tassios T.P. and Vintzileou E. 1987. "Concrete-to-concrete friction" Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 113, 832-849.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

- (1) ABAQUS/CAE User Manual v. 6.5-1. 2004. ABAQUS Inc., Providence, R.I.
- (2) Anastasopoulos I., Gazetas G., Bransby M.F., Davies M.C.R. and El Nahas A. 2007. "Fault Rupture Propagation through Sand: Finite-Element Analysis and Validation through Centrifuge Experiments", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 943-958.
- (3) Kalagri A., Miltiadou-Fezans A. and Vintzileou E. 2007. "Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone

- masonry historic structures”, Proceedings of the International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya, 371-378.
- (4) Miltiadou-Fezans A., Vintzileou E., Papadopoulou E. and Kalagri A. 2006. “Mechanical properties of three-leaf stone masonry after grouting”, Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 792-798.
- (5) prEN 1996-1-1: 2002. “Eurocode 6: Design of Masonry Structures-Part 1-1: Common rules for reinforced and unreinforced masonry structures”.
- (6) Τάσιος Θ. 1986. “Προσθήκες σε μονώροφα από Τοιχοποιία”, Ε.Μ.Π., σελ. 29.
- (7) Toumbakari E.-E. 2002. “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”, Doctor Thesis, KU Leuven, 364.
- (8) Toumbakari E.-E., Van Gemert D., Tassios T.P. and Vintzileou E. 2004. “Experimental investigation and analytical modelling of the effect of injection grouts on the structural behaviour of three-leaf masonry walls”, Proceedings International Seminar ‘Structural Analysis of Historical Constructions’, Padua, Balkema Publ., 707-717.
- (9) Vintzileou E., Miltiadou-Fezans A., Vrouva A. and Anagnostopoulou S. 2006. “Mechanical properties of three-leaf stone masonry”, Proceedings of the 5th Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, 783-790.
- (10) [http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23\\_1.pdf](http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23_1.pdf)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>. ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

- (1) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2010. “The potential of medium and low mechanical properties hydraulic grouts for retrofitting of historic masonries”, 8th IMC, Dresden, Germany, pp. 99-108.
- (2) Vintzileou E. and Adami C.-E. 2009. “The Bond Mechanism in Stone-or Brick-to-Grout Interfaces”, Strain, 45, 5, pp. 400–409.
- (3) Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2009. “Επεμβάσεις σε ιστορικές τοιχοποιίες: Η συμπεριφορά έναντι διατμήσεως διεπιφανειών υπαρχόντων υλικών και υδραυλικών ενεμάτων”, 2ο Συνέδριο Αναστηλώσεων, Αθήνα, Ελλάδα.
- (4) Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2009. “Συνάφεια μεταξύ ενεμάτων υδραυλικής ασβέστου και διαφόρων υποβάθρων”, 3ο Εθνικό Συνέδριο Ήπιων Επεμβάσεων για την προστασία των ιστορικών κατασκευών-Νέες τάσεις σχεδιασμού, pp. 475-484.
- (5) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2008, “Interventions to historic masonries: Investigation of the bond mechanism between stones or bricks and grouts”, Materials and Structures, 41, 2, pp. 255-267.

- (6) Adami C.-E., Vintzileou E. and Moutselis M. 2008. "Shear behaviour of interfaces between masonry units and hydraulic-lime grouts", HMC08 Historical Mortars Conference, Lisbon, Portugal.
- (7) Adami C.-E., Toumbakari E.-E. and Vintzileou E. 2008. "Lime-pozzolan-cement compositions for the repair and strengthening of historic structure", HMC08 Historical Mortars Conference, Lisbon, Portugal.
- (8) Vintzileou E. and Adami C.-E. 2007. "The bond mechanism in stone or brick to grout interfaces", 13<sup>th</sup> International Conference on Experimental Mechanics, Alexandroupolis, Greece.
- (9) Adami C.-E. and Vintzileou E. 2007. "The bond mechanism in stone or brick to grout interfaces", 7<sup>th</sup> International Symposium on Studies on Historical Heritage, Antalya, Turkey, pp. 331-338.
- (10) Adami C.-E., Vintzileou E. and Toumbakari E.-E. 2006. "Investigation of the bond mechanism between stones or bricks and grouts", 5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions, New Delhi, India, pp. 717-724.
- (11) Αδάμη Χ.-Ε., Βιντζηλαίου Ε., Τουμπακάρη Ε.-Ε., (2006), "Επεμβάσεις σε ιστορικές τοιχοποιίες: Διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας μεταξύ λίθων ή πλίνθων και ενεμάτων", 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Αλεξανδρούπολη, Ελλάδα, Α, pp. 201-212..
- (12) Τουμπακάρη Ε.-Ε., Αδάμη Χ.-Ε. και Βιντζηλαίου Ε. 2005. "Ιδιότητες και επιτελεστικότητα τριπλών ενεμάτων υδραβέστου-φυσικής ποζολάνης – τσιμέντου με προσθήκη τεχνητών ποζολανών", 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο για την Αξιοποίηση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, pp.141-150.
- (13) Toumbakari E.-E., Malami Ch., Adami Ch. and Vintzileou E. 2005. "Development of lime-pozzolan-cement compositions for the repair and strengthening of historic structures", Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry, Delft, 26-28 January 2005, pp. 362-373.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>. ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- (1) Cangiano S. and Princigallo A. 2010. "Using Dealuminated Metakaolin in Concrete as Microsilica Substitute", Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy (<http://www.classe.info/2010%20papers/P3.pdf>)
- (2) Korany Y. and Bingiganavile V. 2010. "Utilization of nano-silica in developing high performance masonry mortars", Proceedings of the 8th International Masonry Conference, Dresden, 197-206.
- (3) Mostafa N.Y., El-Hemaly S.A.S., Al-Wakeel E.I., El-Korashy S.A. and Brown P.W. 2001. "Activity of silica fume and dealuminated kaolin at

- different temperatures”, *Cement and Concrete Research*, 31, 6, 905-911.
- (4) Sant G., Eberhardt A., Bentz D. and Weiss J. 2010. “Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Moisture Absorption in Cementitious Materials at Early Ages”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 277-286.
- (5) Sobolev K.; Flores I.; Hermsillo R. and Torres-Martinez L. 2006. “Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites” *Proceedings of the ACI Session on Nanotechnology of Concrete – Recent Developments and Future Perspectives*, Denver, 93-120.
- (6) Weiss, W.J. and Berke, N.S. 2002. “Shrinkage reducing admixtures.” *Early age cracking in cementitious systems*, RILEM state-of-the-art report—Report 25A. Bentur, ed., RILEM, Bagnex, France, 14.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

- (1) Abdou L., Ami Saada R., Meftah F. and Mebarki A. 2006. “Experimental investigations of the joint-mortar behaviour”, *Mechanics Research Communications*, 33, 370-384.
- (2) Abu-Tair A.I., Rigden S.R. and Burley E. 1996. “Testing the bond between repair materials and concrete substrate”, *ACI Mater. J.*, 553–558.
- (3) Almeida J.C., Lourenco P.B. and Barros J.A. 2002. “Characterization of brick and brick-mortar interface under uniaxial tension”, *7th International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries*.
- (4) Appa Rao G. and Raghu Prasad B.K. 2002. “Influence of the Roughness of Aggregate Surface on the Interface Bond Strength”, *Cement and Concrete Research*, 32, 253-257.
- (5) Austin S.A., Robins P.J. and Pan Y. 1995. “Tensile bond testing of concrete repairs”, *Mat. and Struct.*, 28, 249–259.
- (6) Austin S., Robins P. and Pan Y. 1999. “Shear bond testing of concrete repairs”, *Cement and Concrete Research* 29, 7, 1067-1076.
- (7) Bei G. and Papayianni I. 2004. “Experimental study of shear bond strength of traditional masonry”, *Proceedings of the 13th International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (8) Borchelt J.G., Tann P.E. and J.A. “Bond strength and water penetration of low IRA brick and mortar”, <http://www.maconline.org/tech/materials/ira.pdf> .
- (9) Bosiljkov V.B., Sugo H.O., Page A.w. and Lawrence S.J. 2004. “The influence of cement replacement materials on the flexural bond strength of masonry”, *Proceedings of the 13th International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (10) Cabrera J.G. and Al-Hasan A.S. 1997. “Performance properties of concrete repair materials”, *Construction and Building Materials*, 11, 5-6, 283-290.

- (11) Delatte N. J., Williamson M. S. and Fowler D. W. 2000. "Bond Strength Gain with Maturity of High Early Strength Bonded Concrete Overlays", *ACI Materials Journal*, 201-207.
- (12) Drysdale R.G., Vanderkeyl R. And Hamid A.A. 1979. "Shear strength of brick masonry joints", *Proceedings of the 5th International Brick Masonry Conference*, Washington, USA, 106-113.
- (13) Geissert D.G., Li S.E., Frantz G.C. and Stephens E.J. 1999. "Splitting prism test method to evaluate concrete-to-concrete bond strength", *ACI Mater. J.*, 96, 3, 359–366.
- (14) Gregoire Y. and de Barquin F. 2004. "Mortar-brick bond strength of glued masonry for veneer walls", *Proceedings of the 13th International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (15) Groot C. 1993. "Effects of water on mortar-brick bond", *PhD Thesis*, Delft University of Technology, 187.
- (16) Groot C.J.W.P. 1995. "Effects of Water on Mortar-Brick Bond", *Heron*, 40, 1, 57-70.
- (17) Groot C.J.W.P. and Larbi J. 1999. "The Influence of Water Flow (Reversal) on Bond Strength Development in Young Masonry", *Heron*, 44, 2, 63-78.
- (18) Husem M. 2003. "The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-cement paste on mechanical properties of concrete", *Materials Science and Engineering*, A 363, 152-158.
- (19) Júlio E.N.B.S., Branco F.A.B. and Silva V.D. 2004. "Concrete-to-concrete bond strength. Influence of the roughness of the substrate surface" *Construction and Building Materials*, 18, 9, 675-681.
- (20) Khalf F.M. 1998. "Simple test for the determination of masonry flexural bond strength", *Proceedings of the Fifth International Masonry Conference*, 8, 23-27.
- (21) Khalf F.M. 2005. "New test for determination of masonry tensile bond strength", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Nov-Dec, 725-732.
- (22) Miltiadou A. 1990. "Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie", *Doctor Thesis*, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- (23) Miltiadou-Fezans A. 1998. "Criteria for the design of Hydraulic grouts injectable into fine cracks and evaluation of their efficiency", In book *Compatible materials for the protection of European cultural heritage [Volume 2] PACT*, 56, Technical Chamber of Greece, 149-163.
- (24) Minoru K., Toshiro K., Yuichi U. and Keitetsu R. 2001. "Evaluation of bond properties in concrete repair materials", *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Mar-Apr, 98-105.
- (25) Momayez A., Ehsani M. R., Ramezani pour A. A. and Rajaie H. 2005. "Comparison of methods for evaluating bond strength between

- concrete substrate and repair materials”, *Cement and Concrete Research*, 35, 748-757.
- (26) Momayez A., Ramezani pour A.A., Rajaie H. and Ehsani M.R. 2004. “Bi-surface shear test for evaluating the bond between existing and new concrete” *ACI Mater J*, 101, 2, 99–106.
- (27) Li G.Y., Xie H.C. and Xiong G.J. 2001. “Transition zone studies of new-to-old concrete with different binders”, *Cement and Concrete Research*, 23, 381-387.
- (28) Li G. 2003. “A new way to increase the long-term bond strength of new-to-old concrete by the use of fly ash”, *Cement and Concrete Research*, 33, 799-806.
- (29) Pu-Woei Chen, Xuli Fu and Chung D.D.L. 1995. “Improving the bonding between old and new concrete by adding carbon fibers to the new concrete”, *Cement and Concrete Research*, 25, 3, 491-496.
- (30) Ray I., Davalos J. and Luo S. 2005. “Interface evaluations of overlay-concrete bi-layer composites by a direct shear test method” *Cement and Concrete Composites*, 27, 3, 339-347.
- (31) Reda Taha M.M. and Shrive N.G. 2001. "The Use of Pozzolans to Improve Bond and Bond Strength" *Proceedings of the 9th Canadian Masonry Symposium*, Fredericton, NB, Canada.
- (32) Sarangapani G., Venkatarama Reddy B.V. and Jagadish K.S. 2005. “Brick-mortar bond and masonry compressive strength”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Mar-Apr, 229-237.
- (33) Shrive N. G. and Reda Taha M.M. 2004. "Bond Strength of Clay Masonry Prisms Constructed with Normal and Fly Ash Substituted Mortars", *Proceedings of 13th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC)*, Amsterdam, The Netherlands.
- (34) Stöckl S. and Hofmann P. 1986. “Tests on the shear bond behaviour of the bed joints of masonry”, *Masonry International*, 9, 372-386.
- (35) Toumbakari E.-E. 2002. “Lime-pozzolan-cement grouts and their structural effects on composite masonry walls”, *Doctor Thesis*, KU Leuven, 364.
- (36) Toumbakari, E.-E., Vintzileou E., Tassios T. and Van Gemert D. 2007. “Shear Behaviour of masonry units and lime-pozzolan-cement grout interfaces”, *Proceedings of the 10th North American Masonry Conference*, Missouri, 767-778.
- (37) Van der Pluijm R. 2000. “Shear behaviour of bed joints”, *Proceedings of 12th International Brick and Block Masonry Conference (IBMaC)*, Madrid, Spain, 1848-1862.
- (38) Venkatarama Reddy B.V., Richardson Lal, Nanjunda Rao K.S. 2007. “Enhancing bond strength and characteristics of soil-cement block masonry”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Feb, 164-172.

- (39) Venu Madhava Rao K., Venkatarana Reddy B.V. and Jagadish K.S. 1996. "Flexural bond strength of masonry using various blocks and mortars", *Materials and Structures*, 29, 119-124.
- (40) Wall J.S. and Shrive N.G. 1988. "Factors affecting bond between new and old concrete", *ACI Mater. J.*, 117-125.
- (41) Wijffels T.J. and Adan O.C.G. 2004. "Bond strength in calcium silicate facing brick masonry", *Proceedings of the 13th International Brick and block Masonry Conference*, Amsterdam.
- (42) Xiong G., Liu J., Li G. and Xie H. 2002. "A way for improving interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials", *Cement and Concrete Research*, 1-5.
- (43) Xiong G., Luo B., Wu X., Li G. and Chen L. 2006. "Influence of silane coupling agent on quality of interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials", *Cement and Concrete Composites*, 28, 1, 97-101.
- (44) Yuan C.Z. and Odler I. 1987. "The interfacial zone between marble and tricalcium silicate paste", *Cement and Concrete Research*, 17, 784-792.
- (45) Zhu M. and Chung D.D.L. 1997. "Improving brick-to-mortar bond strength by the addition of carbon fibers to the mortar", *Cement and Concrete Research*, 27, 12, 1829-1839.
- (46) Zimbelmann R. 1985. "A contribution to the problem of cement-aggregate bond", *Cement and Concrete Research*, 15, 801-808.
- (47) Zimbelmann R. 1987. "A method for strengthening the bond between cement stone and aggregates", *Cement and Concrete Research*, 17, 651-660.
- (48) ...παράθεση Ιγνατάκης Χ. 1991. "Αναλυτική έρευνα της απόκρισης τοιχοποιίας υπό μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρι αστοχίας", *Διδακτορική Διατριβή*, ΑΠΘ, 349.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

- (1) Dantu P. 1961. "Etude mecanique d'un milieu pulvérulent formé de sphères égales de compacité maxima", *Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, Vol. 1.
- (2) Domone P.L.J. and Jefferis S.A. 1994. "Structural grouts", *Blackie Academic and Professional*, 244pp.
- (3) EN 1771: 2004. "Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of injectability and splitting test".
- (4) EN 12715:2000. "Execution of special geotechnical work. Grouting"
- (5) EN445. "Grout for prestressing tendons. Test methods"
- (6) Kalagri A., Miltiadou-Fezans A and Vintzileou E. 2007. "Design and Evaluation of Hydraulic Lime Grouts for the Strengthening of Stone



Masonry Historic Structures”, Proceedings of the International Symposium “Studies on Historical Heritage”. Antalya, 371-378.

- (7) Miltiadou A. 1990. “Etude des coulis hydrauliques pour la réparation et le renforcement des structures et des monuments historiques en maçonnerie”, Doctor Thesis, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- (8) Miltiadou-Fezans A., Kalagri A., Delinikolas N. 2007. “Design of hydraulic grout and application methodology for stone masonry structures bearing mosaics and mural paintings”. Proceedings of the International Symposium “Studies on Historical Heritage”. Antalya, 649-656.
- (9) Paillère A.-M., Serrano J.-J. and Buil M. 1986. “Possibilités offertes par l’emploi d’ultrafines siliceuses dans les coulis”, Bull. liaison Laboratoire des Ponts et Chaussées 141, 123–125.
- (10) Warner J. 2004. ” Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock, and Structures”, publisher Hoboken, N.J.:John Wiley & Sons, 700pp.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

- (1) Atkinson, R. H., Amadei, B. P., Saeb, S., and Sture, S. 1989. “Response of masonry bed joints in direct shear.” Journal of Structural Engineering, 115, 9, 2276–2296.
- (2) Byerlee J. 1978. “Friction of Rocks”, Pure and Applied Geophysics, 116, 4-5, 615-626.
- (3) Giani G.P. 1992. “Rock slope stability analysis”, Eds A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 367pp.
- (4) Sibson R. H. 1994. “An Assessment of Field Evidence for ‘Byerlee’ Friction”, Pure and Applied Geophysics, 142, 3-4, 645-662.
- (5) Tassios T.P. and Vintzileou E. 1987. “Concrete-to-concrete friction” Journal of Structural Engineering, ASCE, vol. 113, 832-849.



## ΧΡΥΣΗ-ΕΛΠΙΔΑ ΑΔΑΜΗ

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΝΕΜΑΤΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΛΙΘΙΝΩΝ Ή ΠΛΙΝΘΙΝΩΝ ΥΠΟΒΑΘΡΩΝ

Η Διδακτορική Διατριβή επικεντρώνεται στην πειραματική διερεύνηση του μηχανισμού συνάφειας σε διεπιφάνειες μεταξύ δομικών λίθων και υδραυλικών ενεμάτων με μέτρια και χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά, με τελικό στόχο την διατύπωση τοπικού καταστατικού νόμου και την κατάστρωση εμπειρικών σχέσεων για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των διεπιφανειών υπό μεγάλες παραμορφώσεις.

Τα πειραματικά δεδομένα αξιοποιούνται στο Αναλυτικό Μέρος της Διατριβής, στο οποίο κατασκευάζονται προσομοιώματα για την περιγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών της διεπιφανειακής ζώνης. Ένα εκ των προσομοιωμάτων διεπιφάνειας εισάγεται σε απλό αναλυτικό προσομοίωμα στοιχείου τοιχοποιίας και αποτιμάται η συνεισφορά των ενεμάτων στην μηχανική απόκριση των ενισχυμένων με ενέματα τοιχοποιιών.

