

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στον κ. **Τρέζο Κωνσταντίνο**, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τις καίριες διορθώσεις και επισημάνσεις στα στάδια της ανάλυσης και επεξεργασίας της παρούσης εργασίας.

Ακόμη οφείλω τις θερμότερες ευχαριστίες μου, στον κ. **Σφήκα Ιωάννη**, Πολιτικό Μηχανικό και υποψήφιο διδάκτορα του Τομέα Δομοστατικής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, για την καθοριστική συμβολή του σε όλα τα στάδια της εργασίας, για τις θεωρητικές αλλά και τις πρακτικές γνώσεις που αποκόμισα, για την άριστη συνεργασία, και συνολικά για την υπομονή του. Επίσης, ευχαριστώ τον **Πάσιο Χρήστο** για την φιλική συνεργασία μας κατά την εκπόνηση του πειραματικού μέρους της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο «ευχαριστώ» σε όσους με βοήθησαν στην απαιτητική αυτή περίοδο, και ειδικά στον **Ορφανόπουλο Γιώργο** και στον **Παναγόπουλο Δημήτρη**.

Για οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με την παρούσα διπλωματική εργασία, θα ήθελα να ενθαρρύνω τον αναγνώστη να επικοινωνήσει μαζί μου:

**Ορφανόπουλος Κωνσταντίνος**  
**Κιν. 6973491392**  
**e-mail: korfanop@gmail.com**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον τομέα της τεχνολογίας σκυροδέματος, το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ) θεωρείται καινοτόμο κατασκευαστικό υλικό, με πολλές εφαρμογές ανά τον κόσμο. Πρόκειται για υπέρρευστο υλικό, με αυξημένη ικανότητα διέλευσης διαμέσου των οπλισμών και ικανότητα πλήρωσης ξυλότυπων περίπλοκης γεωμετρίας, υπό την επίδραση μόνο του ίδιου βάρους του και χωρίς να απαιτείται μηχανική συμπίκνωση. Οι ιδιαιτερότητες του ως υλικό, αλλά και συγκριτικά με το συμβατικό σκυρόδεμα (ΣΣ), έχουν αποτελέσει, και συνεχίζουν να αποτελούν, αντικείμενο επιστημονικής διερεύνησης διεθνώς.

Συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται η συνάφεια του σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού σε δοκίμια δοκού, οπλισμένα με 9 ράβδους, σε δοκίμια υποστρώματος χαμηλού ύψους, οπλισμένα με 3 ράβδους καθ' ύψος, και σε κυβικά δοκίμια, οπλισμένα κεντρικά με μια ράβδο. Συνολικά παρήχθησαν 8 συνθέσεις, εκ των οποίων οι 6 συνθέσεις από ΑΣΣ και οι 2 από ΣΣ, με σταθερό λόγο νερού/συνδετικό υλικό (w/b) και διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη (sf). Εκτελέστηκαν δοκιμές εξόλκευσης για όλες τις ράβδους, και κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα τάσης συνάφειας-ολίσθησης. Ως κριτήρια ελέγχου επιλέχθηκαν οι τάσεις συνάφειας που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις 0.25mm,  $(0.01+0.10+1.00)/3$ , καθώς και η μέση τάση συνάφειας ( $\tau_m$ , με ολοκλήρωση) και η μέγιστη τάση συνάφειας ( $\tau_{max}$ ). Πραγματοποιούνται αναλύσεις και συγκρίσεις των αποτελεσμάτων, στα πλαίσια της διερεύνησης του προβλήματος άνω οπλισμών, της επιρροής αθέλητης μετατόπισης των ράβδων οπλισμού των δοκιμίων δοκού κατά τη νωπή φάση του σκυροδέματος, της μεταβολής της τάσης συνάφειας κατά μήκος των δοκιμίων δοκού, της επιρροής του ποσοστού πυριτικής παιπάλης, του ποσοστού υπερρευστοποιητή, και του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος.

## ABSTRACT

In the field of concrete technology, self-compacting concrete (SCC) is an innovative building material with many applications around the world. It is a superfluid material with increased ability to pass between the reinforcement bars and the ability to fill complex formwork geometry, under only the influence of its own weight and without any mechanical compaction. Specific abilities of this material, as well as comparison with conventional concrete (NC), have been the subject of ongoing scientific research worldwide.

Specifically, in the present thesis, steel-to-concrete bond is investigated in beam specimens, reinforced with 9 bars, in low-height column specimens, embedded with 3 reinforcement bars in different height positions, and in cubical specimens, reinforced centrally with one steel bar. A total of 8 mixture compositions were produced, 6 of which were SCC and 2 of which were NC, with fixed ratio of water/binder (w/b), and different percentages of cement replacement by silica fume (sf). Pull-out tests were conducted for all the bars, leading to the construction of stress-slip curves. As characteristic bond stress values, stress corresponding to slips of 0.25mm, the arithmetic mean of the bond stresses recorded at slips of 0.01, 0.10, and 1.00 mm, the mean bond stress ( $\tau_m$ ), and stress corresponding to the maximum pull-out load ( $\tau_{max}$ ), were selected and examined. Results are analyzed and compared appropriately to investigate the top-bar effect, the influence of unintentional displacement of reinforcing bars in the beam specimens during the fresh state of concrete, the variation in bond strength across the length of the beam specimens, and the influence of the percentage of silica fume, of the percentage of superplasticizer, and of the thickness of the overlying concrete in column specimens.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**  
**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**  
**ABSTRACT**

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**  
**ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ**  
**ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**  
**ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ**  
**ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ**

Κεφάλαιο 1 : Θεωρητικό μέρος.....	15
1.1 Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ) .....	15
1.1.1 <i>Εισαγωγή–Ορισμός</i> .....	15
1.1.2 <i>Ιστορικά στοιχεία</i> .....	15
1.1.3 <i>Πλεονεκτήματα-Ιδιαιτερότητες Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος (ΑΣΣ)</i> 16	
1.1.4 <i>Εφαρμογές ΑΣΣ</i> .....	19
1.1.5 <i>Δοκιμές ελέγχου</i> .....	21
1.2 Συνάφεια Σκυροδέματος με Χάλυβα Οπλισμού.....	29
1.2.1 <i>Γενικά</i> .....	29
1.2.2 <i>Πρόβλημα άνω οπλισμών (Top-bar effect)</i> .....	31
1.2.3 <i>Δοκιμές συνάφειας</i> .....	32
1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	33
1.3.1 <i>Διεθνής βιβλιογραφία</i> .....	33
1.3.2 <i>Προηγούμενες εργασίες του εργαστηρίου</i> .....	44
1.3.3 <i>Σεισμός σε νωπό σκυρόδεμα</i> .....	50
Κεφάλαιο 2 : Πειραματικό μέρος .....	51
2.1 Συνοπτική παρουσίαση της εκτελεσθείσας πειραματικής εργασίας.....	51
2.2 Συνθέσεις και Έλεγχοι Σκυροδέματος.....	54
2.2.1 <i>Κοκκομετρικές καμπύλες αδρανών</i> .....	54

2.2.2 Συλλογή αδρανών και υπολογισμός υγρασίας.....	56
2.2.3 Διαδικασία σκυροδέτησης .....	57
2.2.4 Προετοιμασία και παρασκευή δοκιμίων .....	58
2.2.5 Βάρος νωπού σκυροδέματος και υπολογισμός ωφέλιμου νερού.....	59
2.2.6 Έλεγχοι & Νωπού και Σκληρυμένου Σκυροδέματος .....	64
2.3 Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα .....	66
2.3.1 Δοκιμή εξόλκευσης .....	66
2.3.2 Χρόνος πήξης σκυροδέματος-πίεση διείσδυσης.....	68
2.3.3 Επιβολή μετατόπισης στις ράβδους οπλισμού των δοκιμίων δοκού.....	70
2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων .....	71
2.4.1 Πρωτογενή δεδομένα δοκιμής εξόλκευσης .....	71
2.4.2 Κυβικά δοκίμια .....	74
2.4.3 Δοκίμια δοκού.....	76
2.4.4 Χαμηλά υποστυλώματα.....	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	97
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Τεχνικά φυλλάδια υλικών .....	117

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 1.1</b> Κατηγορίες κάθισης και εύρη τιμών (ΚΤΣ 97/ΦΕΚ 537/1-5-2002). .....	23
<b>Πίνακας 1.2</b> Βασικές τιμές του $f_{bd}$ (MPa). .....	31
<b>Πίνακας 1.3</b> Αναλογίες μίγματος από ΑΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008). .....	34
<b>Πίνακας 1.4</b> Αναλογίες μίγματος από ΣΣ (Foroughi-Asl et al 2008). .....	34
<b>Πίνακας 1.5</b> Ομάδες δοκιμίων (πηγή: Menezes F. et al. 2007). .....	39
<b>Πίνακας 1.6</b> Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια $\tau/f_{cc}^{0.5}$ , όλων των παραχθέντων μιγμάτων, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια ( $\tau_{max}$ , $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ ) (Τρέζος et al 2010). .....	44
<b>Πίνακας 1.7</b> Αντιπροσωπευτικές τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος κάτω (col-row), μεσαίας (col-mid), άνω (col-upp) ράβδου υποστυλώματος και μέση τάση των 3 κύβων (Στύλος 2011). .....	46
<b>Πίνακας 2.1</b> Συνθέσεις, σκυροδετήσεις και δοκίμια που παρασκευάστηκαν στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας. ....	53
<b>Πίνακας 2.2</b> Υπόδειγμα υπολογισμού του διορθωτικού συντελεστή, σύνθεση SCC-30 (Σ136). .....	60
<b>Πίνακας 2.3</b> Υπόδειγμα υπολογισμού ωφέλιμου νερού, σύνθεση SCC-30 (Σ136). .....	61
<b>Πίνακας 2.4</b> Διορθωτικοί συντελεστές για όλες τις συνθέσεις που παρήχθησαν. ....	61
<b>Πίνακας 2.5</b> Σχεδιασμός συνθέσεων, με στόχο το $1m^3$ : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36). .....	62
<b>Πίνακας 2.6</b> Σχεδιασμός συνθέσεων, με στόχο το $1m^3$ : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-13, NC-14). .....	62
<b>Πίνακας 2.7</b> Διόρθωση συνθέσεων, αναγωγή των συστατικών σε $1m^3$ : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΑΣΣ (κατάσταση αδρανών SSD) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36). .....	63
<b>Πίνακας 2.8</b> Διόρθωση συνθέσεων, αναγωγή των συστατικών σε $1m^3$ : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΣΣ (κατάσταση αδρανών SSD) (NC-13, NC-14). .....	63
<b>Πίνακας 2.9</b> Υπόδειγμα υπολογισμού συνολικού βάρους, σύνθεση SCC-30 (Σ136). .....	64
<b>Πίνακας 2.10</b> Τυπικά εύρη τιμών για τις δοκιμές αξιολόγησης χαρακτηριστικών εργασιμότητας & αυτοσυμπύκνωσης ΑΣΣ (I.O.K., ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00). .....	64
<b>Πίνακας 2.11</b> Αποτελέσματα των ρεολογικών ελέγων ΑΣΣ και κατάταξη κατά EFNARC (2005) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36). .....	64
<b>Πίνακας 2.12</b> Αποτελέσματα κάθισης ΣΣ και κατάταξη κατά ΚΤΣ-97/ EN206-1 (NC-13 και NC-14). .....	65
<b>Πίνακας 2.13</b> Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων και μέση θλιπτική αντοχή (Mpa), για όλες τις συνθέσεις, ηλικία (ημέρες), βάρος (g) και φορτίο θραύσης (kN) κυβικών δοκιμίων. ....	66
<b>Πίνακας 2.14</b> Ενδεικτική παρουσίαση ( $\alpha$ ) υπολογισμού πίεσης διείδυσης και ( $\beta$ ) χρονικών στιγμών μετακίνησης ράβδων για την σύνθεση NC-13, Σ140. ....	70

<b>Πίνακας 2.15</b> Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή (κάθε σύνθεσης αντίστοιχα) για την μέση τιμή των 3 κύβων ( $K_m$ ). .....	76
<b>Πίνακας 2.16</b> Τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστυλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων ( $K_m$ ), για όλες τις συνθέσεις. ....	86
<b>Πίνακας 2.17</b> Ανηγμένες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστυλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων ( $K_m$ ), για όλες τις συνθέσεις. ....	86
<b>Πίνακας 2.18</b> Εκτιμώμενες τιμές (από την ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων) τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστυλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων ( $K_m$ ), για όλες τις συνθέσεις. ....	87
<b>Πίνακας 2.19</b> Λόγοι 4 αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ , $\tau_m$ , $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ , $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδων χαμηλού υποστυλώματος (εκτιμώμενες τιμές) και μειωτικοί συντελεστές $\alpha$ , για όλες τις συνθέσεις. ....	88
<b>Πίνακας 2.20</b> Λόγοι $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$ , επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στην τάση συνάφειας της κάτω ράβδου του χαμηλού υποστυλώματος. ....	91
<b>Πίνακας 2.21</b> Συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας κυβικών δοκιμίων και δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας. ....	94

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

<b>Διάγραμμα 1.1</b> Χρήση ΑΣΣ τη δεκαετία του 1990 στην Ιαπωνία (Ouchi et al. 2003). .....	16
<b>Διάγραμμα 1.2</b> Ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΑΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008). .....	35
<b>Διάγραμμα 1.3</b> Ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008). .....	35
<b>Διάγραμμα 1.4</b> Ανάπτυξη θλιπτικής αντοχής συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΑΣΣ και στο ΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008). .....	35
<b>Διάγραμμα 1.5</b> (a), (b) Μέγιστη τάση συνάφειας συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος κάτω από την ράβδο (5 μίγματα) (Soylev T. και Francois R. 2006). .....	37
<b>Διάγραμμα 1.6</b> (a), (b) Γραφήματα του συντελεστή ατέλειας (defect factor) συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος κάτω από την οριζόντια ράβδο οπλισμού (Soylev T. και Francois R. 2006). .....	37
<b>Διάγραμμα 1.7</b> Λόγος αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου συναρτήσει του συντελεστή ατέλειας (Soylev T. και Francois R. 2006). .....	38
<b>Διάγραμμα 1.8</b> Τάση συνάφειας συναρτήσει συναρτήσει θλιπτικής αντοχής. Οι καμπύλες θλιπτικής αντοχής έχουν προκύψει από εξισώσεις προτεινόμενες σε βιβλιογραφικές πηγές, ενώ οι τάσεις συνάφειας από τα πειραματικά δεδομένα (δοκιμές εξόλκευσης και δοκιμές δοκού) (Almeida Filho F.M. et al 2008). .....	39

- Διάγραμμα 1.9** Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων δοκιμών εξόλκευσης και δοκιμών δοκού για τις συνθέσεις SCC1 και VC1 (Almeida Filho F.M. et al 2008). 40
- Διάγραμμα 1.10** Αποτελέσματα που προκύπτουν σε διαμορφώσεις κατακόρυφες προς τα κάτω και «Οριζόντια 0» για δοκίμια οπλισμένα με ράβδους με νευρώσεις και ποιότητες σκυροδέματος 25Mpa και 40Mpa (Castel A. et al 2006). 41
- Διάγραμμα 1.11** Αποτελέσματα που προκύπτουν σε διαμορφώσεις κατακόρυφες προς τα κάτω και «Οριζόντια 0» για δοκίμια οπλισμένα με ράβδους με νευρώσεις και ποιότητες σκυροδέματος 25Mpa και 40Mpa (Castel A. et al 2006). 41
- Διάγραμμα 1.12** Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας άνω και κάτω ράβδων και για όλα τα μίγματα (Thrane L.N. et al 2010). 43
- Διάγραμμα 1.13** Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για κάθε ράβδο της κάτω σειράς και για κάθε μίγμα. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο ΣΣ και η θέση χύτευσης του ΑΣΣ ήταν η αριστερή άκρη του ξυλοτύπου (αφέθηκε να ρεύσει ελεύθερα προς τα δεξιά) (Thrane et al 2010). 43
- Διάγραμμα 1.14** (Αριστερά) Μειωτικός συντελεστής  $\alpha$  συναρτήσει χαρακτηριστικών τιμών της τάσης συνάφειας, (Δεξιά) μειωτικός συντελεστής  $\alpha$ , που αντιστοιχεί στη μέση τάση συνάφειας  $t_m$ , για όλα τα παραχθέντα μίγματα (Τρέζος et al 2010). 44
- Διάγραμμα 1.15** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_s=1$ ,  $\tau_s=0.1$ ,  $\tau_s=0.01$ ) ως συναρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010). 45
- Διάγραμμα 1.16** Μεταβολή τάσεων χαρακτηριστικών ολισθήσεων ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{s=1}$ ,  $\tau_{s=0.1}$ ,  $\tau_{s=0.01}$ ) και μέγιστης τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο και σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές του ΕΚΩΣ 2000 (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010). 45
- Διάγραμμα 1.17** Θλιπτική αντοχή  $f_c$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010). 45
- Διάγραμμα 1.18** Συγκριτικό διάγραμμα κανονικοποιημένων αντοχών συνάφειας για μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Στύλος 2011). 46
- Διάγραμμα 1.19** Διάγραμμα εξόλκευσης, δύναμη εξόλκευσης συναρτήσει της ολίσθησης (καταμετρημένης από το ελεύθερο άκρος της ράβδου) (Σφήκας 2007). 49
- Διάγραμμα 1.20** Λόγος άνω/κάτω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές) για όλες τις εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $t_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) (μέσος όρος μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ) (Πάσιος 2011). 50
- Διάγραμμα 1.21** Μέση τιμή τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις  $s=0.01$ ,  $0.10$ ,  $1.00$ ) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης (Πάσιος 2011). 50
- Διάγραμμα 2.1** Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών (Πάσιος 2011). 55
- Διάγραμμα 2.2** Κοκκομετρική διαβάθμιση συνθέσεων. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η διαβάθμιση για τις συνθέσεις από ΣΣ, με μπλε οι συνθέσεις από ΑΣΣ συμπεριλαμβανομένου του φίλλερ, με

- γαλάζιο οι συνθέσεις από ΑΣΣ χωρίς φίλλερ, και με μαύρο οι τιμές ορίων κατά ΚΤΣ-97 (Πάσιος 2011). 56
- Διάγραμμα 2.3** Υπολογισμός αντιστοιχίας βαθμίδων δυναμόμετρου σε kg. Η κλίση της ευθείας, ίση με 0.2338, αποτελεί τον συντελεστή αντιστοιχίας (Σφήκας 2007, αρχική πηγή: Καρέλη, Νταντάμη, Ντογκούλη 2002). 69
- Διάγραμμα 2.4** Συγκριτικό διάγραμμα εξέλιξης της πήξης διείδυσης του σκυροδέματος δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις ΑΣΣ και ΣΣ. Διακρίνεται με οριζόντια γραμμή η τιμή της συμβατική έναρξης της πήξης, και με μαύρο χρώμα τα σημεία μετατόπισης της αντίστοιχης ράβδου (P2, P4, P6, P8). 69
- Διάγραμμα 2.5** Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, σύνθεση SCC-34 (Σ145-146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). 73
- Διάγραμμα 2.6** Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau(0.01+0.10+1.0)/3, \tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-34 (Σ146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). 73
- Διάγραμμα 2.7** Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-34 (Σ146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). 74
- Διάγραμμα 2.8** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης SCC-34 (Σ145). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 (Εικόνα 2.1) και το σκυροδέμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κοίλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α). 74
- Διάγραμμα 2.9** Αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, για την μέση τιμή των 3 κύβων (Km), συγκριτικά για όλες τις συνθέσεις (με κόκκινο οι ΑΣΣ και με μαύρο οι ΣΣ). 75
- Διάγραμμα 2.10** Τάσεις συνάφειας Km (μέσος όρος των 3 κύβων) ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, συγκριτικά για ΑΣΣ και ΣΣ (μέσος όρος μιγμάτων). 76
- Διάγραμμα 2.11** Συγκεντρωτικό διάγραμμα τεσσάρων χαρακτηριστικών τάσεων Km/fcc για όλες τις συνθέσεις. 76
- Διάγραμμα 2.12** Αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, για τις μη μετατοπισμένες ράβδους (P1,P3,P5,P7,P9), συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής, για όλα τα δοκίμια δοκού. Για τα ΑΣΣ μίγματα, φαίνονται με μαύρο χρώμα οι ευθείες των ελαχίστων τετραγώνων. 77
- Διάγραμμα 2.13** Ευθείες ελαχίστων τετραγώνων που έχουν προκύψει από γραμμική παλινδρόμηση των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1,P3,P5,P7,P9), και με μη συμπαγή κύκλο οι μετατοπισμένες ράβδοι (P2,P4,P6,P8), συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής, για όλα τα δοκίμια δοκού, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας. 78



- Διάγραμμα 2.14** Λόγος χαρακτηριστικών τάσεων συνάφειας των μετατοπισμένων ράβδων (P2,P4,P6,P8) δοκιμίου δοκού με (Αριστερά) τον μέσο όρο τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1,P3,P5,P7,P9), και (Δεξιά) με τον μέσο όρο τάσεων συνάφειας των δύο γειτονικών ράβδων αντίστοιχα, συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής. 80
- Διάγραμμα 2.15** Λόγος της μέσης τιμής των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1,P3,P5,P7,P9) του δοκιμίου δοκού ( $\Delta' m$ ), προς την μέση τιμή των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των 3 κυβικών δοκιμίων ( $K_m$ ) της ίδιας σύνθεσης, για τις 4 αντιπροσωπευτικές τιμές τάσεων συνάφειας που έχουν επιλεγθεί ως κριτήρια ελέγχου, και για όλες τις συνθέσεις στις οποίες κατασκευάστηκε δοκίμιο δοκού. Παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα για τα ΑΣΣ μίγματα και με μαύρο για τα ΣΣ. 82
- Διάγραμμα 2.16** (Άνω) Πραγματικές τιμές της μέγιστης τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο υποστρώματος, για την Σ146 (ΑΣΣ), και (Κάτω) Προσαρμογή των πραγματικών τιμών (ίδιας σύνθεσης) στην ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και εύρεση θεωρητικής τιμής τάσης συνάφειας βάσης,  $\tau_0$ . 83
- Διάγραμμα 2.17** Τιμές των τεσσάρων αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος. 84
- Διάγραμμα 2.18** Τιμές των τεσσάρων αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας ανηγμένων στην εκτιμώμενη τιμή τάσης της βάσης  $\tau_0$ , συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστρώματος, για όλες τις συνθέσεις. Φαίνεται ακόμη ο μειωτικός συντελεστής για τη συνάφεια  $\alpha$ . 85
- Διάγραμμα 2.19** Λόγος  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές) για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, συγκριτικά για ΑΣΣ και ΣΣ μίγματα (μέσος όρος μιγμάτων). 90
- Διάγραμμα 2.20** Λόγοι  $\tau_{\text{col-low}}/\tau_{K_m}$ , επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στην τάση συνάφειας της κάτω ράβδου του χαμηλού υποστρώματος, για όλες τις συνθέσεις (πραγματική τιμή των  $\tau_{\text{col-low}}$ ). 90
- Διάγραμμα 2.21** Λόγοι τάσεων συνάφειας (εκτιμώμενων) άνω/κάτω ράβδου χαμηλού υποστρώματος συναρτήσει του ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη sf% για όλα τα ΑΣΣ μίγματα, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις. 91
- Διάγραμμα 2.22** Επιρροή του ποσοστού πυριτικής παιπάλης sf% στην θλιπτική αντοχή  $f_{cc}$ , για όλα τα ΑΣΣ μίγματα. 92
- Διάγραμμα 2.23** Επιρροή ποσοστού υπερρευστοποιητή SP/c% στους λόγους τάσεων συνάφειας (εκτιμώμενων) άνω/κάτω ράβδου χαμηλού υποστρώματος, για όλες τις συνθέσεις ΣΣ και ΑΣΣ. 93
- Διάγραμμα 2.24** (Άνω) Συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας κυβικών δοκιμίων, και (Κάτω) συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας. 93
- Διάγραμμα 2.25** Συντελεστές μεταβλητότητας COV% (μέσος όρος μιγμάτων), συγκριτικά για ΑΣΣ (n=6) και ΣΣ (n=2), στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, για κυβικά δοκίμια. 95
- Διάγραμμα 2.26** Συντελεστές μεταβλητότητας COV% (μέσος όρος μιγμάτων), συγκριτικά για ΑΣΣ (n=6) και ΣΣ (n=6), στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, για δοκίμια δοκού. 95

<b>Διάγραμμα 2.27</b> Λόγος $\tau_{col-low}/K_m$ συναρτήσει της εξάπλωσης SF (mm), για τα χαμηλά υποστυλώματα των ΑΣΣ μιγμάτων.	95
<b>Διάγραμμα 2.28</b> Λόγος $\tau_{άνω}/\tau_{κάτω}$ (εκτιμώμενες τιμές) συναρτήσει της εξάπλωσης SF (mm) για τα χαμηλά υποστυλώματα των ΑΣΣ μιγμάτων.	96

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

<b>Εικόνα 1.1</b> Hajime Okamura.	16
<b>Εικόνα 1.2</b> Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων (Μπόλη 2009).	18
<b>Εικόνα 1.3</b> Πλαϊνές όψεις βάσης αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo κατά τη φάση της κατασκευής.	19
<b>Εικόνα 1.4</b> (Αριστερά) Γέφυρα Ritto (Φυσικό πάρκο, Νομαρχιακό διαμέρισμα Shiga), (Δεξιά) Σχήμα κολώνας της γέφυρας.	19
<b>Εικόνα 1.5</b> Κατασκευή κτιρίου υψηλών προδιαγραφών, Βαρσοβία (Ιούνιος 2005).	20
<b>Εικόνα 1.6</b> (Αριστερά) Ποιότητα επιφάνειας στοιχείου από ΣΣ, και (Δεξιά) τελική ποιότητα ίδιου στοιχείου επισκευασμένου από ΑΣΣ.	20
<b>Εικόνα 1.7</b> Έγχυση ΑΣΣ στην πρόσθια πλευρά του φράγματος Robert Moses, Νέα Υόρκη	20
<b>Εικόνα 1.8</b> Τελική επιφάνεια επισκευασμένου στοιχείου με ΑΣΣ γέφυρας Rainbow (Αποκατάσταση 2005), Καταρράκτες Νιαγάρα, Νέα Υόρκη (2007 Louisiana Transportation Engineering Conference).	21
<b>Εικόνα 1.9</b> (Αριστερά) Προκατασκευασμένα πανέλα από ΑΣΣ, Arvada, Colorado (2007 Louisiana Transportation Engineering Conference), (Δεξιά) Κατόπιν σκυροδέτησης πλάκας με ΑΣΣ απαιτείται ελάχιστη εργασία για επίτευξη καλής τελικής επιφάνειας.	21
<b>Εικόνα 10</b> (Αριστερά) Κέντρο σύγχρονης τέχνης Rosenthal, Cincinnati (Zaha Hadid, 2003), (Δεξιά) Επιστημονικό κέντρο Phaeno, Wolfsburg (Zaha Hadid, 2005).	21
<b>Εικόνα 1.11</b> Μέτρηση κάθισης.	22
<b>Εικόνα 1.12</b> Ραβδισμός σκυροδέματος κατά τη δοκιμή κάθισης (Πάσιος 2011).	23
<b>Εικόνα 1.13</b> Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης.	23
<b>Εικόνα 1.14</b> (Αριστερά) Κατακόρυφη ανασήκωση κώνου κατά την διεξαγωγή δοκιμής εξάπλωσης, (Δεξιά) μέτρηση τελικής διαμέτρου εξάπλωσης.	24
<b>Εικόνα 1.15</b> Εξοπλισμός δοκιμής με δακτύλιο J (J-Ring).	26
<b>Εικόνα 1.16</b> Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου L (L-Box).	26
<b>Εικόνα 1.17</b> (Αριστερά) Άνοιγμα θύρας εκροής δοχείου L κατά την εκτέλεση της δοκιμής, (Δεξιά) Μέτρηση ύψους H <sub>2,L</sub> .	27
<b>Εικόνα 1.18</b> Εξοπλισμός δοχείου U (U-Box).	27
<b>Εικόνα 1.19</b> Εκτέλεση δοκιμής χοάνης V (V-Funnel) (Στύλος 2011)	28
<b>Εικόνα 1.20</b> Εξοπλισμός δοκιμής χοάνης V (V-Funnel).	29
<b>Εικόνα 1.21</b> Μηχανισμοί ανάπτυξης τάσης συνάφειας.	30

<b>Εικόνα 1.22</b> Τυπικές συνθήκες συνάφειας, ΕΚΩΣ2000.	31
<b>Εικόνα 1.23</b> Απεικόνιση διαστρωματικού διαχωρισμού (Delamination), αποτέλεσμα εκτεταμένης εξίδρωσης και ιζηματοποίησης (settlement) (Manitoba Ready Mix Concrete Assosiation).	32
<b>Εικόνα 1.24</b> Το πρόβλημα των άνω οπλισμών (top-bar effect).	32
<b>Εικόνα 1.25</b> Γεωμετρία δοκιμίου τυποποιημένης δοκιμής δοκού κατά RILEM (1979) για τον προσδιορισμό της τοπικής συνάφειας–ολίσθησης.	33
<b>Εικόνα 1.26</b> Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης RILEM/CEB/FIP (1970).	33
<b>Εικόνα 1.27</b> Δοκίμια δοκιμής εξόλκευσης και μηχανολογικός εξόπλισμός (Foroughi-Asl A. et al 2008).	34
<b>Εικόνα 1.28</b> Διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος μεγεθυμένη κατά 25 φορές με μικροσκόπιο-κάμερα (Soylev T. και Francois R. 2006).	36
<b>Εικόνα 1.29</b> Απεικόνιση αρχικού δοκιμίου ύψους 2000mm και δοκιμίων κατόπιν πριονίσματος, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμές εξόλκευσης και χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της διεπιφάνειας χάλυβα-σκυροδέματος με μικροσκόπιο-κάμερα (Soylev T. και Francois R. 2006).	36
<b>Εικόνα 1.30</b> (Αριστερά) Διατάξεις δοκιμής εξόλκευσης, (Δεξιά) Διατάξεις δοκιμής δοκού (Almeida Filho F.M. et al 2008).	38
<b>Εικόνα 1.31</b> Τρεις διατάξεις δοκιμίων και διεύθυνση σκυροδέτησης (Castel et al 2006).	41
<b>Εικόνα 1.32</b> Δοκίμιο δοκού, όπου η χύτευση πραγματοποιήθηκε από την αριστερή πλευρά του ξυλότυπου στην περίπτωση του ΑΣΣ (Thrane L.N. et al 2010).	42
<b>Εικόνα 1.33</b> (Αριστερά) Διάταξη ξυλοτύπου και τοποθέτηση οπλισμών, (Δεξιά) Υποστύλωμα σε κατάκλιση (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).	44
<b>Εικόνα 1.34</b> Δοκιμή δοκού τύπου Β ( $d \geq 16\text{mm}$ ), διαστάσεις σε cm, (1. Βελόμετρα καταγραφής ολίσθησης, 2. Πλαστικοί σωλήνες, 3. Κινητές στηρίξεις) (Πάττα και Περβολαράκης 2005).	47
<b>Εικόνα 1.35</b> Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης, διαστάσεις σε mm, (Πάττα και Περβολαράκης 2005).	47
<b>Εικόνα 1.36</b> Διάταξη δοκιμής δοκού (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).	48
<b>Εικόνα 1.37</b> (Αριστερά) Νευρώσεις «τύπου 1» και, (Δεξιά) νευρώσεις «τύπου 2» (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).	48
<b>Εικόνα 2.1</b> Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού. ....	54
<b>Εικόνα 2.2</b> (Αριστερά) Σκαρίφημα χαμηλού υποστυλώματος, και (Δεξιά) σκαρίφημα κυβικού δοκιμίου. ....	54
<b>Εικόνα 2.3</b> Κόσκινα Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. (Σφήκας 2007). ....	56
<b>Εικόνα 2.4</b> (Αριστερά) Ξήρανση αδρανών, (Δεξιά) κλίβανος Εργαστηρίου (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010). ....	57
<b>Εικόνα 2.5</b> (Αριστερά) Αδρανή-Τσιμεντοειδή υλικά, (Δεξιά) συλλογή υλικών σε πλαστικές σακούλες, πριν την σφράγιση (Σφήκας 2007). ....	57
<b>Εικόνα 2.6</b> Αναμικτήρας σε ακινησία κατά την προσθήκη των λεπτόκοκκων υλικών (με χαρακτηριστικό κυανό χρώμα διακρίνεται η πυριτική παιπάλη (sf)) (Στύλος 2011). ....	58

<b>Εικόνα 2.7</b> (Αριστερά) Ξυλότυπος δοκιμίου δοκού λίγο πριν την πλήρωση (με χαρακτηριστικό ‘γυάλισμα’ φαίνεται το ειδικό έλαιο επάλειψης), (Δεξιά) Δοκίμιο δοκού λίγο μετά τη σκυροδέτηση, ενώ βρίσκεται σε νωπή κατάσταση (και πριν την έναρξη της πήξης). Φαίνονται ως ‘τρύπες’ τα σημεία από τον έλεγχο της πήξης (βλέπε την §2.3.3).....	59
<b>Εικόνα 2.8</b> (Αριστερά) Κυβικά δοκίμια και χαμηλό υποστυλώμα λίγο μετά από την αφαίρεση των ξυλοτύπων, (Δεξιά) ξυλότυπος χαμηλού υποστυλώματος, όπου φαίνονται οι ράβδοι οπλισμού και οι σωλήνες για τον περιορισμό του μήκους συνάφειας. ....	59
<b>Εικόνα 2.9</b> (Αριστερά) Επιπεδοποίηση εξωτερικής επιφάνειας νωπού σκυροδέματος σε μήτρα (με μυστρί), (Δεξιά) μέτρηση μεικτού βάρους (νωπό σκυρόδεμα και μήτρα) (Σφήκας 2007). ....	60
<b>Εικόνα 2.10</b> Μηχανή θραύσης Wykeham Farrance (Πάττα και Περβολαράκης 2005).....	65
<b>Εικόνα 2.11</b> Θλίψη κυβικού δοκιμίου (Πάττα και Περβολαράκης 2005). ....	66
<b>Εικόνα 2.12</b> Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης (κυβικό δοκίμιο) (Στύλος 2011).....	67
<b>Εικόνα 2.13</b> Απεικόνιση της πειραματικής διάταξης της δοκιμής εξόλκευσης (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).....	67
<b>Εικόνα 2.14</b> Καταγραφή, σε πραγματικό χρόνο, της δύναμης εξόλκευσης (kN) και των τριών ολισθήσεων (mm) όπως προκύπτουν από τα 3 βελόμετρα (LVDTs) της δοκιμής εξόλκευσης, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα StrainSmart (Στύλος 2011).....	67
<b>Εικόνα 2.15</b> Μέτρηση της πίεσης διείδυσης, με έμπηξη ειδικής βελόνας συνδεδεμένης με δυναμόμετρο, σε διαφορετικές θέσεις δοκιμίου δοκού για τον προσδιορισμό της πήξης του νωπού σκυροδέματος. ....	68
<b>Εικόνα 2.16</b> Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού και λεπτομέρεια της επιβολής εναλλασσόμενης μετατόπισης στην ράβδο P2. Ομοίως επιβλήθηκε και στις ράβδους P4, P6, P8. ....	71
<b>Εικόνα 2.17</b> (Αριστερά) Αστοχία σε διάρρηξη κατά την δοκιμή εξόλκευσης στην θέση της P9 για το δοκίμιο δοκού Σ145 (ΑΣΣ), και (Δεξιά) σταδιακή μείωση του σκυροδέματος επικάλυψης, με μέγιστη μείωση στην περιοχή της P9, για το ίδιο δοκίμιο δοκού. ....	77

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

<b>ΣXXX</b>	σύνθεση με αύξοντα αριθμό <i>XXX</i>
<b>ΑΣΣ / SCC</b>	αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα
<b>ΣΣ / NC</b>	συμβατικό σκυρόδεμα
<b>c</b>	τσιμέντο CEM II A/L 42.5N ή 32.5N ή 22.5
<b>sf</b>	πυριτική παιπάλη
<b>Ip</b>	ασβεστολιθικό φίλλερ
<b>s</b>	άμμος 0/4
<b>g1</b>	ριζάκι 4/8
<b>g2</b>	γαρμπίλι 8/16
<b>g3</b>	σκύρα 16/32,
<b>w</b>	νερό
<b>w'</b>	ωφέλιμο νερό
<b>SP</b>	υπερρυστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα
<b>f</b>	λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+παιπάλη αδρανών)
<b>w<sub>tot</sub></b>	βάρος μίγματος (ανά m <sup>3</sup> )
<b>g</b>	χονδρόκοκκα (ανά m <sup>3</sup> )
<b>b</b>	συνδετικό υλικό (c+sf)
<b>p</b>	πάστα (f+πρόσμικτα+νερό) (ανά m <sup>3</sup> )
<b>m</b>	κονίαμα (πάστα+άμμος) (ανά m <sup>3</sup> )
<b>S</b>	κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1: 0≤S≤40mm, S2: 50≤S≤90mm, S3: 100≤S≤150mm, S4: 160≤S≤200mm, S5: S>200mm)
<b>SF</b>	ανεμπόδιστη εξάπλωση / κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την εξάπλωση (SF1: 550≤SF≤650mm, SF2: 650<SF≤750mm, SF3: 750<SF≤850mm)
<b>VS</b>	κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο ροής T <sub>50</sub> (VS1: T <sub>50</sub> ≤2s, VS2: T <sub>50</sub> >2s)
<b>VF</b>	κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο εκροής, από τη χοάνη V (VF1: T <sub>V,A</sub> ≤8s, VF2: 8<T <sub>V,A</sub> ≤25s)
<b>PA</b>	κατηγορία διελυσιμότητας με βάση την ικανότητα διέλευσης από το δοχείο L (PA1: λ <sub>ΔΗ,Λ</sub> ≤0,80, PA2: λ <sub>ΔΗ,Λ</sub> >0,80)
<b>FVSI</b>	δείκτης οπτικής σταθερότητας νωπού σκυροδέματος (με βάση τον έλεγχο ανεμπόδιστης εξάπλωσης)
<b>f<sub>cc</sub></b>	θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
<b>f<sub>bd</sub></b>	τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας
<b>f<sub>bk</sub></b>	ονομαστική τιμή της τάσης συνάφειας
<b>F</b>	δύναμη εξόλκευσης ράβδου οπλισμού
<b>L</b>	μήκος συνάφειας
<b>Ø</b>	διάμετρος ράβδου (mm)
<b>D</b>	ένδειξη δυναμόμετρου μέτρησης της πίεσης διείδυσης

$\tau_{0.01}$	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.01\text{mm}$
$\tau_{0.10}$	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.10\text{mm}$
$\tau_{0.25}$	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.25\text{mm}$
$\tau_{1.00}$	τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=1.00\text{mm}$
$\tau_m$	μέση τάση συνάφειας (με ολοκλήρωση)
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	μέση τιμή των τάσεων συνάφειας για ολισθήσεις $s=0.01, 0.10, 1.00\text{mm}$
$\tau_{\max}$	μέγιστη τάση συνάφειας
$s_{\tau_{\max}}$	ολίσθηση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση συνάφειας
<b>K<sub>i</sub></b>	κυβικά δοκίμια προς έλεγχο συνάφειας ( $i=1, 2, 3$ )
<b>K<sub>m</sub></b>	μέση τιμή των τριών κυβικών δοκιμίων
<b>col-i,real</b>	πραγματική τιμή τάσης συνάφειας ράβδου υποστρώματος ( $i= \text{upr}/\text{άνω}, \text{mid}/\text{μεσαία}, \text{low}/\text{κάτω}$ )
<b>col-i,est</b>	εκτιμώμενη τιμή τάσης συνάφειας ράβδου υποστρώματος ( $i= \text{upr}/\text{άνω}, \text{mid}/\text{μεσαία}, \text{low}/\text{κάτω}$ )
<b><math>\Delta m</math></b>	μέση τιμή των τάσεων συνάφειας των ράβδων μιας δοκού
<b><math>\Delta' m</math></b>	μέση τιμή των τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων μιας δοκού (P1,P3,P5,P7,P9)
<b><math>\Delta i</math></b>	ράβδος δοκιμίου δοκού ( $i=1, 2, \dots, 9$ )
<b><math>\tau_0</math></b>	εκτιμώμενη τιμή της τάσης συνάφειας στη βάση του υποστρώματος
<b><math>\tau/f_{cc}</math></b>	τάση συνάφειας ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
<b><math>\tau/\sqrt{f_{cc}}</math></b>	κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια
<b>COV (%)</b>	συντελεστής μεταβλητότητας.

## Κεφάλαιο 1 : Θεωρητικό μέρος

### 1.1 Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ)

#### 1.1.1 Εισαγωγή–Ορισμός

Το σκυρόδεμα στις μέρες μας αποτελεί το δομικό υλικό που παγκοσμίως χρησιμοποιείται ευρύτατα λόγω της ευκολίας παραγωγής του και της ευκολίας διάστρωσής του στα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Ένα από τα σημαντικότερα στάδια κατά την διάστρωσή του είναι η συμπίκνωση, η διαδικασία που αποσκοπεί στην απομάκρυνση του αέρα που έχει εγκλωβιστεί στο εσωτερικό της μάζας του υλικού κατά την παραγωγή και τοποθέτησή του, που επιτυγχάνεται με δόνηση του νωπού σκυροδέματος κατά την χύτευση. Με τη συμπίκνωση το πορώδες του σκυροδέματος περιορίζεται δραστικά με αποτέλεσμα αυξημένες αντοχές και συνεπώς αυξημένη ανθεκτικότητα στο χρόνο.

Τα τελευταία χρόνια με τη χρήση του νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ2000) υπαγορεύεται η χρήση πυκνότερου οπλισμού στα δομικά στοιχεία που έχει ως αποτέλεσμα να γίνεται δυσχερής η χρήση δονητή και τη δημιουργία κενών (φωλιές) στα δομικά στοιχεία λόγω ελλιπούς συμπίκνωσης τόσο στο εσωτερικό όσο και στην επιφάνεια, ανάλογα πάντα και με την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας του ξυλότυπου και τον τρόπο όπλισης. Ένα ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να τονιστεί είναι ότι κατά τη διαδικασία της δόνησης δημιουργούνται υψηλά επίπεδα θορύβου που συνεπάγονται ανθυγιεινές συνθήκες εργασίας, αδυναμία επικοινωνίας μεταξύ των εργαζομένων και ως επακόλουθο πληθώρα κακοτεχνιών και κίνδυνο εργατικών ατυχημάτων.

Όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν οδήγησαν στη δημιουργία ενός νέου είδους σκυροδέματος που ονομάστηκε Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (self-compacting concrete ή self-consolidating concrete ή self-leveling concrete/ SCC) με το οποίο επιτυγχάνεται η βέλτιστη συμπίκνωση του σκυροδέματος σε μια κατασκευή. Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ) είναι εκείνο το υπέρρευστο σκυρόδεμα που σε νωπή κατάσταση έχει την ικανότητα να ρέει διαμέσου πυκνά οπλισμένων ή γεωμετρικά σύνθετων δομικών στοιχείων μέσω του ίδιου βάρους του, και χρησιμοποιείται για την πλήρωση οπλισμένων ξυλότυπων χωρίς να παρουσιάζει απόμιξη των επιμέρους υλικών του (διατήρηση ομοιογένειας) και χωρίς την ανάγκη συμπίκνωσης μέσω μηχανικής δόνησης. Γενικά, το ΑΣΣ παράγεται από τα ίδια υλικά με το Συμβατικό Σκυρόδεμα (ΣΣ), με διαφορά την προσθήκη προσμίκτων (ποζολανικά υλικά, πυριτική παιπάλη, ιπτάμενη τέφρα, κ.λπ.) και χημικών προσθέτων (υπερρευστοποιητές, τροποποιητικά ιξώδους), που του προσδίδουν σημαντικά αυξημένη ρευστότητα και αντίσταση σε απόμιξη.

#### 1.1.2 Ιστορικά στοιχεία

Αναφορές ερευνών γύρω από σκυροδέματα υψηλής συνοχής με ικανότητα διαμόρφωσης επίπεδης άνω επιφάνειας (self-leveling concrete) εμφανίζονται στη διεθνή βιβλιογραφία ήδη από τα έτη 1975-76. Αυτός ο τύπος σκυροδέματος παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία στα τέλη της δεκαετίας του 1980 από τον καθηγητή Hajime Okamura του Πανεπιστημίου του Τόκιο (**Εικόνα 1.1**). Από το 1983 οι Ιάπωνες ενδιαφέρονταν για την ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα, ή καλύτερα για την αντιμετώπιση του προβλήματος της μειωμένης ανθεκτικότητας που παρουσίαζαν οι παραπάνω κατασκευές. Κύρια αιτία του προβλήματος αυτού ήταν η ραγδαία ανάπτυξη της κατασκευαστικής

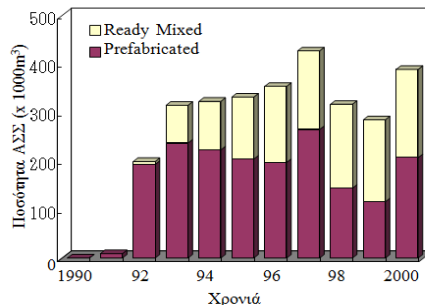
βιομηχανίας με απαίτηση για ταχείες, ομοιόμορφες αλλά και αξιόπιστες κατασκευές χωρίς όμως να υπάρχει αρκετό επαρκώς εκπαιδευμένο εργατικό δυναμικό. Η έλλειψη αυτή αντιμετωπίστηκε λοιπόν με το ΑΣΣ στο οποίο, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, δεν απαιτείται δόνηση για να συμπυκνωθεί. Το 1989 έγινε η πρωτότυπη σύνθεση ΑΣΣ με υλικά της Ιαπωνικής αγοράς σκυροδέματος και ακολούθησε πλήθος από εργαστηριακές έρευνες για τις θεμελιώδεις αρχές που διέπουν το υλικό με κυριότερη αρχικά αυτή των Ozawa κ.ά. (Ozawa et al. 1989, πηγή: Μπόλη Α. 2009). Υπολογίζεται μάλιστα πως μέχρι το 2000 στην Ιαπωνία, έγινε χρήση 400.000m<sup>3</sup> ΑΣΣ για τη δημιουργία προκατασκευασμένων στοιχείων (**Διάγραμμα 1.1**).



Εικόνα 1.1 Hajime Okamura.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι αν και το ΑΣΣ είναι μια Ιαπωνική πρωτοπορία εφαρμόζεται για πάνω από μια δεκαετία (με πρώτη επαφή στις αρχές του 1990) και στην Ευρώπη (κυρίως Σουηδία, Γαλλία, Ολλανδία), αλλά και στις ΗΠΑ.

Όσον αφορά στους κανονισμούς που το διέπουν, οι πρώτοι εμφανίστηκαν σε ευρωπαϊκό επίπεδο στη Γαλλία το 2000 και στις Σκανδιναβικές χώρες, ενώ ακολούθησαν η Γερμανία, το Βέλγιο και η Ιταλία. Στη συνέχεια η EFNARC κυκλοφόρησε το 2002 τις πρώτες συστάσεις για το ΑΣΣ (EFNARC, 2002), οι οποίες εξελίχθηκαν στις πρώτες Ευρωπαϊκές Οδηγίες για ΑΣΣ (European Guidelines for SCC, 2005). Επίσης σε ευρωπαϊκό επίπεδο βρίσκεται σε ισχύ το πρότυπο EN 206-9 που αναφέρεται αποκλειστικά σε συμπληρωματικές οδηγίες για το ΑΣΣ, ενώ στην Ελλάδα υπάρχουν οι Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) για το Αυτοσυμπκνούμενο Σκυροδέμα που κυκλοφόρησαν από το ΥΠΕΧΩΔΕ (2004), οι οποίες ακολουθούν τη φιλοσοφία των ευρωπαϊκών προτύπων.



Διάγραμμα 1.1 Χρήση ΑΣΣ τη δεκαετία του 1990 στην Ιαπωνία (Ouchi et al. 2003).

### 1.1.3 Πλεονεκτήματα-Ιδιαιτερότητες Αυτοσυμπκνούμενου Σκυροδέματος (ΑΣΣ)

Το ΑΣΣ με κατάλληλη σύνθεση και σωστή τοποθέτηση προσφέρει πολλά **πλεονεκτήματα** για τον τελικό χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, τα εξής ακόλουθα:

- Μείωση του χρόνου σκυροδέτησης (λόγω απουσίας του σταδίου της μηχανικής δόνησης)
- Μεγαλύτερος χρόνος ζωής ξυλότυπων–μεταλλότυπων λόγω της απουσίας της δόνησης που φθείρει το υλικό
- Δυνατότητα σκυροδέτησης μελών περίπλοκης γεωμετρίας (π.χ. κλειστοί τύποι με αρνητικές κλίσεις), μελών με ιδιαίτερα πυκνό οπλισμό, ή επίπεδων επιφανειών μεγάλης επιφάνειας (αυτοεπιπέδωση)
- Ελαχιστοποίηση των εργασιών επιδιόρθωσης των σκυροδετημένων τοιχείων



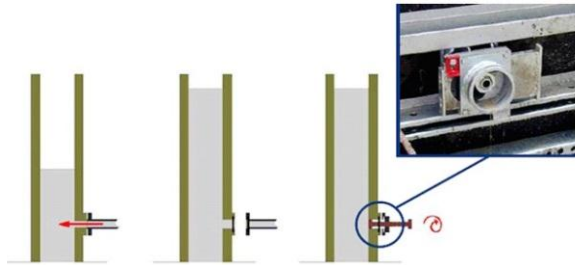
- Μείωση του απαιτούμενου εργατικού δυναμικού ανά σκυροδετούμενο στοιχείο
- Μεγαλύτερη εργονομία στο χώρο σκυροδέτησης
- Βελτιωμένες εξωτερικές επιφάνειες
- Ικανοποιητική και ομοιόμορφη συμπίκνωση
- Μείωση της διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων
- Μείωση στην παραγωγή θορύβου στο εργοτάξιο στα επιτρεπτά όρια που περιγράφονται στο 86/188/ECC των 85 dB(A) του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου
- Εξάλειψη της φυσικής καταπόνησης του εργατικού προσωπικού από τη χρήση δονητών όπως και της πιθανότητας εργατικών ατυχημάτων
- Μείωση των τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων πλησίον του σημείου σκυροδέτησης
- Δυνατότητα ικανοποίησης πολύπλοκων αρχιτεκτονικών απαιτήσεων (π.χ. άσωση απόδοσης του αρχιτεκτονικού αναγλύφου εμφανών σκυροδεμάτων)
- Επιτάχυνση κατασκευής μέσω υψηλότερου ρυθμού διάστρωσης. Π.χ. βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo από ΑΣΣ, όπου ο χρόνος κατασκευής μειώθηκε κατά 20%, από 2,5 σε 2 χρόνια (Απρίλιος του 1998)
- Διάστρωση σκυροδέματος με κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες ανεξαρτήτως της εμπειρίας του εργατικού προσωπικού στη δόνηση (δεν ισχύει το ίδιο για το προσωπικό επίβλεψης-ελέγχου)
- Αυξημένες αντοχές και ανθεκτικότητα στο χρόνο

Τα προαναφερθέντα θετικά χαρακτηριστικά του ΑΣΣ επιτρέπουν την ικανοποίηση απαιτήσεων για αυξημένη παραγωγικότητα και ανθεκτικότητα, αναβαθμισμένο περιβάλλον εργασίας και υψηλή αισθητική. Όμως, απαραίτητη προϋπόθεση για αυτά είναι η απόλυτη συμμόρφωση με αυστηρά κριτήρια ποιοτικού ελέγχου σε όλα τα στάδια, από την παραγωγή μέχρι και τη συντήρηση.

Πρέπει να είναι σαφές ότι το μεγαλύτερο μέρος της ευθύνης για την επιτυχία ή την αποτυχία μιας εφαρμογής το φέρει ο εφαρμοστής. Τα πρότυπα “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete” (EFNARC, 2005) και EN 206-1 (2000) δίνουν τις απαραίτητες οδηγίες και πληροφορίες, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο σωστός τρόπος σκυροδέτησης σε κατασκευές που χρησιμοποιείται υψηλής ποιότητας σκυροδέμα. Αυτές θα πρέπει να ακολουθούνται επιμελώς, αν το ζητούμενο είναι η επίτευξη βέλτιστων εφαρμογών σκυροδέματος. Για την εξασφάλιση της επιτυχίας της εφαρμογής του ΑΣΣ και της πλήρους αξιοποίησης των ιδιοτήτων του πρέπει να ληφθούν υπόψη οι **ιδιαιτερότητες** του:

- Μεγαλύτερη ευαισθησία των συνθέσεων στις διακυμάνσεις των ιδιοτήτων των συστατικών (ποσοστό υγρασίας αδρανών, λεπτότητα κονιών, κ.α.). “Το ΑΣΣ δεν «συγχωρεί» λάθη” (πηγή : Παπανικολάου Κ.).
- Πιθανότητα ύπαρξης διαφορών μεταξύ ρεολογικής συμπεριφοράς στο εργαστήριο και στο πεδίο.
- Το ΑΣΣ απαιτεί μεγαλύτερη εξειδίκευση του προσωπικού που σχετίζεται με τη μελέτη σύνθεσης και την επίβλεψη- ποιοτικούς ελέγχους (επιβλέπων μηχανικός), σε όλα τα στάδια της κατασκευής, ενώ όπως προαναφέρθηκε δεν απαιτείται κάτι τέτοιο για το εργατικό προσωπικό.
- Εξασφάλιση στεγανότητας ξυλοτύπων και προσεκτική διαστασιολόγησή τους για υψηλούς ρυθμούς σκυροδέτησης. Το ΑΣΣ απαιτεί υψηλό βαθμό ποιότητας σε όλα τα στάδια της παραγωγής.

- Απαίτηση αναβάθμισης των υπαρχουσών υλικοτεχνικών υποδομών στα παρασκευαστήρια (π.χ. πρόσθετα σιλό αποθήκευσης αδρανών και ποζολανικών υλικών, νέες συσκευές ελέγχου των ιδιοτήτων νωπού ΑΣΣ, υγρόμετρα ακριβείας, L-Box, V-Funnel, J-Ring, κ.ά.).
- Το ΑΣΣ σε σχέση με το ΣΣ παρουσιάζει μεγαλύτερο κίνδυνο αποφλοίωσης λόγω πυρκαγιάς και παρόμοια συμπεριφορά σε δράση παγετού.
- Η κρισιμότητα της συντήρησης είναι μεγαλύτερη για το ΑΣΣ σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα. Στο συμβατικό σκυρόδεμα ο βέλτιστος βαθμός συμπύκνωσης είναι 0.97, ενώ στο ΑΣΣ είναι 0.98-1 (ο βέλτιστος βαθμός συμπύκνωσης είναι 1). Όσο απομακρυνόμαστε από τη μονάδα έχουμε μείωση της αντοχής, συγκεκριμένα για κάθε 0.01 χάνουμε 5% της αντοχής (Μπόλη, 2009).
- Η διαπερατότητά του ΑΣΣ είναι μικρότερη από αυτή του συμβατικού εξαιτίας της μεγάλης αναλογίας μικρότερων σωματιδίων στο μίγμα. Ενδεικτικά, όταν έχουμε ΑΣΣ η διείσδυση του νερού για τον ίδιο λόγο νερού προς τσιμέντο μειώνεται κατά 1/3 σε σχέση με το συμβατικό (Μπόλη, 2009).



Εικόνα 1.2 Σκυροδέτηση μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων (Μπόλη 2009).

Ακόμη, η δόνηση του ΑΣΣ θα πρέπει γενικά να αποφευχθεί, αφού είναι πιθανό να προκαλέσει καθίζηση των χονδρόκοκκων αδρανών. Αν δεν επιτευχθεί η επιθυμητή συμπύκνωση στο σκυρόδεμα, θα πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η συμμόρφωσή του στους κανονισμούς. Εναλλακτικά η σκυροδέτηση μπορεί να γίνει και μέσω εισπίεσης από το κατώτατο τμήμα των ξυλοτύπων, μέθοδος που εφαρμόζεται κυρίως σε κατακόρυφα στοιχεία (Εικόνα 1.2).

Το βασικό χαρακτηριστικό του ΑΣΣ είναι οι **ιδιότητες** που έχει όσο είναι ακόμα νωπό:

- Ροή αποκλειστικά λόγω του ιδίου βάρους του, χωρίς δόνηση
- Ροή μέσω στενών ανοιγμάτων και συνεπώς δυνατότητα πλήρωσης ξυλοτύπων με πυκνό οπλισμό
- Διατήρηση ομοιογένειας κατά τη μεταφορά και τη διάσπρωση

Πέρα από αυτές τις βασικές ιδιότητες του ΑΣΣ, για συγκεκριμένες εφαρμογές, παρασκευάζονται μίγματα με αντίσταση σε απόπλυση και απαλλαγμένες από ατέλειες ελεύθερες επιφάνειες. Για την εκτίμηση των παραπάνω ιδιοτήτων δεν υπάρχει ακόμα κάποια ομογενοποιημένη δοκιμή, που να τις ελέγχει δηλαδή ταυτόχρονα. Τα χαρακτηριστικά εκείνα που καθορίζουν τη συμπεριφορά του υλικού και εκφράζουν το βαθμό ανταπόκρισης του στις παραπάνω ιδιότητες είναι τα εξής:

- **Ικανότητα πλήρωσης** (ρευστότητα, filling ability, unconfined flowability)
- **Ικανότητα διέλευσης** (διελευσιμότητα, αποφυγή έμφραξης αδρανών στα διάκενα του οπλισμού, confined flowability, passing ability)
- **Αντίσταση σε απόμιξη** (σταθερότητα, ομοιογένεια)

Για κάθε μίγμα ΑΣΣ, κατά την παρασκευή του, είναι απαραίτητο να εκτελεστεί μια σειρά εξειδικευμένων δοκιμών-ελέγχων με στόχο να ποσοτικοποιηθούν και στη συνέχεια να αξιολογηθούν οι ρεολογικές ιδιότητες (αναλυτική περιγραφή στην §1.1.6).

#### 1.1.4 Εφαρμογές ΑΣΣ

Όπως προαναφέρθηκε οι βάσεις για το ΑΣΣ τέθηκαν στην Ιαπωνία και είναι απολύτως φυσικό τα πρώτα παραδείγματα και εφαρμογές να προέρχονται από εκεί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι βάσεις αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo, η οποία παραδόθηκε στην κυκλοφορία τον Απρίλιο του 1998 (Εικόνα 1.3). Στη συγκεκριμένη γέφυρα χρησιμοποιήθηκαν 290.000 m<sup>3</sup> ΑΣΣ και αντίστοιχα ο χρόνος κατασκευής μειώθηκε κατά 20% από 2,5 σε 2 χρόνια. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατασκευή δεξαμενών αποθήκευσης φυσικού αερίου σε υγρή μορφή τον Ιούνιο του 1998 από την Osaka Gas Company.



Εικόνα 1.3 Πλαϊνές όψεις βάσης αγκύρωσης της γέφυρας Akashi-Kaikyo κατά τη φάση της κατασκευής.

Χρησιμοποιήθηκαν 12.000 m<sup>3</sup> ΑΣΣ που είχε ως φυσικό επακόλουθο την μείωση του χρόνου κατασκευής (από 22 μήνες σε 18 μήνες) και τον μειωμένο αριθμό εργατικού προσωπικού (από 150 άτομα σε 50 άτομα).

Ένα άλλο παράδειγμα όπου έγινε ευρεία χρήση ΑΣΣ είναι η γέφυρα Ritto που αποτελεί τμήμα αυτοκινητόδρομου διπλής κατευθύνσεως (ένα τμήμα για Τόκιο και ένα για Όζακα αντίστοιχα) (Εικόνα 1.4). Στη συγκεκριμένη γέφυρα το μέγιστο ύψος κολώνας ήταν 103,5m και έπρεπε να πληροί τις αυστηρές προδιαγραφές της JSCE (Japan Society Of Civil Engineers) και τους Αντισεισμικούς Κανονισμούς. Χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ που πληρούσε τα κριτήρια για υψηλές αντοχές, ανθεκτικότητα στο χρόνο και ευκολία σκυροδέτησης παρά την ιδιομορφία του έργου.



Εικόνα 1.4 (Αριστερά) Γέφυρα Ritto (Φυσικό πάρκο, Νομαρχιακό διαμέρισμα Shiga), (Δεξιά) Σχήμα κολώνας της γέφυρας.

Εκτός όμως από τα παραπάνω ευρεία χρήση έχουμε και *στα προκατασκευασμένα στοιχεία* όπου ένα τυπικό παράδειγμα εταιρείας είναι το Consolis Group (Εικόνα 1.9 (Αριστερά)). Από την ετήσια κατασκευή 1,800,000m<sup>3</sup> σκυροδέματος τα 120,000 m<sup>3</sup> είναι

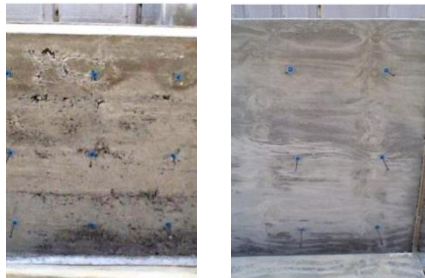
ΑΣΣ. Η συγκεκριμένη εταιρεία χρησιμοποιεί το ΑΣΣ για κατασκευή κολώνων, δοκών και τοιχίων καθώς και για κατασκευή τεχνητών υφάλων που βυθίζονται στη θάλασσα και αποτελούν καταφύγιο για ψάρια και άλλους οργανισμούς (Spenncon AS, Trondheim).

Ένα άλλο έργο όπου χρησιμοποιήθηκε ΑΣΣ είναι στη Βαρσοβία, την πρωτεύουσα της Πολωνίας. Δίπλα στον κεντρικό σιδηροδρομικό σταθμό κατασκευάστηκε κτίριο υψηλών προδιαγραφών (Εικόνα 1.5) που περιλαμβάνει εστιατόρια, εμπορικό κέντρο, υπόγειο χώρο στάθμευσης 1800 θέσεων, ξενοδοχείο, κινηματογραφικές αίθουσες και χώρους εκθέσεων. Χαρακτηριστικό είναι ότι συνολικά χρησιμοποιήθηκαν περίπου 212,000m<sup>3</sup> σκυροδέματος εκ των οποίων τα 4,800m<sup>3</sup> είναι ΑΣΣ. Εκτός όμως από όλα τα παραπάνω το ΑΣΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επισκευή ενός δομικού στοιχείου (Εικόνα 1.8). Είναι σύνηθες το ενδεχόμενο κατά την διάρκεια ξεκαλουπώματος ενός δομικού στοιχείου με αρκετά πυκνό οπλισμό το σκυρόδεμα να μην έχει περάσει από τα σίδερα είτε επειδή το μίγμα έχει αρκετά χονδρόκοκκα αδρανή, είτε λόγω κακής δόνησης και άλλων κακοτεχνιών.

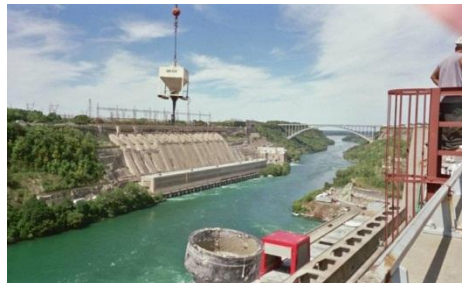
Το ΑΣΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση βλάβης υποστρωμάτων, δοκών και πλακών. Στα υποστρώματα η πιο συνηθισμένη βλάβη είναι η θραύση του σκυροδέματος σε μια διατομή από θλίψη και διάτμηση καθώς και ο λυγισμός του οπλισμού. Για την επισκευή του υποστρώματος κατασκευάζεται μανδύας από ωπλισμένο σκυρόδεμα ο οποίος περιβάλλει το παλιό υποστύλωμα. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες εφαρμογές ΑΣΣ.



Εικόνα 1.5 Κατασκευή κτιρίου υψηλών προδιαγραφών, Βαρσοβία (Ιούνιος 2005).



Εικόνα 1.6 (Αριστερά) Ποιότητα επιφάνειας στοιχείου από ΣΣ, και (Δεξιά) τελική ποιότητα ίδιου στοιχείου επισκευασμένου από ΑΣΣ.



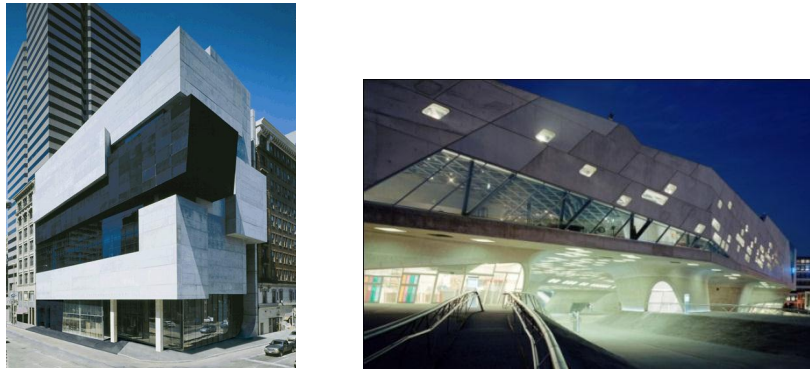
Εικόνα 1.7 Έγχυση ΑΣΣ στην πρόσθια πλευρά του φράγματος Robert Moses, Νέα Υόρκη



Εικόνα 1.8 Τελική επιφάνεια επικερασμένου στοιχείου με ΑΣΣ γέφυρας Rainbow (Αποκατάσταση 2005), Καταρράκτες Νιαγάρα, Νέα Υόρκη (2007 Louisiana Transportation Engineering Conference).



Εικόνα 1.9 (Αριστερά) Προκατασκευασμένα πάνελα από ΑΣΣ, Arvada, Colorado (2007 Louisiana Transportation Engineering Conference), (Δεξιά) Κατόπιν σκυροδέτησης πλάκας με ΑΣΣ απαιτείται ελάχιστη εργασία για επίτευξη καλής τελικής επιφάνειας.



Εικόνα 10 (Αριστερά) Κέντρο σύγχρονης τέχνης Rosenthal, Cincinnati (Zaha Hadid, 2003), (Δεξιά) Επιστημονικό κέντρο Phaeno, Wolfsburg (Zaha Hadid, 2005).

Τέλος, στην Ελλάδα το ΑΣΣ θα μπορούσε να αντικαταστήσει ως ένα βαθμό το συμβατικό σκυρόδεμα, ξεκινώντας πιθανότατα από τον τομέα της προκατασκευής. Για να συμβεί κάτι τέτοιο θα πρέπει, έναντι της εμπιστοσύνης σε δοκιμασμένες μεθόδους (ΣΣ), να υπερσχύσει η συνειδητοποίηση των ωφελειών από τις νέες τεχνολογίες. Σήμερα το ΑΣΣ θεωρείται σκυρόδεμα “ειδικού τύπου” και το ΣΣ είναι αυτό που θεωρείται κοινό. Ενδεχομένως οι γρήγοροι ρυθμοί εξάπλωσης του, σε διεθνές επίπεδο, να αποτελέσουν αφετηρία για αναθεώρηση ανάμεσα στο χαρακτηρισμό των δυο αυτών διαφορετικών τύπων σκυροδέματος.

### 1.1.5 Δοκιμές ελέγχου

Όπως προαναφέρθηκε στην §1.1.3 η αξιολόγηση των ρεολογικών ιδιοτήτων απαιτεί εκτέλεση εξειδικευμένων δοκιμών για κάθε μίγμα ΑΣΣ. Όσον αφορά στην ποσοτικοποίηση των ιδιοτήτων αυτών πρέπει να αναφερθεί ότι αφενός υπάρχουν όρια ανοχής ή συμμόρφωσης, τα οποία όμως δεν είναι σαφώς καθορισμένα λόγω έλλειψης ακριβών δεδομένων, και αφετέρου ότι δεν είναι ευδιάκριτη η σχέση μεταξύ αποτελεσμάτων δοκιμών και πραγματικής συμπεριφοράς του ΑΣΣ σε μια εφαρμογή.

Οι κυριότερες δοκιμές, οι οποίες έχουν παρουσιαστεί εκτενώς σε προηγούμενες διπλωματικές του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. (Σφήκας 2007, Πάσιος

2011, Στύλος 2011, Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010, κ.ά.), είναι οι εξής:

- Δοκιμή κάθισης (Slump Test)
- Δοκιμή εξάπλωσης (Slump Flow), Δείκτης οπτικής σταθερότητας (Visual Stability Index - VSI), Χρόνος εξάπλωσης  $T_{50}$
- Δοκιμή με δακτύλιο J (J-Ring)
- Δοκιμή δοχείου L (L-Box)
- Δοκιμή χοάνης V (V-Funnel)
- Δοκιμή δοχείου U (U-Box)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται βασικά στοιχεία για κάθε έλεγχο και σύντομη ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Αρχικά περιγράφεται η δοκιμή κάθισης, η οποία κυρίως αναφέρεται σε μίγματα ΣΣ, ενώ στα μίγματα ΑΣΣ εκτελείται παράλληλα με τη δοκιμή εξάπλωσης. Με τη δοκιμή κάθισης είναι δυνατή η άμεση κατάταξη του σκυροδέματος σε κατηγορίες σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97) (Πίνακας 1.1).

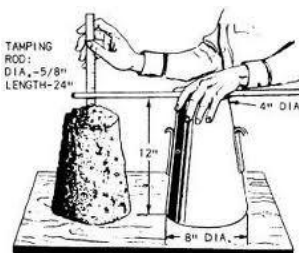
- Δοκιμή κάθισης (Slump Test)

#### Αρχές λειτουργίας

Πρότυπος μεταλλικός κώνος κώνος (κώνος του Abrams), ανοιχτός πάνω και κάτω, γεμίζεται με νωπό σκυρόδεμα και, στην περίπτωση του ΣΣ, συμπυκνώνεται. Όταν ο κώνος ανασηκωθεί, η κάθιση δίνει μια εκτίμηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος. Η κάθιση είναι η διαφορά σε mm μεταξύ του ύψους του μεταλλικού κώνου και του ύψους του νωπού σκυροδέματος μετά την πτώση του.

#### Διαδικασία ελέγχου

1. Ο κώνος κάθισης διαβρέχεται εσωτερικά με νερό και τοποθετείται πάνω σε δύσκαμπτη μεταλλική πλάκα.
2. Γεμίζεται ο κώνος σε τρεις στρώσεις (στην περίπτωση ΣΣ) έτσι ώστε μετά την συμπύκνωση κάθε στρώση να είναι ίση με το 1/3 περίπου του ύψους του κώνου (εάν το μίγμα είναι ΑΣΣ ο κώνος πληρούται χωρίς συμπύκνωση).
3. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ραβδισμούς ομοιόμορφα σε ολόκληρη την επιφάνεια του σκυροδέματος (Εικόνα 1.12).
4. Καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τη βάση του κώνου, ο οποίος ανασηκώνεται κατακόρυφα.
5. Μετρείται η κάθιση, με προσέγγιση 5mm, ως η διαφορά μεταξύ του ύψους του κώνου και του υψηλότερου σημείου του σκυροδέματος.



Εικόνα 1.11 Μέτρηση κάθισης.

### Αξιολόγηση

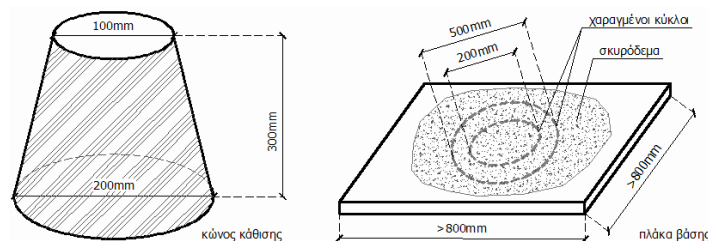
Με αυτή τη μέθοδο μετριέται η εργασιμότητα του σκυροδέματος. Στην περίπτωση του ΑΣΣ οι καθίσεις που παρουσιάζονται είναι πολύ μεγάλες (>260mm) και συνεπώς η δοκιμή αυτή δεν παρέχει κάποια αξιολογική πληροφορία. Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί ειδικά για το ΑΣΣ άλλα εργαλεία και μέθοδοι, τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Εικόνα 1.12 Ραβδισμός σκυροδέματος κατά τη δοκιμή κάθισης (Πάσιος 2011).

### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Η δοκιμή είναι έγκυρη μόνο όταν δίνει κάθιση κατά την οποία το σκυρόδεμα παραμένει σε μεγάλο βαθμό αέριο και συμμετρικό μετά την αφαίρεση του κώνου (το σκυρόδεμα διατηρεί εν μέρει την κολουροκωνική μορφή του). Εάν το σκυρόδεμα καταρρεύσει, πρέπει να ληφθεί άλλο δείγμα και εάν το δείγμα καταρρεύσει σε δύο διαδοχικούς ελέγχους, το σκυρόδεμα δε διαθέτει την πλαστικότητα και τη συνοχή που απαιτούνται για τη δοκιμή κάθισης. Ο δείκτης κάθισης αποτελεί μια ικανοποιητική και αξιόπιστη ένδειξη του εργασιμίου και της ρευστότητας ενός συμβατικού σκυροδέματος.



Εικόνα 1.13 Εξοπλισμός δοκιμής εξάπλωσης.

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες κάθισης και εύρη τιμών (ΚΤΣ 97/ΦΕΚ 537/1-5-2002).

Κατηγορία κάθισης	Κάθιση (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	> 200
Η μετρούμενη κάθιση στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10mm.	

- Δοκιμή εξάπλωσης (Slump Flow), Δείκτης οπτικής σταθερότητας (Visual Stability Index - VSI), Χρόνος εξάπλωσης  $T_{50}$

### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή αυτή εκτιμά χαρακτηριστικά της ανεμπόδιστης οριζόντιας ροής του ΑΣΣ μετρώντας τη μέση διάμετρο **SF** του σκυροδέματος, μετά την εξάπλωση, σε συνάρτηση με τον συνολικό χρόνο **TF**. Επίσης, μέσω του χρόνου **T<sub>50</sub>** αποτελεί επιπλέον ένδειξη για την ταχύτητα ροής και συνεπώς και ένδειξη για το ιξώδες του μίγματος.

### Αξιολόγηση

Αποτελεί κατεξοχήν έλεγχο για ιδιότητες του ΑΣΣ και είναι ιδιαίτερα διαδεδομένος, καθώς παρέχει μια άμεση εκτίμηση της ικανότητας πλήρωσης του ναπού ΑΣΣ και πρόκειται για εύκολη και γρήγορη διαδικασία. Ως προς την διελευσιμότητα μεταξύ των διακένων των οπλισμών δεν δίνει κάποια πληροφορία, όμως μπορεί να ληφθεί μια ποιοτική ένδειξη για την οπτική σταθερότητα του μίγματος και για τυχόν ύπαρξη εμφανούς απόμιξης, με τον **δείκτη οπτική σταθερότητας VSI**. Σχετικά με την εμφανή απόμιξη να σημειωθεί ότι ομοιογενής εικόνα του μίγματος δεν εξασφαλίζει απαραίτητα και τη μετέπειτα διατήρηση της συνοχής του.

### Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου

1. Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος.
2. Υγραίνονται η βάση και το εσωτερικό του κώνου (κώνος του Abrams).
3. Τοποθετείται η μεταλλική πλάκα σε σταθερή, οριζόντια, επίπεδη επιφάνεια και συγκρατείται σταθερά ο κώνος κάθισης στο κέντρο της πλάκας
4. Γεμίζεται ο κώνος, χωρίς συμπίκνωση, ενώ απομακρύνεται με μυστρί το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου.
5. Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να κινηθεί ελεύθερα (**Εικόνα 1.14 (Αριστερά)**). Συγχρόνως χρονομετρείται και καταγράφεται ο χρόνος **T<sub>50</sub>** (s) που απαιτείται για να φθάσει το σκυρόδεμα τον κύκλο διαμέτρου 50cm, όπως επίσης και ο συνολικός χρόνος **TF** (s) μέχρι το σκυρόδεμα να ακινητοποιηθεί.
6. Μετριέται η τελική διάμετρος (**Εικόνα 1.14 (Δεξιά)**) του σκυροδέματος σε τέσσερις διευθύνσεις, ανά δύο κάθετες μεταξύ τους.
7. Υπολογίζεται η μέση τιμή των τεσσάρων διαμέτρων που μετρήθηκαν (σε mm) η οποία και αποτελεί την τιμή της εξάπλωσης **SF**(mm).
8. Επισημαίνεται η πιθανή ύπαρξη κονιάματος ή τσιμεντόπαστας χωρίς χονδρόκοκκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος. Εκτιμάται ο **Δείκτης Οπτικής Σταθερότητας**.



Εικόνα 1.14 (Αριστερά) Κατακόρυφη ανασήκωση κώνου κατά την διεξαγωγή δοκιμής εξάπλωσης, (Δεξιά) μέτρηση τελικής διαμέτρου εξάπλωσης.

### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Κατά **EFNARC** (2005) οι κατηγορίες εξάπλωσης είναι **SF1(550-650)**, **SF2(650-750)**, **SF3(750-850)** και συνεπώς αυτά τα εύρη τιμών αποτελούν τις τυπικές τιμές που αναμένουμε



και επιθυμούμε για μίγματα ΑΣΣ. Μεγαλύτερες τιμές εξάπλωσης συνεπάγονται ανώτερη ικανότητα πλήρωσης (μεγαλύτερη ρευστότητα). Ως ένδειξη της συνοχής του μίγματος, συνιστάται η εξάπλωση να μη διαφέρει σημαντικά μεταξύ διαδοχικών μιγμάτων ίδιων αναλογιών (ενδεικτική τιμή ανοχής  $\pm 50\text{mm}$ ). Επίσης, ο χρόνος που απαιτείται κατά τη δοκιμή εξάπλωσης έως ότου η μάζα του σκυροδέματος φθάσει τον δακτύλιο των 50cm ( $T_{50}$ , όπως προαναφέρθηκε) αποτελεί μια ποιοτική εκτίμηση του ιξώδους του μίγματος (κατηγορίες **VS1(<2s)**, **VS2(>2s)**).

Για τον δείκτη **VSI** τιμές **0** ή **1**, αποτελούν ένδειξη ότι το ΑΣΣ είναι σταθερό και κρίνεται αρχικά κατάλληλο για χρήση, ενώ τιμές **2** ή **3** υποδηλώνουν πιθανή απόμιξη, κατάσταση που αντιμετωπίζεται μεταβάλλοντας κατάλληλα τα επιμέρους συστατικά του μίγματος μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη σταθερότητα. Τονίζεται ότι παρόλο που ο δείκτης **VSI** είναι εύχρηστο εργαλείο εκτίμησης ποιότητας μιγμάτων ΑΣΣ, δεν πρέπει αυτούσιο να αποτελεί κριτήριο αποδοχής ή απόρριψης ενός συγκεκριμένου μίγματος.

#### - Δοκιμή με δακτύλιο J (J-Ring)

##### *Αρχές λειτουργίας*

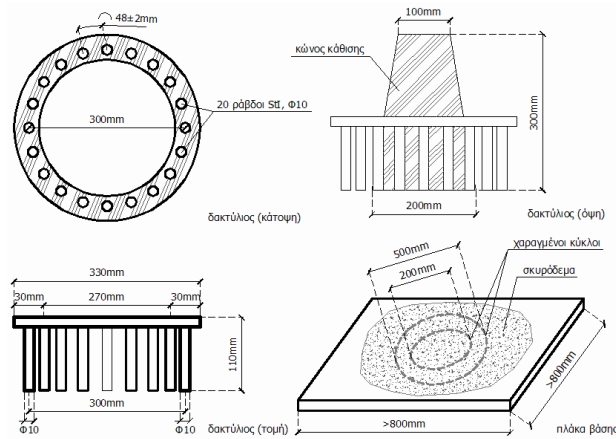
Η δοκιμή με δακτύλιο J (**Εικόνα 1.15**) εκτιμά την ικανότητα διέλευσης του ΑΣΣ διαμέσου των ράβδων οπλισμού. Η συσκευή αποτελείται από ράβδους οπλισμού διαμέτρου  $\varnothing 10$  και ύψους 10cm, κατακόρυφα τοποθετημένες σε μεταλλική πλάκα και σε διάταξη δακτυλίου. Η διάμετρος του δακτυλίου είναι 300mm και το ύψος 100mm. Η εξάπλωση μετριέται σε 2 ή 4 κάθετες διευθύνσεις και η κάθιση εντός και εκτός του δακτυλίου στα 4 τεταρτημόρια.

##### *Αξιολόγηση*

Η δοκιμή με δακτύλιο J, συνδυαστικά με τη δοκιμή εξάπλωσης και την δοκιμή χοάνης V, εκτιμά την ικανότητα ροής και την διεισυσμότητα του σκυροδέματος. Να σημειωθεί πως αυτή η δοκιμή δεν προσομοιώνει τις πραγματικές συνθήκες κίνησης του σκυροδέματος κατά την πλήρωση ξυλότυπου, πράγμα που ισχύει και για την δοκιμή εξάπλωσης.

##### *Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου*

1. Απαιτούνται περίπου 6 lt σκυροδέματος.
2. Υγραίνονται η βάση και το εσωτερικό του κώνου.
3. Τοποθετείται ο δακτύλιος J στο κέντρο της βάσης, ο κώνος κάθισης (κώνος του Abrams) μέσα στον δακτύλιο και συγκρατείται σταθερά στο κέντρο.
4. Γεμίζεται ο κώνος (χωρίς συμπύκνωση) και το σκυρόδεμα που περισσεύει από την κορυφή του κώνου απομακρύνεται με μυστρί.
5. Απομακρύνονται τα υπολείμματα σκυροδέματος γύρω από την βάση του κώνου.
6. Ανασηκώνεται ο κώνος κατακόρυφα και αφήνεται το σκυρόδεμα να κινηθεί ελεύθερα.
7. Μετράται η τελική διάμετρος του σκυροδέματος σε δύο ή τέσσερις κάθετες διευθύνσεις.
8. Υπολογίζεται η μέση τιμή των διαμέτρων που μετρήθηκαν σε mm.
9. Μετράται η διαφορά ύψους μεταξύ του σκυροδέματος που βρίσκεται εντός και εκτός του δακτυλίου στα 4 τεταρτημόρια..
10. Υπολογίζεται η μέση τιμή της διαφοράς ύψους σε τέσσερις θέσεις σε mm.
11. Επισημαίνεται αν υπάρχει τσιμεντόπαστα ή κονίαμα χωρίς χονδρόκοκα αδρανή στα όρια του απλωμένου σκυροδέματος.



Εικόνα 1.15 Εξοπλισμός δοκιμής με δακτύλιο J (J-Ring).

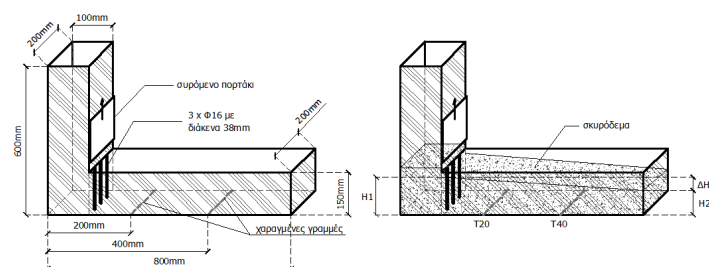
### Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Μεγαλύτερη τιμή της εξάπλωσης διαμέσου του δακτυλίου J σημαίνει μεγαλύτερη δυνατότητα διαδρομής του σκυροδέματος διαμέσου των ράβδων οπλισμού και ως εκ τούτου ταχύτερη πλήρωση των ωπλισμένων ξυλοτύπων. Μεγάλες υψομετρικές διαφορές εντός και εκτός του δακτυλίου αποτελούν ένδειξη δυσκολίας διέλευσης ή και συγκράτησης των χονδρόκοκκων αδρανών, με κίνδυνο την πιθανή απόφραξη.

### - Δοκιμή δοχείου L (L-Box)

#### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή δοχείου L εκτιμά την διεισσιμότητα του ΑΣΣ διαμέσου των ράβδων οπλισμού. Η συσκευή αποτελείται από έναν αγωγό ορθογωνικής διατομής σχήματος 'L', όπου στη συμβολή του κατακόρυφου με το οριζόντιο τμήμα υπάρχει κατακόρυφη συρόμενη θυρίδα εκροής και μπροστά από την αυτήν τοποθετημένες 3 κατακόρυφες ράβδοι οπλισμού (Εικόνα 1.16). Το κατακόρυφο τμήμα γεμίζεται με μίγμα από ΑΣΣ και κατόπιν η θυρίδα ανασηκώνεται και το σκυρόδεμα αφήνεται να κινηθεί ελεύθερα στο οριζόντιο τμήμα. Όταν η ροή σταματήσει υπολογίζεται ο λόγος  $H_{2,L} / H_{1,L}$  της στάθμης του σκυροδέματος, στο άκρο του οριζοντίου και στο κατακόρυφο τμήμα, αντίστοιχα. Ο λόγος αυτός αποτελεί ένδειξη της διεισσιμότητας του ΑΣΣ διαμέσου των ράβδων οπλισμού.



Εικόνα 1.16 Εξοπλισμός δοκιμής δοχείου L (L-Box).

#### Αξιολόγηση της δοκιμής

Αποτελεί ευρέως διαδεδομένη δοκιμή, κατάλληλη και για εργαστηριακούς ελέγχους και

για επιτόπου εφαρμογή σε τεχνικά έργα. Προσφέρει τη δυνατότητα οπτικού ελέγχου πιθανής έμφραξης των χονδρόκοκκων αδρανών πίσω από της ράβδους οπλισμού, όπως και πιθανής απόμειξης του μίγματος.

#### Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου

1. Απαιτούνται περίπου 14 lt σκυροδέματος.
2. Κλείνεται η θυρίδα εφόσον ελεγχθεί ότι μπορεί να ξαναοιζεί ελεύθερα.
3. Υγραίνονται τα εσωτερικά τοιχώματα και απομακρύνεται τυχόν περίσσεια νερού.
4. Γεμίζεται το κατακόρυφο τμήμα πλήρως με ΑΣΣ (χωρίς συμπύκνωση) και απομακρύνεται τυχόν περίσσεια ΑΣΣ από την ελεύθερη επιφάνεια με μυστρί.
5. Το υλικό αφήνεται σε ηρεμία για περίπου 1 min.
6. Ανοίγεται η θυρίδα εκροής και αφήνεται το ΑΣΣ να κινηθεί ελεύθερα στο οριζόντιο τμήμα (**Εικόνα 1.17 (Αριστερά)**).
7. Μετρώνται τα ύψη  $H_{1,L}$  και  $H_{2,L}$  αφού σταματήσει η ροή (**Εικόνα 1.17(Δεξιά)**).
8. Υπολογίζεται ο λόγος  $\lambda_{H,L} = H_{2,L} / H_{1,L}$ .

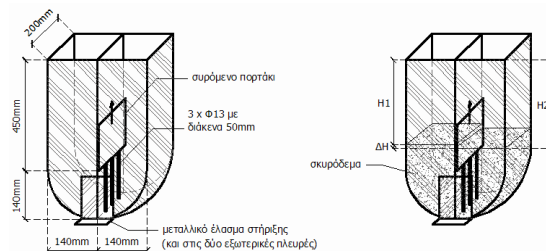


**Εικόνα 1.17 (Αριστερά)** Άνοιγμα θύρας εκροής δοχείου L κατά την εκτέλεση της δοκιμής, (**Δεξιά**) Μέτρηση ύψους  $H_{2,L}$ .

#### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Όσο ο λόγος  $\lambda_{H,L} = H_{2,L} / H_{1,L}$  πλησιάζει την τιμή **1**, τόσο καλύτερη θεωρείται η ικανότητα ροής του σκυροδέματος. Ως ελάχιστη αποδεκτή τιμή προτείνεται  $\lambda_{H,L} = \mathbf{0,8}$ .

Η **δοκιμή δοχείου U** (U-Box) είναι παρόμοιας λογικής και η λειτουργία της επίσης στηρίζεται στη σύγκριση των υψών του σκυροδέματος σε δύο διαφορετικά τμήματα της συσκευής, αφού σταματήσει η ροή (**Εικόνα 1.18**).



**Εικόνα 1.18** Εξοπλισμός δοχείου U (U-Box).

- **Δοκιμή χοάνης V** (V-Funnel)

#### Αρχές λειτουργίας

Η δοκιμή χοάνης V εκτιμά την ικανότητα πλήρωσης του ΑΣΣ. Η χοάνη V (**Εικόνα 1.19**) γεμίζεται με μίγμα από ΑΣΣ και μετριέται ο χρόνος εκροής του υλικού. Έπειτα η χοάνη γεμίζεται πάλι με ΑΣΣ και παραμένει για 5 min σε ηρεμία και στη συνέχεια

ξαναεκτελείται ο έλεγχος. Εάν το ΑΣΣ παρουσιάζει απόμιξη τότε ο χρόνος εκροής της δεύτερης μέτρησης αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με την πρώτη.

#### Αξιολόγηση

Η δοκιμή στοχεύει στην μέτρηση της ρευστότητας του ΑΣΣ αλλά παρά την απλότητα της συσκευής ελέγχου δεν είναι σαφής ο βαθμός επίδρασης παραγόντων όπως η κλίση των τοιχωμάτων της χοάνης V στη ροή του ΑΣΣ. Επιπλέον, είναι πιθανό, αν είναι μεγάλο το ποσοστό χονδρόκοκκων αδρανών στο μίγμα, να δημιουργηθούν συνθήκες έμφραξης πλησίον της θύρας επηρεάζοντας το αποτέλεσμα του ελέγχου.

#### Διαδικασία διεξαγωγής ελέγχου

1. Απαιτούνται περίπου 12lt σκυροδέματος.
2. Υγραίνονται τα εσωτερικά τοιχώματα της χοάνης.
3. Ανοίγεται η θυρίδα εκροής, αφήνεται μέχρι να αποστραγγισθεί η περίσσεια νερού και στην συνέχεια κλείνεται και τοποθετείται το δοχείο από κάτω (**Εικόνες 1.19, 1.20**).
4. Γεμίζεται η χοάνη πλήρως με ΑΣΣ (χωρίς συμπύκνωση) και τυχόν περίσσεια ΑΣΣ απομακρύνεται από την ελεύθερη επιφάνεια με μυστρί.
5. Ανοίγεται η θυρίδα εκροής 10s μετά την πλήρωση και αφήνεται το ΑΣΣ να εκρεύσει ελεύθερα.
6. Η χρονομέτρηση ξεκινά με το άνοιγμα της θυρίδας εκροής και σταματά όταν φανεί φως μέσα από την χοάνη κοιτάζοντάς την από επάνω προς το εσωτερικό της. Η μετρούμενη τιμή αποτελεί τον χρόνο εκροής  $T_{V,A}$ .
7. Κλείνεται η θυρίδα εκροής, αφού μετρηθεί ο χρόνος εκροής  $T_{V,A}$ , και επαναπληρώνεται η χοάνη, χωρίς να καθαριστεί και να υγρανθεί εκ νέου.
8. Ανοίγεται η θυρίδα εκροής 5min κατόπιν της πλήρωσης και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία ώστε να μετρηθεί αντίστοιχα ο  $T_{V,B}$ .



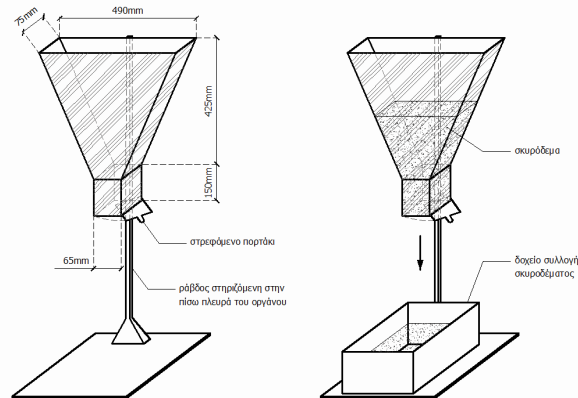
Εικόνα 1.19 Εκτέλεση δοκιμής χοάνης V (V-Funnel) (Στόλος 2011)

#### Ερμηνεία των αποτελεσμάτων

Μικρός χρόνος εκροής υποδηλώνει αυξημένη ικανότητα ροής (ρευστότητας). Όσον αφορά στο ΑΣΣ, χρόνοι εκροής της τάξεως των 10sec είναι ικανοποιητικοί για  $T_{V,A}$ , ενώ μεγάλοι χρόνοι εκροής, υποδηλώνουν τάσεις έμφραξης και συνεπώς μικρότερη ικανότητα ροής.

Τέλος, συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτελέστηκαν όλες οι προαναφερθείσες δοκιμές, εκτός από την δοκιμή δακτυλίου J (J-Ring) και την δοκιμή δοχείου

U(U-Box), για τα αποτελέσματα των οποίων ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στην §2.1.2 «Έλεγχοι Νωπού & Σκληρυμένου Σκυροδέματος».



Εικόνα 1.20 Εξοπλισμός δοκιμής χοάνης V (V-Funnel).

## 1.2 Συνάφεια Σκυροδέματος με Χάλυβα Οπλισμού

### 1.2.1 Γενικά

Οι κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα βασίζονται στην αποτελεσματική συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και των ράβδων οπλισμού. Η σωστή συνεργασία των δύο υλικών εξασφαλίζεται μέσω μιας συνδυασμένης δράσης μηχανισμών που παρεμποδίζουν την σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και του περιβάλλοντος σκυροδέματος. Η δράση αυτή περιγράφεται με τον όρο **συνάφεια** και προσομοιάζεται με τη δημιουργία διατμητικών τάσεων στη διεπιφάνεια χάλυβα – σκυροδέματος, των τάσεων συνάφειας.

*Συνάφεια ονομάζεται το σύνολο των αιτιών που παρεμποδίζουν την σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων οπλισμού και της μάζας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει.*

Η ύπαρξη συνάφειας μεταξύ των δύο υλικών αποτελεί μια από τις βασικές παραδοχές για το σχεδιασμό διατομών ωπλισμένου σκυροδέματος. Μάλιστα κατά το σχεδιασμό διατομών στην οριακή κατάσταση αστοχίας γίνεται η παραδοχή ότι ο οπλισμός υφίσταται τις ίδιες ανηγμένες παραμορφώσεις με το περιβάλλον σκυρόδεμα  $\epsilon_c = \epsilon_s$ , δηλαδή θεωρείται ότι δεν υπάρχει σχετική ολίσθηση μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.

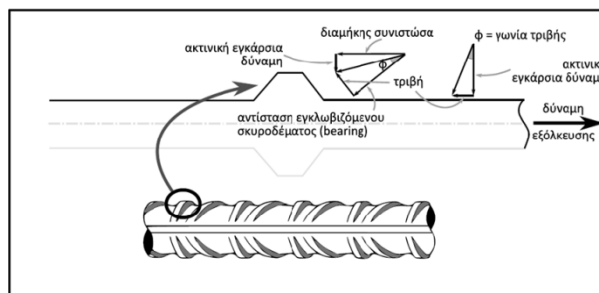
Το φαινόμενο της συνάφειας είναι πολύπλοκο και επηρεάζει μια σειρά από δομικές λειτουργίες στο ωπλισμένο σκυρόδεμα. Στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, η ανάπτυξη επαρκούς συνάφειας υπεισέρχεται στον περιορισμό του εύρους των ρωγμών και των βελών, ενώ στην οριακή κατάσταση αστοχίας ο υπολογισμός επαρκούς μήκους αγκυρώσεων και η αντοχή αγκυρώσεων και παραθέσεων οπλισμών (ματίσματα) εξαρτώνται από τη συνάφεια. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά της συνάφειας των οπλισμών κάμψης επηρεάζουν την ικανότητα στροφής των πλαστικών αρθρώσεων.

Η συνάφεια είναι μία συνάρτηση που εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων και κατασκευαστικών προϋποθέσεων. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Η ποιότητα του σκυροδέματος.
- Η διαμόρφωση της επιφάνειας των ράβδων οπλισμού (λείες ή με νευρώσεις).

- Η γεωμετρία των νευρώσεων (κυρίως το ύψος και η απόσταση των νευρώσεων).
- Το πάχος επικάλυψης των οπλισμών.
- Η θέση των ράβδων ως προς την ελεύθερη επιφάνεια του ρευστού σκυροδέματος.
- Η σχετική ολίσθηση της ράβδου οπλισμού με το περιβάλλον σκυρόδεμα.
- Οι εγκάρσιες τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια χάλυβα σκυροδέματος (ευμενής επιρροή θλιπτικών τάσεων).
- Η διεύθυνση σκυροδέτησης σε σχέση με τον προσανατολισμό των ράβδων.
- Το είδος της φορτίσεως: μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη (στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση ανοίγουν δύο οικογένειες ρωγμών και αποδιοργανώνεται το σκυρόδεμα, καταστρέφοντας την συνάφεια μεταξύ των υλικών).

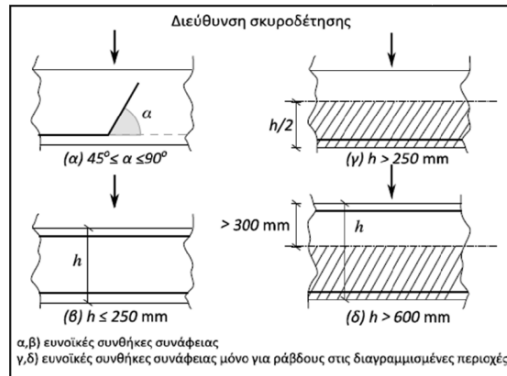
Οι μηχανισμοί ανάπτυξης της τάσης συνάφειας είναι η πρόσφυση των δύο υλικών (πολύ μικρό ποσοστό της συνάφειας, που καταστρέφεται για πολύ μικρές μετατοπίσεις), η τριβή και, στην περίπτωση νευροχαλύβων, η αντίσταση του σκυροδέματος που εγκλωβίζεται μεταξύ των νευρώσεων (**Εικόνα 1.21**). Με την υπέρβαση της (μικρής) εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και το άνοιγμα της ρωγμής, οι ράβδοι επιμηκνόμενες κατά το άνοιγμα της ρωγμής εφελκύνονται και αναλαμβάνουν τις εφελκυστικές τάσεις (προϋπόθεση η καλή αγκύρωση στην πέραν της ρωγμής περιοχή) προσδίδοντας στο φορέα από σκυρόδεμα την εφελκυστική ικανότητα που στερείται (στο σχεδιασμό διατομών στην οριακή κατάσταση αστοχίας λαμβάνεται  $f_{ct}=0$ , όπου θεωρείται ότι η εφελκυστική αντοχή "ξοδεύεται" από συστολή ξήρανσης ή από τάσεις λόγω θερμικών μεταβολών που δε λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς).



**Εικόνα 1.21 Μηχανισμοί ανάπτυξης τάσης συνάφειας.**

Οι τάσεις συνάφειας είναι δυνατό να αναπτύσσονται σε ευνοϊκές συνθήκες (**Περιοχή I**), ή σε δυσμενείς συνθήκες (**Περιοχή II**), σύμφωνα με την §17.5 του **ΕΚΩΣ2000** (Ο.Α.Σ.Π., Σ.Π.Μ.Ε. 2000). Τα κριτήρια για την ανάπτυξη συνάφειας στην **Περιοχή I** είναι:

- Η κλίση των οπλισμών ως προς την οριζόντια να είναι  $45^\circ-90^\circ$  για κατακόρυφη σκυροδέτηση (π.χ. διαμήκεις οπλισμοί υποστρωμάτων) ή
- Αν οι οπλισμοί δεν έχουν κλίση ως προς την οριζόντια και  $h$  είναι το ύψος της διατομής κατά τη διεύθυνση σκυροδέτησης, τότε:
  - Όταν  $h \leq 250\text{mm}$  (π.χ. συνήθεις πλάκες), για όλους τους οπλισμούς του δομικού στοιχείου.
  - Όταν  $250\text{mm} < h \leq 600\text{mm}$  (π.χ οπλισμοί κάτω πέλματος συνήθων δοκών), για τους οπλισμούς που απέχουν τουλάχιστον  $h/2$  από την πάνω ίνα.
  - Όταν  $h > 600\text{mm}$ , για τους οπλισμούς που απέχουν τουλάχιστον 300mm από την πάνω ίνα.



Εικόνα 1.22 Τυπικές συνθήκες συνάφειας, ΕΚΩΣ2000.

Η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας  $f_{bd}$  δίνεται ως συνάρτηση της εφελκυστικής αντοχής  $f_{ctk0.05}$ , λαμβάνοντας υπ' όψιν το είδος των ράβδων μέσω ενός συντελεστή. Ο υπολογισμός της τάσης συνάφειας διαχωρίζεται για λείες ράβδους και ράβδους με νευρώσεις ως εξής:

- Λείες ράβδοι:  $f_{bd} = f_{ctk0.05} / \gamma_c$
- Ράβδοι με νευρώσεις:  $f_{bd} = 2.25 \times f_{ctk0.05} / \gamma_c$ , όπου  $\gamma_c = 1.5$ .

Στην περίπτωση ράβδων με  $\varnothing > 32\text{mm}$  οι τιμές του πίνακα μειώνονται πολλαπλασιζόμενες με συντελεστή  $n = (132 - \varnothing) / 100$  ( $\varnothing$  σε mm). Αντίθετα αυξάνονται οι τιμές της  $f_{bd}$  για εφαρμογή πίεσης κάθετα στο επίπεδο διάρρηξης  $f_{bd,p} = n_p f_{bd}$  όπου  $n_p = 1 / (1 - 0.04p) \geq 1.4$ . Για περιοχές με επαρκή εγκάρσια πίεση (κόμβοι που συντρέχουν τουλάχιστον 3 δοκοί, περισφιγμένες περιοχές δομικών στοιχείων) ισχύει  $n_p = 1.4$ .

Πίνακας 1.2 Βασικές τιμές του  $f_{bd}$  (MPa).

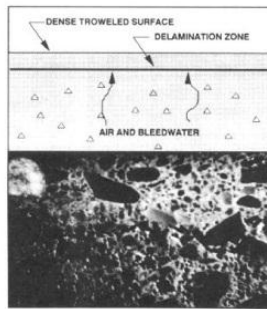
Περιοχή συνάφειας I	$f_{ck}$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
	Λείες ράβδοι	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
	Ράβδοι $\varnothing \leq 32$ υψηλής συνάφειας	1.6	2.0	2.3	2.7	3.0	3.4	3.7	4.0	4.3
Περιοχή συνάφειας II	70% των τιμών της περιοχής συνάφειας I									

### 1.2.2 Πρόβλημα άνω οπλισμών (Top-bar effect)

Όπως έχει προαναφερθεί, οι ράβδοι οπλισμού που είναι τοποθετημένες στο άνω μέρος του στοιχείου ή/και έχουν κλίση μεγαλύτερη από  $45^\circ$  ως προς τη διεύθυνση σκυροδέτησης, ανήκουν στην περιοχή κακής συνάφειας (II) (κατά ΕΚΩΣ 2000). Αιτία για την ύπαρξη περιοχής κακής συνάφειας είναι το φαινόμενο της «συνίζησης» του νεπού σκυροδέματος, κατά το οποίο τα στερεά του σκυροδέματος καθιζάνουν και το νερό λόγω των τριχοειδών φαινομένων κινείται προς τα πάνω (το νερό ανεβαίνει στους τριχοειδείς σωλήνες επειδή ανάμεσα στο νερό και τη μάζα σκυροδέματος ασκούνται μεγαλύτερες ελκτικές δυνάμεις, από αυτές που ασκούνται μεταξύ των μορίων του νερού). Η ανοδική κίνηση του νερού (φαινόμενο εξίδρωσης, bleeding) έχει ως αποτέλεσμα αμέσως κάτω από οριζόντιες ράβδους να δημιουργείται σε διάφορα σημεία μηνίσκος νερού. Αφού το νερό αυτό απορροφηθεί από το σκυρόδεμα ή/και εξέλθει στην επιφάνεια, αφήνει στη θέση του κενό, με αποτέλεσμα ένα μέρος της περιμέτρου της ράβδου να μην έρχεται σε άμεση επαφή με το

σκυρόδεμα και συνεπώς να μειώνεται η αποδοτικότητα της συνάφειας του σκυροδέματος με τις ράβδους οπλισμού.

Η σχέση μεταξύ ρυθμού εξίδρωσης και λόγου N/T είναι προσεγγιστικά γραμμική και έχουν προταθεί εμπειρικές εξισώσεις σε εφαρμογές οδοστρωμάτων (U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration). Να σημειωθεί ότι το φαινόμενο της εξίδρωσης σταματάει μετά την έναρξη της πήξης και επίσης ότι είναι εύκολο να εκτιμηθεί κατά τη διάρκεια δοκιμών ελέγχου του μίγματος με μεθόδους που περιγράφονται στο AASHTO T 158 και ASTM C 232.



Εικόνα 1.23 Απεικόνιση διαστρωματικού διαχωρισμού (Delamination), αποτέλεσμα εκτεταμένης εξίδρωσης και ιζηματοποίησης (settlement) (Manitoba Ready Mix Concrete Assosiation).

Η ένταση του φαινομένου αυτού που αποκαλείται **πρόβλημα των άνω οπλισμών** (Top-bar effect) είναι, όπως αναφέραμε, συνάρτηση της γωνίας της ράβδου σε σχέση με τη διεύθυνση σκυροδέτησης και της καθ' ύψος θέσης της ράβδου μέσα στο στοιχείο.



Εικόνα 1.24 Το πρόβλημα των άνω οπλισμών (top-bar effect).

Οι περιοχές κακής συνάφειας (II) λαμβάνονται υπ' όψιν, σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000 (§17.5), θεωρώντας για αυτές ως τάση συνάφειας το 70% της αντίστοιχης τιμής για περιοχές καλής συνάφειας (I). Οι υπόλοιποι κανονισμοί παγκοσμίως (EN 1992, ACI 2008, FIB 2010, CSA 2004) λαμβάνουν υπ' όψιν τους το φαινόμενο με αντίστοιχους συντελεστές απομείωσης της συνάφειας.

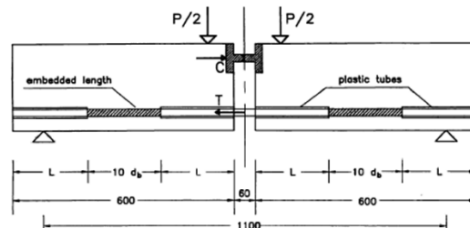
### 1.2.3 Δοκιμές συνάφειας

Ο πειραματικός προσδιορισμός της συνάφειας του σκυροδέματος με τον χάλυβα οπλισμού, όπως ορίζει ο **ΕΛΟΤ 1421-1** (Ελληνικός οργανισμός τυποποίησης 2004), συνίσταται σε δύο δοκιμές, την **δοκιμή δοκού** (beam test) και την **δοκιμή εξόλκευσης** (pull-out test):

- **Δοκιμή δοκού** (beam test)



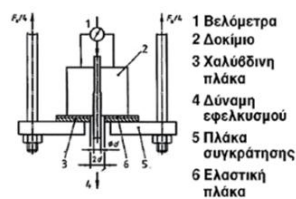
Σε αμφιέριστη δοκό επιβάλλεται μέσω δύο σημειακών φορτίων καθαρή κάμψη μέχρι είτε την αστοχία συνάφειας του χάλυβα και στα δύο μισά της δοκού είτε την αστοχία του ίδιου του χάλυβα οπλισμού (**Εικόνα 1.25**). Κατά τη διάρκεια του πειράματος μετριοούνται οι ολισθήσεις των δύο αγκυρωμένων συμμετρικών τμημάτων της ράβδου οπλισμού.



**Εικόνα 1.25** Γεωμετρία δοκιμίου τυποποιημένης δοκιμής δοκού κατά RILEM (1979) για τον προσδιορισμό της τοπικής συνάφειας-ολίσθησης.

- **Δοκιμή εξόλκευσης (pull-out test)**

Στο εξεταζόμενο δοκίμιο επιβάλλεται εφελκυστική αξονική δύναμη στο ένα άκρο της ράβδου, ενώ στο άλλο τοποθετούνται βελόμετρα για την καταμέτρηση της ολίσθησης και παραμένει αφόρτιστο. Η δύναμη αυξάνεται σταδιακά μέχρι την αστοχία συνάφειας (εξόλκευση του οπλισμού ή διάρρηξη του δοκιμίου) ή την αστοχία του οπλισμού. Τυπικό αποτέλεσμα της επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων από τις δοκιμές συνάφειας είναι το διάγραμμα της τάσης συνάφειας συναρτήσει της σχετικής ολίσθησης.



**Εικόνα 1.26** Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης RILEM/CEB/FIP (1970).

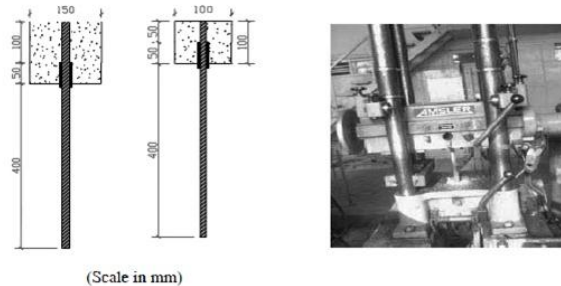
## 1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

### 1.3.1 Διεθνής βιβλιογραφία

Έρευνα σε θέματα συνάφειας σκυροδέματος, και πιο ειδικά του αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος, απασχόλησε και απασχολεί μεγάλο αριθμό ερευνητών διεθνώς, όπως αποτυπώνεται σε δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά. Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών σημείων και κυρίως των συμπερασμάτων δημοσιευμένων άρθρων, όπως προέκυψαν από την μελέτη βιβλιογραφικών πηγών.

Οι **A. Foroughi-Asl** κ.ά. (2008) εξέτασαν την αντοχή συνάφειας ΑΣΣ και ΣΣ με το χάλυβα οπλισμού διερευνώντας παραμέτρους όπως, ηλικία σκυροδέματος, μέγεθος και είδος ράβδων οπλισμού, λόγος N/T (w/c), τύπος υλικών σκυροδέματος. Διεξήγαγαν ρεολογικούς ελέγχους, δοκιμή κάθισης (Slump flow), δοκιμή χοάνης V (V-funnel), δοκιμή δοχείου L (L-box) και κατασκεύασαν 30 δοκίμια ΑΣΣ και 20 δοκίμια ΣΣ. Έπειτα από 3, 7, 28 και 56 ημέρες αντίστοιχα, εκτέλεσαν δοκιμές εξόλκευσης (pull-out test) και συνέκριναν τα αποτελέσματα μεταξύ ΑΣΣ και ΣΣ συναρτήσει των προαναφερθέντων παραμέτρων. Τα δοκίμια που παρήχθησαν ήταν κυβικά, διαστάσεων 150mm και οπλίστηκαν κεντρικά με λείες

ράβδους Ø10, και με νευρογάλβες Ø10, Ø16, Ø20, με μήκος συνάφειας 100mm (**Εικόνα 1.27**). Για λόγους σύγκρισης μεταξύ λείων οπλισμών και οπλισμών με νευρώσεις κατασκευάστηκαν και κυβικά δοκίμια διαστάσεων 100mm με μήκος συνάφειας 50mm. Τα δοκίμια από ΑΣΣ παρήχθησαν χωρίς εξωτερική ή εσωτερική δόνηση, ενώ τα δοκίμια από ΣΣ με συμβατική κατασκευαστική πρακτική (δόνηση). Οι δοκιμές εξόλκευσης εκτελέστηκαν με μηχανή AMSLERS και ρυθμό φόρτισης 150kg/sec ενώ θεωρήθηκαν ως αντιπροσωπευτικές τιμές ολίσθησης του ελεύθερου άκρου της ράβδου, τα 0.01mm, 0.1mm και 1.0mm.



**Εικόνα 1.27** Δοκίμια δοκιμής εξόλκευσης και μηχανολογικός εξοπλισμός (Foroughi-Asl A. et al 2008).

Οι **A. Foroughi-Asl** κ.ά. τονίζουν πως παρόλο που γενικώς ως αντοχή συνάφειας θεωρείται η μέγιστη τιμή της τάσης συνάφειας, λόγω καλού ορισμού και απλότητας ερμηνείας, πολλοί ερευνητές, και οι ίδιοι εφεξής, χρησιμοποιούν ως κριτήριο την λεγόμενη «κρίσιμη αντοχή συνάφειας», η οποία ορίζεται ως η τάση συνάφειας που αντιστοιχεί σε ολίσθηση του ελεύθερου άκρου της ράβδου κατά 0.25mm.

Θεωρούν ότι η χρήση της μέγιστης τάσης συνάφειας για τον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης σε κτιριακές αναλύσεις και στον σχεδιασμό υπερεκτιμά τη συνεργασία μεταξύ σκυροδέματος και οπλισμών, αντίθετα η κρίσιμη αντοχή συνάφειας έχει περισσότερο νόημα, για σκοπούς σχεδιασμού, καθώς προσφέρει καλύτερη συσχέτιση ως προς το μήκος αγκύρωσης όπως συνίσταται από το ACI -318 (και συνεπώς εξασφαλίζει μεγαλύτερο συντελεστή ασφάλειας).

Παρατηρήθηκε ότι σε ηλικία 3 και 7 ημερών η θλιπτική αντοχή είναι υψηλότερη σε δοκίμια από ΣΣ συγκριτικά με αυτά από ΑΣΣ, ενώ σε ηλικία 28 και 56 ημερών συμβαίνει το αντίθετο, εναλλαγή που εντοπίζεται περίπου σε ηλικία 21-23 ημερών (**Διάγραμμα 1.4**). Η αργή ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής και της αντοχής συνάφειας στα δοκίμια από ΑΣΣ κατά τις πρώτες μέρες προσδίδεται στη δράση του υπερρυστοποιητή στο μίγμα (**Διαγράμματα 1.2, 1.3**).

**Πίνακας 1.3** Αναλογίες μίγματος από ΑΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008).

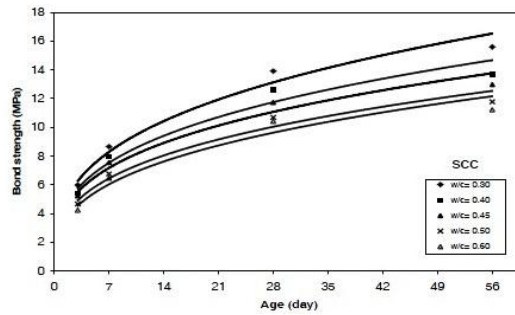
Υλικό	Μονάδα	N/T (w/c)				
		0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Νερό	lt	0.41	0.55	0.62	0.69	0.82
Τσιμέντο	kg	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Πυριτική παιπάλη	kg	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Χαλίκι	kg	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
Άμμος	kg	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05
Υπερρυστοποιητής	CC <sup>1</sup>	99	73	61	52	30

**Πίνακας 1.4** Αναλογίες μίγματος από ΣΣ (Foroughi-Asl et al 2008).

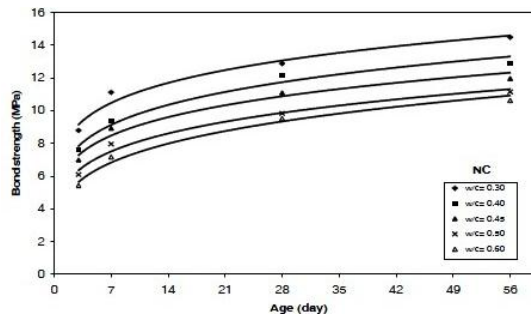
Υλικό	Μονάδα	N/T (w/c)				
		0.30	0.40	0.45	0.50	0.60
Νερό	lt	0.41	0.55	0.62	0.69	0.82
Τσιμέντο	kg	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
Χαλίκι	kg	3.22	3.22	3.22	3.22	3.22
Άμμος	kg	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05

<sup>1</sup> CC=cm<sup>2</sup>=1/1000lt

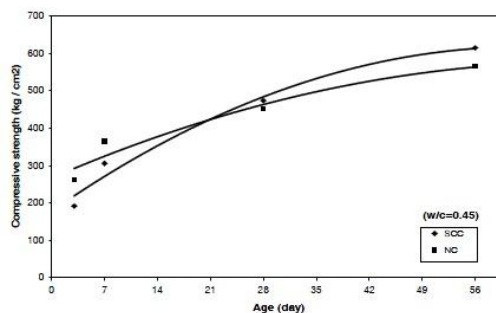
<sup>2</sup> Η απόδοση του όρου «defect factor» ως «συντελεστής ατέλειας» δεν αποτελεί επίσημη μετάφραση ορολογίας.



Διάγραμμα 1.2 Ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΑΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008).



Διάγραμμα 1.3 Ανάπτυξη της αντοχής συνάφειας συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008).



Διάγραμμα 1.4 Ανάπτυξη θλιπτικής αντοχής συναρτήσει του χρόνου (σε ημέρες) στο ΑΣΣ και στο ΣΣ (Foroughi-Asl A. et al 2008).

Συμπεραίνουν βάσει των αποτελεσμάτων τους ότι:

- Απαιτείται περισσότερη προσοχή στο ΑΣΣ σε θέματα ασφάλειας κατασκευής στα αρχικά στάδια, διότι η χρήση υπερρευστοποιητών στο μίγμα καθυστερεί την ανάπτυξη της θλιπτικής αντοχής και της αντοχής σε συνάφεια.
- Αύξηση της ποσότητας υπερρευστοποιητή στο ΑΣΣ μειώνει την ποσότητα του απαιτούμενου νερού στο μίγμα κατά μη γραμμικό τρόπο.
- Η διακύμανση της μέγιστης αντοχής συνάφειας στο ΑΣΣ μεταξύ των 28 και 56 ημερών (13,92MPa και 15,60MPa αντίστοιχα) ήταν λιγότερο σημαντική συγκριτικά με του ΣΣ.
- Η σχέση μεταξύ αντοχής συνάφειας και θλιπτικής αντοχής του ΣΣ είναι πιο σταθερή συγκριτικά με του ΑΣΣ, πράγμα που επιβεβαιώνεται και στα αποτελέσματα των Yin-Wen Chan et al (2003).
- Χρησιμοποιώντας υπερρευστοποιητές που βασίζονται σε καρβοξυλικά οξέα παράγεται πιο ομοιόμορφο σκυρόδεμα χωρίς καθόλου απόμιξη (segregation).
- Τέλος, το ΑΣΣ παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή συνάφειας, δεδομένο που του προσδίδει σημαντικό πλεονέκτημα σε εφαρμογές σε σχέση με το ΣΣ.

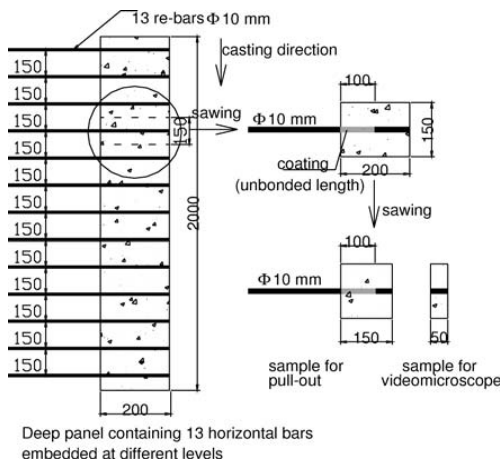
Η έρευνα των **Soylev T.** και **Francois R.** (2006) επικεντρώνεται στο φαινόμενο των άνω σπλισμών (Top-bar effect), συγκρίνοντας τιμές συνάφειας μεταξύ δοκιμών από ΑΣΣ και από ΣΣ.

Κατασκεύασαν 5 δοκίμια υποστυλώματος (ένα για κάθε ποιότητα σκυροδέματος εκ των C20, C40, SCC40, C50 και SCC50) τετραγωνικής διατομής, ακμής 200mm και ύψους 2000mm, σπλισμένα με 13 λείες ράβδους Ø10 καθ' ύψος και μήκος συνάφειας 50mm (Εικόνα 1.28). Τα 3 δοκίμια από ΣΣ συμπακνώθηκαν με δόνηση ενώ τα 2 από ΑΣΣ χωρίς. Οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών ράβδων ήταν σταθερές και ίσες με 150mm και οι αποστάσεις των ράβδων από την κάτω πλευρά του υποστυλώματος ποικίλουν από 0.1m-1.9m. Χρησιμοποίησαν λείες ράβδους επειδή είναι πιο ευαίσθητες στην ποιότητα της



Εικόνα 1.28 Διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος μεγεθυμένη κατά 25 φορές με μικροσκόπιο-κάμερα (Soylev T. και Francois R. 2006).

διεπιφάνειας σκυροδέματος-χάλυβα και συνεπώς επιτυγχάνεται καλύτερη σύγκριση τιμών συνάφειας μεταξύ ΑΣΣ και ΣΣ. Ο ξυλότυπος αφαιρέθηκε μετά από 6 ημέρες και μετά από 28 ημέρες τα υποστυλώματα κόπηκαν σε 13 πρισματικά δοκίμια κεντρικά σπλισμένα και υποβλήθηκαν σε δοκιμή εξόλκευσης (pull-out test).

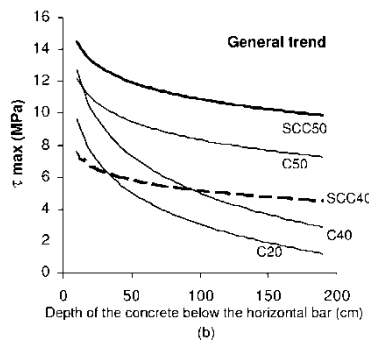
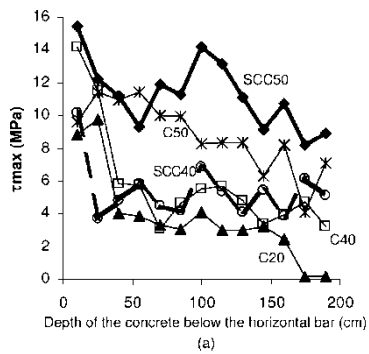


Εικόνα 1.29 Απεικόνιση αρχικού δοκιμίου ύψους 2000mm και δοκιμών κατόπιν πριονίσματος, τα οποία υποβλήθηκαν σε δοκιμές εξόλκευσης και χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της διεπιφάνειας χάλυβα-σκυροδέματος με μικροσκόπιο-κάμερα (Soylev T. και Francois R. 2006).

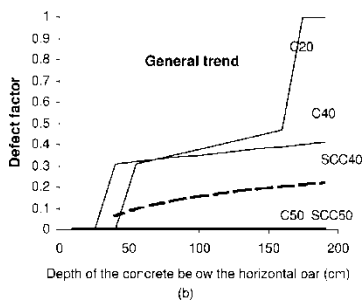
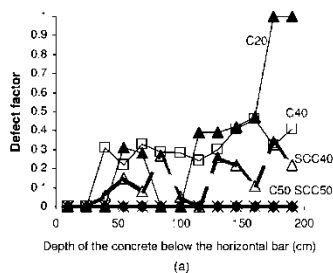
Καταγράφηκε η ιστορία φόρτισης συναρτήσει της ολίσθησης και υπολογίστηκε η μέγιστη αντοχή συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) με την εξίσωση  $\tau_{max} = P_{max} / \pi d l$  (όπου  $P_{max}$ ,  $d$  και  $l$ , το μέγιστο φορτίο εξόλκευσης, η διάμετρος των ράβδων σπλισμού και το μήκος αγκύρωσης αντίστοιχα). Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαν μικροσκόπιο-κάμερα και μεγέθυναν κατά 25 και 175 φορές την διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος ώστε να εκτιμήσουν τις δημιουργούμενες «φωλιές» στην κάτω πλευρά των σπλισμών (Εικόνα 1.29). Ποσοτικοποίησαν αυτές τις ελαττωματικές περιοχές με όρους μήκους χάλυβα που δεν έρχεται σε άμεση επαφή με το σκυρόδεμα σε ακτινική κατεύθυνση.

Παρατηρήθηκε ότι η αντοχή συνάφειας μειώνεται συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος κάτω από τις οριζόντιες ράβδους σπλισμού, με μικρότερη μείωση στα υψηλής ποιότητας σκυροδέματα (Διάγραμμα 1.5).

Η μέγιστη μείωση παρατηρήθηκε σε τιμές ίσες ή μεγαλύτερες από 25cm, τιμή που αποτελεί και το όριο υποκείμενου πάχους σκυροδέματος πάνω από το οποίο απαιτείται



**Διάγραμμα 1.5 (a), (b) Μέγιστη τάση συνάφειας συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος κάτω από την ράβδο (5 μίγματα) (Soylev T. και Francois R. 2006).**



**Διάγραμμα 1.6 (a), (b) Γραφήματα του συντελεστή ατέλειας (defect factor) συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος κάτω από την οριζόντια ράβδο οπλισμού (Soylev T. και Francois R. 2006).**

διόρθωση στο μήκος αγκύρωσης, σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό 2 (EN 1992:2001) και τον Αμερικάνικο Κανονισμό ACI 318 (2002).

Κατηγοριοποιούν τις περιοχές συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) σε τρεις, ως προς το υποκείμενο πάχος σκυροδέματος κάτω από τη ράβδο, οι οποίες είναι 25-40cm, >25-40cm, >160cm. Οι τιμές συνάφειας εμφανίζονται υψηλότερες στην κατηγορία 25-40cm, έπειτα μειώνονται σημαντικά στην κατηγορία >25-40 και ακολουθούν μικρή μείωση μέχρι τα 160cm και τέλος, στην κατηγορία >160 παρατηρείται απότομη μείωση. Μάλιστα, η συμπεριφορά αυτή φαίνεται να ταιριάζει με ακρίβεια στον παρατηρούμενο (με τον τρόπο που προαναφέρθηκε) σχηματισμό κενών στην κάτω πλευρά των ράβδων οπλισμού. Έκριναν την ποσοτικοποίηση των δημιουργούμενων κενών στη διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος, με χρήση μικροσκοπίου-κάμερας, κατάλληλο τρόπο για τη μέτρηση της επίδρασης της εσωτερικής εξίδρωσης (internal bleeding). Ορίζεται ως συντελεστής ατέλειας<sup>2</sup> (defect factor) ο λόγος του περιμετρικού μήκους στο οποίο δεν υπάρχει επαφή (και άρα συνάφεια) μεταξύ χάλυβα-σκυροδέματος, όπου τιμή 0 σημαίνει καθόλου κενό (πλήρης επαφή) ενώ τιμή 1 σημαίνει καθόλου επαφή.

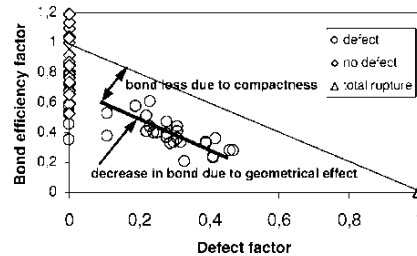
Προέκυψε το γράφημα του συντελεστή αυτού συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος, για τις 5 διαφορετικές ποιότητες σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν (Διάγραμμα 1.6), στο οποίο φαίνεται το ΑΣΣ να παρουσιάζει μικρότερη τιμή του συντελεστή, συνεπώς καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο φαινόμενο της εξίδρωσης (bleeding). Οι μεγάλες κλίσεις του C20 και C40 είναι αναμενόμενες καθώς ακόμη και μικρή συνίζηση (settlement) επηρεάζει έντονα τις λείες ράβδους, μειώνοντας την επιφάνεια επαφής χάλυβα-σκυροδέματος και άρα αυξάνοντας τον συντελεστή ατέλειας.

Συμπέραναν ακόμη, ότι ενώ στο ΣΣ πιο εργάσιμο σκυροδέμα συνεπάγεται πιο μικρή σταθερότητα, στο ΑΣΣ για υψηλότερες τιμές κάθισης μίγματος, η σταθερότητα διατηρείται. Συσχετίστηκαν ο λόγος αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου και ο συντελεστής ατέλειας και η σχέση τους φαίνεται να είναι προσεγγιστικά γραμμική (Διάγραμμα 1.7). Στη

μεσαία περιοχή του υποστρώματος υπάρχει καλή συσχέτιση μεταξύ της αντοχής συνάφειας και των σχηματισμένων κενών κάτω από την οριζόντια ράβδο, αλλά πλησίον της κάτω πλευράς, λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας του σκυροδέματος, μειώνεται ο λόγος αντοχής σε

<sup>2</sup> Η απόδοση του όρου «defect factor» ως «συντελεστής ατέλειας» δεν αποτελεί επίσημη μετάφραση ορολογίας.

συνάφεια ( $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου, χωρίς να μεταβάλλεται ο συντελεστής ατέλειας. Η ανοδική κίνηση του νερού εξίδρωσης μειώνει την ποιότητα σκυροδέματος στη άνω πλευρά που συνεπάγεται πιθανή μείωση στην αντοχή συνάφειας, δεδομένου ότι είναι ανάλογη με την αντοχή του περιβάλλοντος σκυροδέματος.

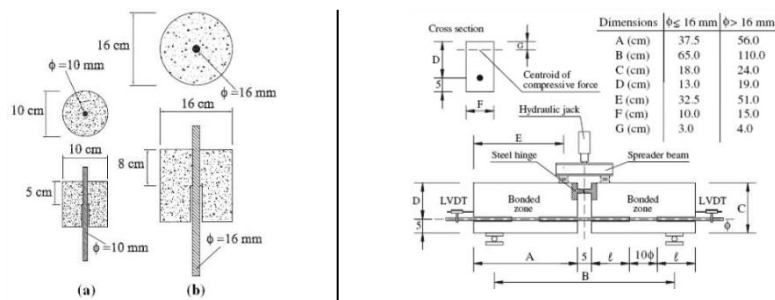


Διάγραμμα 1.7 Λόγος αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_{max}$ ) άνω/κάτω ράβδου συναρτήσει του συντελεστή ατέλειας (Soylev T. και Francois R. 2006).

Οι Almeida Filho F.M. κ.ά. (2008) συνέκριναν την αντοχή συνάφειας και τις αντίστοιχες ολισθήσεις σε μίγματα από ΑΣΣ και από ΣΣ, εκτελώντας δοκιμές δοκού και δοκιμές εξόλκευσης, με παραμέτρους την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (30 και 60MPa), τη διάμετρο των ράβδων οπλισμού ( $\varnothing 10$  και  $\varnothing 16$ ), τον τύπο σκυροδέματος (ΣΣ και ΑΣΣ) και την καταλληλότητα των δοκιμών να παρέχουν τιμές για την αντοχή συνάφειας. Επίσης συνέκριναν τα αποτελέσματα με διατάξεις του EC2 (2002) και αξιολόγησαν κατά πόσο είναι εφικτό να προβλεφθεί η αντοχή συνάφειας του ΑΣΣ με ήδη υπάρχουσες εμπειρικές εξισώσεις που αφορούν το ΣΣ.

Ομαδοποίησαν τα δοκίμια που κατασκεύασαν, βάσει του τύπου σκυροδέματος (ΑΣΣ ή ΣΣ) της διαμέτρου οπλισμού ( $\varnothing 10$  ή  $\varnothing 16$ ) και της ποιότητας σκυροδέματος (30 ή 60MPa) (Πίνακας 1.5).

Σχετικά με τον τύπο δοκιμής, οι δοκιμές εξόλκευσης κρίθηκαν πιο εύκολα εκτελέσιμες για την εκτίμηση της αντοχής συνάφειας, ενώ οι δοκιμές δοκού πιο αξιόπιστες, εφόσον περιλαμβάνουν και την επίδραση της κάμψης, έτσι τελικά χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο τύποι δοκιμών.



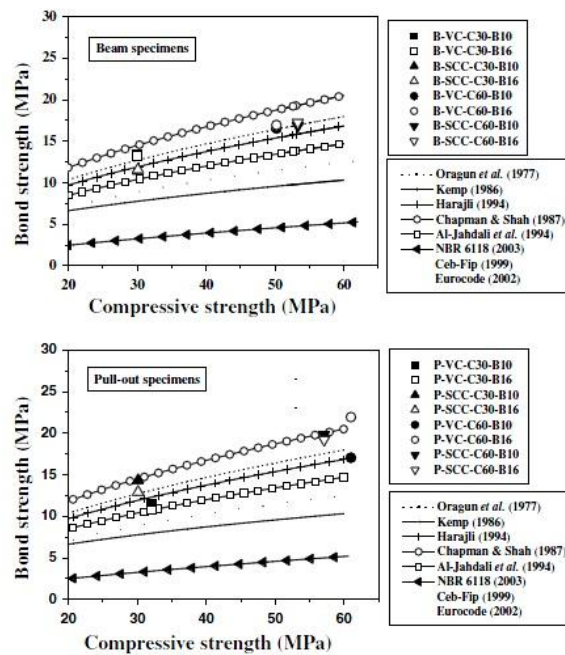
Εικόνα 1.30 (Αριστερά) Διατάξεις δοκιμής εξόλκευσης, (Δεξιά) Διατάξεις δοκιμής δοκού (Almeida Filho F.M. et al 2008).

Για τη δοκιμή δοκού, επιλέχθηκε ανάμεσα από τους διάφορους τύπους η δοκιμή δοκού κατά RILEM. Για τις δοκιμές εξόλκευσης, το μήκος συνάφειας ήταν 5cm ( $5 \varnothing$ ) για τα δοκίμια οπλισμένα με  $\varnothing 10$  και 8cm ( $5 \varnothing$ ) για τα δοκίμια οπλισμένα με  $\varnothing 16$  (Εικόνα 1.30). Ακολουθώντας τις οδηγίες της RILEM (Rilem-Fip-Ceb 1973) όρισαν ως μέση τάση συνάφειας το μέσο όρο των τάσεων συνάφειας που αντιστοιχούν σε ολισθήσεις (μετρημένες από την πλευρά του ελεύθερου άκρου της ράβδου) με τιμές 0.01, 0.1, 1.0mm.

Συμπεραίνουν βάσει των αποτελεσμάτων τους πως η συμπεριφορά των συνθέσεων ΑΣΣ και ΣΣ, υποβαλλόμενες σε δοκιμές εξόλκευσης και δοκού, ήταν παρόμοια, με τα ΑΣΣ μίγματα να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις καλύτερα.

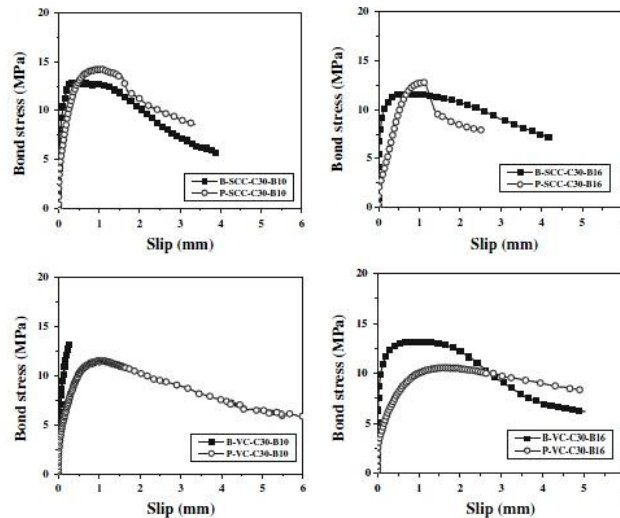
Πίνακας 1.5 Ομάδες δοκιμών (πηγή: Menezes F. et al.

Ομάδα δοκιμών	Τύπος σκυροδέματος	Ποιότητα σκυροδέματος (MPa)	Διάμετρος οπλισμού (mm)
SCC1	ΑΣΣ	30	10
	ΑΣΣ	30	16
VC1	ΣΣ	30	10
	ΣΣ	30	16
SCC2	ΑΣΣ	60	10
	ΑΣΣ	60	16
VC2	ΣΣ	60	10
	ΣΣ	60	16



Διάγραμμα 1.8 Τάση συνάφειας συναρτήσει συναρτήσεως θλιπτικής αντοχής. Οι καμπύλες θλιπτικής αντοχής έχουν προκύψει από εξισώσεις προτεινόμενες σε βιβλιογραφικές πηγές, ενώ οι τάσεις συνάφειας από τα πειραματικά δεδομένα (δοκιμές εξόλκευσης και δοκιμές δοκού) (Almeida Filho F.M. et al 2008).

Για παράδειγμα, η ομάδα SCC1 παρουσίασε καλύτερη συμπεριφορά στις δοκιμές συνάφειας συγκριτικά με την VC1, πράγμα που αποδίδεται στη χρήση φίλλερ, το οποίο δημιουργεί συνθήκες καλύτερης πρόσφυσης μεταξύ χάλυβα-σκυροδέματος (Διάγραμμα 1.9).



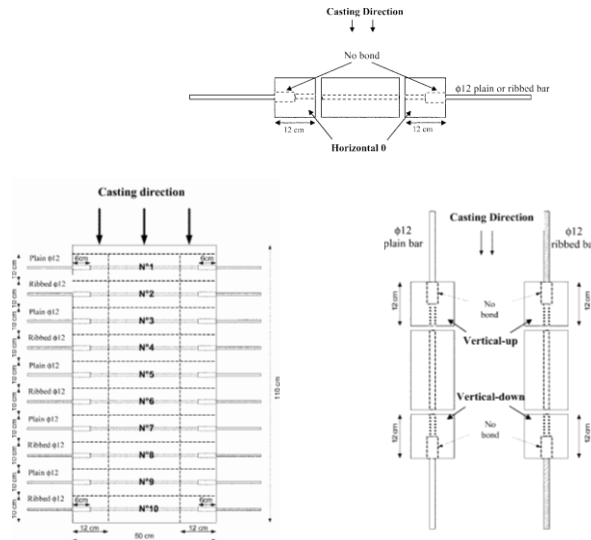
**Διάγραμμα 1.9 Σύγκριση μεταξύ αποτελεσμάτων δοκιμών εξόλκευσης και δοκιμών δοκού για τις συνθέσεις SCC1 και VC1 (Almeida Filho F.M. et al 2008).**

Τα αποτελέσματα δοκιμών εξόλκευσης και δοκού για τα SCC1 και VC1 υποδηλώνουν ότι για αυτή την ποιότητα σκυροδέματος (30MPa) και οι δύο τύποι δοκιμών παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά. Για τα SCC2 και VC2 (ποιότητα σκυροδέματος 60MPa) τα αποτελέσματα των δύο δοκιμών ήταν αρκετά διαφορετικά, αλλά η αντοχή συνάφειας ήταν παρόμοια παρά τη διαφορά που παρουσιάστηκε στις ολισθήσεις. Η σύγκριση με EC2 (2002) και τις σχέσεις (εξισώσεις) που ισχύουν για το ΣΣ έδειξε ότι οι ίδιες διαδικασίες που έχουν υιοθετηθεί για το ΣΣ μπορούν να επεκταθούν και στο ΑΣΣ, δεδομένου ότι είναι παρόμοια η συνάφεια των δοκιμών από ΑΣΣ και από ΣΣ. Οι εξισώσεις συσχετίζονταν ικανοποιητικά με τα πειραματικά αποτελέσματα, ενώ οι διατάξεις, διαπιστώθηκε ότι ήταν συντηρητικές, όπως αναμενόταν εξάλλου (υπέρ της ασφαλείας).

Όσον αφορά στη διαδικασία ελέγχων, και οι δύο δοκιμές κρίθηκαν αξιόπιστες καθώς παρουσίασαν μικρή μεταβλητότητα. Συνιστούν σε συνήθεις περιπτώσεις την εφαρμογή της δοκιμής εξόλκευσης καθώς είναι πιο απλή και αρκετά ακριβής.

Αντικείμενο της έρευνας των **Castel A. κ.ά.** (2006) αποτέλεσε η συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος στο ΑΣΣ συγκριτικά με το ΣΣ ως συνάρτηση των συνθηκών σκυροδέτησης, με απώτερο στόχο να εξασφαλιστεί ότι τα συμπεράσματα και τα πειραματικά αποτελέσματα, στα οποία βασίστηκαν τα μοντέλα σχεδιασμού κατασκευών, είναι έγκυρα και για κατασκευή με ΑΣΣ. Όπλισαν τα δοκίμιά τους με δύο τύπους ράβδων οπλισμού, Ø12 λείες και Ø12 με νευρώσεις, και μελέτησαν 3 διαφορετικές συνθήκες χύτευσης ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση του προσανατολισμού του οπλισμού (κάθετη ή οριζόντια) και η θέση των οριζόντιων ράβδων καθ' ύψος του δοκιμίου (πρόβλημα άνω οπλισμών) (**Εικόνα 1.31**). Δημιουργήθηκαν 4 συνθέσεις, δύο ΑΣΣ και δύο ΣΣ, ποιότητας σκυροδέματος 25MPa και 40MPa, ελέγχθηκε η ολισθητική τους αντοχή από το Γαλλικό Εθνικό Πρόγραμμα για το ΑΣΣ (French National Project on SCC) και στη συνέχεια εκτελέστηκαν δοκιμές εξόλκευσης (τυποποιημένες RILEM). Επίσης, με χρήση μικροσκοπίου-κάμερας μέτρησαν το μήκος του χάλυβα που δεν βρίσκεται σε επαφή με το περιβάλλον σκυρόδεμα και το μέγιστο πλάτος κενού.

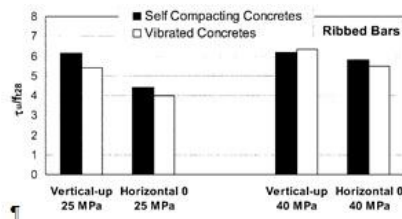




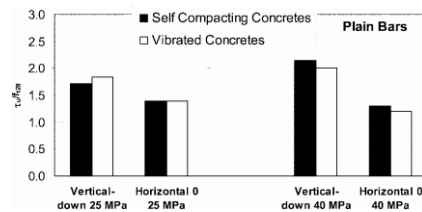
Εικόνα 1.31 Τρεις διατάξεις δοκιμών και διεύθυνση σκυροδέτησης (Castel et al 2006).

Από τη μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η σύνθεση SCC25 εμφανίστηκε περισσότερο ομοιογενής από την VC25 καθ' ύψος του σκυροδετημένου στοιχείου. Επιπλέον η SCC25 έδειξε καλύτερη αντίσταση στο φαινόμενο της εξίδρωσης (bleeding) από την VC25, διαφορά που δεν παρατηρήθηκε μεταξύ των συνθέσεων SCC40 και VC40, οι οποίες και οι δύο παρουσίασαν καλή αντίσταση στο ίδιο φαινόμενο.
- Αναφορικά με τις κάθετες ράβδους, η διεύθυνση εξόλκευσης συσχετιζόμενη με την διεύθυνση σκυροδέτησης δεν παρουσίασε σημαντική επιρροή σύμφωνα με τη διασπορά (15%) των μικρών δοκιμών.



Διάγραμμα 1.10 Αποτελέσματα που προκύπτουν σε διαμορφώσεις κατακόρυφες προς τα κάτω και «Οριζόντια 0» για δοκίμια οπλισμένα με ράβδους με νευρώσεις και ποιότητες σκυροδέματος 25MPa και 40MPa (Castel A. et al 2006).



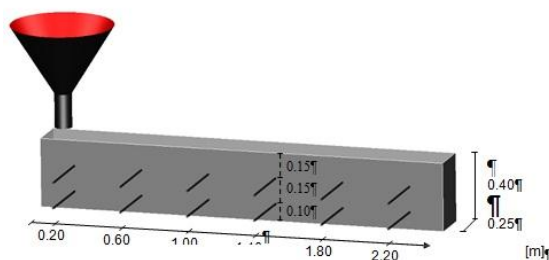
Διάγραμμα 1.11 Αποτελέσματα που προκύπτουν σε διαμορφώσεις κατακόρυφες προς τα κάτω και «Οριζόντια 0» για δοκίμια οπλισμένα με ράβδους με νευρώσεις και ποιότητες σκυροδέματος 25MPa και 40MPa (Castel A. et al 2006).

- Για τα δοκίμια που οπλίστηκαν με ράβδους με νευρώσεις, ο προσανατολισμός των ράβδων (οριζόντιος ή κάθετος) είχε σημαντική και ισοδύναμη επιρροή και στις δύο συνθέσεις σκυροδέματος (ΑΣΣ και ΣΣ) ποιότητας 25 MPa (25% μείωση για τα

ονομαζόμενα «Οριζόντια 0»). Για τις VC40 και SCC40 ήταν σχεδόν ισοδύναμες και δεν επηρεάστηκαν από τον προσανατολισμό των ράβδων, για μικρά δείγματα, πιθανώς επειδή το πλάτος των κενών κάτω από τις οριζόντιες ράβδους ήταν πολύ μικρότερο από το ύψος των νευρώσεων. Για τα δοκίμια που οπλίστηκαν με λείες ράβδους, όλες οι συνθέσεις ήταν ισοδύναμες και επηρεάστηκαν σημαντικά από τον προσανατολισμό των ράβδων. Στην περίπτωση αυτή, το πλάτος των κενών δεν επηρέασε την αντοχή συνάφειας.

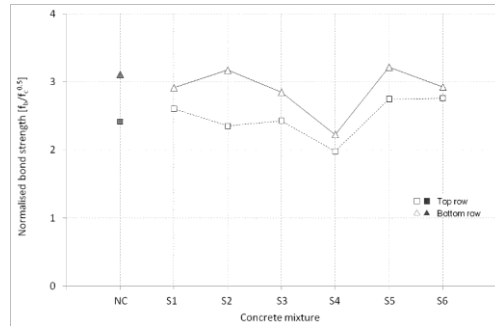
- Αναφορικά με το πρόβλημα άνω οπλισμών (Top-bar effect) σημειώνουν ότι σε όλους τους τύπους σκυροδέματος (στα μεγάλα δοκίμια) παρατηρήθηκε έντονος σχηματισμός κενών κάτω από τις οριζόντιες ράβδους, λόγω της συνίχισης του νωπού σκυροδέματος. Για τις λείες ράβδους η αντοχή συνάφειας μειώθηκε κατά 65,1% στο SCC25, 78,9% στο VC25, 74,3% στο SCC40, 76,2% στο VC40, δεδομένο που μαρτυρά την θετική επίδραση των νευρώσεων στη μείωση της επιρροής συνθηκών σκυροδέτησης.
- Καταλήγουν σχετικά με την αντοχή συνάφειας, η οποία δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες σκυροδέτησης, πως συνολικά υπολογίστηκε περίπου 20% υψηλότερη στο ΑΣΣ έναντι του ΣΣ, ανεξαρτήτως ποιότητας σκυροδέματος, για τα δοκίμια με ράβδους με νευρώσεις.

Οι **Thrane L.N. κ.ά.** (2010) διερεύνησαν την μεταβολή συνάφειας χάλυβα-σκυροδέματος κατά μήκος δοκού και την μεταβολή συνάφειας λόγω διαφορετικών ρεολογικών ιδιοτήτων του ΑΣΣ. Συνολικά παρήχθησαν 7 μίγματα ποιότητας σκυροδέματος C35. Στα 5 από τα 7 μίγματα που εξετάστηκαν, η σύνθεση ήταν η ίδια με εξαίρεση την ποσότητα του υπερρυστοποιητή (NC, S1, S2, S4, S6) ενώ στα υπόλοιπα δύο μίγματα (S3 και S5) η σύνθεση ήταν διαφορετική προκειμένου να αυξηθεί το πλαστικό ιξώδες. Κατασκεύασαν δοκίμια δοκού διαστάσεων 2.40m×0.40m×0.25m και τοποθέτησαν δύο σειρές, από 6 ράβδους Ø12 στην κάθε σειρά, σε απόσταση 0,10m και 0,25m από το κατώτατο σημείο του ξυλότυπου, με επικάλυψη τουλάχιστον 10cm (**Εικόνα 1.32**). Στα μίγματα από ΑΣΣ (S1, S2, S3, S4, S5, S6) η σκυροδέτηση έγινε από τη μια άκρη του ξυλότυπου και χωρίς συμπύκνωση, ενώ στα ΣΣ έγινε σε διαφορετικές θέσεις και συμπυκνώθηκαν με δόνηση. Επισήμαναν πως στα δοκίμια από ΑΣΣ το πάχος επικάλυψης



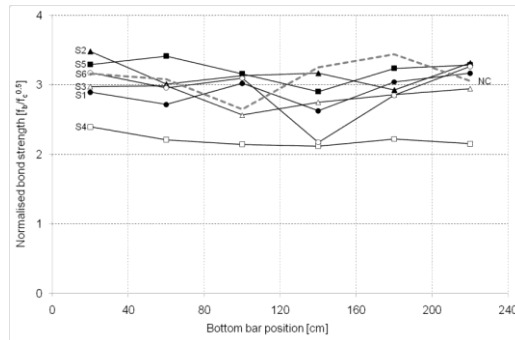
**Εικόνα 1.32** Δοκίμιο δοκού, όπου η χύτευση πραγματοποιήθηκε από την αριστερή πλευρά του ξυλότυπου στην περίπτωση του ΑΣΣ (Thrane L.N. et al 2010).

των ανώτερων ράβδων προοδευτικά μειωνόταν από τη θέση χύτευσης προς το άλλο άκρο του ξυλότυπου, ενώ διαπιστώθηκαν περιπτώσεις ράβδων που δεν ήταν εξολοκλήρου καλυμμένες από σκυρόδεμα (προέκυψε ότι αυτές οι περιπτώσεις αντιστοιχούσαν στα μίγματα με τις χαμηλότερες τιμές SF κατά τις δοκιμές εξάπλωσης).



**Διάγραμμα 1.12 Μέση κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας άνω και κάτω ράβδων και για όλα τα μίγματα (Thrane L.N. et al 2010).**

Από τα πειραματικά αποτελέσματα, αρχικά παρατηρείται ότι η κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας των μιγμάτων από ΑΣΣ είναι ανάλογη αυτής των μιγμάτων από ΣΣ (με εξαίρεση τη σύνθεση S4 η οποία είχε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε αέρα, 9%). Φαίνεται επίσης ότι η κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας είναι μεγαλύτερη στις ράβδους της κάτω σειράς για όλα τα μίγματα (Διάγραμμα 1.1).

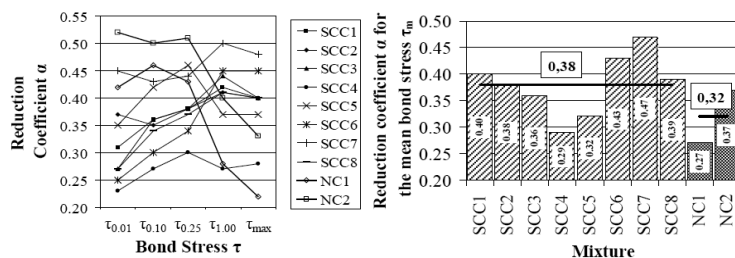


**Διάγραμμα 1.13 Κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας για κάθε ράβδο της κάτω σειράς και για κάθε μίγμα. Η διακεκομμένη γραμμή αντιστοιχεί στο ΣΣ και η θέση χύτευσης του ΑΣΣ ήταν η αριστερή άκρη του ξυλοτύπου (αφέθηκε να ρεύσει ελεύθερα προς τα δεξιά) (Thrane et al 2010).**

Καταλήγουν ότι η διακύμανση της αντοχής συνάφειας, κατά μήκος του δοκιμίου, είναι της ίδιας τάξης για τα μίγματα από ΑΣΣ και το μίγμα ΣΣ, δεδομένο που δείχνει ότι η ελεύθερη ροή του ΑΣΣ κατά τη χύτευση δεν επηρέασε σημαντικά τα αποτελέσματα (Διάγραμμα 1.13).

Οι Τρέζος κ.ά. (Τρέζος, Σφήκας, Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010) στη μελέτη τους για το φαινόμενο των άνω οπλισμών σε υποστυλώματα από ΑΣΣ με εγκάρσιο οπλισμό, συμπέραναν ότι η τάση συνάφειας μεταβάλλεται γραμμικά συναρτήσει του υποκείμενου πάχους σκυροδέματος. Για την αξιολόγηση του φαινομένου των άνω οπλισμών κρίθηκε καταλληλότερος ο **μειωτικός συντελεστής για τη συνάφεια α**, οποίος περιγράφει την γραμμική μείωση της τάσης συνάφειας συναρτήσει του ύψους, συγκριτικά με τον **λόγο αντοχής σε συνάφεια άνω/κάτω ράβδου** που χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία. Ο συντελεστής αυτός φαίνεται να επηρεάζεται από την αντοχή του τσιμέντου και την αντοχή του σκυροδέματος, το λόγο N/T (w/c), το ιξώδες και από την αντίσταση σε διαχωρισμό του μίγματος. Στα μίγματα από ΑΣΣ η αντοχή σε συνάφεια ήταν μεγαλύτερη ή ίση σε σχέση με των μιγμάτων από ΣΣ ίδιας ποιότητας σκυροδέματος (Πίνακας 1.6). Εξετάστηκαν διαφορετικά κριτήρια σχετικά με την επιλογή της τάσης συνάφειας που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης. Το πρόβλημα των άνω οπλισμών ήταν λιγότερο έντονο στα μίγματα από ΑΣΣ για μικρές τιμές ολισθήσεων (s=0,01, 0,10 και 0,25mm), ενώ αντίθετα για μεγαλύτερες ολισθήσεις (s=1,00mm) όπως και για τη μέση και μέγιστη τάση

συνάφειας ( $\tau_m$  και  $\tau_{max}$  αντίστοιχα) ήταν εντονότερο (δηλαδή μεγαλύτερος μειωτικός συντελεστής  $\alpha$ ) (Διάγραμμα 1.14).



Διάγραμμα 1.14 (Αριστερά) Μειωτικός συντελεστής  $\alpha$  συναρτήσει χαρακτηριστικών τιμών της τάσης συνάφειας, (Δεξιά) μειωτικός συντελεστής  $\alpha$ , που αντιστοιχεί στη μέση τάση συνάφειας  $\tau_m$ , για όλα τα παραχθέντα μίγματα (Τρέζος et al 2010).

Πίνακας 1.6 Κανονικοποιημένη αντοχή σε συνάφεια  $\tau/f_{cc}^{0.5}$ , όλων των παραχθέντων μιγμάτων, χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_m$ ) (Τρέζος et al 2010).

	Mixture	SCC1	SCC2	SCC3	SCC4	SCC5	SCC6	SCC7	SCC8	NC1	NC2
$\tau_{max}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	5.1	7.0	6.7	4.1	4.2	4.0	3.8	4.3	3.9	3.5
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.33	0.34	0.34	0.53	0.39	0.24	0.19	0.33	0.64	0.46
	$\alpha$	0.40	0.40	0.40	0.28	0.37	0.45	0.48	0.40	0.22	0.33
$\tau_{0.25}$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	4.7	6.2	6.3	3.4	2.7	2.3	2.3	2.9	2.8	1.8
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.37	0.37	0.37	0.50	0.23	0.43	0.26	0.39	0.28	0.14
	$\alpha$	0.38	0.38	0.38	0.30	0.46	0.34	0.44	0.37	0.43	0.51
$\tau_m$	$\tau_0/f_{cc}^{0.5}$	4.8	6.4	5.9	3.8	3.6	3.6	3.4	3.9	3.5	3.0
	$\tau_{top}/\tau_{bot}$	0.34	0.37	0.40	0.52	0.47	0.28	0.22	0.35	0.56	0.39
	$\alpha$	0.40	0.38	0.36	0.29	0.32	0.43	0.47	0.39	0.27	0.37

$\tau_0$ : bond stress at the bottom of the column (Eq.2),  $\tau_{bot}$ : bond stress at the bottom bar (B9),  $\tau_{top}$ : bond stress at the top bar (B1),  $\alpha$ : bond reduction coefficient

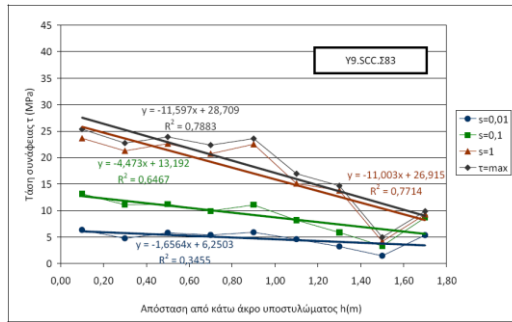
### 1.3.2 Προηγούμενες εργασίες του εργαστηρίου

Η συνάφεια του χάλυβα οπλισμού με το σκυρόδεμα υπήρξε για αρκετά χρόνια ερευνητικό αντικείμενο του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος του Ε.Μ.Π., έτσι στη συνέχεια γίνεται μια σύνοψη των βασικών σημείων και κυρίως των συμπερασμάτων από προηγούμενες εργασίες του εργαστηρίου σχετικές με το θέμα.

Οι Πάλλμος Μ. και Σωτηροπούλου Ε. (2010) στη διπλωματική τους εργασία ερεύνησαν αφενός το πρόβλημα των άνω οπλισμών για δοκίμια ΑΣΣ και αφετέρου την επιρροή του βάθους σκυροδέτησης στη θλιπτική αντοχή. Τα δοκίμια που κατασκεύασαν και έπειτα υπέβαλαν σε δοκιμές εξόλκευσης, ήταν υποστυλώματα διατομής 20x20cm και ύψους 180cm. Κάθε υποστυλώμα οπλίστηκε με 9 εγκάρσιες ράβδους  $\varnothing 16$ , ξεκινώντας 10cm από το άνω άκρο του υποστυλώματος. Επιπλέον, τοποθετήθηκε διαμήκης οπλισμός  $\varnothing 8$  στις τέσσερις ακμές του υποστυλώματος και 3 συνδετήρες  $\varnothing 8$  (Εικόνα 1.33).

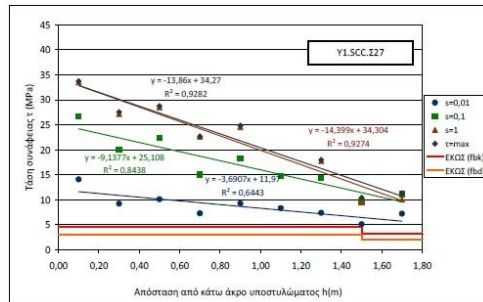


Εικόνα 1.33 (Αριστερά) Διάταξη ξυλοτύπου και τοποθέτηση οπλισμών, (Δεξιά) Υποστυλώμα σε κατάκλιση (Πάλλμος και Σωτηροπούλου 2010).

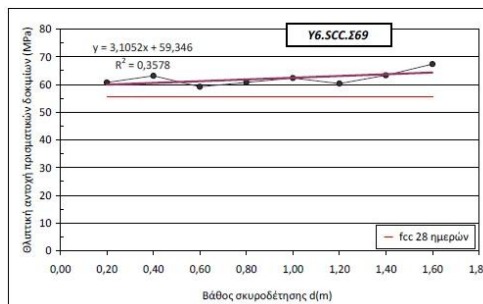


Διάγραμμα 1.15 Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{s=1}$ ,  $\tau_{s=0.1}$ ,  $\tau_{s=0.01}$ ) ως συνάρτηση της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Συμπεραίνουν ότι το πρόβλημα των άνω σπλισμών είναι δυσμενέστερο στα υποστύλωματα από ΣΣ για μικρές ολισθήσεις, ενώ στην περίπτωση της  $\tau_{max}$  φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τα υποστύλωματα από ΑΣΣ. Η  $\tau_{max}$ , ως απόλυτο μέγεθος και ανεξαρτήτως της μεταβολής που παρουσιάζει συναρτήσει του ύψους, παρατηρείται αυξημένη στα μίγματα από ΑΣΣ, σε σχέση μίγματα από ΣΣ.



Διάγραμμα 1.16 Μεταβολή τάσεων χαρακτηριστικών ολισθήσεων ( $\tau_{max}$ ,  $\tau_{s=1}$ ,  $\tau_{s=0.1}$ ,  $\tau_{s=0.01}$ ) και μέγιστης τάσης συνάφειας ( $\tau_{max}$ ) συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο και σύγκριση με τις προβλεπόμενες τιμές του ΕΚΩΣ 2000 (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).



Διάγραμμα 1.17 Θλιπτική αντοχή  $f_c$  συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστύλωματος (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Βάσει του δείγματος που εξετάστηκε στο πειραματικό μέρος, κρίθηκε ασφαλής η χρήση του ΕΚΩΣ 2000 για το σχεδιασμό στοιχείων από ΑΣΣ. Ακόμα, σχετικά με τη μεταβολή της θλιπτικής αντοχής καθ' ύψος, στις συνθέσεις ΑΣΣ παρατηρήθηκε αύξηση από 1% έως 14%, ενώ στις συνθέσεις ΣΣ μείωση με το βάθος από 1% έως 7%, γεγονός που ενδεχομένως υποδηλώνει ελλιπή δόνηση.

Η αυξημένη μεταβολή της τάσης συνάφειας που παρουσιάστηκε στα δοκίμια από ΑΣΣ, ανάγεται σε κάποιο βαθμό και στη μεταβολή (αύξηση) της θλιπτικής αντοχής με το βάθος σκυροδέτησης. Τέλος, επισημαίνεται η ανάγκη επανάληψης των συνθέσεων ώστε να

ελεγχθεί η συνέπεια των αποτελεσμάτων.

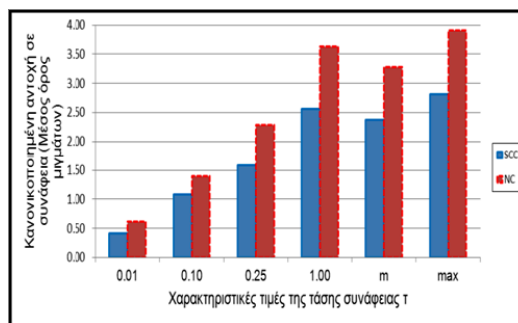
Ο **Στύλος Α.** (2011) στη διπλωματική του εργασία διερευνά επίσης το φαινόμενο των άνω οπλισμών. Για 7 διαφορετικά μίγματα από ΑΣΣ και για 3 μίγματα από ΣΣ, διεξήχθησαν έλεγχοι ναπού και σκληρυμένου σκυροδέματος και ακολούθως δοκιμές εξόλκευσης. Για τις δοκιμές εξόλκευσης κατασκευάστηκαν ανά σύνθεση 3 κυβικά δοκίμια 20×20×20cm οπλισμένα με μία ράβδο Ø16 B500C και ένα υποστύλωμα 20×20×60cm, οπλισμένο με τρεις ράβδους Ø16 κάθετες στη διεύθυνση σκυροδέτησης.

Συμπερασματικά, τα μίγματα από ΑΣΣ παρουσίασαν χαμηλότερες ανηγμένες τάσεις συνάφειας στη θλιπτική αντοχή, στις περιπτώσεις των  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ , ενώ για μικρότερες ολισθήσεις δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές συγκριτικά με τα μίγματα από ΣΣ (**Πίνακας 1.7**).

**Πίνακας 1.7 Αντιπροσωπευτικές τιμές ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος κάτω (col-row), μεσαίας (col-mid), άνω (col-upp) ράβδου υποστύλωματος και μέση τάση των 3 κύβων (Στύλος 2011).**

		SCC-06	SCC-10	SCC-11	SCC-16	SCC-17	SCC-18	SCC-19	NC-03	NC-04	NC-08
		Σ100	Σ102	Σ99	Σ111	Σ108	Σ109	Σ115	Σ101	Σ103	Σ110
$\tau_{0.01}/f_{cc}$	cub-avg	0.07	0.04	0.06	0.07	0.03	0.05	0.01	0.10	0.06	0.03
	col-low	0.12	0.03	0.01	0.02	0.07	0.04	0.06	0.11	0.08	0.05
	col-upp	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.03
	col-mid	0.06	0.00	0.03	0.00	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05
$\tau_{0.10}/f_{cc}$	cub-avg	0.18	0.07	0.14	0.14	0.11	0.11	0.10	0.20	0.11	0.11
	col-low	0.20	0.06	0.13	0.16	0.17	0.08	0.14	0.20	0.17	0.16
	col-upp	0.14	0.00	0.01	0.01	0.00	0.07	0.09	0.08	0.02	0.05
	col-mid	0.14	0.05	0.10	0.08	0.08	0.11	0.13	0.11	0.08	0.11
$\tau_{0.25}/f_{cc}$	cub-avg	0.22	0.09	0.21	0.20	0.18	0.17	0.15	0.33	0.15	0.20
	col-low	0.25	0.10	0.25	0.24	0.25	0.12	0.22	0.31	0.27	0.29
	col-upp	0.18	0.02	0.02	0.03	0.01	0.10	0.10	0.09	0.00	0.08
	col-mid	0.19	0.07	0.12	0.10	0.09	0.13	0.17	0.18	0.10	0.17
$\tau_{1.00}/f_{cc}$	cub-avg	0.26	0.19	0.34	0.29	0.30	0.28	0.26	0.50	0.25	0.46
	col-low	0.29	0.23	0.44	0.38	0.34	0.25	0.36	0.48	0.40	0.50
	col-upp	0.21	0.04	0.04	0.05	0.02	0.11	0.10	0.16	0.02	0.18
	col-mid	0.23	0.08	0.14	0.14	0.10	0.16	0.29	0.30	0.16	0.41
$\tau_m/f_{cc}$	cub-avg	0.21	0.19	0.31	0.27	0.28	0.25	0.25	0.47	0.24	0.42
	col-low	0.27	0.23	0.40	0.35	0.35	0.23	0.33	0.41	0.38	0.45
	col-upp	0.19	0.06	0.05	0.05	0.06	0.11	0.11	0.15	0.02	0.16
	col-mid	0.21	0.09	0.14	0.13	0.11	0.17	0.26	0.29	0.18	0.35
$\tau_{max}/f_{cc}$	cub-avg	0.27	0.24	0.37	0.32	0.33	0.30	0.29	0.54	0.29	0.51
	col-low	0.30	0.28	0.47	0.42	0.41	0.28	0.41	0.50	0.43	0.53
	col-upp	0.22	0.09	0.07	0.07	0.11	0.13	0.13	0.20	0.02	0.21
	col-mid	0.24	0.10	0.16	0.16	0.14	0.21	0.31	0.36	0.22	0.45

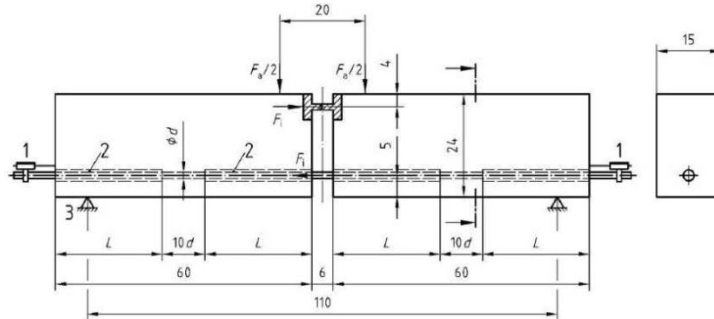
Η προσθήκη πυριτικής παιπάλης στο μίγμα προσέδωσε αυξημένη θλιπτική αντοχή και αυξημένες τάσεις συνάφειας, μικρότερο πρόβλημα άνω οπλισμών, αλλά και μειωμένη κανονικοποιημένη αντοχή συνάφειας.



**Διάγραμμα 1.18 Συγκριτικό διάγραμμα κανονικοποιημένων αντοχών συνάφειας για μίγματα ΑΣΣ και ΣΣ (Στύλος 2011).**

Συγκρίνοντας με τα υψηλότερα στοιχεία, που όπως προαναφέρθηκε αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας της διπλωματικής εργασίας των **Πάλμος και Σωτηροπούλου (2010)**, στα χαμηλότερα στοιχεία παρατηρήθηκαν χαμηλότερες αντοχές σε συνάφεια και υψηλότερες τιμές του μειωτικού συντελεστή  $\alpha$ .

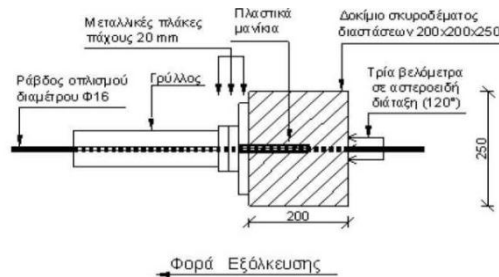
Οι **Πάττα Σ.** και **Περβολαράκης Δ.** (2005) στην διπλωματική τους εργασία διερεύνησαν την επιρροή της επιφάνειας προβολής των νευρώσεων ( $\alpha_R$ ) των ράβδων οπλισμού στη συνάφεια με το σκυροδέμα, διεξάγοντας δοκιμές δοκού και δοκιμές εξόλκευσης (**Εικόνες 1.34, 1.35**).



**Εικόνα 1.34** Δοκιμή δοκού τύπου Β ( $d \geq 16\text{mm}$ ), διαστάσεις σε cm, (1. Βελόμετρα καταγραφής ολίσθησης, 2. Πλαστικοί σωλήνες, 3. Κινητές στηρίξεις) (Πάττα και Περβολαράκης 2005).

Δεν προέκυψε κάποια άμεση εξάρτηση ανάμεσα στην τάση συνάφειας και το δείκτη  $\alpha_R$ , για το εύρος τιμών της  $\alpha_R$  που ελέγχθηκε (0.050 έως 0.075). Συγκρίνοντας τις δοκιμές ελέγχου, αναφέρουν ότι η δοκιμή δοκού προσεγγίζει καλύτερα τον πραγματικό τρόπο επιβολής της έντασης στις ράβδους οπλισμού σε σχέση με τη δοκιμή εξόλκευσης. Από την άλλη μεριά πρόκειται για πολύπλοκη και δαπανηρή διαδικασία, τόσο λόγω των επιμέρους τμημάτων που συνθέτουν το προς εξέταση δοκίμιο (μεταλλική άρθρωση, βοηθητικός οπλισμός, μεγάλο μέγεθος δοκίμιου), όσο λόγω του απαιτούμενου εξοπλισμού (αυξημένη καταπόνηση δοκιμίων).

Αντίθετα, η δοκιμή εξόλκευσης είναι μια σχετικά εύκολη και απλή διαδικασία τόσο ως προς τον τρόπο παρασκευής των δοκιμίων, όσο και προς την εξέτασή τους. Επισημαίνουν ακόμη ότι κατά τη δοκιμή αυτή δημιουργείται σύνθετη κατάσταση τάσεων στη διεπιφάνεια χάλυβα σκυροδέματος.



**Εικόνα 1.35** Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης, διαστάσεις σε mm, (Πάττα και Περβολαράκης 2005).

Οι **Βαγγελή Ι.** και **Χρηστάκης Α.** (2008), στα πλαίσια της διπλωματικής τους εργασίας, διερεύνησαν την επίδραση της γεωμετρίας των νευρώσεων στη συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος. Εκτέλεσαν δοκιμές δοκού και εξόλκευσης σε δοκίμια οπλισμένα με ράβδους δύο διαφορετικών τύπων νευρώσεων: «τύπου 1» ( $\alpha_R=0.054$ /αραιή διάταξη νευρώσεων) και «τύπου 2» ( $\alpha_R=0.116$ /πυκνή διάταξη νευρώσεων), για δύο μίγματα σκυροδέματος (ένα με υπερρυστοποιητή και ένα χωρίς) (**Εικόνα 1.36, 1.37**).

Οι δοκιμές δοκού έδειξαν ότι για δοκίμια με τύπο νευρώσης 1 η χρήση ρυστοποιητή μειώνει την ανηγμένη τάση συνάφειας για ολισθήσεις μεγαλύτερες από 0.2mm, ενώ για δοκίμια με τύπο νευρώσης 2 η χρήση ρυστοποιητή μειώνει σημαντικά την ανηγμένη τάση συνάφειας για ολισθήσεις μεγαλύτερες από 0,6mm.



Εικόνα 1.36 Διάταξη δοκιμής δοκού (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).



Εικόνα 1.37 (Αριστερά) Νευρώσεις «τύπου 1» και, (Δεξιά) νευρώσεις «τύπου 2» (Βαγγελή και Χρηστάκης, 2008).

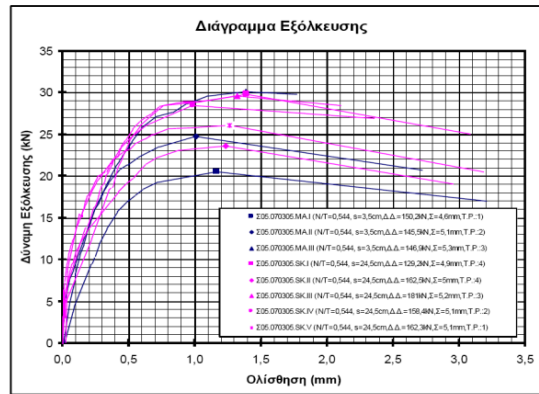
Στα διαγράμματα ανηγμένων τάσεων δοκιμίων με ρευστοποιητή δίνει τις υψηλότερες τιμές ο τύπος νευρώσης 2, για ολίσθηση μικρότερη από 1mm, ενώ συμπεραίνουν πως για τα δοκίμια χωρίς ρευστοποιητή δεν προέκυψε σαφής διαχωρισμός των δύο τύπων νευρώσεων.

Στις δοκιμές εξόλκευσης, αντίθετα, η εξέταση των δοκιμίων ξεχωριστά έδειξε ότι ο τύπος νευρώσης 1 παρουσιάζει γενικά καλύτερη συμπεριφορά σε δοκίμια που δεν είχαν ρευστοποιητή. Στον τύπο νευρώσης 2, τα δοκίμια που είχαν ρευστοποιητή εμφάνισαν μεγαλύτερες τιμές τάσης συνάφειας για μικρές ολισθήσεις στις δύο από τις τρεις σκυροδετήσεις, ενώ για μεγάλες ολισθήσεις ήταν καλύτερη η συμπεριφορά του σκυροδέματος χωρίς ρευστοποιητή (μεγαλύτερες τιμές της τάσης συνάφειας).

Τα δοκίμια από σκυρόδεμα χωρίς ρευστοποιητή εμφάνισαν καλύτερη συμπεριφορά, σύμφωνα με τις μέσες καμπύλες των ομαδοποιημένων δεδομένων, ενώ δεν φάνηκε κάποιος σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στους δύο τύπους ράβδων.

Στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας του **Σφήκα Ι.** (Σφήκας 2007) περιγράφονται αναλυτικά οι μηχανικές ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος, οι μέθοδοι και τα υλικά παρασκευής του νέου υλικού (ΑΣΣ), και οι πιο διαδεδομένες παγκοσμίως μέθοδοι ελέγχου των νωπών ιδιοτήτων του. Συνολικά διεξήχθησαν 16 σκυροδετήσεις και από τους ελέγχους της νωπής και σκληρυμένης κατάστασης του υλικού εξήχθησαν συμπεράσματα για τη συμπεριφορά του, που μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη βάση δεδομένων για μελλοντικούς ερευνητές.





Διάγραμμα 1.19 Διάγραμμα εξόλκευσης, δύναμη εξόλκευσης συναρτήσει της ολισθήσης (καταμετρημένης από το ελεύθερο άκρος της ράβδου) (Σφήκας 2007).

Οι δοκιμές εξόλκευσης έδειξαν ότι τα μίγματα από ΑΣΣ παρουσιάζουν βελτιωμένη συνάφεια χάλυβα-σκυροδέματος, καθώς η απαιτούμενη δύναμη εξόλκευσης αναπτύχθηκε σε τιμή ολισθήσης αυξημένη κατά 7,7% και είχε τιμή αυξημένη κατά 10%, σε σχέση με την απαιτούμενη δύναμη εξόλκευσης δοκιμών από ΣΣ.

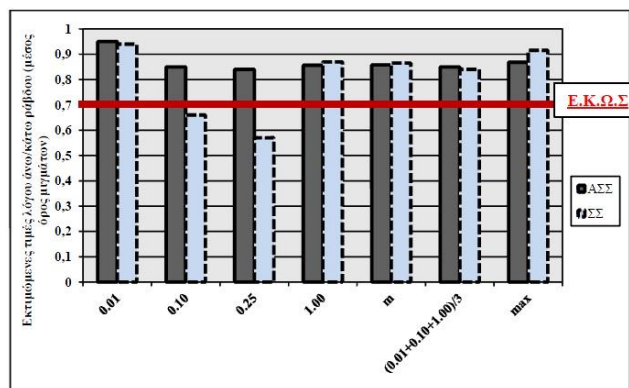
Ο Πάσιος Χ. (2011) στην διπλωματική του εργασία διερεύνησε την καθ' ύψος μεταβολή της τάσης συνάφειας σε δοκίμια υποστυλώματος (πρόβλημα άνω οπλισμών), και την μεταβολή της τάσης συνάφειας κατά μήκος δοκιμών δοκού, από την παρεία έναρξης σκυροδέτησης έως την απέναντι παρεία του ξυλότυπου. Τα μίγματα των οποίων η συμπεριφορά σε συνάφεια ελέγχθηκε, ήταν από ΑΣΣ και από ΣΣ με διαφοροποιήσεις ως προς το λόγο N/T (w/c), καθώς και ως προς την περιεκτικότητα σε υπερρευστοποιητή. Συνολικά παρήχθησαν 7 διαφορετικές συνθέσεις εκ των οποίων 5 ΑΣΣ και 2 ΣΣ, ενώ κάθε σύνθεση επαναλήφθηκε 2 φορές (14 αναμίγματα) προκειμένου να καλυφτούν οι απαιτήσεις των προς πλήρωση ξυλότυπων.

Συμπερασματικά, τα μίγματα από ΑΣΣ ανέπτυξαν υψηλότερες τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή για μικρές τιμές ολισθήσεων (0.01, 0.10mm), ενώ για μεγαλύτερες ολισθήσεις ανέπτυξαν χαμηλότερες τάσεις συνάφειας σε σύγκριση με τα ΣΣ. Επίσης, τα μίγματα από ΑΣΣ έδωσαν υψηλότερες κανονικοποιημένες τάσεις συνάφειας (στη ρίζα της θλιπτικής αντοχής) για μικρές ολισθήσεις (0.01, 0.10mm). Για μεγαλύτερες ολισθήσεις ανέπτυξαν χαμηλότερες τάσεις συνάφειας σε σύγκριση με τα ΣΣ, ενώ και η μέγιστη κανονικοποιημένη τάση συνάφειας στα ΣΣ ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τα ΑΣΣ.

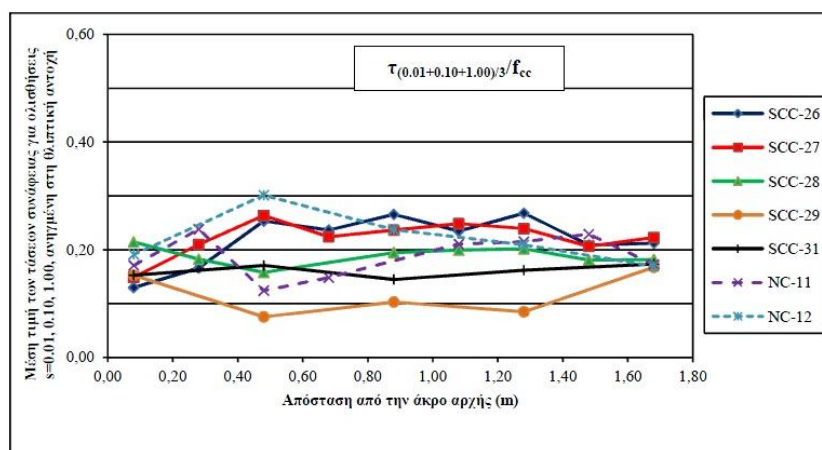
Αναφορικά με το φαινόμενο των άνω οπλισμών, για 3 από τα υποστυλώματα ΑΣΣ που σκυροδετήθηκαν (SCC-28, SCC-29, SCC-31) καταλήγει ότι η μείωση του λόγου w'/c (ωφέλιμο νερό προς τσιμέντο, βλέπε την §2.2.4) με ταυτόχρονη αύξηση της περιεκτικότητας σε υπερρευστοποιητή είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση εντονότερου προβλήματος άνω οπλισμών.

Ως προς την επίδραση της προσθήκης υπερρευστοποιητή (αντί νερού), παρατηρήθηκε ότι είχε ως συνέπεια την αύξηση της κανονικοποιημένης αντοχής σε συνάφεια ( $\tau_0/\sqrt{f_{cc}}$ ).

Σχετικά με το πρόβλημα των άνω οπλισμών, φαίνεται αυτό να παρουσιάζεται με μεγαλύτερη ένταση για τα υποστυλώματα συμβατικού σκυροδέματος και για μικρές ολισθήσεις (και κυρίως για 0.10 και 0.25mm) ενώ στην περίπτωση της μέγιστης τάσης συνάφειας εμφανίζεται πιο έντονο στα υποστυλώματα αυτοσυμπκνούμενου σκυροδέματος.



Διάγραμμα 1.20 Λόγος άνω/κάτω ράβδου (εκτιμώμενες τιμές) για όλες τις εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) (μέσος όρος μιγμάτων ΑΣΣ και ΣΣ) (Πάσιος 2011).



Διάγραμμα 1.21 Μέση τιμή τάσεων συνάφειας (για ολισθήσεις  $s=0.01, 0.10, 1.00$ ) ανηγμένη στη θλιπτική αντοχή, συναρτήσει της απόστασης από την παρειά έναρξης σκυροδέτησης (Πάσιος 2011).

Τέλος, από την επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων δεν προέκυψε κάποια εμφανής μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος των δοκιμίων δοκού που παρασκευάστηκαν από ΑΣΣ.

### 1.3.3 Σεισμός σε νωπό σκυρόδεμα

Η μελέτη των επιπτώσεων της σεισμικής δράσης σε κατασκευές από ωπλισμένο σκυρόδεμα, όταν αυτή εμφανίζεται κατά τις πρώτες ώρες μετά από την σκυροδέτηση, όταν δηλαδή το σκυρόδεμα βρίσκεται σε νωπή κατάσταση, αποτέλεσε θέμα προηγούμενων διπλωματικών εργασιών του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.

Στις εργασίες των Μυλωνάδης Γ. (2000), Γεωργίου Χ. (2001), Καρέλλη Μ και Νταντάμη Κ. και Ντογκούλη Ε. (2002) η σεισμική δράση προσομοιώθηκε πειραματικά ως μια πρόωμη επιβαλλόμενη μετατόπιση των ράβδων οπλισμού μέσα στην μάζα του νωπού σκυροδέματος, με διαφοροποιήσεις σε παραμέτρους όπως τον χρόνο πραγματοποίησης της μετατόπισης (σε σχέση με την πήξη του σκυροδέματος), το μέγεθος της μετατόπισης, το είδος (μονότονη), την χρήση ή μη ρευστοποιητή και την γεωμετρία των νευρώσεων των ράβδων οπλισμού. Τελικός σκοπός αυτών ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων της σεισμικής αυτής μετατόπισης στην συνάφεια του χάλυβα οπλισμού με το σκυρόδεμα.

Τα πρώτα πειράματα προς αυτή την κατεύθυνση εκτελέστηκαν από τους Μυλωνάδη Γ. και Γεωργίου Χ., οι οποίοι εξήγαγαν κάποια πρώτα συμπεράσματα σχετικά με το ποιές ακριβώς παράμετροι είναι καθοριστικές για την ανάπτυξη ικανοποιητικής συνάφειας, και με

ποιον τρόπο την επηρεάζουν. Οι παράμετροι που διερευνήθηκαν στο πρώτο αυτό στάδιο της μελέτης ήταν η φορά και το μέτρο της επιβαλλόμενης μετατόπισης, η πίεση διεισδύσεως και η ηλικία του σκυροδέματος κατά την επίδραση, το μήκος συνάφειας, η προσθήκη ή μη ρευστοποιητή, η κάθιση, η σύνθεση του σκυροδέματος και η γεωμετρία των νευρώσεων στον χάλυβα οπλισμού.

Συμπερασματικά, στις ράβδους που επιβλήθηκε μετατόπιση, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση στην τάση συνάφειας, από 30 % έως και 75 %, η οποία αυξανόταν ανάλογα με το μέτρο της μετατόπισης, ενώ αξιολογήθηκε ιδιαίτερα δυσμενής η εναλλασσόμενη κατεύθυνση επίδρασης, καθώς συνεπαγόταν αρκετά μικρότερες δυνάμεις εξόλκευσης σε σχέση με αυτές της μονότονης επιβολής.

Οι **Καρέλλη Μ** και **Νταντάμη Κ.** και **Ντογκούλη Ε.** (2002) κινήθηκαν στα ίδια πλαίσια, επιβάλλοντας μετατόπιση και **μονής (+e)** και **εναλλασσόμενης (±e)** κατεύθυνσης, το μέτρο της οποίας κυμαινόταν από 2 έως 14 mm (στην προσομοίωσή τους όρισαν (+e) κατεύθυνση, για φορά επιβολής προς το μεγαλύτερο μήκος προεξοχής, ενώ (-e) για αντίθετη φορά).

Αρχικά, ως χρονική στιγμή επίδρασης όρισαν τις 4, 6, 7 h από την έναρξη της σκυροδέτησης, ωστόσο επειδή αυτό δεν ήταν ιδιαίτερα σαφές ως προς την εξέλιξη της πήξης, στη συνέχεια επιλέχθηκε ως χρόνος επίδρασης η στιγμή όταν η πίεση διεισδύσεως πλησίαζε τα 2.0MPa. Επιπλέον κάποια από τα δοκίμια “μεταδομήθηκαν” στην δονητική τράπεζα που διαθέτει το εργαστήριο για 30 δευτερόλεπτα, αμέσως μετά την επιβολή της μετατόπισης με το σφυρί.

Σχετικά με τη σύνθεση των δοκιμίων σκυροδέματος, διαπιστώθηκε ότι οι καμπύλες εξόλκευσής τους είναι ανάλογες της θλιπτικής τους αντοχής, και επίσης οι λείοι χάλυβες έδωσαν μικρότερες δυνάμεις εξόλκευσης σε σχέση με τους νευροχάλυβες.

Τέλος, η παρούσα διπλωματική εργασία ακολούθησε την ίδια φιλοσοφία με τις προαναφερθείσες εργασίες ως προς τον τρόπο προσομοίωσης της σεισμικής δράσης σε νωπό σκυρόδεμα, όπως παρουσιάζονται αναλυτικότερα στη συνέχεια (§2.2.5).

## **Κεφάλαιο 2 : Πειραματικό μέρος**

### 2.1 Συνοπτική παρουσίαση της εκτελεσθείσας πειραματικής εργασίας

Γενικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι να αποτελέσει μια άρτια ερευνητική επέκταση στο πεδίο της συνάφειας σκυροδέματος, και δη του αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος, όπως αυτό έχει μελετηθεί και μελετείται εκτενώς, σε διεθνές επίπεδο αλλά και στο Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.. Υπάγεται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο ερευνητικών δραστηριοτήτων συσχετιζόμενες με Διδακτορική Διατριβή, μεταπτυχιακές εργασίες και πλήθος διπλωματικών εργασιών.

Το πειραματικό μέρος εκπονήθηκε την περίοδο **Ιούνιος-Δεκέμβριος, 2011** και συνοψίζεται στα ακόλουθα:

Συνολικά παρήχθησαν **8 συνθέσεις** με λόγο  $w/b=0.55$  (νερό προς συνδετικό υλικό,  $N/SY$ ), εκ των οποίων **6** από Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα (ΑΣΣ) και **2** από Συμβατικό Σκυρόδεμα (ΣΣ):

- ΑΣΣ: με προσθήκη πυριτικής παιπάλης (silica fume) σε ποσοστά 4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β..
- ΣΣ: με δύο διαφορετικά ποσοστά ρευστοποιητή, 0.25, 0.5 %SP/c.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκαν ανά διαφορετικό μίγμα: **(α)** 5 κύβοι ακμής 200mm (3 για μέσο όρο τάσης συνάφειας κατά το πρότυπο και 2 για υψηλές θερμοκρασίες που δεν περιλαμβάνονται στην παρούσα διπλωματική), και **(β)** ένα χαμηλό υποστύλωμα διατομής 200x200mm και ύψους 600mm. Σε 3 μίγματα ΑΣΣ και στα δύο μίγματα ΣΣ κατασκευάστηκε επιπλέον **(γ)** μια οριζόντια δοκός διατομής 200x200mm και μήκους 1800mm, για την οποία η σκυροδέτηση έγινε στο ένα άκρο του ξυλότυπου και το σκυρόδεμα έρευσε χωρίς εξωτερική επίδραση προς το άλλο άκρο. Για τις 5 αυτές συνθέσεις παρήχθησαν δύο αναμίγματα, ώστε να καλύψουν τις ανάγκες πλήρωσης των ξυλοτύπων (συνολικά παρήχθησαν **13 αναμίγματα**). Συνολικά δηλαδή, παρήχθησαν και έπειτα υποβλήθηκαν σε ελέγχους συνάφειας (με δοκιμή εξόλκευσης) **5 δοκίμια δοκού, 8 χαμηλά υποστύλωματα και 40 κυβικά δοκίμια**. Τα δοκίμια οπλίστηκαν με ράβδους με νευρώσεις Ø16 B500C και μήκος συνάφειας 80mm (5 Ø), τα χαμηλά υποστύλωματα με 3 ράβδους καθ' ύψος, η δοκός με 9 ράβδους και οι κύβοι με μια ράβδο κεντρικά (**Εικόνες 2.1, 2.2**). Στις δοκούς που παρήχθησαν ελέγχθηκε η εξέλιξη της πήξης του νωπού σκυροδέματος (όπως περιγράφεται στην §2.3.3) και ανά δύο ράβδους (P2, P4, P6, P8, σύνολο 4 ράβδοι, βλέπε την §2.3.2) **επιβλήθηκε μετατόπιση** σε διάφορες χρονικές στιγμές ως τρόπος προσομοίωσης σεισμού σε νωπό σκυρόδεμα, με εναλλασσόμενη φορά μετατόπισης, (+e) για φορά επιβολής προς το μεγαλύτερο μήκος προεξοχής και κατεύθυνση (-e) για αντίθετη φορά, όπως περιγράφεται αναλυτικότερα στην §2.3.2.

Σημειώνεται πως το πειραματικό μέρος της διπλωματικής εργασίας του **Πάσιου Χ.** εξελίχθηκε παράλληλα με εκείνο της παρούσης διπλωματικής, ή ακριβέστερα, η παρούσα διπλωματική αποτέλεσε συνέχεια εκείνης.

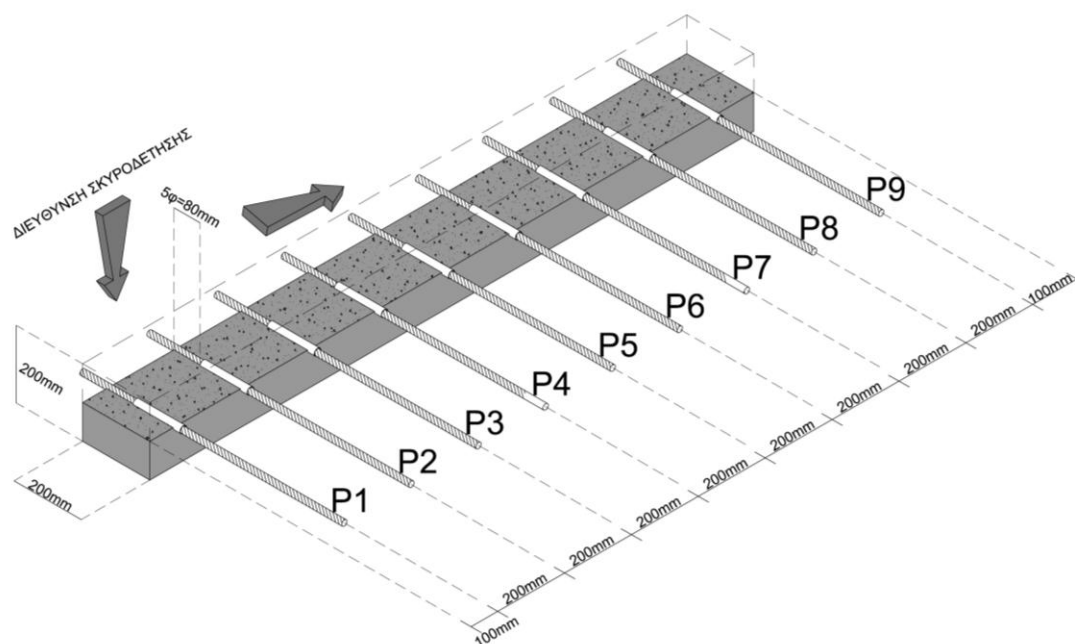
Τα αποτελέσματα των ελέγχων είναι τάσεις συνάφειας που αντιστοιχούν σε διάφορες ολισθήσεις και έπεται, στο θεωρητικό μέρος, η επεξεργασία των δεδομένων αυτών, παραμετρική ανάλυσή τους και σύγκριση με παλαιότερες συνθέσεις του εργαστηρίου ή/και με αποτελέσματα βιβλιογραφίας και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Μέσω ελέγχων εξόλκευσης υπολογίστηκε η τάση συνάφειας σε όλες τις ράβδους, ενώ ο κάθε τύπος δοκιμίου σκυροδετήθηκε με σκοπό τη διερεύνηση των ακολούθων:

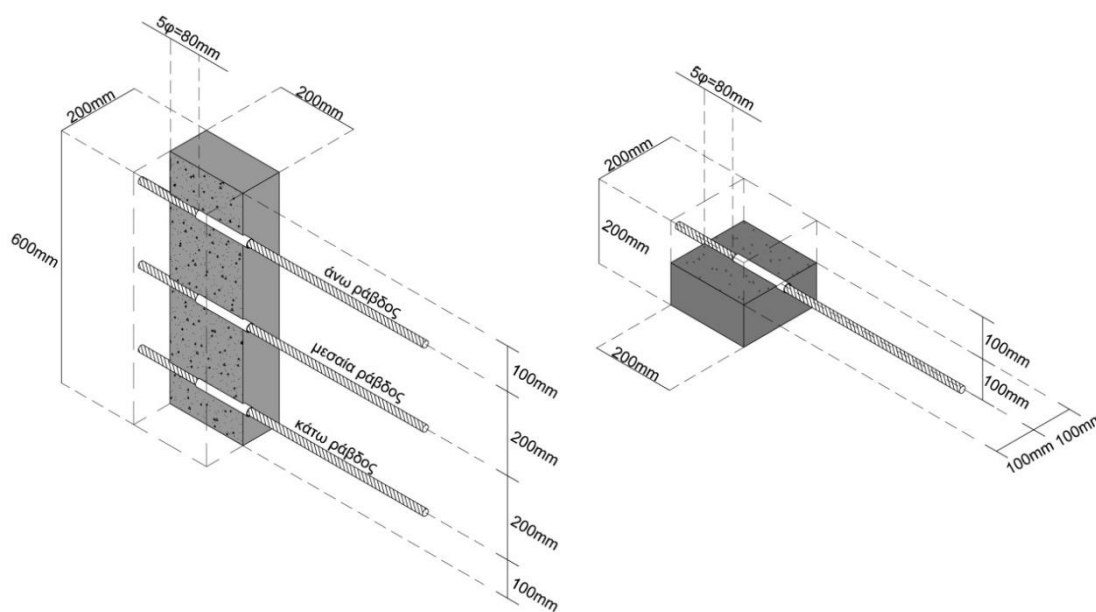
1. Οι κύβοι σκυροδετήθηκαν ώστε από αυτούς να υπολογιστεί η μέση τιμή της τάσης συνάφειας.
2. Τα χαμηλά υποστύλωματα ώστε να διερευνηθεί:
  - **Το πρόβλημα των άνω οπλισμών**, με σύγκριση των ράβδων οπλισμού καθ' ύψος στα χαμηλά υποστύλωματα.
  - **Επιρροή υπερκείμενου σκυροδέματος**, με σύγκριση των κύβων με τις ράβδους υποστύλωματος της ίδιας σύνθεσης.
3. Η δοκός ώστε να διερευνηθεί:
  - **Προσομοίωση σεισμού σε νωπό σκυρόδεμα**, με σύγκριση 4 ράβδων στις οποίες επιβλήθηκε μετατόπιση με τις 5 ράβδους που δεν επιβλήθηκε. Στις 2 ράβδους (P2, P4) η μετατόπιση πραγματοποιήθηκε πριν την συμβατική έναρξη της πήξης (3.5MPa), ενώ στις άλλες 2 (P6, P8) πραγματοποιήθηκε μετά την έναρξη (§2.3.2, 2.3.3).
  - **Επιρροή της απόστασης από το σημείο της σκυροδέτησης**, με σύγκριση μεταξύ κύβων και των ράβδων κατά μήκος της δοκού.

Πίνακας 2.1 Συνθέσεις, σκυροδετήσεις και δοκίμια που παρασκευάστηκαν στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας.

	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ			ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΟΥ ΠΑΡΗΧΘΗΣΑΝ		
	ΤΥΠΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΘΕΣΗ	Α/Α ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	ΔΟΚΟΣ	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ	ΚΥΒΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ (x5)
6 ΑΣΣ	ΑΣΣ	SCC-34	145	✓		
			146		✓	✓
	ΑΣΣ	SCC-30	136		✓	✓
	ΑΣΣ	SCC-32	139		✓	✓
	ΑΣΣ	SCC-35	147	✓		
			148		✓	✓
	ΑΣΣ	SCC-33	142		✓	✓
	ΑΣΣ	SCC-36	149	✓		
			150		✓	✓
	2 ΣΣ	ΣΣ	NC-13	140	✓	
141					✓	✓
ΣΣ		NC-14	143	✓		
			144		✓	✓
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2</b>	<b>8</b>		<b>5</b>	<b>8</b>	<b>40</b>



Εικόνα 2.1 Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού.



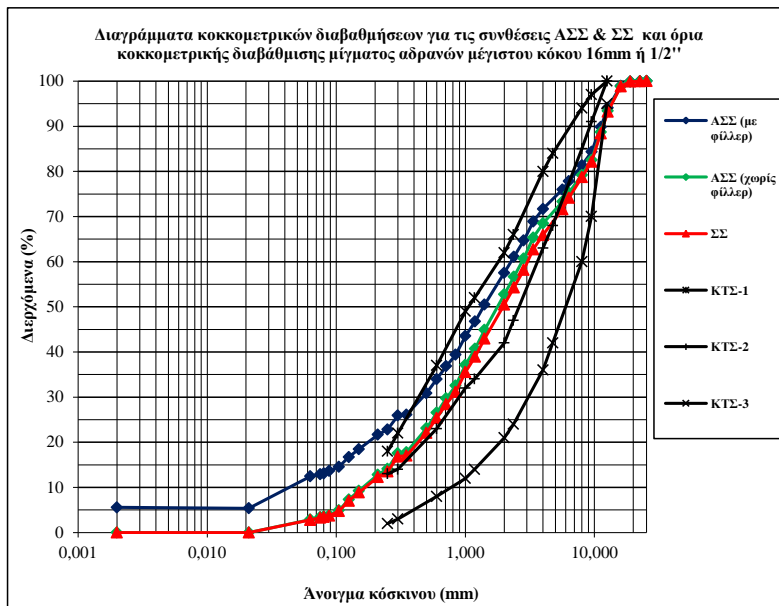
Εικόνα 2.2 (Αριστερά) Σκαρίφημα χαμηλού υποστυλώματος, και (Δεξιά) σκαρίφημα κυβικού δοκιμίου.

## 2.2 Συνθέσεις και Έλεγχοι Σκυροδέματος

### 2.2.1 Κοκκομετρικές καμπύλες αδρανών

Πρώτη εργασία κατά την παραγωγή ενός μίγματος αποτελεί το κοσκίνισμα των αδρανών υλικών και η σύνταξη κοκκομετρικών καμπυλών. Η ποιότητα του σκυροδέματος, συγκεκριμένα η αντοχή του και η ομοιογένειά του, εξαρτάται άμεσα από την κοκκομετρία των αδρανών, συνεπώς απαιτείται ειδική προσοχή ώστε οι κοκκομετρικές καμπύλες να καλύπτουν όλη την περιοχή του υλικού. Όλες οι ποσότητες των αδρανών υλικών (ξηρές) είχαν μέγιστο κόκκο αδρανούς 16mm.





**Διάγραμμα 2.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση συνθέσεων.** Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η διαβάθμιση για τις συνθέσεις από ΣΣ, με μπλε οι συνθέσεις από ΑΣΣ συμπεριλαμβανομένου του φύλλερ, με γαλάζιο οι συνθέσεις από ΑΣΣ χωρίς φύλλερ, και με μαύρο οι τιμές ορίων κατά ΚΤΣ-97 (Πάσιος 2011).

Στο **Διάγραμμα 2.2** παρουσιάζονται με μαύρο χρώμα οι τρεις καμπύλες του κανονισμού (**ΚΤΣ-97**), με μπλε χρώμα η καμπύλη για συνθέσεις ΑΣΣ συμπεριλαμβανομένου του φύλλερ, με πράσινο χρώμα η καμπύλη για συνθέσεις ΑΣΣ χωρίς να συμπεριλαμβάνεται το φύλλερ, και με κόκκινο χρώμα η καμπύλη για συνθέσεις ΣΣ.



**Εικόνα 2.3 Κόσκινα Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π. (Σφήκας 2007).**

Ακολουθούν όλες οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε στάδιο του πειραματικού μέρους.

### 2.2.2 Συλλογή αδρανών και υπολογισμός υγρασίας

Πρωταρχική εργασία στο πειραματικό μέρος αποτελεί η συλλογή των αδρανών υλικών και η ομογενοποίησή τους σε αναμικτήρα, προκειμένου να κατανεμηθεί ομοιόμορφα η υγρασία στη μάζα των αδρανών. Η ομογενοποίηση γίνεται ξεχωριστά για κάθε κλάσμα και συγκρατείται δειγματοληπτικά ποσότητα υλικού η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας των αδρανών.

Για την κατά βάρος περιεχόμενη υγρασία ξηραίνεται το δείγμα σε κλίβανο για 18-24 ώρες στους 150°C, ώστε να μείνει η καθαρή ξηρή ποσότητα του υλικού χωρίς την υγρασία (είτε εξωτερικής επιφάνειας είτε στο εσωτερικό των κόκκων) λόγω αποθήκευσης-φύλαξης (**Εικόνα 2.4**). Μετράται το καθαρό βάρος πριν την ξήρανση ( $W$ ) και έπειτα μετράται ξανά το καθαρό βάρος ( $W_0$  ξηρό) μετά. Έτσι, προκύπτει η περιεχόμενη υγρασία κατά βάρος ως ( $W_0$ -



W)/  $W_0$  (%) και στη συνέχεια αφαιρείται η ποσότητα νερού από το νερό της αρχικής σύνθεσης και τροποποιούνται κατάλληλα οι ποσότητες των αδρανών (σύμφωνα με την υγρασία).



Εικόνα 2.4 (Αριστερά) Ξήρανση αδρανών, (Δεξιά) κλίβανος Εργαστηρίου (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).

Τα αδρανή, μετά την ομογενοποίηση, ζυγίζονταν σε ηλεκτρονική ζυγαριά, ακρίβειας 2g, και αποθηκεύονταν σε πλαστικές σακούλες σφραγισμένες ώστε όσο είναι δυνατόν να διατηρηθεί σταθερή η υγρασία. Την ημέρα της σκυροδέτησης ζυγίζονταν το τσιμέντο και τα πρόσμικτα (φίλλερ ή/και πυριτική παιπάλη) στην ίδια ηλεκτρονική ζυγαριά και φυλάσσονταν σε πλαστικές σακούλες έως ότου χρησιμοποιηθούν, καθώς και η απαιτούμενη ποσότητα νερού, και τέλος ζυγίζονταν τα χημικά πρόσθετα (υπερρευστοποιητής) σε ζυγαριά ακριβείας 0.01g και φυλάσσονταν σε πλαστικά δοχεία.



Εικόνα 2.5 (Αριστερά) Αδρανή-Τσιμεντοειδή υλικά, (Δεξιά) συλλογή υλικών σε πλαστικές σακούλες, πριν την σφράγιση (Σφήκας 2007).

### 2.2.3 Διαδικασία σκυροδέτησης

Η σκυροδέτηση αρχίζει προσθέτοντας τα αδρανή υλικά στον αναμκτήρα, ο οποίος πρέπει πρώτα να έχει καθαριστεί, και ομογενοποιούνται για ικανό χρονικό διάστημα. Έπειτα προστίθεται πρώτα το φίλλερ, με σταματημένο τον αναμκτήρα, και ομογενοποιείται, ακολουθεί η προσθήκη του τσιμέντου και της πυριτικής παιπάλης, και στη συνέχεια προστίθεται η υπολογισμένη ποσότητα νερού (καταγράφοντας την ώρα προσθήκης, καθώς αποτελεί χαρακτηριστικό στοιχείο για την σκυροδέτηση) και συνεχίζεται η ομογενοποίηση για ικανό χρονικό διάστημα, μέχρι να δημιουργηθούν συσσωματώματα στο υλικό (οπτικά εμφανές). Τέλος, προστίθεται ο υπερρευστοποιητής, και εφόσον το μίγμα ομογενοποιηθεί ικανοποιητικά εκτελούνται οι έλεγχοι νωπού σκυροδέματος, συγκεκριμένα οι εξής: Δοκιμή κάθισης (Slump Test), Δοκιμή εξάπλωσης (Slump Flow), Δοκιμή δοχείου L (L-Box), Δοκιμή χοάνης V (V-Funnel) Δοκιμή δοχείου U (U-Box) (όπως περιγράφηκαν στην §1.15).

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή των μιγμάτων ήταν:

- Αδρανή: Άμμος (s) (0-4mm), ριζάκι ( $g_1$ ) (4-8mm) και γαρμπίλι ( $g_2$ ) (8-16mm).
- Τσιμέντο (c) τύπου Πόρτλαντ CEMII/A-L 42.5N κατηγορίας αντοχής 42.5Μpa.
- Φίλλερ: Μάρμαρα Διονύσου NOVOCARB 20, ανθρακικό ασβέστιο (Ip20).  
Υπερρευστοποιητής  $3^{rd}$  γενιάς BASF GLENIUM C347.



Εικόνα 2.6 Αναμικτήρας σε ακινησία κατά την προσθήκη των λεπτόκοκκων υλικών (με χαρακτηριστικό κυανό χρώμα διακρίνεται η πυριτική παιπάλη (sf)) (Στύλος 2011).

#### 2.2.4 Προετοιμασία και παρασκευή δοκιμίων

Μετά την εκτέλεση των δοκιμών ελέγχου ακολουθεί η πλήρωση των μητρών και των ξυλότυπων. Οι εργασίες που σχετίζονται με τους ξυλότυπους και τις μήτρες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

**Προετοιμασία ξυλότυπων** (1 δοκίμιο δοκού, 1 χαμηλού υποστυλώματος, 5 κυβικά δοκίμια) και **μητρών** για σκυροδέτηση:

1. Καθαρισμός ξυλότυπων και μητρών.
2. Συναρμολόγηση ξυλότυπων (με βίδες) και μητρών.
3. Επάλειψη με ειδικό λάδι.
4. Τοποθέτηση πλαστικών σωλήνων ώστε να περιορίζεται το μήκος συνάφειας του σκυροδέματος με τις ράβδους οπλισμού στο επιθυμητό ( $I_b=5 \text{ } \varnothing=8\text{cm}$ ).
5. Τοποθέτηση ράβδων οπλισμού ( $\varnothing 16$ ), μια ράβδο για κάθε κυβικό δοκίμιο, 3 για κάθε χαμηλό υποστύλωμα, 9 για κάθε δοκό.
6. Εφαρμογή πλαστελίνης σε σημεία του ξυλότυπου και των πλαστικών σωλήνων με τέτοιο τρόπο ώστε να εμποδίζεται η διαφυγή υλικού από τυχόν ατέλειες του ξυλότυπου και να εμποδίζεται η εισχώρηση κονιάματος εντός των σωλήνων (ανεπιθύμητη αύξηση του μήκους συνάφειας).

**Έγχυση σκυροδέματος:** Μόλις ολοκληρωθούν οι ενέργειες που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, γίνεται η έγχυση του σκυροδέματος στους ξυλότυπους και στις μήτρες. Στα μίγματα από ΣΣ η έγχυση πραγματοποιείται και στα 3 είδη δοκιμίων (δοκίμια δοκού, κυβικά δοκίμια, χαμηλά υποστυλώματα) με σέσουλα (σε διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του δοκιμίου δοκού), και η συμπύκνωση με χρήση μηχανικού δονητή μάζας ομοιόμορφα στη μάζα του σκυροδέματος, προσέχοντας να μην μετακινηθούν οι ράβδοι οπλισμού. Στα μίγματα από ΑΣΣ η έγχυση στα δοκίμια δοκού πραγματοποιείται απευθείας από την θυρίδα του αναμικτήρα στο ένα άκρο του ξυλότυπου και το σκυρόδεμα αφήνεται να μετακινηθεί ελεύθερα προς το απέναντι άκρο χωρίς εξωτερική παρέμβαση ή δόνηση. Στα κυβικά δοκίμια και στα χαμηλά υποστυλώματα η έγχυση γίνεται με σέσουλα (επίσης χωρίς δόνηση).

**Αφαίρεση ξυλότυπων και συντήρηση:** Την επόμενη ή μεθεπόμενη μέρα μετά την σκυροδέτηση ακολουθούσε το ‘ξεκαλούπωμα’ όλων των δοκιμίων και μητρών και η φύλαξή τους σε συνθήκες περιβάλλοντος εργαστηρίου έως ότου εκτελεστούν οι δοκιμές εξόλκευσης (28 ημέρες κατά κανόνα, και κατ’ εξαίρεση 29 ή 31 ημέρες μετά).



Εικόνα 2.7 (Αριστερά) Ξυλότυπος δοκιμίου δοκού λίγο πριν την πλήρωση (με χαρακτηριστικό 'γυάλισμα' φαίνεται το ειδικό έλαιο επάλειψης), (Δεξιά) Δοκίμιο δοκού λίγο μετά τη σκυροδέτηση, ενώ βρίσκεται σε νωπή κατάσταση (και πριν την έναρξη της πήξης). Φαίνονται ως 'τρύπες' τα σημεία από τον έλεγχο της πήξης (βλέπε την §2.3.3).



Εικόνα 2.8 (Αριστερά) Κυβικά δοκίμια και χαμηλό υποστρώμα λίγο μετά από την αφαίρεση των ξυλότυπων, (Δεξιά) ξυλότυπος χαμηλού υποστρώματος, όπου φαίνονται οι ράβδοι οπλισμού και οι σωλήνες για τον περιορισμό του μήκους συνάφειας.

### 2.2.5 Βάρος νωπού σκυροδέματος και υπολογισμός ωφέλιμου νερού

Η πυκνότητα του νωπού σκυροδέματος είναι διαφορετική από αυτή που υπολογίζεται θεωρητικά, καθώς οι αρχικές ποσότητες των συστατικών του μίγματος (σε  $\text{kg/m}^3$ ) δεν είναι οι ακριβείς ποσότητες που απαιτούνται για να παρασκευαστεί ακριβώς  $1\text{m}^3$  σκυροδέματος. Συνεπώς απαιτείται διόρθωση των αρχικών ποσοτήτων, η οποία ακολουθεί την εξής λογική: έχουμε κυβική μήτρα πλευράς ακριβώς  $0.15\text{m}$  και όγκου  $(0.15\text{m})^3=0.003375\text{m}^3$ , μετράμε το βάρος της πριν την πλήρωση με σκυρόδεμα και μετά, επομένως έχουμε τη σχέση βάρους νωπού σκυροδέματος και όγκου, η οποία μετατρέπεται σε όγκο αναφοράς  $1\text{m}^3$  (απλή μέθοδος των τριών). Έτσι διαιρώντας τις θεωρητικές τιμές βαρών (τις εκτιμώμενες κατά το σχεδιασμό της σύνθεσης) με τον μέσο όρο των βαρών, όπως προκύπτουν με την παραπάνω λογική, (όταν έχουμε περισσότερες από μια μήτρα λαμβάνεται ο μέσος όρος τους) προκύπτει ο συντελεστής 'θεωρητικές τιμές/πραγματικές τιμές' στο κυβικό. Χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο συντελεστή για κάθε σύνθεση, διορθώνονται κατάλληλα οι ποσότητες των συστατικών του μίγματος.

Σημειώνεται ότι στην πειραματική διαδικασία περιλαμβάνεται αρχικά ο καθαρισμός των άδειων μητρών, η επάλειψή τους με ειδικό λάδι, ώστε να διευκολύνεται η αποκόλληση του κύβου σκυροδέματος κατά την αποσυναρμολόγηση, και η ζύγισή τους σε ζυγαριά ακριβείας  $2\text{g}$  (απόβαρο). Έπειτα πληρώνονται προσεκτικά οι μήτρες με σκυρόδεμα,

αφαιρείται το τυχόν πλεονάζον με μυστρί, και ζυγίζονται ξανά (μεικτό βάρος), οπότε τελικά υπολογίζεται το καθαρό βάρος του σκυροδέματος ((μεικτό βάρος)-(απόβαρο)).



Εικόνα 2.9 (Αριστερά) Επιπεδοποίηση εξωτερικής επιφάνειας νοπού σκυροδέματος σε μήτρα (με μυστρί), (Δεξιά) μέτρηση μεικτού βάρους (νοπό σκυρόδεμα και μήτρα) (Σφήκας 2007).

Ένα μέρος του προστιθέμενου νερού στο μίγμα καταναλώνεται από τα αδρανή μέχρι οι κόκκοι τους κορεστούν σε νερό (**SSD, Saturated Surface-Dry**). Για να είναι εφικτή η επανάληψη των μιγμάτων με αδρανή οποιασδήποτε διαφορετικής παρτίδας, πρέπει τα αδρανή υλικά να αναφέρονται σε κορεσμένη κατάσταση κόκκων (SSD). Αυτό σημαίνει πως αυτή η ποσότητα νερού, η απαιτούμενη ώστε να φτάσουν τα αδρανή σε κατάσταση SSD, πρέπει να προστεθεί στα ξηρά αδρανή και προφανώς να αφαιρεθεί από την αναφερόμενη συνολική ποσότητα νερού. Ονομάζεται ενεργό ή ωφέλιμο νερό η υπόλοιπη ποσότητα νερού που μέρος του οποίου απαιτείται για την ενυδάτωση του τσιμέντου (*Συνολικό νερό*)-(SSD νερό)=(*Ωφέλιμο νερό N'*). Ο λόγος νερού προς τσιμέντο τελικά υπολογίζεται με βάση το ωφέλιμο νερό, δηλαδή αποτελεί λόγο  $N'/T$  ( $w'/c$ ). Για τη σύνθεση SCC-30 (Σ136). Σημειώνεται πως για τα διαθέσιμα αδρανή υπήρχαν από την εταιρεία παραγωγής οι τιμές απορροφητικότητας ανά κλάσμα αδρανών (άμμος, ριζάκι, γαρμπίλι) (**Παράρτημα Β**).

Για να καταστεί σαφές παρατίθεται στην συνέχεια πίνακας όπου παρουσιάζεται αναλυτικά πως προκύπτει ο διορθωτικός συντελεστής (**Πίνακας 2.2**), ενδεικτικά για την σύνθεση SCC-30 (Σ136), πίνακας για το πως προκύπτει το ωφέλιμο νερό (**Πίνακας 2.3**), για την ίδια σύνθεση, και πίνακας αναλυτικού υπολογισμού του βάρους (**Πίνακας 2.9**), ενδεικτικά πάλι για την ίδια σύνθεση.

Αφού ολοκληρωθεί η διόρθωση των συστατικών όλων των συνθέσεων, εφαρμόζοντας τους διορθωτικούς συντελεστές για κάθε σύνθεση (**Πίνακας 2.4**), ακολουθεί ο υπολογισμός του ωφέλιμου νερού, ώστε τελικά να προκύψουν οι πίνακες των συστατικών, των χαρακτηριστικοί λόγων και οι αντοχών, για όλες τις συνθέσεις και σκυροδετήσεις ΣΣ και ΑΣΣ, μετά την διόρθωση, για την κατάσταση αδρανών **SSD** (**Πίνακες 2.7, 2.8**). Επίσης παρατίθενται οι πίνακες πριν την διόρθωση (ποσότητες σχεδιασμού) (**Πίνακες 2.5, 2.6**).

Πίνακας 2.2 Υπόδειγμα υπολογισμού του διορθωτικού συντελεστή, σύνθεση SCC-30 (Σ136).

ΜΗΤΡΕΣ	ΑΠΟΒΑΡΟ (g)	ΜΕΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (g)	ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ (g)	Μ.Ο. ΚΑΘΑΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (g)	ΟΓΚΟΣ ΜΗΤΡΑΣ (m <sup>3</sup> )	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΙΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟ Σ (kg/m <sup>3</sup> )	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m <sup>3</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ
SCC- 30, Σ136	13572	21238	21238- 13572= 7666	(7666+ 7692)/2 =7679	0,15 <sup>3</sup> =0,00 3375	(Μ.Ο. Καθαρού Βάρους)/(Όγκος Μήτρας)= 7679/0,15 <sup>3</sup> = 2275,26	Από πίνακες 2.5 ή 2.6 (σύνθεση ΑΣΣ ή ΣΣ) λαμβάνεται το <b>w<sub>tot</sub>=2272,09</b>	(Πραγματικές Τιμές/Θεωρητι κές Τιμές)=2275,2 6/2272,09= <b>1,001</b>
	13608	21300	21300- 13608= 7692					

**Πίνακας 2.3 Υπόδειγμα υπολογισμού ωφέλιμου νερού, σύνθεση SCC-30 (Σ136).**

ΣΥΣΤΑΤΙΚΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (kg/m <sup>3</sup> )	ΑΠΟΡΡΟΦΗ ΤΙΚΟΤΗΤΑ (%)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕ ΝΟ ΝΕΡΟ (kg)	ΤΕΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ (kg)
s 0/4	1051,05	1.0	1051,05x1.0%=10,51	1051,05+10,51=1061,56
g <sub>1</sub> 4/8	150,15	1.1	150,15x1.1%=1,65	150,15+1,65=150,80
g <sub>2</sub> 8/16	350,36	0.9	350,36x0.9%=3.15	350,36+3,15=353,51
lp80	175,18	10	175,18x10%=17,518	175,18+17,518=192,69
w	192,19		10,51+1,65+3,15+17,518=32,83	192,19-32,83=159,36
<i>Λόγος συνολικού νερού προς τσιμέντο: 192,19/326,33=0.59</i>				
<i>Λόγος ωφέλιμου νερού προς τσιμέντο: 159,36/326,33=0.49</i>				

**Πίνακας 2.4 Διορθωτικοί συντελεστές για όλες τις συνθέσεις που παρήχθησαν.**

ΣΥΝΘΕΣΗ	ΝΩΠΙΟ ΜΕΙΓΜΑ					(ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ) ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΙΟΥ ΣΚΥΡΩΜΑΤΟΣ Σ (kg/m <sup>3</sup> )	(ΕΚΤΙΜΩΜΕΝΗ) ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m <sup>3</sup> )	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ
	ΑΠΟΒΑΡΟ (g)	ΜΕΙΚΤΟ ΒΑΡΟΣ (g)	ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ (g)	Μ.Ο. ΚΑΘΑΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (g)	(ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ) ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΝΩΠΙΟΥ ΣΚΥΡΩΜΑΤΟΣ Σ (kg/m <sup>3</sup> )			
Σ136	13572	21238	7666	7679	2275,26	2272,09	<b>1,001</b>	
	13608	21300	7692					
Σ139	13606	21586	7980	7902	2341,33	2272,18	<b>1,030</b>	
	13438	21262	7824					
Σ140	13758	21860	8102	8130	2408,89	2246,01	<b>1,073</b>	
	13612	21770	8158					
Σ141	13434	21308	7874	8008	2372,74	2246,01	<b>1,056</b>	
	13080	21222	8142					
Σ142	13328	21274	7946	7870	2331,85	2273,10	<b>1,026</b>	
	13616	21410	7794					
Σ143	13320	21228	7908	7878	2334,22	2247,03	<b>1,039</b>	
	13760	21608	7848					
Σ144	13588	21608	8020	8033	2380,15	2247,03	<b>1,059</b>	
	13416	21462	8046					
Σ145	13772	21822	8050	8010	2373,33	2336,21	<b>1,016</b>	
	13624	21594	7970					
Σ146	13414	20920	7506	7577	2245,04	2336,21	<b>0,961</b>	
	13362	21010	7648					
Σ147	12636	20976	8340	8079	2393,78	2297,92	<b>1,042</b>	
	12852	20670	7818					
Σ148	12840	21320	8480	8119	2405,63	2297,92	<b>1,047</b>	
	12758	20516	7758					
Σ149	13696	21614	7918	7902	2341,33	2299,97	<b>1,018</b>	
	13472	21358	7886					
Σ150	13368	21472	8104	8138	2411,26	2299,97	<b>1,048</b>	
	13708	21880	8172					

**Πίνακας 2.5 Σχεδιασμός συνθέσεων, με στόχο το 1m<sup>3</sup> : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΑΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36).**

ΤΥΠΟΣ a/a ΣΥΝΘΕΣΗ	SCC 34 Σ145	SCC 34 Σ146	SCC 30 Σ136	SCC 32 Σ139	SCC 35 Σ147	SCC 35 Σ148	SCC 33 Σ142	SCC 36 Σ149	SCC 36 Σ150
<b>Ημερ. Σκυροδέτησης</b>	8/11/2011	8/11/2011	24/5/2011	30/5/2011	10/11/2011	10/11/2011	6/6/2011	22/11/2011	22/11/2011
<b>Παραγόμενη Ποσότητα</b>	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt
<b>c<sub>1</sub> 42,5</b>	333	333	326	319	313	313	307	301	301
<b>Sf (κ.β.)</b>	4,86	4,86	6,86	8,86	10,57	10,57	12,29	14,00	14,00
<b>Ip20</b>	175	175	175	175	175	175	175	175	175
<b>s 0/4</b>	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050	1050
<b>g<sub>1</sub> 4/8</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>g<sub>2</sub> 8/16</b>	350	350	350	350	350	350	350	350	350
<b>w</b>	192	192	192	192	192	192	192	192	192
<b>Τύπος SP</b>	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347
<b>SP</b>	7,278	7,277	5,089	5,180	6,753	6,753	6,104	8,800	8,800
<b>w<sub>tot</sub></b>	2335,06	2335,06	2272,09	2272,18	2297,92	2297,92	2273,10	2299,97	2299,97
<b>w/c</b>	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
<b>w/b</b>	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
<b>w/f</b>	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37
<b>SP/c</b>	2,19%	2,19%	1,56%	1,62%	2,16%	2,16%	1,99%	2,92%	2,92%
<b>g/w<sub>tot</sub></b>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
<b>p/w<sub>tot</sub></b>	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
<b>m/w<sub>tot</sub></b>	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
<b>f<sub>cc</sub></b>	65,2	52,9	54,3	58,3	62,1	64,4	59,1	62,5	67,0

c: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, Ip: ανθρακικό ασβέστιο (Ip20: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 80μm, 5% < 2μm, Ip20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 18μm, 15% < 2μm), s: άμμος 0/4, g<sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, g<sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, g<sub>3</sub>: σκόρα 16/32, w: νερό, SP: υπερρυστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), f: λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+λεπτόκοκκα αδρανών), b: συνδετικό υλικό (c+sf), w<sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, g: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, p: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό), m: κονίαμα (πάστα+άμμος), f<sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.

**Πίνακας 2.6 Σχεδιασμός συνθέσεων, με στόχο το 1m<sup>3</sup> : συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΣΣ (ξηρή κατάσταση αδρανών) (NC-13, NC-14).**

ΤΥΠΟΣ a/a ΣΥΝΘΕΣΗ	NC 13 Σ140	NC 13 Σ141	NC 14 Σ143	NC 14 Σ144
<b>Ημερ. Σκυροδέτησης</b>	6/6/2011	6/6/2011	14/6/2011	14/6/2011
<b>Παραγόμενη Ποσότητα</b>	87lt	87lt	87lt	87lt
<b>c<sub>1</sub> 42,5</b>	400	400	400	400
<b>Ip20</b>	—	—	—	—
<b>s 0/4</b>	1050	1050	1050	1050
<b>g<sub>1</sub> 4/8</b>	200	200	200	200
<b>g<sub>2</sub> 8/16</b>	375	375	375	375
<b>w</b>	220,00	220,00	220,00	220,00
<b>ΤΥΠΟΣ SP</b>	C347	C347	C347	C347
<b>SP</b>	1,005	1,005	2,002	2,006
<b>w<sub>tot</sub></b>	2246,01	2246,01	2247,03	2247,03
<b>w/c</b>	0,55	0,55	0,55	0,55
<b>w/b</b>	0,55	0,55	0,55	0,55
<b>w/f</b>	0,55	0,55	0,55	0,55
<b>SP/c</b>	0,25%	0,25%	0,50%	0,5%
<b>g/w<sub>tot</sub></b>	0,26	0,26	0,26	0,26
<b>p/w<sub>tot</sub></b>	0,28	0,28	0,28	0,28
<b>m/w<sub>tot</sub></b>	0,74	0,74	0,74	0,74
<b>f<sub>cc</sub></b>	51,5	49,9	49,4	47,8

c: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, Ip: ανθρακικό ασβέστιο (Ip20: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 80μm, 5% < 2μm, Ip20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 18μm, 15% < 2μm), s: άμμος 0/4, g<sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, g<sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, g<sub>3</sub>: σκόρα 16/32, w: νερό, SP: υπερρυστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), f: λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+λεπτόκοκκα αδρανών), b: συνδετικό υλικό (c+sf), w<sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, g: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, p: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό), m: κονίαμα (πάστα+άμμος), f<sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.

**Πίνακας 2.7 Διόρθωση συνθέσεων, αναγωγή των συστατικών σε 1m<sup>3</sup>: συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΑΣΣ (κατάσταση αδρανών SSD) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36).**

ΤΥΠΟΣ α/α ΣΥΝΘΕΣΗ	SCC 34	SCC 34	SCC 30	SCC 32	SCC 35	SCC 35	SCC 33	SCC 36	SCC 36
ΣΥΝΘΕΣΗ	Σ145	Σ146	Σ136	Σ139	Σ147	Σ148	Σ142	Σ149	Σ150
Ημερ. Σκυροδέτησης	8/11/2011	8/11/2011	24/5/2011	30/5/2011	10/11/2011	10/11/2011	6/6/2011	22/11/2011	22/11/2011
Παραγόμενη Ποσότητα	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt	87lt
c <sub>1</sub> 42,5	338,33	320,01	326,33	328,57	326,15	327,71	314,98	306,42	315,45
Sf (κ.β.)	4,86	4,86	6,86	8,86	10,57	10,57	12,29	14,00	14,00
Ip20	195,58	184,99	192,69	198,28	200,59	201,55	197,51	195,97	201,74
s 0/4	1137,41	1075,84	1061,56	1092,31	1123,27	1128,66	1088,07	1097,40	129,74
g <sub>1</sub> 4/8	156,39	147,92	151,80	156,20	161,07	161,85	155,59	157,36	162,00
g <sub>2</sub> 8/16	359,03	339,60	353,51	363,75	372,22	374,01	362,33	363,65	374,37
w'	161,02	152,30	159,36	163,98	165,54	166,34	163,34	161,73	166,50
ΤΥΠΟΣ SP	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347	C347
SP	7,394	6,994	5,094	5,335	7,037	7,071	6,262	8,958	9,222
w <sub>tot</sub>	2372,42	2244,00	2274,36	2340,35	2394,43	2405,92	2332,20	2341,36	2410,36
w'/c	0,48	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,53
w'/b	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
w'/f	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
SP/c	2,19%	2,19%	1,56%	1,62%	2,16%	2,16%	1,99%	2,92%	2,92%
g/w <sub>tot</sub>	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
p/w <sub>tot</sub>	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
m/w <sub>tot</sub>	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
f <sub>cc</sub>	65,2	52,9	54,3	58,3	62,1	64,4	59,1	62,5	67,0

c: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, Ip: ανθρακικό ασβέστιο (Ip20: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 80μm, 5% < 2μm, Ip20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 18μm, 15% < 2μm), s: άμμος 0/4, g<sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, g<sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, g<sub>3</sub>: σκύρα 16/32, w: νερό, SP: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), f: λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+λεπτόκοκκα αδρανών), b: συνδετικό υλικό (c+sf), w<sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, g: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, p: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό), m: κόνιαμα (πάστα+άμμος), f<sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.

**Πίνακας 2.8 Διόρθωση συνθέσεων, αναγωγή των συστατικών σε 1m<sup>3</sup>: συστατικά υλικά (kg), χαρακτηριστικοί λόγοι, αντοχές (MPa) για τα μίγματα από ΣΣ (κατάσταση αδρανών SSD) (NC-13, NC-14).**

ΤΥΠΟΣ α/α ΣΥΝΘΕΣΗ	NC 13	NC 13	NC 14	NC 14
ΣΥΝΘΕΣΗ	Σ140	Σ141	Σ143	Σ144
Ημερ. Σκυροδέτησης	6/6/2011	6/6/2011	14/6/2011	14/6/2011
Παραγόμενη Ποσότητα	87lt	87lt	87lt	87lt
c <sub>1</sub> 42,5	429,20	422,40	415,60	423,60
Ip20	—	—	—	—
s 0/4	1137,97	1119,94	1101,87	1123,08
g <sub>1</sub> 4/8	216,96	213,53	210,09	214,13
g <sub>2</sub> 8/16	406,00	399,56	393,13	400,69
w	218,76	215,29	211,90	215,98
ΤΥΠΟΣ SP	C347	C347	C347	C347
SP	1,078	1,061	2,080	2,124
w <sub>tot</sub>	2409,97	2371,79	2334,66	2379,60
w'/c	0,51	0,51	0,51	0,51
w'/b	0,51	0,51	0,51	0,51
w'/f	0,51	0,51	0,51	0,51
SP/c	0,25%	0,25%	0,50%	0,5%
g/w <sub>tot</sub>	0,26	0,26	0,26	0,26
p/w <sub>tot</sub>	0,27	0,27	0,27	0,27
m/w <sub>tot</sub>	0,74	0,74	0,74	0,74
f <sub>cc</sub>	51,5	49,9	49,4	47,8

c: τσιμέντο CEM II A/L 42.5N or 32.5N or 22.5, Ip: ανθρακικό ασβέστιο (Ip20: καθαρότητα 96,5% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 80μm, 5% < 2μm, Ip20: καθαρότητα 97,6% CaCO<sub>3</sub>, λεπτότητα 97% < 18μm, 15% < 2μm), s: άμμος 0/4, g<sub>1</sub>: ριζάκι 4/8, g<sub>2</sub>: γαρμπίλι 8/16, g<sub>3</sub>: σκύρα 16/32, w: νερό, SP: υπερρευστοποιητής πολυκαρβοξυλικού αιθέρα ( C347: BASF Glenium C347), f: λεπτόκοκκα (c+sf+Ip+λεπτόκοκκα αδρανών), b: συνδετικό υλικό (c+sf), w<sub>tot</sub>: συνολικό βάρος μίγματος, g: συνολικά χονδρόκοκκα αδρανή, p: πάστα (f+χημικά πρόσθετα+νερό), m: κόνιαμα (πάστα+άμμος), f<sub>cc</sub>: θλιπτική αντοχή.

**Πίνακας 2.9 Υπόδειγμα υπολογισμού συνολικού βάρους, σύνθεση SCC-30 (Σ136).**

ΣΥΝΘΕΣΗ	ΣΥΣΤΑΠΚΑ	$c_1$ 42,5	$l_p$ 80	$s$ 0/4	$g_1$ 4/8	$g_2$ 8/16	$sf$	$SP$	$w'$ (Από πίνακα 2.3)	Συνολικό Βάρος <i>ωtot</i>
SCC-30 Σ136	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΣΧΕΛΙΑΣΜΟΥ	326	175	1050	150	350	24	5,089	192	326+175+1050+150+350+24+5,089+192=2272,09
	ΣΥΣΤΑΠΚΑ	$c_1$ 42,5	$l_p$ 80	$s$ 0/4	$g_1$ 4/8	$g_2$ 8/16	$sf$	$SP$	$w'$ (Από Πίνακα 2.5)	Συνολικό Βάρος <i>ωtot</i>
	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ SSD (τελικές κατόπιν διόρθωσης)	326,33	192,69	1.061,56	151,80	353,51	24,02	5,094	159,36	326,33+192,69+1061,56+151,80+353,51+24,02+5,094+159,36=2274,36

## 2.2.6 Έλεγχοι & Νωπού και Σκληρυμένου Σκυροδέματος

Οι δοκιμές ελέγχου του νωπού σκυροδέματος εκτελούνταν, όπως περιγράφηκαν στην §1.1.5, στο πρώτο ανάμιγμα της κάθε σύνθεσης ΑΣΣ (συνολικά πραγματοποιούνταν 2 αναμίγματα για κάθε σύνθεση), ενώ στις συνθέσεις ΣΣ και στα δύο αναμίγματα.

Ακολουθούν τυπικά εύρη τιμών όπως παρουσιάζονται στο Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών, ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00, και τα αποτελέσματα των ελέγχων του **νωπού σκυροδέματος** για όλες τις συνθέσεις που παρήχθησαν στα πλαίσια της εργασίας (Πίνακες 2.10, 2.11, 2.12).

**Πίνακας 2.10 Τυπικά εύρη τιμών για τις δοκιμές αξιολόγησης χαρακτηριστικών εργασιμότητας & αυτοσυμπύκνωσης ΑΣΣ (Ι.Ο.Κ., ΠΕΤΕΠ 01-01-06-00).**

ΔΟΚΙΜΗ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	Τυπικό εύρος τιμών	
			min	max
Εξάπλωση (SF)	Ικανότητα πλήρωσης	mm	650	800
Χρόνου εξάπλωσης (TF)	-	s	8	15
Χρόνου εξάπλωσης (T <sub>50</sub> )	Ικανότητα πλήρωσης	s	2	5
Χοάνης V (T <sub>V,A</sub> )	Ικανότητα πλήρωσης	s	6	12
Χοάνης V σε χρόνο 5 min (T <sub>V,B</sub> )	Αντίσταση σε απόμιξη	s	0	3
Δοχείο L (λ <sub>H,L</sub> )	Ικανότητα διέλευσης & πλήρωσης	-	80%	100%
Κάθιση (S)	-	mm	260	-

**Πίνακας 2.11 Αποτελέσματα των ρεολογικών ελέγχων ΑΣΣ και κατάταξη κατά EFNARC (2005) (SCC-30 και SCC-32 έως SCC-36).**

ΤΥΠΟΣ $\alpha/\alpha$ ΣΥΝΘΕΣΗ		SCC 30 Σ136	SCC 32 Σ139	SCC 33 Σ142	SCC 34 Σ145	SCC 35 Σ147	SCC 36 Σ149	
Slump-Flow	S	mm	285	285	275	260	265	275
	SF	mm	718	720	685	589	622	684
	SFI		SF2	SF2	SF2	SF1	SF1	SF2
	T <sub>50</sub>	s	0.64	0.92	0.51	1.61	1.38	1.64
	TF	s	8.72	19.29	10.88	15.59	15.28	15.72
	VSI	VS1	VS2	VS2	VS1	VS1	VS1	
V-Funnel	T <sub>V,A</sub>	s	1.81	1.84	1.20	5.32	5.00	5.25
	T <sub>V,B</sub>	s	2.00	1.85	1.97	7.90	5.75	6.62
	VFI		VF1	—	VF2	VF1	VF1	VF1



L-Box	$H_{2,L}$	mm	90	90	90	75	80	85
	$H_{1,L}$	mm	95	90	90	95	100	90
	$\lambda_{H,L}$		0.947	1.000	1.000	0.789	0.800	0.944
	PAI		PA2	PA2	PA2	PA1	PA2	PA2
Stability	FVSI	0-4	0	0	0	0	0	0

S: κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1:  $0 \leq S \leq 40$ mm, S2:  $50 \leq S \leq 90$ mm, S3:  $100 \leq S \leq 150$ mm, S4:  $160 \leq S \leq 200$ mm, S5:  $S > 200$ mm), SF: ανεμπόδιστη εξάπλωση - κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την εξάπλωση (SF1:  $550 \leq SF \leq 650$ mm, SF2:  $650 < SF \leq 750$ mm, SF3:  $750 < SF \leq 850$ mm),  $T_{50}$ : χρόνος ροής μέχρι τη διάμετρο 500mm,  $T_F$ : χρόνος ροής μέχρι την ακινησία, VS: κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο ροής  $T_{50}$  (VS1:  $T_{50} \leq 2$ s, VS2:  $T_{50} > 2$ s),  $T_{V,A}$ : χρόνος εκροής από τη χοάνη,  $T_{V,B}$ : χρόνος εκροής από τη χοάνη μετά από παραμονή υλικού σε ακινησία για 5min, VF: κατηγορία ιξώδους με βάση τον χρόνο εκροής από τη χοάνη V (VF1:  $T_{V,A} \leq 8$ s, VF2:  $8 < T_{V,A} \leq 25$ s),  $\lambda_{H,L}$ : λόγος υψών υλικού στα άκρα του οριζόντιου τμήματος του δοχείου L, PA: κατηγορία διειλευσιμότητας με βάση την ικανότητα διέλευσης από το δοχείο L (PA1:  $\lambda_{H,L} \leq 0,80$ , PA2:  $\lambda_{H,L} > 0,80$ ), FVSI: δείκτης οπτικής σταθερότητας του νωπού σκυροδέματος (με βάση τον έλεγχο ανεμπόδιστης εξάπλωσης).

Πίνακας 2.12 Αποτελέσματα κάθισης ΣΣ και κατάταξη κατά ΚΤΣ-97/ EN206-1 (NC-13 και NC-14).

Slump	ΤΥΠΟΣ	NC	NC	NC	NC
	$a/a$	13	13	14	14
	ΣΥΝΘΕΣΗ	Σ140	Σ141	Σ143	Σ144
	S mm	50	50	200	200
	S	S2	S2	S4	S4

S: κατηγορία ικανότητας ροής με βάση την κάθιση (S1:  $0 \leq S \leq 40$ mm, S2:  $50 \leq S \leq 90$ mm, S3:  $100 \leq S \leq 150$ mm, S4:  $160 \leq S \leq 200$ mm, S5:  $S > 200$ mm).

Όσον αφορά στους ελέγχους **σκληρυμένου σκυροδέματος**, εκτελέστηκαν έλεγχοι αντοχών σε θλίψη κυβικών δοκιμίων, για όλες τις συνθέσεις. Τα κυβικά δοκίμια ελέγχονταν σε ηλικία 28 ημερών (εκτός εξαιρέσεων, όπως φαίνεται στον **Πίνακα 2.13**) με τη μηχανή θραύσης Wykeham Farrance του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.. Σε κάθε σύνθεση ελέγχθηκαν δύο κυβικά δοκίμια 150x150x150mm, αφού ζυγίστηκαν με ηλεκτρονική ζυγαριά ακρίβειας 5g, ώστε να προσδιοριστεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Σύμφωνα με τον **Κ.Τ.Σ. 97** δεν επιτρέπεται να τοποθετούνται τα δοκίμια στη μηχανή με την κατασκευαστική τους επιφάνεια, καθώς μπορεί να αλλοιωθούν σημαντικά τα αποτελέσματα.

Υπολογίζεται η θλιπτική αντοχή σύμφωνα με τον τύπο:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \text{ σε MPa}$$

- **F**: Το μέγιστο φορτίο θραύσης, όπως καταγράφεται από τη μηχανή θραύσης, σε N
- **A<sub>c</sub>**: Το εμβαδόν της θλιβόμενης επιφάνειας σε **mm<sup>2</sup>**



Εικόνα 2.10 Μηχανή θραύσης Wykeham Farrance (Πάττα και Περβολαράκης 2005).

Τελικά, προκύπτει η θλιπτική αντοχή κάθε σύνθεσης (ΣΣ και ΑΣΣ) ως ο μέσος όρος

των αντοχών των δύο κυβικών δοκιμίων, (Πίνακας 2.13).

**Πίνακας 2.13 Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων και μέση θλιπτική αντοχή (MPa), για όλες τις συνθέσεις, ηλικία (ημέρες), βάρος (g) και φορτίο θραύσης (kN) κυβικών δοκιμίων.**

ΣΥΝΘΕΣΗ	Α/Α ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΤΗΣΗΣ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ	ΗΛΙΚΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΚΑΘΑΡΟ ΒΑΡΟΣ	ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	ΜΕΣΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ
				Ημέρες		g	kN	MPa	MPa
SCC-34	Σ145	8/11/2011	7/12/2011	29	1	7836	1434	63,7	65,2
	Σ145	8/11/2011	7/12/2011	29	2	7746	1501	66,7	
	Σ146	8/11/2011	7/12/2011	29	1	7558	1222	54,3	52,9
	Σ146	8/11/2011	7/12/2011	29	2	7436	1159	51,5	
SCC-30	Σ136	24/5/2011	21/6/2011	28	1	7565	1251	55,6	54,3
	Σ136	24/5/2011	21/6/2011	28	2	7566	1193	53	
SCC-32	Σ139	30/5/2011	30/6/2011	31	1	7694	1314	58,4	58,4
	Σ139	30/5/2011	30/6/2011	31	2	7548	1312	58,3	
SCC-35	Σ147	10/11/2011	8/12/2011	28	1	7698	1445	64,2	62,1
	Σ147	10/11/2011	8/12/2011	28	2	7670	1351	60	
	Σ148	10/11/2011	8/12/2011	28	1	7714	1452	64,5	64,4
	Σ148	10/11/2011	8/12/2011	28	2	7812	1447	64,3	
SCC-33	Σ142	6/6/2011	4/7/2011	28	1	7566	1327	59	59,1
	Σ142	6/6/2011	4/7/2011	28	2	7510	1334	59,3	
SCC-36	Σ149	22/11/2011	23/12/2011	31	1	-	-	-	62,5
	Σ149	22/11/2011	23/12/2011	31	2	7651	1407	62,5	
	Σ150	22/11/2011	23/12/2011	31	1	7833	1540	68,4	67,0
	Σ150	22/11/2011	23/12/2011	31	2	7871	1475	65,6	
NC-13	Σ140	6/6/2011	4/7/2011	28	1	7798	1160	51,6	51,5
	Σ140	6/6/2011	4/7/2011	28	2	7788	1159	51,5	
	Σ141	6/6/2011	4/7/2011	28	1	7662	1117	49,6	49,9
	Σ141	6/6/2011	4/7/2011	28	2	7674	1127	50,1	
NC-14	Σ143	14/6/2011	13/7/2011	29	1	7576	1151	51,2	49,4
	Σ143	14/6/2011	13/7/2011	29	2	7622	1072	47,6	
	Σ144	14/6/2011	13/7/2011	29	1	7790	1053	46,8	47,8
	Σ144	14/6/2011	13/7/2011	29	2	7764	1097	48,8	



Εικόνα 2.11 Θλίψη κυβικού δοκιμίου (Πάττα και Περβολαράκης 2005).

## 2.3 Πειραματικές διατάξεις και αποτελέσματα

### 2.3.1 Δοκιμή εξόλκευσης

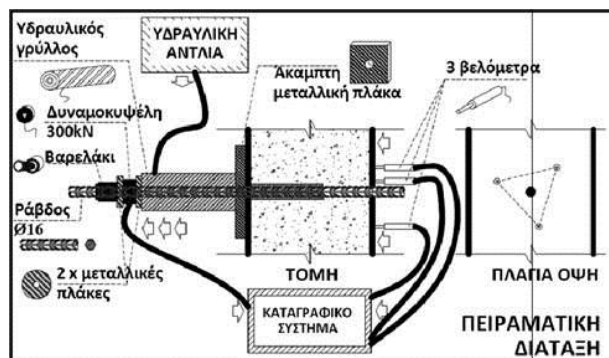
Τελικός προορισμός όλων των σκυροδετημένων δοκιμίων (υπενθυμίζεται: συνολικά **5 δοκίμια δοκού**, διατομής 200x200mm και μήκους 1800mm, **8 χαμηλά υποστυλώματα**, διατομής 200x200mm και ύψους 600mm, και **40 κυβικά δοκίμια**, ακμής 200mm, (εκ των

οποίων τελικά τα 26 αφορούν την παρούσα εργασία)) είναι να ελεγχθούν με δοκιμή εξόλκευσης ώστε να προσδιοριστεί η συνάφεια του σκυροδέματος με το χάλυβα οπλισμού, με παραμέτρους και επιστημονική διερεύνηση όπως περιγράφηκε στην §2.1.

Η πειραματική διάταξη της δοκιμής εξόλκευσης (Εικόνες 2.12, 2.13) περιλαμβάνει το δοκίμιο, όπου στη μία του πλευρά τοποθετούνται 3 βελόμετρα (LVDTs) υπό γωνία 120°, μέγιστης τιμής 25mm, στερεωμένα με κατάλληλη διάταξη (αστερίας) ώστε να καταγράφουν την σχετική ολίσθηση ράβδου οπλισμού και σκυροδέματος, και στην άλλη πλευρά τοποθετείται υδραυλικός γρύλλος εξόλκευσης (συνδεδεμένος σε ηλεκτρική υδραυλική αντλία ENERPACK), δυναμοκυψέλη (load cell) μέγιστης δύναμης 300kN, μεταλλική άκαμπτη πλάκα ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα η δύναμη, και τέλος, βαρελάκι και σφήνα προκειμένου να παραμένει ακίνητος ο γρύλλος σε σχέση με τη ράβδο. Τα δεδομένα της δύναμης (kN) και της σχετικής ολίσθησης (mm) καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής, καθώς η δυναμοκυψέλη και τα βελόμετρα συνδέονται σε ηλεκτρονικό καταγραφικό (1μέτρηση/0.2s) και εξάγονταν σε Η/Υ του Εργαστηρίου, μέσω του λογισμικού StrainSmart (Εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.12 Διάταξη δοκιμής εξόλκευσης (κυβικό δοκίμιο) (Στύλος 2011).



Εικόνα 2.13 Απεικόνιση της πειραματικής διάταξης της δοκιμής εξόλκευσης (Πάλμος και Σωτηροπούλου 2010).



Εικόνα 2.14 Καταγραφή, σε πραγματικό χρόνο, της δύναμης εξόλκευσης (kN) και των τριών ολισθήσεων (mm) όπως προκύπτουν από τα 3 βελόμετρα (LVDTs) της δοκιμής εξόλκευσης, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα StrainSmart (Στύλος 2011).

Ο ρυθμός επιβολής φορτίου ήταν της τάξης του 1kN/s, πράγμα που αποτελεί και την ουσιαστική διαφορά με τον πρότυπο ρυθμό του 0.5kN/s, όπως υπαγορεύεται στο **prEN 10080:2005 (E)**. Αυτή η διαφορά προέκυψε καθώς δεν υπήρχε η δυνατότητα για αυτοματοποιημένη επιβολή του ρυθμού φόρτισης, και έτσι αυτή γινόταν χειροκίνητα μέσω της στρόφιγγας ελέγχου της πίεσης της αντλίας.

### 2.3.2 Χρόνος πήξης σκυροδέματος-πίεση διείσδυσης

Η εξέλιξη της πήξης του νωπού σκυροδέματος προσδιορίζεται με την μέθοδο ΣΚ-313 (η οποία βασίζεται στο αμερικάνικο πρότυπο ASTM C 403-8), ελέγχοντας τσιμεντοκονίαμα που έχει υποστεί υγρό κοσκίνισμα. Το υγρό κοσκίνισμα πραγματοποιείται με κοσκίνισμα του νωπού υλικού σε κόσκινο Νο 4 (4.75mm), ώστε να συλλεχθεί το περιεχόμενο κονίαμα και να πληρωθεί κυβική μήτρα ακμής 150mm. Στη συνέχεια, με βελόνα συγκεκριμένης διαμέτρου (Ø6, Ø8, Ø16) μετράται η αντίσταση διείσδυσης στο κοσκινισμένο νωπό σκυροδέμα σε διάφορες χρονικές στιγμές. Ορίζεται ως χρόνος έναρξης της πήξης το χρονικό διάστημα από την προσθήκη του νερού στο μίγμα μέχρι η τιμή της αντίστασης διείσδυσης να γίνει ίση με **3.5MPa**, ενώ ως χρόνος τέλους της πήξης ορίζεται το χρονικό διάστημα από την προσθήκη του νερού στο μίγμα μέχρι η τιμή της αντίστασης διείσδυσης να γίνει ίση με **27.5MPa**.

Συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία δεν πραγματοποιήθηκε υγρό κοσκίνισμα, παράγοντας που αποτελεί και την διαφοροποίηση ως προς την πρότυπη μέθοδο, καθώς για να παραχθεί ικανή ποσότητα κοσκινισμένου κονιάματος απαιτείται σημαντική ποσότητα σκυροδέματος. Δεδομένου του απαιτούμενου όγκου των δοκιμίων προς πλήρωση (~87lt για δοκίμιο δοκού και για τις αντίστοιχες κυβικές μήτρες για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής, και ~87lt για το χαμηλό υποστύλωμα, τα κυβικά δοκίμια και τις κυβικές μήτρες για τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής), η χωρητικότητα του αναμκτήρα (~90lt) δεν ήταν επαρκής για την παραγωγή επιπλέον ποσότητας σκυροδέματος, παρά μόνο σε ξεχωριστό (τρίτο) ανάμιγμα. Αντί αυτού, έγινε ο έλεγχος με την έμπηξη της ειδικής βελόνας στο σκυροδετημένο δοκίμιο δοκού, και για να μειωθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η αβεβαιότητα των μετρήσεων (η αντίσταση διείσδυσης σε συγκεκριμένο σημείο μπορεί να επηρεαστεί από την υποκείμενη κατανομή των αδρανών στο σημείο αυτό) εκτελέστηκαν 5 μετρήσεις για κάθε χρονική στιγμή ελέγχου.

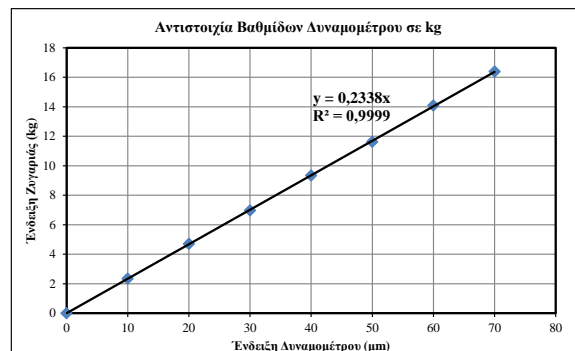


Εικόνα 2.15 Μέτρηση της πίεσης διείσδυσης, με έμπηξη ειδικής βελόνας συνδεδεμένης με δυναμόμετρο, σε διαφορετικές θέσεις δοκιμίου δοκού για τον προσδιορισμό της πήξης του νωπού σκυροδέματος.

Αναλυτικότερα, ο έλεγχος περιλαμβάνει την βύθιση βελόνας, που συνδέεται με δυναμόμετρο, κατά 25mm κάθετα προς την επιφάνεια του στοιχείου, με σταθερή ταχύτητα

και για περίπου 10s (Εικόνα 2.15). Η καταγραφή της ένδειξης του δυναμόμετρου γίνεται όταν η βελόνα φτάσει τα 25mm. Για τον υπολογισμό της αντίστασης διείσδυσης της παρούσας εργασίας ελήφθη ως ένδειξη ο μέσος όρος των 5 τιμών που καταγράφηκαν σε κάθε χρονική στιγμή.

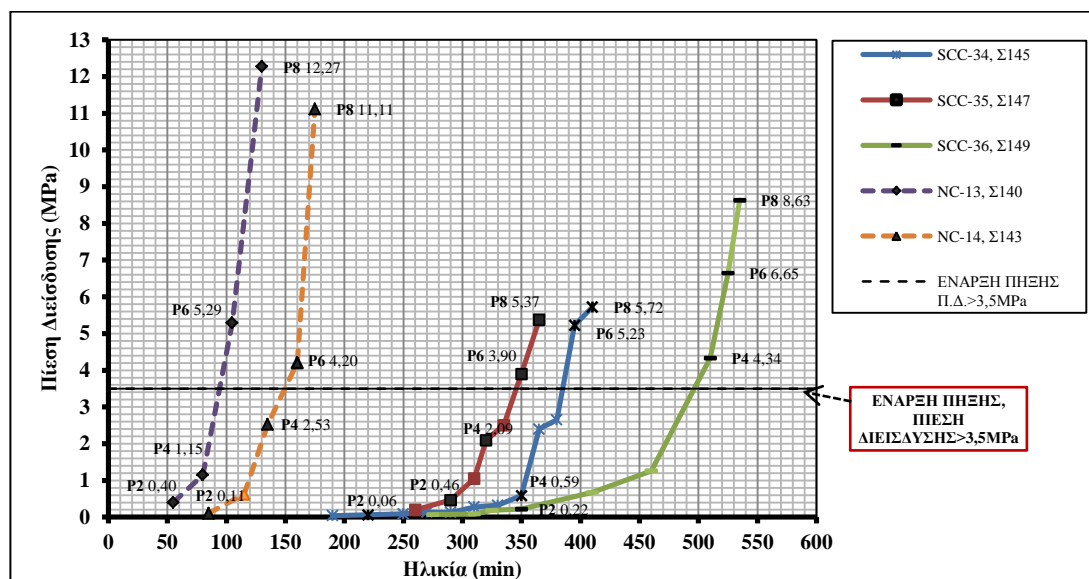
Στη συνέχεια, για να αναχθεί ο αδιάστατη ένδειξη του οργάνου σε MPa εφαρμόζεται η σχέση  $\tau = 10 \cdot 0.2338 \cdot D / (\pi \cdot d^2 / 4)$ , όπου  $\tau$  η ζητούμενη αντίσταση διείσδυσης (MPa),  $D$  η ένδειξη του δυναμόμετρου (μm),  $d$  η διάμετρος της βελόνας σε mm (Ø6, Ø8, Ø16), και 0.2338 ο συντελεστής αντιστοιχίας του δυναμομέτρου όπως προέκυψε στην εργασία των Καρέλη, Νταντάμη, Ντογκούλη (2002) (Διάγραμμα 2.3).



Διάγραμμα 2.3 Υπολογισμός αντιστοιχίας βαθμίδων δυναμόμετρου σε kg. Η κλίση της ευθείας, ίση με 0.2338, αποτελεί τον συντελεστή αντιστοιχίας (Σφήκας 2007, αρχική πηγή: Καρέλη, Νταντάμη, Ντογκούλη 2002).

Η αρχική δοκιμή εκτελέστηκε, για τα μίγματα από ΑΣΣ, μετά την πάροδο χρόνου τουλάχιστον 3-4h, καθώς ο υπερρευστοποιητής καθυστερεί την πήξη, ενώ για τα μίγματα από ΣΣ μετά την πάροδο 1-1.5h. Έπειτα, οι επόμενες δοκιμές ακολουθούσαν σε χρονικά διαστήματα που ποίκιλλαν από 10min έως άνω της 1h, αναλόγως το μίγμα και σύμφωνα με επιτόπια εκτίμηση.

Προκύπτει το συγκριτικό διάγραμμα πήξης (Διάγραμμα 2.4) για όλα τα δοκίμια δοκού και όλες τις συνθέσεις (ΑΣΣ και ΣΣ), το οποίο παρουσιάζεται στη συνέχεια.



Διάγραμμα 2.4 Συγκριτικό διάγραμμα εξέλιξης της πήξης διείσδυσης του σκυροδέματος δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις ΑΣΣ και ΣΣ. Διακρίνεται με οριζόντια γραμμή η τιμή της συμβατικής έναρξης της πήξης, και με μαύρο χρώμα τα σημεία μετατόπισης της αντίστοιχης ράβδου (P2, P4, P6, P8).

Σ' αυτό τονίζονται τα σημεία (Ηλικία, Πίεση) στα οποία επιβλήθηκε **μετατόπιση των ράβδων** οπλισμού (P2, P4, P6, P8, όπως θα εξηγηθεί στην επόμενη παράγραφο, §2.3.3), καθώς η τιμή της πίεσης διείσδυσης, κατά την επιβολή της μετατόπισης, αποτελεί σημαντικό δεδομένο για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδρασή της μετατόπισης αυτής στην συνάφεια των ράβδων οπλισμού με το σκυρόδεμα.

Αρχικά, διακρίνεται εμφανώς η διαφορά των ΑΣΣ και των ΣΣ μιγμάτων, ως προς τον συνολικό χρόνο πήξης και τον ρυθμό πήξης, στα μεν ΣΣ η πίεση διείσδυσης αυξάνεται ραγδαία, ενώ στα ΑΣΣ καθυστερεί, με δυσμενέστερη περίπτωση την Σ149. Αυτή η συμπεριφορά αποδίδεται στην επίδραση του υπερρευστοποιητή στα μίγματα από ΑΣΣ, και επιπλέον στην Σ149 πιθανότατα λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας υπερρευστοποιητή σε σχέση με τις Σ145 και Σ147. Επίσης, μεταξύ τους τα 2 μίγματα ΣΣ, Σ140 και Σ143, παρουσιάζουν αναμενόμενη διαφορά, με την δεύτερη να καθυστερεί ως προς την πρώτη, γιατί η Σ140 έχει υπερρευστοποιητή SP/c=0.25%, ενώ η Σ143 έχει SP/c=0.5%. Ακόμα, η Σ137 προέρχεται από κοινή σκυροδέτηση προηγούμενης διπλωματικής εργασίας (**Πάσιος Χ. 2011**), και παρουσιάζει διαφορετική εικόνα ως προς τα άλλα 3 μίγματα από ΑΣΣ καθώς είχε σημαντικά λιγότερη ποσότητα υπερρευστοποιητή.

**Πίνακας 2.14 Ενδεικτική παρουσίαση (α) υπολογισμού πίεσης διείσδυσης και (β) χρονικών στιγμών μετακίνησης ράβδων για την σύνθεση NC-13, Σ140.**

ΩΡΑ	Ø	ΘΕΣΗ 1	ΘΕΣΗ 2	ΘΕΣΗ 3	ΘΕΣΗ 4	ΘΕΣΗ 5	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ	$t = 10 \cdot 0,23015 \cdot P / (\pi \cdot d^2/4)$ (Mpa)	ΩΡΑ ΠΡΟΣΘΗΚΗΣ ΝΕΡΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΝΕΡΟΥ (min)	ΡΑΒΔΟΣ	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (+e) (mm)	ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (-e) (mm)	ΩΡΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ
11:00	16	23	38	40	40	32	34,6	0,40		55	P2	5	5	11:10
11:25	16	99	78	130	98	89	98,8	1,13	10:05	80	P4	5	5	11:25
11:50	8	100	120	120	111	118	113,8	5,21		105	P6	5	5	11:50
12:15	6	142	140	150	160	150	148,4	12,08		130	P8	5	5	12:15

### 2.3.3 Επιβολή μετατόπισης στις ράβδους οπλισμού των δοκιμών δοκού

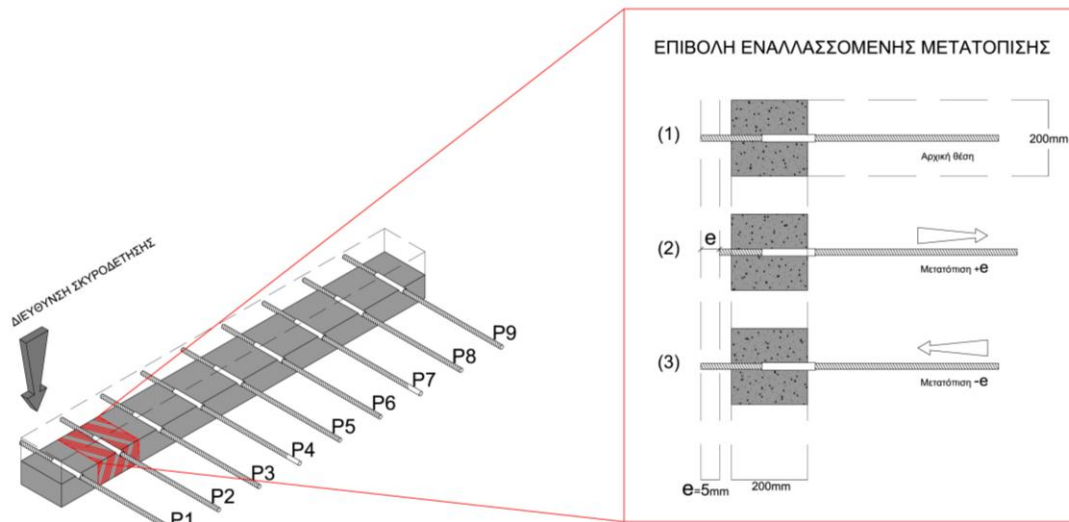
Η προσομοίωση της σεισμικής δράσης επιχειρήθηκε με την επιβολή μετατόπισης στις ράβδους οπλισμού με ζυγό αριθμό (P2, P4, P6, P8), σε όλα τα δοκίμια δοκού (5 συνολικά), όσο το σκυρόδεμα βρισκόταν σε νωπή κατάσταση. Η επιβολή αυτή έγινε διαδοχικά, με πρώτη την ράβδο P2 και τελευταία την ράβδο P8, σε χρονικές στιγμές που καθορίζονταν σε κάθε σκυροδέτηση από την επί τόπου μετρούμενη εξέλιξη της πήξης (όπως περιγράφηκε παραπάνω, στην §2.3.3).

Η λογική που ακολουθήθηκε ήταν να μετατοπιστούν 2 ράβδοι οπλισμού πριν την έναρξη της πήξης και 2 μετά. Συνεπώς μετρούταν η πίεση διείσδυσης ανά πυκνά χρονικά διαστήματα και ανάλογα με την τιμή της αποφασίζονταν η επιβολή μετατόπισης σε κάθε ράβδο διαδοχικά (βλέπε ξανά **Διάγραμμα 2.4**).

Ειδικότερα, ως προς τα σημεία (Ηλικία, Πίεση) στα οποία επιβλήθηκε μετατόπιση παρατηρείται ότι σε όλες τις περιπτώσεις η **πρώτη** μετατόπιση (στα P2) ασκήθηκε σε τιμή κάτω των 0.3MPa, η **δεύτερη** (στα P4) ποικίλλει από 0.1 έως 2.5MPa, η **τρίτη** (στα P6) ποικίλλει από 3.8 έως 6.5MPa, και η **τέταρτη** (στα P8) ποικίλλει από 5.3 έως 12.1MPa. Εξαιρεση αποτελεί η μετακίνηση του P4 στην Σ149 η οποία έγινε στα 4.3MPa, δηλαδή 'ξέφυγε' από την λογική που επιτεύχθηκε στα υπόλοιπα, δηλαδή ότι η P2 και η P4 μετατοπίζονται πριν τα 3.5MPa, ενώ η P6 και η P8 μετά (§2.3.3, **Διάγραμμα 2.4**).

Συγκεκριμένα η μετατόπιση μετρούταν με παχύμετρο: από την πλευρά με το

μικρότερο μήκος προεξοχής των ράβδων, ως η απόσταση από το άκρο της ράβδου μέχρι την εξωτερική παρειά του ξυλότυπου και έπειτα επιβαλλόταν μετατόπιση με σφυρί και μετρίοταν η ίδια απόσταση εκ νέου. Ορίζεται ως κατεύθυνση (+e) για φορά επιβολής προς το μεγαλύτερο μήκος προεξοχής και κατεύθυνση (-e) για αντίθετη φορά (**Εικόνα 2.16**). Όπως αναφέρθηκε στην §1.3.3, σε προηγούμενες εργασίες υπήρξαν διαφορετικές προσεγγίσεις, ως προς το μέγεθος της επιβαλλόμενης μετατόπισης (π.χ. κυμαινόταν από 2 έως 14mm κατά **Καρέλλη Μ** και **Νταντάμη Κ.** και **Ντογκούλη Ε.** 2002), ως προς την κατεύθυνση (μονή ή εναλλασσόμενη) και ως προς την μεταδόνηση ή μη (μεταδόνηση στην δονητική τράπεζα που διαθέτει το εργαστήριο για 30 δευτερόλεπτα, αμέσως μετά την επιβολή της μετατόπισης).



**Εικόνα 2.16** Σκαρίφημα δοκιμίου δοκού και λεπτομέρεια της επιβολής εναλλασσόμενης μετατόπισης στην ράβδο P2. Ομοίως επιβλήθηκε και στις ράβδους P4, P6, P8.

Στην παρούσα διπλωματική επιβαλλόταν **εναλλασσόμενη** μετατόπιση μέτρου ( $\pm 5\text{mm}$ ) σε όλες τις δοκούς (**Εικόνα 2.15**).

Στόχο αποτέλεσε η διερεύνηση της επιρροής αυτής της πρώιμης μετατόπισης, κατά τις διαφορετικές φάσεις της πήξης, στη συνάφεια του χάλυβα οπλισμού με το σκυροδέμα. Συγκρίθηκε η τάση της κάθε μετατοπισμένης ράβδου, με τον μέσο όρο των δύο γειτονικών της που δεν είχαν υποστεί μετατόπιση, και με τον μέσο όρο των μη μετακινημένων ράβδων (P1, P3, P5, P7, P9), ώστε να εξαχθούν ποσοτικά συμπεράσματα.

## 2.4 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

### 2.4.1 Πρωτογενή δεδομένα δοκιμής εξόλκευσης

Τα δεδομένα της δοκιμής εξόλκευσης περιλαμβάνουν, όπως προαναφέρθηκε, τις μετρήσεις ολίσθησης των τριών βελομέτρων (mm) και την μέτρηση του ασκούμενου φορτίου (kN), όπως καταγράφονταν κάθε 0.2s. Τελικά, ο μέσος όρος των ολισθήσεων από τα 3 βελομέτρα αποτελεί την τιμή της ολίσθησης (s). Υπολογίζεται η υπολογίζεται η τάση συνάφειας ( $\tau$ ) ως:

$$\tau = \frac{F}{\pi \varnothing L}$$

- **F**: η επιβαλλόμενη δύναμη εξόλκευσης (ένδειξη τιμής της δυναμοκυψέλης

- διορθωμένη κατάλληλα με συντελεστή βαθμονόμησης (calibration) τιμής 0.896, (kN)
- **Ø**: η ονομαστική διάμετρος της ράβδου οπλισμού (16mm)
  - **L**: το πραγματικό μήκος συνάφειας (5Ø=80mm)

Έγινε αναγωγή της τάσης συνάφειας στην θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, ώστε τα αποτελέσματα να είναι ανεξάρτητα από την ποιότητα του σκυροδέματος, και κατασκευάστηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες ανηγμένης τάσης συνάφειας στη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος ( $\tau/f_{cc}$ ) συναρτήσεως της ολίσθησης. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές ολίσθησης, στις οποίες υπολογίστηκε η τάση συνάφειας, ήταν οι: 0.01mm, 0.10mm, 0.25mm (ονομαζόμενη 'κρίσιμη' (critical) στη βιβλιογραφία), 1.00mm ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$  αντίστοιχα). Επίσης, υπολογίστηκε η μέγιστη τάση συνάφειας ( $\tau_{max}$ ), η τάση δηλαδή που αντιστοιχεί στην μέγιστη δύναμη εξόλκευσης  $F_{max}$  (με αντίστοιχη ολίσθηση  $s_{\tau_{max}}$ ) καθώς και η μέση τιμή των τάσεων  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ . Τέλος, σε κάθε ράβδο οπλισμού υπολογίστηκε και η μέση τάση συνάφειας ( $\tau_m$ ) με ολοκλήρωση της καμπύλης συνάφειας μεταξύ τιμών 0kN (αρχή διαγράμματος) και της μέγιστης τιμής  $\tau_{max}$  kN (υψηλότερο σημείο της καμπύλης  $\tau$ -s):

$$\tau_m = \int_0^{s_{\tau_{max}}} \tau ds / s_{\tau_{max}}$$

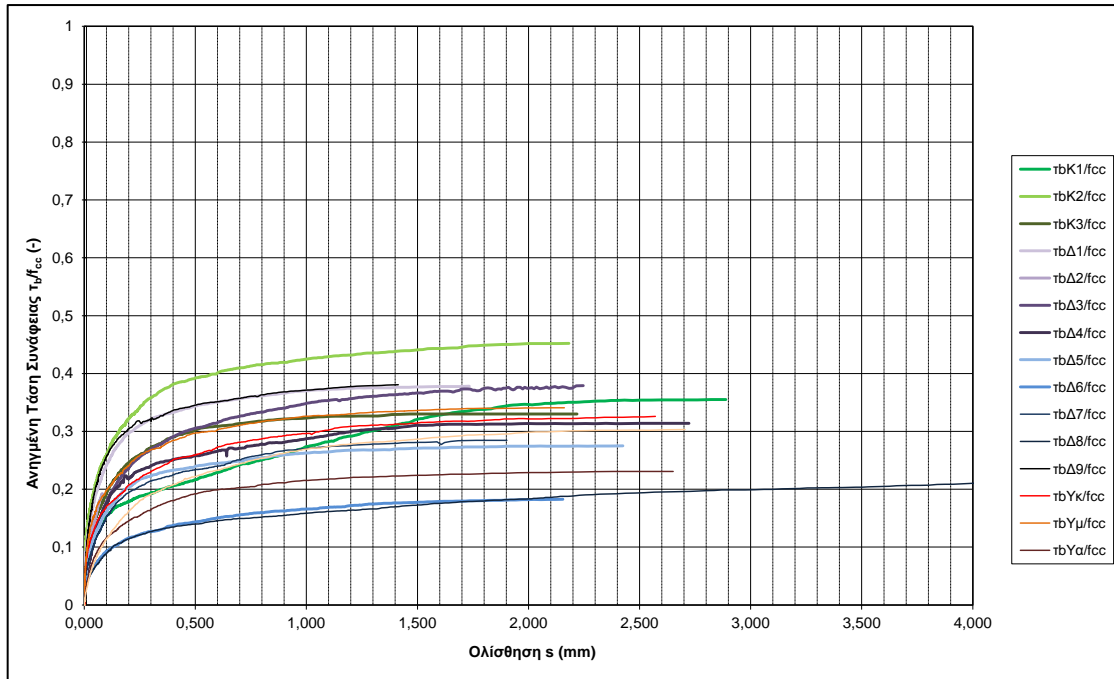
Στα διαγράμματα  $\tau$  ( $\tau/f_{cc}$ )-s αφαιρέθηκαν οι τιμές που έπονται της  $\tau_{max}$  καθώς εκεί ουσιαστικά τελειώνει η δοκιμή, και επίσης διότι δεν εξάγεται κάποια χρήσιμη πληροφορία κατά την αποφόρτιση.

Οι παραπάνω τιμές της τάσης συνάφειας χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην βιβλιογραφία, ενώ συγκεκριμένα στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια ελέγχου οι τάσεις  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  και  $\tau_{max}$ , ώστε να υπάρχει αντιστοιχία με την βιβλιογραφία αλλά και με την έως τώρα έρευνα του Εργαστηρίου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται με τη σειρά τα διαγράμματα **α)** ανηγμένης τάσης συνάφειας ράβδου οπλισμού στη θλιπτική αντοχή ως προς την ολίσθηση της ράβδου, **β)** αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), **γ)** τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσεως της απόστασης από το κάτω άκρο, **δ)** αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσεως της απόστασης από το άκρο αρχής για τα δοκίμια δοκού, για τα μίγματα από ΑΣΣ και από ΣΣ. Παρουσιάζεται ενδεικτικά ένα διάγραμμα για κάθε κατηγορία από τις τέσσερις, ενώ για τα υπόλοιπα ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο **Παράρτημα Α** όπου παρουσιάζονται κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού πυριτικής πιαπάλης (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β.) για τα μίγματα από ΑΣΣ, και για τα μίγματα από ΣΣ, κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού υπερρευστοποιητή (0.25, 0.50 % SP/c).

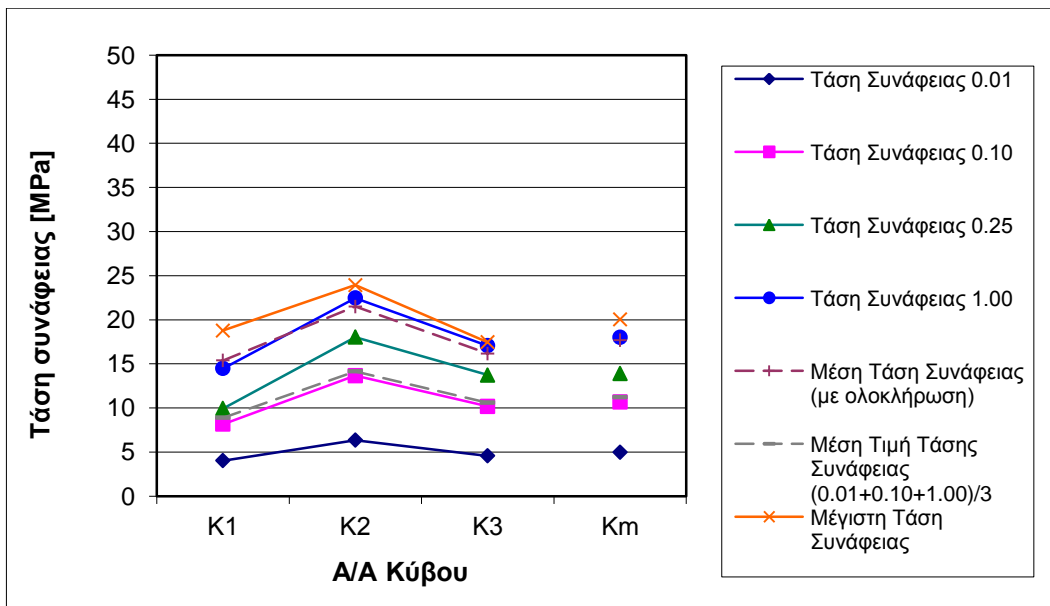
**α)** Ανηγμένη τάση συνάφειας ράβδου οπλισμού στη θλιπτική αντοχή ως προς την ολίσθηση της ράβδου.





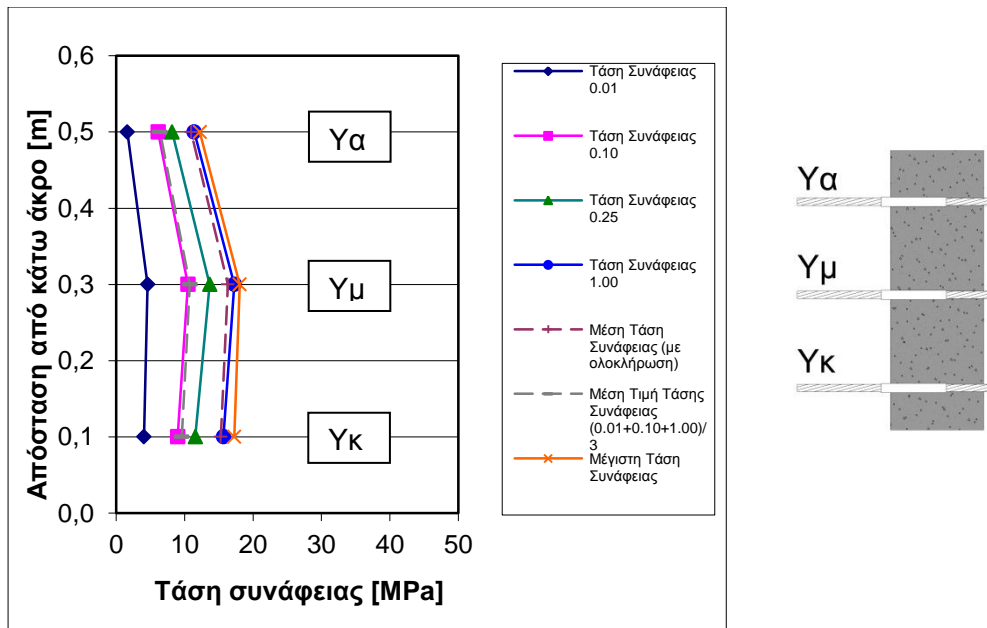
Διάγραμμα 2.5 Διάγραμμα Ανηγμένης Τάσης Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή ως προς την Ολίσθηση της Ράβδου, σύνθεση SCC-34 (Σ145-146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).

β) Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0,01}$ ,  $\tau_{0,10}$ ,  $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_{1,00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0,01+0,10+1,0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km).



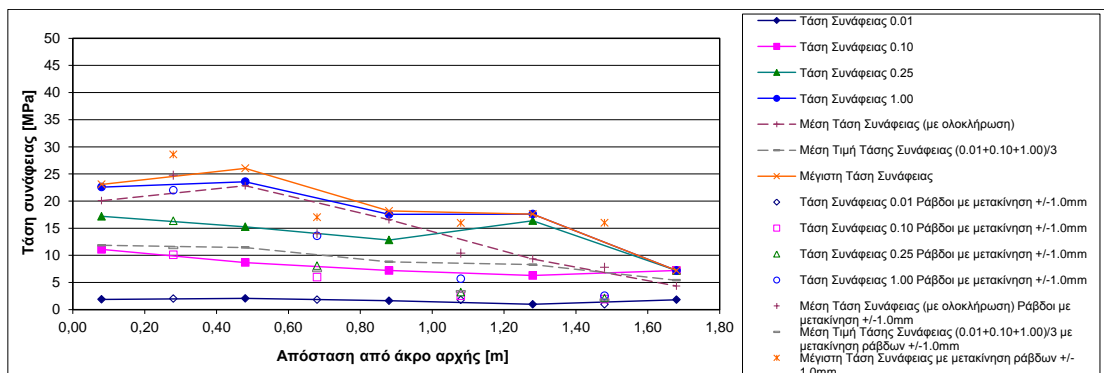
Διάγραμμα 2.6 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0,01}$ ,  $\tau_{0,10}$ ,  $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_{1,00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0,01+0,10+1,0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-34 (Σ146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).

γ) Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσσει της απόστασης από το κάτω άκρο.



Διάγραμμα 2.7 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-34 (Σ146), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).

δ) Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής για τα δοκίμια δοκού, κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού πυριτικής παιπάλης (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β.) για τα μίγματα από ΑΣΣ, και για τα μίγματα από ΣΣ, κατά αύξουσα σειρά ποσοστού υπερρυστοποιητή (0.25, 0.50 %SP/c).



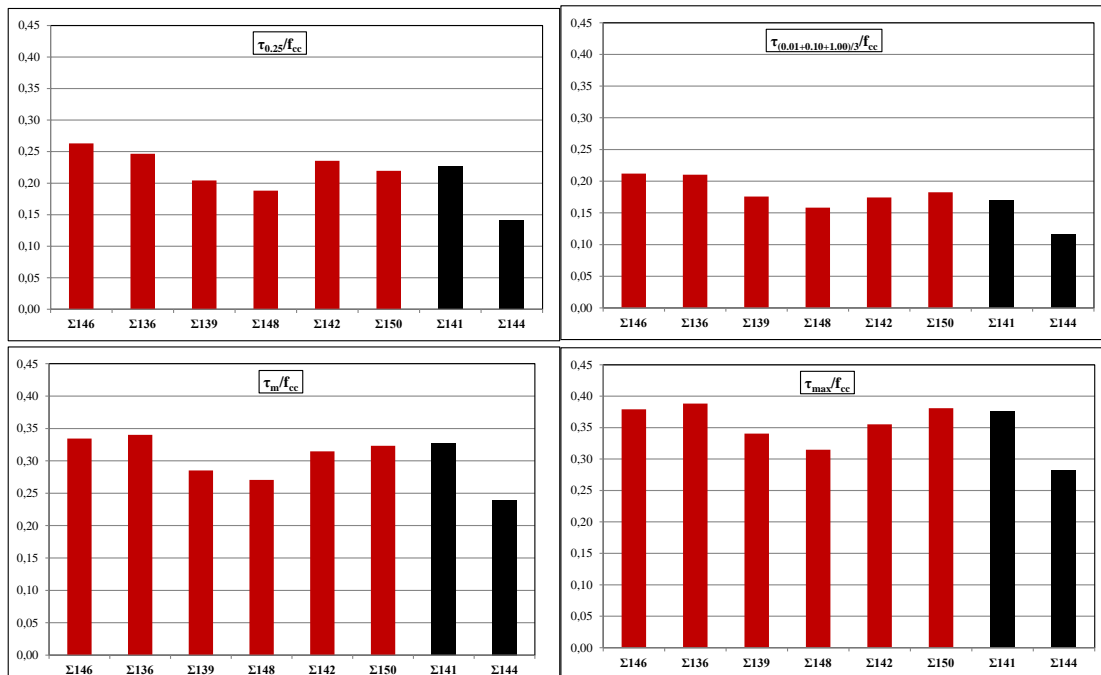
Διάγραμμα 2.8 Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης SCC-34 (Σ145). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 (Εικόνα 2.1) και το σκυρόδεμα αφήθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κοίλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8), (για τις υπόλοιπες 7 συνθέσεις, βλέπε ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α).

Στη συνέχεια ακολουθεί διερεύνηση των πρωτογενών αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας, αρχικά στα κυβικά δοκίμια, στη συνέχεια στα δοκίμια δοκού, και τέλος στα χαμηλά υποστρώματα.

#### 2.4.2 Κυβικά δοκίμια

Ξεκινώντας με τα κυβικά δοκίμια, παρουσιάζονται για όλες τις συνθέσεις τα διαγράμματα (Διάγραμμα 2.9) της τάσης συνάφειας ανηγμένης στην θλιπτική αντοχή (κάθε

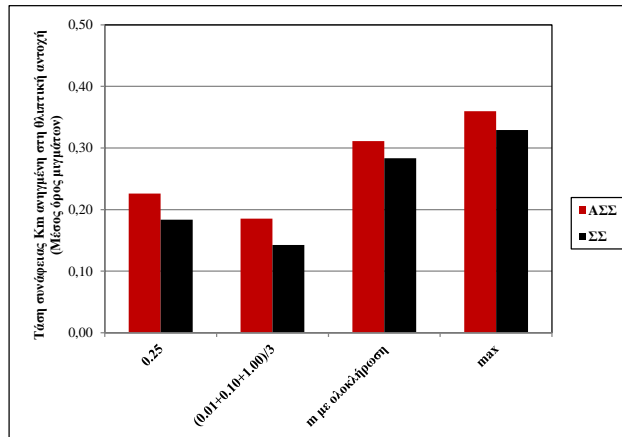
σύνθεσης αντίστοιχα) για την μέση τιμή των 3 κύβων (**Km**), στις 4 αντιπροσωπευτικές τιμές συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_m$  με ολοκλήρωση,  $\tau_{max}$ ), με τις 6 συνθέσεις ΑΣΣ παρουσιασμένες κατά αύξουσα σειρά ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β., αντίστοιχα για τις Σ146 έως Σ150), και τις 2 συνθέσεις ΣΣ, Σ141 και Σ144, παρουσιασμένες κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού υπερρευστοποιητή, 0.25 και 0.50 %κ.β. αντίστοιχα. Επίσης παρατίθεται αντίστοιχος συγκεντρωτικός πίνακας και συγκεντρωτικά διαγράμματα (Πίνακας 2.15, Διάγραμμα 2.10, 2.11).



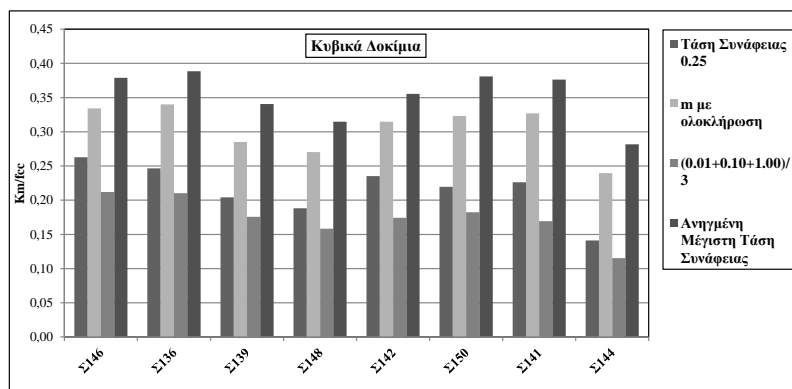
Διάγραμμα 2.9 Αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, για την μέση τιμή των 3 κύβων (Km), συγκριτικά για όλες τις συνθέσεις (με κόκκινο οι ΑΣΣ και με μαύρο οι ΣΣ).

Αρχικά, παρατηρούμε πως η συμπεριφορά όλων των συνθέσεων, ΑΣΣ και ΣΣ, παρουσιάζει ομοιομορφία στις 4 αντιπροσωπευτικές ανηγμένες τάσεις συνάφειας που επιλέχθηκαν ως κριτήρια ελέγχου. Ειδικότερα, σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τάσεις παρουσίασε την χαμηλότερη ανηγμένη τάση η Σ144 (ΣΣ) με  $\tau_{max}/f_{cc}$  ίση με 0.28 και ακολουθεί, επίσης σε όλες τις τάσεις, η Σ148 (ΑΣΣ) με  $\tau_{max}/f_{cc}$  ίση με 0.31. Την υψηλότερη τιμή για την  $\tau_{max}/f_{cc}$  παρουσίασε η Σ136 (ΑΣΣ), ίση με 0.39, και ακολουθούν οι Σ146 (ΑΣΣ), Σ150 (ΑΣΣ) και Σ141 (ΣΣ) με κοινή τιμή 0.38. Για την  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}/f_{cc}$ , την υψηλότερη τιμή έδωσαν οι Σ146 (ΑΣΣ) και Σ136 (ΑΣΣ), ίση με 0.21, και ακολουθούν οι Σ139 (ΑΣΣ) και Σ150 (ΑΣΣ) με τιμή 0.18, ενώ για την  $\tau_{0.25}/f_{cc}$  υψηλότερη τιμή παρουσίασε η Σ146 (ΑΣΣ), ίση με 0.26 και ακολουθεί η Σ136 (ΑΣΣ) με τιμή 0.25. Στις ΑΣΣ συνθέσεις, οι Σ146 και Σ136 παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές, έπειτα οι Σ139 και Σ148 παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές, και τέλος οι Σ142 και Σ150 πάλι υψηλότερες τιμές, συνεπώς ως προς την επιρροή της πυριτικής παιπάλης στις τάσεις συνάφειας των κυβικών δοκιμών παρατηρείται αύξηση της τάσης συνάφειας για τα «ακραία» ποσοστά, ενώ μείωση για ποσοστά κοντά στο 10%. Στις ΣΣ συνθέσεις, η πρώτη (Σ141) παρουσιάζει υψηλότερη τιμή σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τάσεις και η δεύτερη (Σ144) παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές από όλες τις συνθέσεις. Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκεντρωτικά για όλες τις συνθέσεις οι τιμές όλων των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των Km (μέση τιμή κύβων), σε μορφή πίνακα. Συγκριτικά μεταξύ ΑΣΣ και ΣΣ μιγμάτων (Διάγραμμα 2.10, 2.11), φαίνεται πως και στις 4

αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_m$  με ολοκλήρωση,  $\tau_{max}$ ) υπερτερούν τα ΑΣΣ μίγματα, παρατήρηση που έρχεται σε αντίθεση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του Πάσιου Χ. (2011), στην εργασία του οποίου παρατηρήθηκε υπεροχή των ΣΣ μιγμάτων έναντι των ΑΣΣ, στις περιπτώσεις των  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ .



Διάγραμμα 2.10 Τάσεις συνάφειας Km (μέσος όρος των 3 κόβων) ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, συγκριτικά για ΑΣΣ και ΣΣ (μέσος όρος μιγμάτων).



Διάγραμμα 2.11 Συγκεντρωτικό διάγραμμα τεσσάρων χαρακτηριστικών τάσεων Km/fcc για όλες τις συνθέσεις.

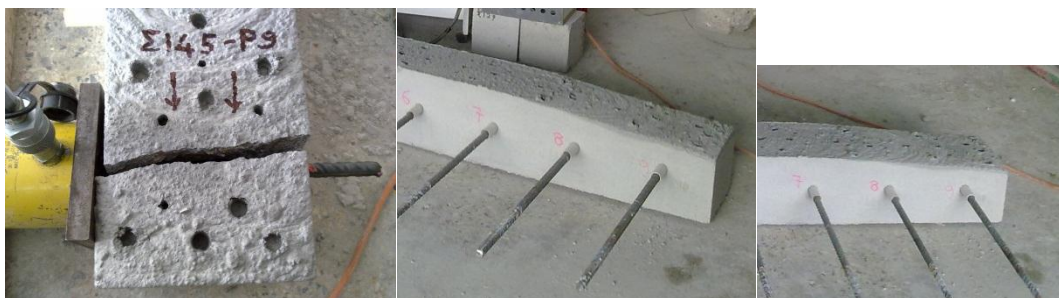
Πίνακας 2.15 Τάσεις συνάφειας ανηγμένες στη θλιπτική αντοχή (κάθε σύνθεσης αντίστοιχα) για την μέση τιμή των 3 κόβων (Km).

	ΑΣΣ						ΣΣ	
	Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{0.25}/f_{cc}$	0,26	0,25	0,20	0,19	0,24	0,22	0,23	0,14
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}/f_{cc}$	0,21	0,21	0,18	0,16	0,17	0,18	0,17	0,12
$\tau_m/f_{cc}$	0,33	0,34	0,29	0,27	0,31	0,32	0,33	0,24
$\tau_{max}/f_{cc}$	0,38	0,39	0,34	0,31	0,36	0,38	0,38	0,28

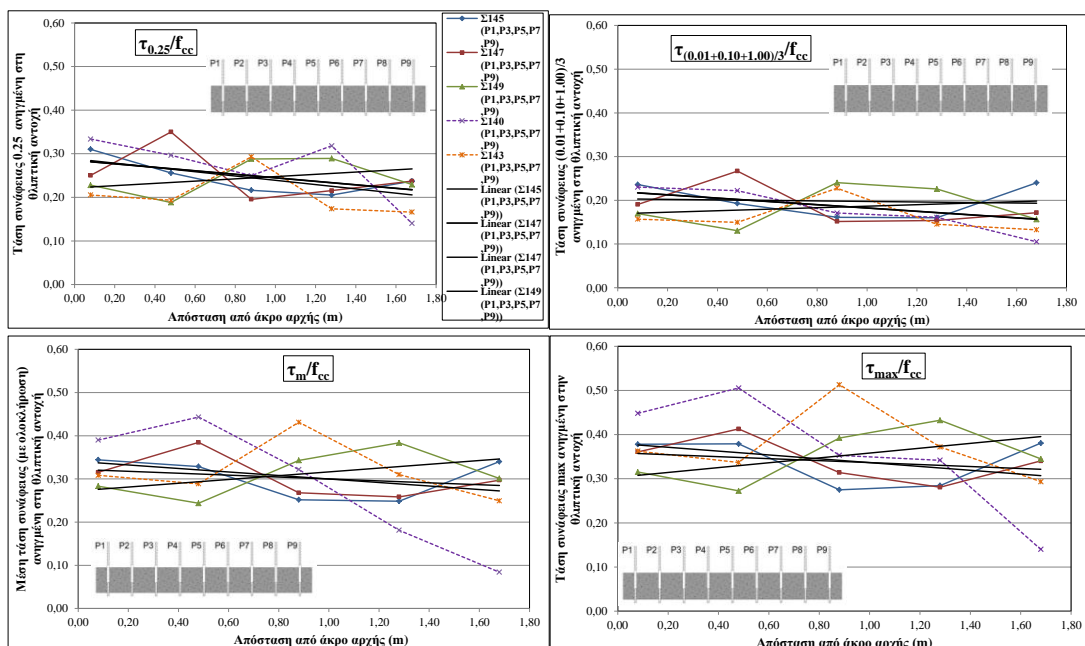
### 2.4.3 Δοκίμια δοκού

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα των χαρακτηριστικών τάσεων ανηγμένων στην θλιπτική αντοχή, για τα δοκίμια δοκού όλων των συνθέσεων (Διάγραμμα 2.12). Υπενθυμίζεται ότι από τις συνολικά 9 ράβδους οι 5 (P1, P3, P5, P7, P9) δεν μετατοπίστηκαν, ενώ οι 4 υπόλοιπες (P2,P4,P6,P8) μετατοπίστηκαν, όπως περιγράφηκε στην

§2.3.3, και φαίνονται στο **Διάγραμμα 2.13** ως σημεία (με μη συμπαγή κύκλο). Συγκεκριμένα στις **Σ145 (ΑΣΣ)** και **Σ140 (ΣΣ)** η ράβδος P9 αστόχησε σε διάρρηξη, στη μεν **Σ145 (ΑΣΣ)** η μέγιστη τάση συνάφειας έφτασε τα 24.82MPa (μεγαλύτερη τιμή απ' όλες τις υπόλοιπες ράβδους της ίδιας δοκού) ενώ στην Σ140 η μέγιστη τάση συνάφειας έφτασε τα 7.21MPa, παρόλα αυτά περιλαμβάνεται στα επόμενα διαγράμματα. Η πλέον πιθανή εξήγηση για την αστοχία σε διάρρηξη της ράβδου P9 της **Σ145 (ΑΣΣ)**, είναι ότι στο άκρο τέλους της δοκού παρουσιάστηκε αξιολογήσιμη μείωση του υπερκείμενου σκυροδέματος επικάλυψης (**Εικόνα 2.17**), με μέγιστη μείωση στην περιοχή άνω της P9, κατά ~4cm (δηλαδή το υπερκείμενο πάχος επικάλυψης της P9 από ~10cm έγινε τελικά ~6cm). Αυτή η μείωση με τη σειρά της πιθανότατα οφείλεται στις χαμηλές ρεολογικές τιμές που παρουσίασε η **Σ145 (ΑΣΣ)** (**Πίνακας 2.11**). Πιο συγκεκριμένα, παρουσίασε από όλες τις συνθέσεις την χαμηλότερη τιμή του λόγου  $\lambda_{HL}$ , ίση με 0.789, και την χαμηλότερη τιμή εξάπλωσης **SF**, ίση με 589mm.



**Εικόνα 2.17** (Αριστερά) Αστοχία σε διάρρηξη κατά την δοκιμή εξόγκωσης στην θέση της P9 για το δοκίμιο δοκού Σ145 (ΑΣΣ), και (Δεξιά) σταδιακή μείωση του σκυροδέματος επικάλυψης, με μέγιστη μείωση στην περιοχή της P9, για το ίδιο δοκίμιο δοκού.



**Διάγραμμα 2.12** Αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ανηγμένες στην θλιπτική αντοχή, για τις μη μετατοπισμένες ράβδους (P1,P3,P5,P7,P9), συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής, για όλα τα δοκίμια δοκού. Για τα ΑΣΣ μίγματα, φαίνονται με μαύρο χρώμα οι ευθείες των ελαχίστων τετραγώνων.

Η αναμενόμενη ή εκτιμώμενη συμπεριφορά των ΑΣΣ και ΣΣ μιγμάτων στα συγκεκριμένα δοκίμια δοκού, θα περιλάμβανε,

- α) στα ΣΣ μίγματα, τάσεις συνάφειας ίσες μεταξύ τους, δηλαδή οριζόντια γραμμή στο διάγραμμα τάσεων-ολισθήσεων, καθώς η πλήρωση του ξυλότυπου έγινε ομοιόμορφα σε



**αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας.**

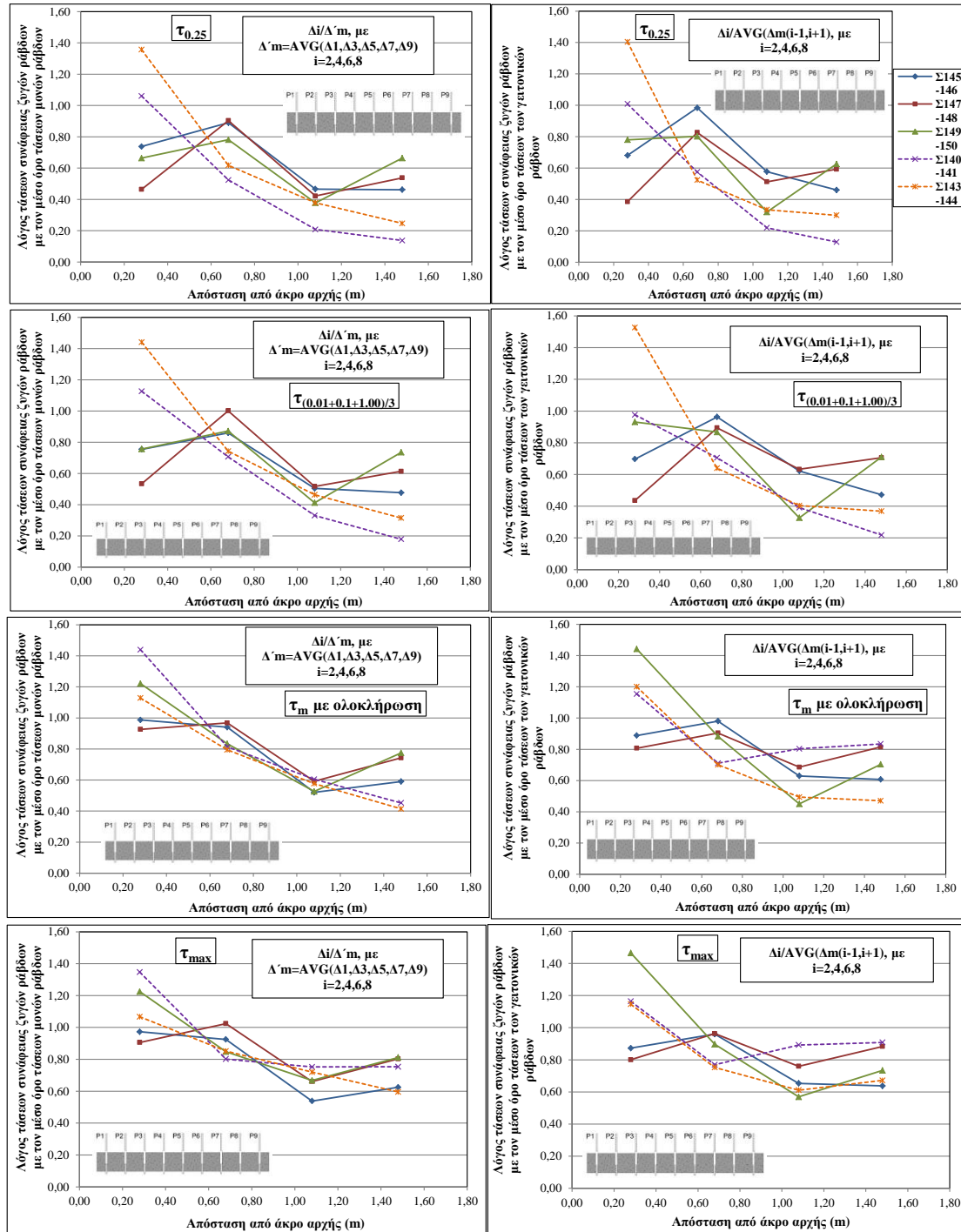
Λόγω του μικρού αριθμού δείγματος, θα ήταν επισφαλές να εξάγουμε γενικό συμπέρασμα, και θα αρκεστούμε στο συμπέρασμα ότι δεν παρατηρείται συστηματική μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος της δοκού, και η παρατηρούμενη μεταβολή ενδεχομένως οφείλεται περισσότερο στην διασπορά των τιμών και λιγότερο στον παράγοντα της απόστασης από την πηγή έγχυσης (εξάλλου όλα τα μίγματα ΑΣΣ κάλυψαν τις ρεολογικές απαιτήσεις βάσει των κανονισμών, **Πίνακας 2.11**). Σημειώνεται πως στην διπλωματική εργασία του **Πάσιου Χ.** (2011) υπήρξε έντονος προβληματισμός και διερεύνηση για το ζήτημα και τον τρόπο προσέγγισής του, με τελικό συμπέρασμα πως δεν προκύπτει εμφανής μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος των δοκιμών δοκού στα ΑΣΣ μίγματα.

Όσον αφορά στις μετατοπισμένες ράβδους (P2, P4, P6, P8, στα διαγράμματα παρουσιάζονται ως μη συμπαγείς κύκλοι) αρχικά παρατηρείται εμφανής μείωση των τάσεων συνάφειας σε σχέση με τις μη μετατοπισμένες ράβδους (P1,P3,P5,P7,P9), με μεγαλύτερη μείωση στις P6 για τις **Σ145, Σ147, Σ149 (ΑΣΣ), Σ140 (ΣΣ)**, ενώ στην P8 για την **Σ143 (ΣΣ)**. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα πήξης (**Διάγραμμα 2.4**), οι τιμές της πίεσης διείδυσης κατά την στιγμή της μετατόπισης των ράβδων P6 και P8 ήταν κοντινές (με μέγιστη διαφορά ~2MPa) για τις **Σ145, Σ147 και Σ149 (ΑΣΣ)** πράγμα που ενδεχομένως δικαιολογεί παρόμοιες τιμές τάσεων συνάφειας μεταξύ των P6 και P8, όμως δεν δικαιολογεί τις συστηματικά μικρότερες τιμές των P6 σε σχέση με των P8. Σε όλες τις συνθέσεις παρατηρείται τοπικό μέγιστο στις P2, δηλαδή η πρόωμη μετατόπιση επέδρασε ευνοϊκά σε αυτή την περίπτωση. Πιθανή εξήγηση (βλέπε **Διάγραμμα 2.4**) αποτελεί το γεγονός ότι η μετατόπιση αυτή ασκήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις σε πολύ χαμηλή τιμή της πίεσης διείδυσης (με μέγιστη ~0.3MPa), συνεπώς τόσο στα ΑΣΣ όσο και στα ΣΣ μίγματα, η μετατόπιση αυτή επέδρασε στην ουσία ως συμπληρωματική συμπίκνωση του υλικού στο άμεσο περιβάλλον της ράβδου οπλισμού, προσδίδοντας τελικά αυξημένη συνάφεια μεταξύ χάλυβα οπλισμού και σκυροδέματος.

Αναφορικά με την επίδραση της πρόωμης μετατόπισης των ράβδων P2, P4, P6, P8 στις τάσεις συνάφειας, ακολουθήθηκαν δύο πορείες αντιμετώπισης:

- α) σύμφωνα με την πρώτη, εάν οι τιμές των τάσεων συνάφειας παραμένουν σταθερές κατά μήκος της δοκού, τότε θα περιγράψει καλύτερα την επίδραση αυτή ο λόγος της τάσης συνάφειας της κάθε μετατοπισμένης ράβδου (P2, P4, P6, P8) με την μέση τιμή της τάσης συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1, P3, P5, P7, P9), δηλαδή οι λόγοι  **$\Delta 2/\Delta' m$ ,  $\Delta 4/\Delta' m$ ,  $\Delta 6/\Delta' m$ ,  $\Delta 8/\Delta' m$** .
- β) Σύμφωνα με την δεύτερη, εάν οι τιμές των τάσεων συνάφειας δεν παραμένουν σταθερές κατά μήκος της δοκού, τότε θα περιγράψει καλύτερα την επίδραση της πρόωμης μετατόπισης ο λόγος της τάσης συνάφειας της κάθε μετατοπισμένης ράβδου (P2, P4, P6, P8) με τον μέσο όρο των δύο γειτονικών της μη μετατοπισμένων ράβδων, δηλαδή οι λόγοι  **$\Delta 2/AVG(\Delta 1,\Delta 3)$ ,  $\Delta 4/AVG(\Delta 3,\Delta 5)$ ,  $\Delta 6/AVG(\Delta 5,\Delta 7)$ ,  $\Delta 8/AVG(\Delta 7,\Delta 9)$** .

Αποφασίστηκε να εξεταστούν και οι δύο τρόποι αντιμετώπισης, και να συγκριθούν μεταξύ τους, όπως παρουσιάζονται στη συνέχεια στα αντίστοιχα διαγράμματα των λόγων αυτών συναρτήσει της απόστασης από το άκρος αρχής της δοκού για τις αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας που αποτελούν τα κριτήρια ελέγχου (**Διάγραμμα 2.14**).



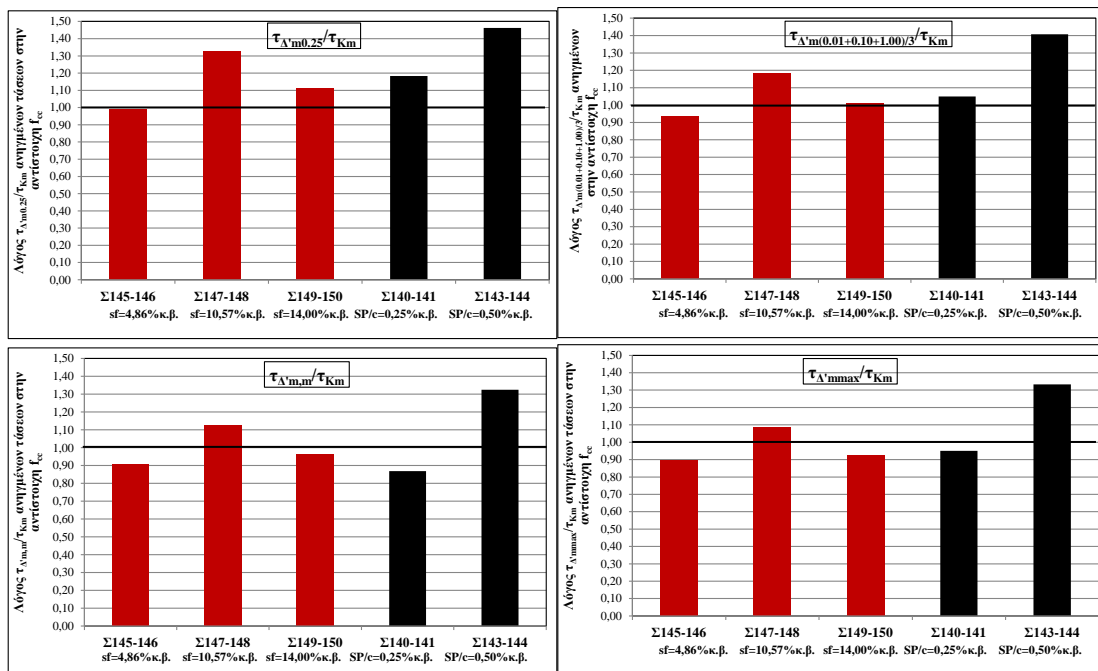
**Διάγραμμα 2.14** Λόγος χαρακτηριστικών τάσεων συνάφειας των μετατοπισμένων ράβδων (P2,P4,P6,P8) δοκιμίου δοκού με (Αριστερά) τον μέσο όρο τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1,P3,P5,P7,P9), και (Δεξιά) με τον μέσο όρο τάσεων συνάφειας των δύο γειτονικών ράβδων αντίστοιχα, συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής.

Κατ' αρχήν, παρατηρείται η προοδευτική μείωση των τάσεων συνάφειας από την P2 προς την P8, αναμενόμενη δεδομένου του χρόνου άσκησης της κάθε μετατόπισης ως προς την πήξη του νωπού σκυροδέματος (αρχικά μετατοπίστηκαν πριν την έναρξη της πήξης διαδοχικά οι P2 και P4, και τελικά, μετατοπίστηκαν διαδοχικά οι P6 και P8 μετά την έναρξη της πήξης, βλέπε **Διάγραμμα 2.4**). Η P2 παρουσιάζεται αυξημένη στα 2 ΣΣ μίγματα (Σ140 και Σ143) ενώ και στην Σ149 (ΑΣΣ), στην περίπτωση της  $\tau_{max}$ , επακόλουθο των όσων αναφέρθηκαν παραπάνω σχετικά με τις υψηλές τιμές τάσης συνάφειας των P2.



Συνολικά, οι δύο τρόποι αντιμετώπισης παρουσίασαν παρόμοια εικόνα, στοιχείο που ενισχύει και τον ισχυρισμό ότι δεν παρατηρείται συστηματική μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου δοκού. Στην περίπτωση της  $\tau_{\max}/f_{cc}$  παρατηρείται (**Αριστερά**) η μέγιστη τιμή, ίση με 1.35, στην P2 της **Σ140 (ΣΣ)**, ενώ στο **Δεξιά** διάγραμμα παρατηρείται η μέγιστη τιμή, ίση με 1.47, στην P2 της **Σ149 (ΑΣΣ)**, διαφορά που δικαιολογείται παρατηρώντας το **Διάγραμμα 2.13** όπου φαίνεται η σχέση των P2 με τις γειτονικές τους ράβδους, P1 και P3, καθώς και η συνολική εικόνα των τάσεων συνάφειας. Σημειώνεται ότι στα **Διαγράμματα 2.14** αφαιρέθηκε η τιμή της τάσης συνάφειας για την ράβδο P9 στη σύνθεση **Σ140 (ΣΣ)** καθώς αλλοιώνει αρκετά τα αποτελέσματα στην θέση Δ9/AVG(Δ7,Δ9) (**Δεξιά**), αλλά και μειώνει αρκετά την  $\Delta'm$ , μετατοπίζοντας προς τα πάνω όλη την γραμμή της **Σ140 (ΣΣ)** στο (**Αριστερά**) **Διάγραμμα 2.14**. Στην **§2.3.3** τονίστηκε ότι στην **Σ149 (ΑΣΣ)** η P4 μετατοπίστηκε μετά την έναρξη της σκυροδέτησης, σε τιμή πίεσης διείδυσης ίση με 4.34MPa, παρόλα αυτά και στους δύο τύπους διαγραμμάτων (**Αριστερά, Δεξιά, Διάγραμμα 2.14**) δεν παρατηρείται αυξημένη τιμή σε σχέση με τις αντίστοιχες των **Σ145 (ΑΣΣ)** και **Σ147 (ΑΣΣ)** για τις οποίες η μετατόπιση έγινε πριν την έναρξη της πήξης (3.5MPa), σε τιμές διείδυσης 0.59MPa και 2.09MPa αντίστοιχα. Αυτό ενδεχομένως σημαίνει ότι η ευαισθησία των τάσεων συνάφειας είναι μικρή σε μεταβολές της πίεσης διείδυσης της τάξης των ~3MPa, κυρίως στις χαμηλές τιμές, πριν τον 'εκθετικό' κλάδο του Διαγράμματος πήξης. Σε αυτές τις περιοχές πιθανώς (βάσει αυτού του παραδείγματος) οι διασπορές των τιμών των τάσεων να είναι μεγαλύτερες από την επιρροή της εξέλιξης της πήξης, εξ' ου και η μη αναμενόμενη συμπεριφορά των τάσεων συνάφειας των ράβδων P4.

Στην συνέχεια παρατίθενται το διάγραμμα (**Διάγραμμα 2.15**) του λόγου  $\tau_{\Delta'm}/\tau_{Km}$ , δηλαδή του λόγου της μέσης τιμής των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1, P3, P5, P7, P9) του δοκιμίου δοκού ( $\Delta'm$ ), προς την μέση τιμή των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των 3 κυβικών δοκιμίων (**Km**) της ίδιας σύνθεσης, για τις 4 αντιπροσωπευτικές τιμές τάσεων συνάφειας που έχουν επιλεχθεί ως κριτήρια ελέγχου, και για όλες τις συνθέσεις στις οποίες κατασκευάστηκε δοκίμιο δοκού. Οι συνθέσεις παρουσιάζονται κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού *πυριτικής παιπάλης* στην περίπτωση των ΑΣΣ, και κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού *υπερρευστοποιητή* στην περίπτωση των ΣΣ. Σημειώνεται ότι για τους προαναφερθέντες λόγους τάσεων συνάφειας χρησιμοποιήθηκε η τάση συνάφειας *ανηγμένη* στην θλιπτική αντοχή, καθώς τα δοκίμια δοκού και τα κυβικά δοκίμια προέρχονται από την ίδια σύνθεση, αλλά από διαφορετικές σκυροδετήσεις (υπενθυμίζεται: στην πρώτη σκυροδέτηση πληρωνόταν ο ξυλότυπος δοκού και οι κυβικές μήτρες για τον υπολογισμό της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής, ενώ στην δεύτερη το χαμηλό υποστύλωμα, τα κυβικά δοκίμια και οι κυβικές μήτρες για τον υπολογισμό της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής). Η διαφορά ουσιαστικά έγκειται στην διαφορά των εξής λόγων:  $\frac{(\tau_{\Delta'm}/f_{cc,scc34})}{(\tau_k/f_{cc,scc34})} \neq \frac{(\tau_{\Delta'm}/f_{cc,\Sigma145})}{(\tau_k/f_{cc,\Sigma146})}$ , και κρίνεται ορθότερη η χρήση του λόγου  $\frac{(\tau_{\Delta'm}/f_{cc,\Sigma145})}{(\tau_k/f_{cc,\Sigma146})}$  (2<sup>ος</sup> όρος).



**Διάγραμμα 2.15** Λόγος της μέσης τιμής των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των μη μετατοπισμένων ράβδων (P1,P3,P5,P7,P9) του δοκιμίου δοκού (Δ' m), προς την μέση τιμή των ανηγμένων τάσεων συνάφειας των 3 κυβικών δοκιμίων (Km) της ίδιας σύνθεσης, για τις 4 αντιπροσωπευτικές τιμές τάσεων συνάφειας που έχουν επιλεγεί ως κριτήρια ελέγχου, και για όλες τις συνθέσεις στις οποίες κατασκευάστηκε δοκίμιο δοκού. Παρουσιάζονται με κόκκινο χρώμα για τα ΑΣΣ μίγματα και με μαύρο για τα ΣΣ.

Τα ΣΣ μίγματα παρουσιάζουν μεγάλες τιμές του λόγου  $\tau_{A^m}/\tau_{Km}$ , σε σχέση με τα ΑΣΣ μίγματα, με την Σ143-144 (ΣΣ) να παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τάσεις. Αυτό το αποτέλεσμα εν μέρει αναμενόταν εξαιτίας της συμπύκνωσης με δόνηση στην οποία υποβλήθηκαν τα δοκίμια δοκού (σε αντίθεση με τα μίγματα ΑΣΣ), και συγκεκριμένα για την Σ143-144 (ΣΣ) αναμενόταν καθώς παρουσίασε τις ελάχιστες τιμές τάσεων συνάφειας (Km) σε σχέση με τις υπόλοιπες συνθέσεις, όπως αναφέρθηκε στον σχολιασμό του Διαγράμματος 2.9. Αυξανόμενου του ποσοστού υπερρευστοποιητή SP/c από 0.25 σε 0.50%κ.β., φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά ο λόγος  $\tau_{A^m}/\tau_{Km}$ , από 0.95 σε 1.33, στην περίπτωση της  $\tau_{max}$ . Στα ΑΣΣ μίγματα παρατηρείται αύξηση του λόγου  $\tau_{A^m}/\tau_{Km}$  για αύξηση του ποσοστού πυριτικής παιπάλης από 4.86 σε 10.57 %κ.β και στη συνέχεια μείωση του λόγου, για περαιτέρω αύξηση του ποσοστού πυριτικής παιπάλης σε 14.00%κ.β.

#### 2.4.4 Χαμηλά υποστυλώματα

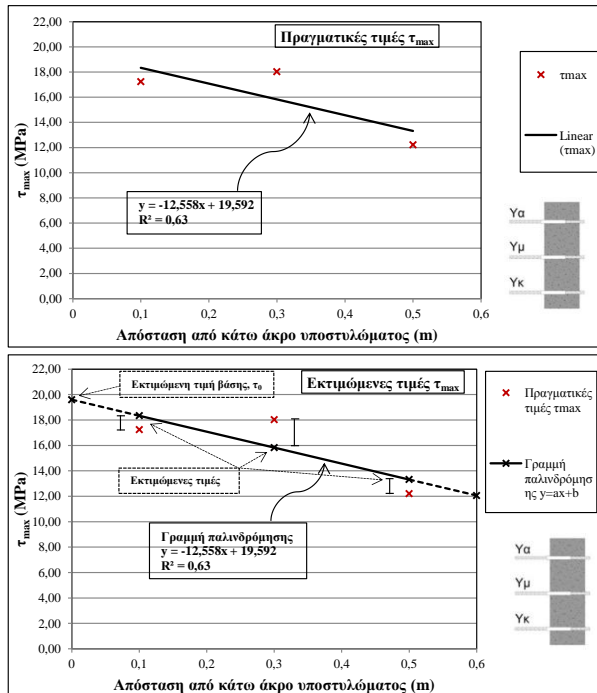
Στο Διάγραμμα 2.7, και στα αντίστοιχα διαγράμματα για όλες τις υπόλοιπες συνθέσεις που αφορούν χαμηλά υποστυλώματα (υπενθυμίζεται: κατασκευάστηκαν 8 χαμηλά υποστυλώματα, ένα για κάθε σύνθεση, Παράρτημα Α), φαίνεται η συσχέτιση της τάσης συνάφειας με το υποκείμενο πάχος σκυροδέματος. Για λόγους σύγκρισης των τιμών συνάφειας μεταξύ των συνθέσεων ακολούθησε επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (καμπύλες  $\tau$ -s, για κάθε σύνθεση) με την παρακάτω μεθοδολογία, η οποία παρουσιάζεται και στο Διάγραμμα 2.16.

Με βάση τις πραγματικές τιμές  $\tau_{col-i,real}$  (i=low, mid, upr) των τάσεων των τριών ράβδων οπλισμού του χαμηλού υποστυλώματος, οι οποίες καταγράφηκαν κατά την εξόλκευση του δοκιμίου, υπολογίζονται με γραμμική παλινδρόμηση οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές τάσεων  $\tau_{col-i,est}$  (i=low, mid, upr), όπως και η εκτιμώμενη τιμή της τάσης

συνάφειας της βάσης του χαμηλού υποστυλώματος, η οποία συμβολίζεται ως  $\tau_0$ . Η  $\tau_0$  υπολογίζεται ως το σημείο τομής της προέκτασης της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων με την ευθεία  $h=0$ .

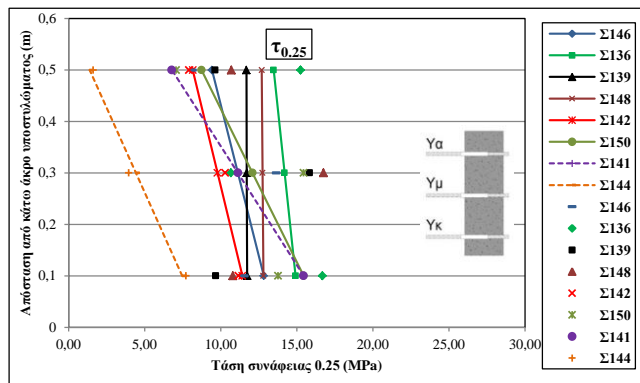
$$\left. \begin{aligned} y &= a x + b, \\ b &= \tau_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{aligned} \tau_{\text{col-low,est}} &= a \cdot 0.1 + \tau_0 \\ \tau_{\text{col-mid,est}} &= a \cdot 0.3 + \tau_0 \\ \tau_{\text{col-upp,est}} &= a \cdot 0.5 + \tau_0 \end{aligned} \right\}$$

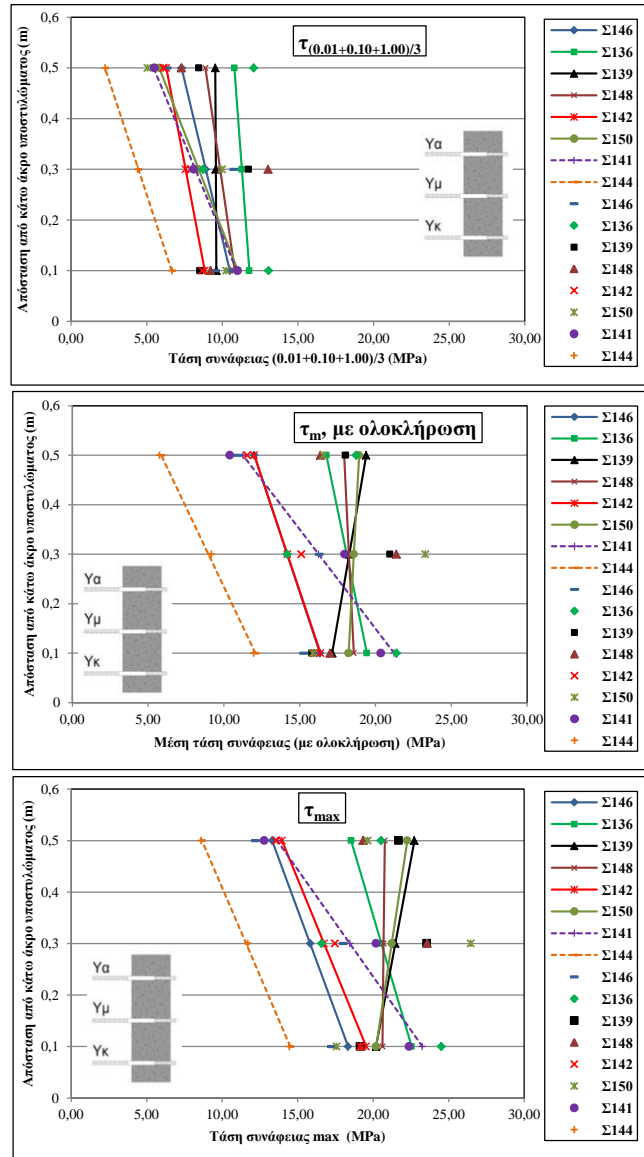
Όπου **0.1, 0.2, 0.3** είναι οι τιμές  $h$  του ύψους της κάθε ράβδου στο υποστύλωμα.



**Διάγραμμα 2.16** (Ανω) Πραγματικές τιμές της μέγιστης τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο υποστυλώματος, για την Σ146 (ΑΣΣ), και (Κάτω) Προσαρμογή των πραγματικών τιμών (ίδιας σύνθεσης) στην ευθεία ελαχίστων τετραγώνων και εύρεση θεωρητικής τιμής τάσης συνάφειας βάσης,  $\tau_0$ .

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις ( $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_m$  με ολοκλήρωση,  $\tau_{\text{max}}$ ), για όλες τις συνθέσεις, και έτσι προέκυψαν τα διαγράμματα τάσεων συνάφειας 'εκτιμώμενων' συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος (**Διάγραμμα 2.17**).



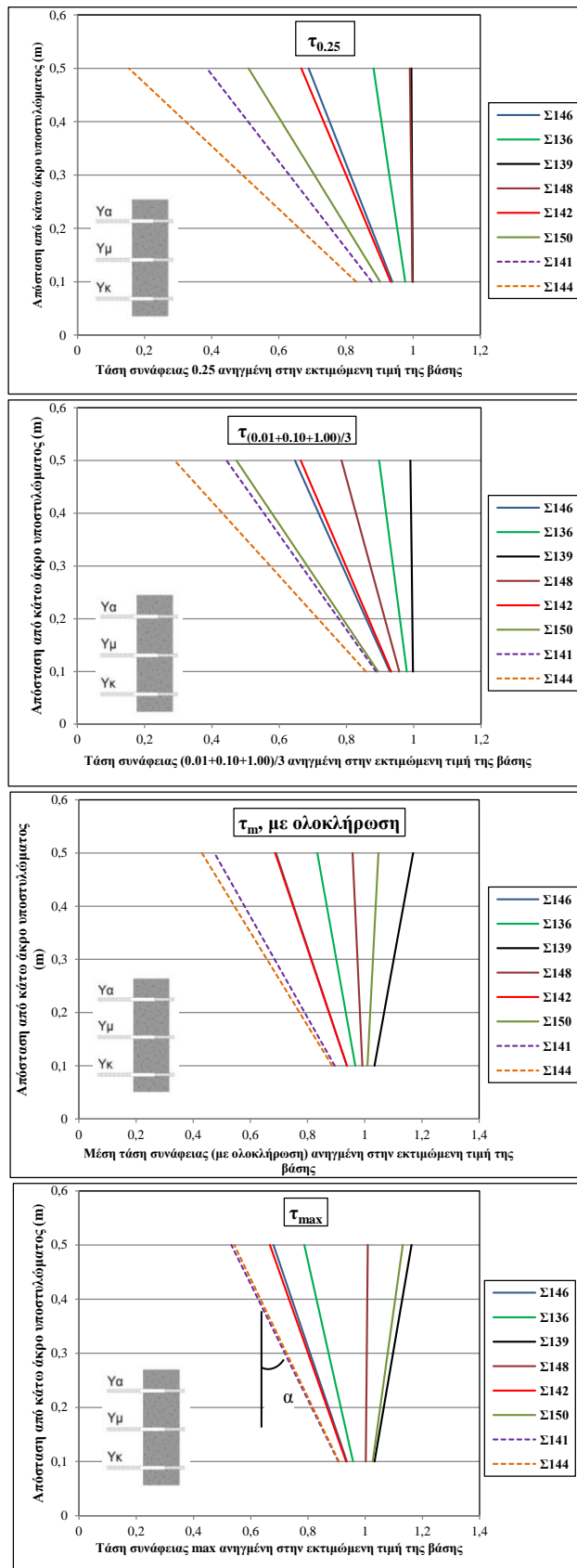


Διάγραμμα 2.17 Τιμές των τεσσάρων αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστλώματος.

Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορεί να εκτιμηθεί η ένταση του προβλήματος των άνω οπλισμών και η συμπεριφορά της κάθε σύνθεσης ξεχωριστά, όμως μεταξύ τους δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες, καθώς διαφοροποιούνται ως προς την τιμή της τάσης συνάφειας στη βάση του υποστλώματος  $\tau_0$ , η οποία αποτελεί τον συντελεστή  $b$  της εξίσωσης ελαχίστων τετραγώνων (μορφής  $y=a x+b$ ). Για να μετατραπούν σε δεδομένα συγκρίσιμα μεταξύ τους ως προς το πρόβλημα των άνω οπλισμών, πραγματοποιήθηκε αναγωγή τους στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης του υποστλώματος  $\tau_0$ , δηλαδή:

$$\tau = a h + \tau_0 \implies (\tau/\tau_0) = (a/\tau_0) \cdot h + 1$$

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας κατόπιν της αναγωγής στην  $\tau_0$ , δηλαδή οι γραμμές  $(\tau/\tau_0)-h$  για όλες τις συνθέσεις (ΑΣΣ και ΣΣ) (Διάγραμμα 2.18). Δεδομένης της αναγωγής, όλες οι τιμές των τάσεων συνάφειας πλέον ξεκινούν από την τιμή 1 στον άξονα των τάσεων (καθώς για  $h=0 \implies (\tau/\tau_0)=1$ ).



**Διάγραμμα 2.18** Τιμές των τεσσάρων αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας ανηγμένων στην εκτιμώμενη τιμή τάσης της βάσης  $\tau_0$ , συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο του υποστυλώματος, για όλες τις συνθέσεις. Φαίνεται ακόμη ο μειωτικός συντελεστής για τη συνάφεια  $\alpha$ .

Παρατίθενται επίσης οι αντίστοιχοι πίνακες των τιμών τάσεων συνάφειας (απολύτων

και ανηγμένων στην θλιπτική αντοχή, για τις 3 ράβδους των υποστλωμάτων ( $\tau_{col-low,real}$ ,  $\tau_{col-mid,real}$ ,  $\tau_{col-upp,real}$ ) και για τη μέση τιμή των κυβικών δοκιμίων (**Km**), για όλες τις συνθέσεις.

**Πίνακας 2.16 Τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων (Km), για όλες τις συνθέσεις.**

		ΑΣΣ						ΣΣ	
		Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{max}$	<b>Km</b>	20,05	21,09	19,89	20,27	21,00	25,52	18,78	13,46
	<b>col- low</b>	17,23	24,52	19,15	19,17	19,17	17,58	22,38	14,45
	<b>col- mid</b>	18,03	16,59	23,55	23,57	17,46	26,46	20,19	11,69
	<b>col- upp</b>	12,21	20,52	21,68	19,32	13,60	19,65	12,78	8,60
$\tau_m$	<b>Km</b>	17,69	18,46	16,66	17,42	18,60	21,66	16,31	11,45
	<b>col- low</b>	15,27	21,39	15,80	17,00	15,92	15,87	20,36	11,98
	<b>col- mid</b>	16,29	14,19	20,95	21,37	15,11	23,28	17,96	9,18
	<b>col- upp</b>	10,94	18,71	18,04	16,37	11,54	16,57	10,40	5,76
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	<b>Km</b>	11,21	11,41	10,26	10,19	10,30	12,23	8,46	5,52
	<b>col- low</b>	10,50	11,78	9,61	10,82	8,84	11,04	10,95	6,65
	<b>col- mid</b>	8,90	11,29	9,57	9,85	7,57	8,44	8,21	4,45
	<b>col- upp</b>	7,31	10,80	9,53	8,88	6,30	5,84	5,46	2,24
$\tau_{0,25}$	<b>Km</b>	13,90	13,40	11,93	12,10	13,91	14,71	11,29	6,73
	<b>col- low</b>	11,56	16,69	9,67	10,79	11,17	13,78	15,44	7,71
	<b>col- mid</b>	13,65	10,67	15,84	16,76	10,30	15,44	11,14	3,95
	<b>col- upp</b>	8,16	15,24	9,62	10,69	7,91	7,06	6,79	1,62
<b>fcc</b>		52,9	54,3	58,4	64,4	59,1	67,0	49,9	47,8

**Πίνακας 2.17 Ανηγμένες τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων (Km), για όλες τις συνθέσεις.**

		ΑΣΣ						ΣΣ	
		Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{max}$	<b>Km</b>	0,38	0,39	0,34	0,31	0,36	0,38	0,38	0,28
	<b>col- low</b>	0,33	0,45	0,33	0,30	0,32	0,26	0,45	0,30
	<b>col- mid</b>	0,34	0,31	0,40	0,30	0,30	0,39	0,40	0,24
	<b>col- upp</b>	0,23	0,38	0,37	0,37	0,23	0,29	0,26	0,18
$\tau_m$	<b>Km</b>	0,33	0,34	0,29	0,27	0,31	0,32	0,33	0,24
	<b>col- low</b>	0,29	0,39	0,27	0,26	0,27	0,24	0,41	0,25
	<b>col- mid</b>	0,31	0,26	0,36	0,33	0,26	0,35	0,36	0,19
	<b>col- upp</b>	0,21	0,34	0,31	0,25	0,20	0,25	0,21	0,12
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	<b>Km</b>	0,21	0,21	0,18	0,16	0,17	0,18	0,17	0,12
	<b>col- low</b>	0,18	0,24	0,15	0,14	0,15	0,15	0,22	0,14
	<b>col- mid</b>	0,20	0,16	0,20	0,20	0,13	0,15	0,16	0,09
	<b>col- upp</b>	0,12	0,22	0,14	0,11	0,10	0,08	0,11	0,05
$\tau_{0,25}$	<b>Km</b>	0,26	0,25	0,20	0,19	0,24	0,22	0,23	0,14
	<b>col- low</b>	0,22	0,31	0,17	0,17	0,19	0,21	0,31	0,16
	<b>col- mid</b>	0,26	0,20	0,27	0,26	0,17	0,23	0,22	0,08
	<b>col- upp</b>	0,15	0,28	0,16	0,17	0,13	0,11	0,14	0,03

**Πίνακας 2.18 Εκτιμώμενες τιμές (από την ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων) τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) κάτω, μεσαίας, και άνω ράβδου υποστυλώματος και μέση τιμή τάσεων 3 κυβικών δοκιμίων (Km), για όλες τις συνθέσεις.**

		ΑΣΣ						ΣΣ	
		Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{max}$	Km	20,05	21,09	19,89	20,27	21,00	25,52	18,78	13,46
	col- low	18,34	22,54	20,19	20,62	19,53	20,20	23,25	14,50
	col- mid	15,82	20,54	21,46	20,69	16,74	21,23	18,45	11,58
	col- upp	13,31	18,54	22,73	20,76	13,96	22,26	13,65	8,66
$\tau_m$	Km	17,69	18,46	16,66	17,42	18,60	21,66	16,31	11,45
	col- low	16,33	19,43	17,14	18,56	16,38	18,23	21,23	12,08
	col- mid	14,17	18,10	18,26	18,25	14,19	18,58	16,24	8,97
	col- upp	12,00	16,76	19,39	17,93	12,00	18,92	11,26	5,86
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	Km	11,21	11,41	10,26	10,19	10,30	12,23	8,46	5,52
	col- low	10,50	11,78	9,61	10,82	8,84	11,04	10,95	6,65
	col- mid	8,90	11,29	9,57	9,85	7,57	8,44	8,21	4,45
	col- upp	7,31	10,80	9,53	8,88	6,30	5,84	5,46	2,24
$\tau_{0,25}$	Km	13,90	13,40	11,93	12,10	13,91	14,71	11,29	6,73
	col- low	12,83	14,92	11,74	12,80	11,42	15,45	15,45	7,47
	col- mid	11,12	14,20	11,71	12,75	9,79	12,09	11,12	4,43
	col- upp	9,42	13,48	11,69	12,70	8,16	8,74	6,80	1,38

Το πρόβλημα των άνω οπλισμών παρατηρείται εντονότερο στα ΣΣ μίγματα (Σ141, Σ144), και για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, ενώ συγκριτικά μεταξύ τους, εντονότερο παρουσιάζεται στην Σ144, συμπέρασμα που προκύπτει από τα Διαγράμματα 2.17, 2.18 και από τον Πίνακα 2.17.

Ακόμη, από τα ίδια διαγράμματα (και αντίστοιχο πίνακα) φαίνεται ότι οι μικρότερες τιμές της τάσης συνάφειας εμφανίστηκαν στην Σ144 (ΣΣ), σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τάσεις, ενώ οι μεγαλύτερες, για τις μεν  $\tau_{col-low,est}$  εμφανίστηκαν στις Σ144 (ΣΣ) και Σ136 (ΑΣΣ), για τις δε  $\tau_{col-upp,est}$  εμφανίστηκαν στις Σ139 (ΑΣΣ) και Σ150 (ΑΣΣ). Για τις Σ139 (ΑΣΣ) και Σ150 (ΑΣΣ) η τιμή της τάσης συνάφειας της άνω ράβδου είναι μεγαλύτερη από την τιμή της κάτω ράβδου, δηλαδή δεν εμφανίζεται πρόβλημα άνω οπλισμών καθώς η τάση συνάφειας αυξάνεται καθ' ύψος του δοκιμίου χαμηλού υποστυλώματος. Σημειώνεται ότι η Σ150 (ΑΣΣ) είχε το μεγαλύτερο ποσοστό αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη sf%, ίσο με 14.00%. Τα υπόλοιπα μίγματα, (ΑΣΣ) Σ146, Σ136, Σ148, Σ142, κυμάνθηκαν σε ενδιάμεσες τιμές τάσεων συνάφειας και παρουσιάζουν πρόβλημα των άνω οπλισμών, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.18.

Η μείωση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος του χαμηλού υποστυλώματος αξιολογείται με τον λόγο άνω προς κάτω ράβδου οπλισμού, όπως συνηθίζεται από μελετητές διεθνώς (Castel et al 2006, Soylev T. και Francois R. 2006). Όσο ο λόγος  $\tau_{\acute{\alpha}\nu\omega}/\tau_{\acute{\kappa}\acute{\alpha}\tau\omega}$  (εκτιμώμενες τιμές) πλησιάζει την τιμή 1 τόσο μικρότερη είναι η ένταση του προβλήματος άνω οπλισμών, ενώ όσο ο λόγος απέχει από την τιμή 1 τόσο μεγαλύτερη η ένταση του φαινομένου (το πρόβλημα των άνω οπλισμών περιγράφηκε στην §1.2.2). Απαιτείται προσοχή στην εξαγωγή συμπερασμάτων που στηρίζονται μονάχα σ' αυτό το λόγο, καθώς δεν συμπεριλαμβάνει καθόλου το ύψος του δοκιμίου, συνεπώς για να εξαχθούν ορθά συμπεράσματα ως προς την μείωση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος, και το πρόβλημα των άνω οπλισμών συγκεκριμένα, κρίνεται σκόπιμο ταυτόχρονα να εξεταστεί ο **μειωτικός συντελεστής για τη συνάφεια α**

(Trezos et al 2010, §1.3.1).

Ο μειωτικός συντελεστής για τη συνάφεια  $\alpha$  είναι η κλίση της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων στα διαγράμματα των τάσεων συνάφειας ανηγμένων στην εκτιμώμενη τιμή της βάσης του υποστρώματος, συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο υποστρώματος. Μεγαλύτερος **μειωτικός συντελεστής  $\alpha$**  (κατ' απόλυτη τιμή) υποδηλώνει μεγαλύτερη μείωση της τάσης συνάφειας, εξαιτίας του προβλήματος των άνω οπλισμών. Ουσιαστικά εκφράζει μια ποσοστιαία μεταβολή της τάσης συνάφειας ανά μέτρο ύψους από το κάτω άκρο του υποστρώματος, και σε συνδυασμό με τον λόγο  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές) αποτιμά την ένταση του προβλήματος άνω οπλισμών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε πίνακα (**Πίνακας 2.19**) οι τιμές του λόγου  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές) και του **μειωτικού συντελεστή για τη συνάφεια  $\alpha$** , για όλες τις συνθέσεις.

**Πίνακας 2.19** Λόγοι 4 αντιπροσωπευτικών τάσεων συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{\max}$ ) άνω/κάτω ράβδων χαμηλού υποστρώματος (εκτιμώμενες τιμές) και μειωτικοί συντελεστές  $\alpha$ , για όλες τις συνθέσεις.

	$\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$ (εκτιμώμενες τιμές)							
	ΑΣΣ						ΣΣ	
	Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{0.25}$	0,73	0,90	1,00	0,99	0,71	0,57	0,44	0,18
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,70	0,92	0,99	0,82	0,71	0,53	0,50	0,34
$\tau_m$	0,74	0,86	1,13	0,97	0,73	1,04	0,53	0,49
$\tau_{\max}$	0,73	0,82	1,13	1,01	0,71	1,10	0,59	0,60
	Μειωτικός συντελεστής $\alpha$ (βλέπε Διάγραμμα 2.18)							
$\tau_{0.25}$	-0,62	-0,24	-0,01	-0,02	-0,67	-0,98	-1,23	-1,69
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	-0,71	-0,20	-0,02	-0,43	-0,67	-1,05	-1,11	-1,42
$\tau_m$	-0,62	-0,33	0,34	-0,09	-0,63	0,10	-1,05	-1,14
$\tau_{\max}$	-0,64	-0,43	0,32	0,02	-0,67	0,26	-0,94	-0,92

Στις ‘μεγαλύτερες’ αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ( $\tau_m$ ,  $\tau_{\max}$ ) το πρόβλημα των άνω οπλισμών παρουσιάζεται εντονότερο στις **Σ141** και **Σ144 (ΣΣ)**, με τιμές της τάξης του ~0.50 για τις  $\tau_m$  και ~0.60 για τις  $\tau_{\max}$ , ενώ στα **ΑΣΣ** μίγματα οι τιμές κυμαίνονται από ~0.70 έως ~0.80. Εξαιρέση αποτελούν οι **Σ139**, **Σ148**, **Σ150 (ΑΣΣ)** όπου οι τιμές κυμαίνονται από 1.01 έως 1.13, δηλαδή όχι μόνο δεν εμφανίζεται πρόβλημα άνω οπλισμών, αλλά καταγράφηκε και αύξηση της τάσης συνάφειας καθ' ύψος.

Στις ‘μικρότερες’ αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ) παρατηρείται παρόμοιας τάξης εύρος τιμών του λόγου  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές), συγκριτικά με τις ‘μεγαλύτερες’ τάσεις ( $\tau_m$ ,  $\tau_{\max}$ ), με εξαίρεση τις **Σ150 (ΑΣΣ)**, **Σ141 (ΣΣ)**, **Σ144(ΣΣ)**. Συγκεκριμένα στην **Σ150 (ΑΣΣ)**, όπου η τιμή είναι 0.53 στην  $\tau_{0.25}$  και 0.57 στην  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  (ενώ στην  $\tau_{\max}$  γίνεται ίση με 1.10), η μεταβολή της τάσης συνάφειας της άνω ράβδου σε σχέση με της κάτω ράβδου φαίνεται στο ‘πρωτογενές’ διάγραμμα τάσεων συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει απόστασης από το κάτω άκρο (**Διάγραμμα 22, Παράρτημα Α**). Λεπτομερέστερα, η εξέλιξη των τιμών  $\tau_{\text{άνω}}$  και  $\tau_{\text{κάτω}}$  όπως αυτές καταγράφηκαν κατά την δοκιμή εξόλκευσης, φαίνεται στο ‘πρωτογενές’ **Διάγραμμα 6 (Παράρτημα Α)**, όπου και επιβεβαιώνεται αυτή η αλλαγή τιμής του λόγου  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές), καθώς για τιμές ολίσθησης μικρότερες από ~0.65mm η τιμή τάσης της  $\tau_{\text{άνω}}$  είναι μικρότερη από της  $\tau_{\text{κάτω}}$ , για τιμή ολίσθησης ~0.65mm γίνονται ίσες, και έπειτα για μεγαλύτερες τιμές ολίσθησης καταγράφεται μεγαλύτερη η  $\tau_{\text{άνω}}$ , δηλαδή επαληθεύει την τελική τιμή του λόγου, η οποία είναι 1.10 για την  $\tau_{\max}$ . Επίσης, η ίδια διαδικασία αναζήτησης στα πρωτογενή διαγράμματα, όπως προέκυψαν κατά την εξόλκευση των δοκιμών χαμηλού υποστρώματος, επαληθεύει τις διαφοροποιήσεις του λόγου  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές)

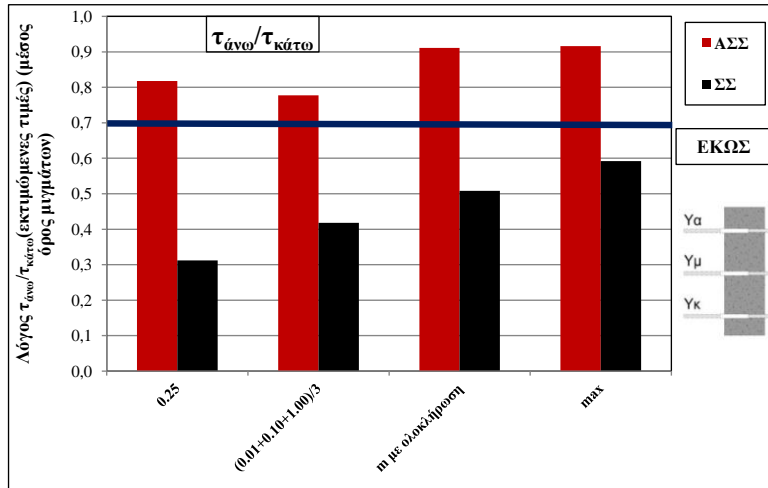


στις ‘μικρές’ ( $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ) και στις ‘μεγάλες’ ( $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ ) τάσεις των υπόλοιπων εξαιρέσεων. Για παράδειγμα στην **Σ144 (ΣΣ)** ο χαμηλός λόγος, στις  $\tau_{0.25}$  και  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ , ίσος με 0.18 και 0.34 αντίστοιχα που τελικά γίνεται 0.49 και 0.60, στις  $\tau_m$  και  $\tau_{max}$  αντίστοιχα, επαληθεύεται από το **Διάγραμμα 8 (Παράρτημα Α)** σε συνδυασμό με το **Διάγραμμα 24 (Παράρτημα Α)**. Για τις δύο **ΣΣ** συνθέσεις, ο μειωμένος λόγος  $\tau_{\acute{a}\nu\omega}/\tau_{\acute{a}\tau\omega}$  (εκτιμώμενες τιμές) (έντονο πρόβλημα άνω οπλισμών) δεν μπορεί να αποδοθεί σε πιθανή ελλιπή συμπίκνωση των δοκιμίων, δεδομένου ότι οι τιμές των τάσεων της κάτω ράβδου σε σχέση με την **Km** των κυβικών δοκιμίων εμφανίστηκαν αυξημένες (δηλαδή ευνοϊκή επιρροή υπερκείμενου σκυροδέματος και πιθανώς καλή συμπίκνωση, βλέπε παρακάτω, **Διάγραμμα 2.19**).

Ως προς τον **μειωτικό συντελεστή για τη συνάφεια α** παρατηρείται πλήρης συσχέτισή του και συμφωνία συγκριτικά με τους λόγους  $\tau_{\acute{a}\nu\omega}/\tau_{\acute{a}\tau\omega}$  (εκτιμώμενες τιμές), αναμενόμενη δεδομένου ότι στους λόγους τάσεων χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμώμενες τιμές τάσεων των ράβδων και όχι οι πραγματικές. Αν είχαν χρησιμοποιηθεί οι λόγοι πραγματικών τιμών των τάσεων ο μειωτικός συντελεστής α ενδεχομένως να παρουσίαζε μικρές διαφοροποιήσεις (μικρές, καθώς και οι διορθώσεις ήταν μικρές, γενικά ο συντελεστής προσαρμογής **R<sup>2</sup>** παρουσίασε υψηλές τιμές) και να θεωρούνταν περισσότερο ακριβής από τον λόγο τάσεων, στην περιγραφή του ζητήματος της μεταβολής της τάσης συνάφειας καθ’ ύψος του δοκιμίου χαμηλού υποστρώματος. **Θετικές** τιμές του συντελεστή α παρατηρούνται στα σημεία του **Πίνακα 2.19** όπου οι αντίστοιχες τιμές του λόγου τάσεων συνάφειας ξεπερνούν το **1**, εφόσον σε αυτές τις περιπτώσεις η κλίση των γραμμών  $\tau_{col-est,i}/\tau_0-h$  (δηλαδή των εκτιμώμενων  $\tau_{col-i}$  ανηγμένων στην εκτιμώμενη τιμή τάσης συνάφειας της βάσης του υποστρώματος  $\tau_0$ , συναρτήσει του ύψους του χαμηλού υποστρώματος) είναι **θετική** (τονίζονται με γκρι φόντο).

Η συνολική εικόνα του προβλήματος των άνω οπλισμών της παρούσης διπλωματικής εργασίας συμφωνεί με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας του **Πάσιου Χ.** (2011), ως προς το εύρος τιμών του λόγου  $\tau_{\acute{a}\nu\omega}/\tau_{\acute{a}\tau\omega}$ , αλλά και ως προς τα μη αναμενόμενα αποτελέσματα, όπου συγκεκριμένα και σε εκείνη την εργασία σε **2** συνθέσεις δεν εμφανίστηκε πρόβλημα των άνω οπλισμών, ενώ οι **ΣΣ** συνθέσεις παρουσίασαν αρκετά έντονο το πρόβλημα. Υπενθυμίζεται ότι τα δοκίμια χαμηλού υποστρώματος κατασκευάστηκαν με ίδιες διαστάσεις (200mmx200mmx600mm) με τα αντίστοιχα του **Πάσιου Χ.** (2011), καθώς η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ουσιαστικά συνέχεια του πειραματικού μέρους της διπλωματικής εργασίας εκείνου. Επιπλέον, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των **Castel et al** (2006) τα εύρη τιμών των λόγων  $\tau_{\acute{a}\nu\omega}/\tau_{\acute{a}\tau\omega}$  είναι παρόμοια, της τάξης του ~0.65 έως ~0.80, με τα δοκίμιά τους, βέβαια, κατασκευασμένα με μεγαλύτερο ύψος (1100mm, αντί 600mm της παρούσης εργασίας) και οπλισμένα με Ø12 (αντί Ø16) (όπως περιγράφηκε στην §1.3.1).

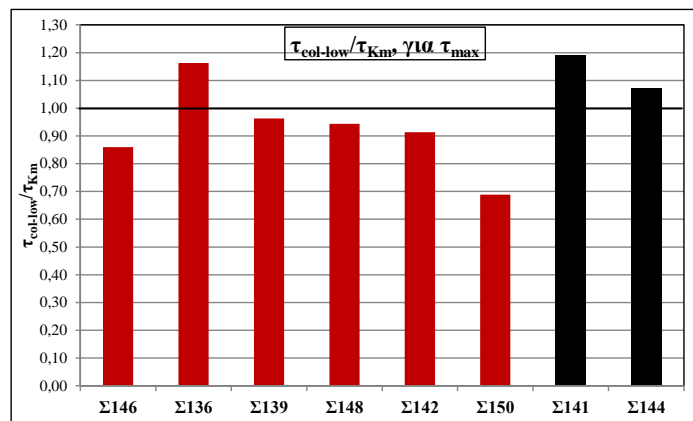
Συγκριτικά για τα **ΑΣΣ** και **ΣΣ** μίγματα (**Διάγραμμα 2.19**), το πρόβλημα των άνω οπλισμών εμφανίζεται πολύ εντονότερο στα **ΣΣ** χαμηλά υποστρώματα, και στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του **Πάσιου Χ.** (2011), όπου τα **ΣΣ** χαμηλά υποστρώματα παρουσίασαν καλύτερη συμπεριφορά στην μέγιστη τάση συνάφειας  $\tau_{max}$ . Ο **ΕΚΩΣ** προβλέπει για τις άνω ράβδους, οι οποίες ανήκουν στην περιοχή κακής συνάφειας (II), να λαμβάνεται μειωμένη η τιμή της τάσης συνάφειας, ως το **70%** της αντίστοιχης τιμής της κάτω ράβδου, που ανήκει σε περιοχή καλής συνάφειας (I). Σύμφωνα με το **Διάγραμμα 2.19** η τιμή **70%** κρίνεται ελαφρώς συντηρητική και για τα **ΑΣΣ** μίγματα ειδικά στις ‘υψηλές τάσεις’,  $\tau_m$  και  $\tau_{max}$ , ενώ κατά της ασφαλείας για τα **ΣΣ** μίγματα.



Διάγραμμα 2.19 Λόγος  $\tau_{\alpha\nu\omega}/\tau_{\kappa\acute{\alpha}\tau\omega}$  (εκτιμώμενες τιμές) για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, συγκριτικά για ΑΣΣ και ΣΣ μίγματα (μέσος όρος μιγμάτων).

### Επιρροή υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος

Στα κυβικά δοκίμια το υπερκείμενο πάχος σκυροδέματος είναι 100mm και το υποκείμενο επίσης 100mm, ενώ στα χαμηλά υποστρώματα το υπερκείμενο πάχος σκυροδέματος είναι 500mm και το υποκείμενο 100mm. Και στα δύο είδη δοκιμών οι διαστάσεις της βάσης είναι 200mmx200mm. Για να μελετηθεί η επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος υπολογίστηκε ο λόγος της τάσης συνάφειας της κάτω ράβδου του χαμηλού υποστρώματος με την τάση συνάφειας του αντίστοιχου κυβικού δοκιμίου ( $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$ ), και παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα και πίνακα (Διάγραμμα 2.20, Πίνακας 2.20).



Διάγραμμα 2.20 Λόγοι  $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$ , επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στην τάση συνάφειας της κάτω ράβδου του χαμηλού υποστρώματος, για όλες τις συνθέσεις (πραγματική τιμή των  $\tau_{col-low}$ ).

Μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζει η Σ141 (ΣΣ), ίση με 1.19, και η Σ136 (ΑΣΣ), ίση με 1.16, ενώ την μικρότερη όλων η Σ150 (ΑΣΣ), ίση με 0.69. Θεωρητικά η αύξηση του υπερκείμενου σκυροδέματος επιδρά ευνοϊκά στην συμπύκνωση και αναμένεται να αυξάνει την τάση συνάφειας, πράγμα που επιβεβαιώνεται και στα αποτελέσματα του Πάσιου Χ. (2011). Κάτι τέτοιο δεν επιβεβαιώνεται από τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, όπου μόνο 3 από τις 8 συνθέσεις (Σ136 (ΑΣΣ), Σ141 (ΣΣ), Σ144 (ΣΣ)) παρουσιάζουν τιμή του λόγου  $\tau_{col-low}/\tau_{K_m}$  μεγαλύτερη από 1. Ακόμη, παρατηρείται υπεροχή των ΣΣ μιγμάτων έναντι των ΑΣΣ, η οποία ενδεχομένως οφείλεται στην συμπυκνωτική επίδραση του υπερκείμενου πάχους

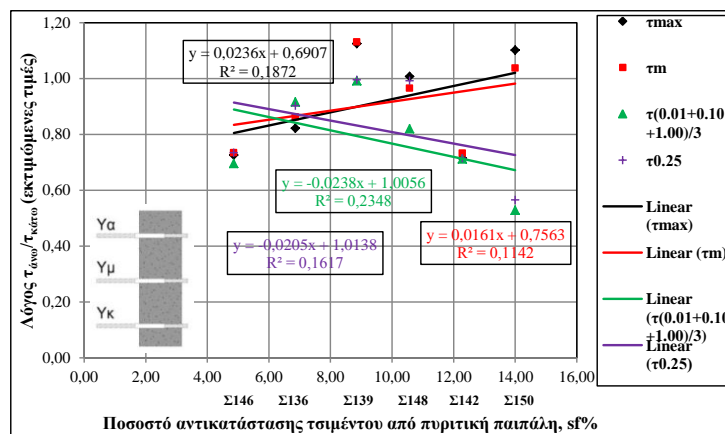
σκυροδέματος. Επίσης, οι συνθέσεις είναι παρουσιασμένες κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη  $sf\%$  (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β., αντίστοιχα για τις Σ146 έως Σ150), και φαίνεται πως με εξαίρεση την Σ136 (ΑΣΣ), αυξανόμενου του ποσοστού  $sf\%$  μειώνεται ο λόγος  $\tau_{col-low}/\tau_{Km}$ .

Πίνακας 2.20 Λόγοι  $\tau_{col-low}/\tau_{Km}$ , επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος στην τάση συνάφειας της κάτω ράβδου του χαμηλού υποστρώματος.

	ΑΣΣ						ΣΣ	
	Σ146	Σ136	Σ139	Σ148	Σ142	Σ150	Σ141	Σ144
$\tau_{0.25}$	0,83	1,25	0,81	0,89	0,80	0,94	1,37	1,14
$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	0,85	1,14	0,83	0,91	0,84	0,84	1,30	1,21
$\tau_m$	0,86	1,16	0,95	0,98	0,86	0,73	1,25	1,05
$\tau_{max}$	0,86	1,16	0,96	0,94	0,91	0,69	1,19	1,07

### Επιρροή ποσοστού πυριτικής παιπάλης $sf\%$

Όσον αφορά στην επιρροή της πυριτικής παιπάλης στην μεταβολή των τάσεων συνάφειας καθ' ύψος του χαμηλού υποστρώματος, κατασκευάστηκε διάγραμμα του λόγου  $\tau_{άνω}/\tau_{κάτω}$  (εκτιμώμενες τιμές) συναρτήσει των ποσοστών αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη  $sf\%$  (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β., αντίστοιχα για τις Σ146 έως Σ150 (ΑΣΣ)) (Διάγραμμα 2.21).

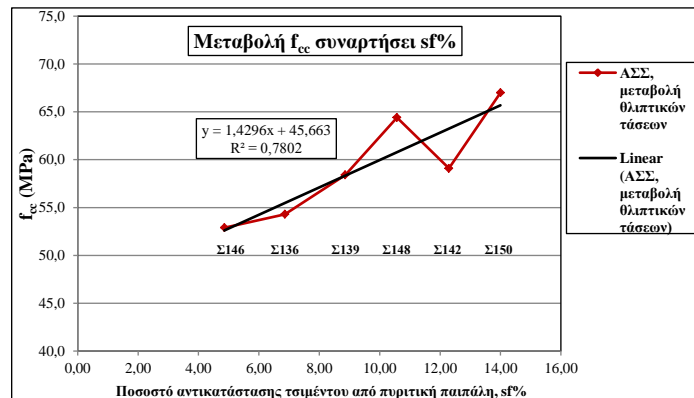


Διάγραμμα 2.21 Λόγοι τάσεων συνάφειας (εκτιμώμενων) άνω/κάτω ράβδου χαμηλού υποστρώματος συναρτήσει του ποσοστού αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη  $sf\%$  για όλα τα ΑΣΣ μίγματα, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις.

Αρχικά, παρατηρούμε ότι για τις τάσεις συνάφειας  $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ , αυξανόμενου του ποσοστού  $sf\%$  αυξάνεται και ο λόγος  $\tau_{άνω}/\tau_{κάτω}$  (εκτιμώμενες τιμές), δηλαδή μειώνεται η ένταση του προβλήματος των άνω σπλισμών. Αντίθετα, για τις τάσεις συνάφειας  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$  ο λόγος αυτός μειώνεται, δηλαδή το πρόβλημα των άνω σπλισμών παρουσιάζεται εντονότερο αυξανόμενου του ποσοστού  $sf\%$ . Ειδικότερα, για περίπου διπλασιασμό του ποσοστού  $sf\%$  (από τιμή ~5% σε ~10%) φαίνεται να αυξάνεται σημαντικά ο λόγος τάσεων ( $\tau_m$ ,  $\tau_{max}$ ) και παραμένει υψηλός για την τιμή 14%. Στην σύνθεση Σ142 (ΑΣΣ) ο λόγος μειώνεται σημαντικά και μάλιστα είναι ίσος και για τις 3 εξεταζόμενες τάσεις συνάφειας, δεδομένο που σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη υψηλή τιμή της Σ139 (ΑΣΣ) μειώνει τους συντελεστές προσαρμογής  $R^2$  και συνεπώς εν μέρει και την αξιοπιστία των παραπάνω συμπερασμάτων σχετικά με την επιρροή της πυριτικής παιπάλης στην μεταβολή των τάσεων συνάφειας καθ' ύψος. Εξετάζοντας μόνο τις συνθέσεις Σ146, Σ148, Σ150 (ΑΣΣ)

στις οποίες ο ρυθμός εξόλκευσης ήταν πιο χαμηλός από όλες τις υπόλοιπες, προσεγγίζοντας καλύτερα τον πρότυπο ρυθμό που ισούται με 0.5KN/sec, παρατηρούμε ότι η αύξηση είναι περισσότερο ομοιόμορφη. Ενδεχομένως ο αυξημένος ρυθμός εξόλκευσης στις υπόλοιπες συνθέσεις να αποτελεί λόγο αύξησης της διασποράς των τιμών των τάσεων συνάφειας.

Αναφορικά με την επιρροή της πυριτικής παιπάλης, όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 2.22**, αυξανόμενου του ποσοστού **sf%** αυξάνεται και η θλιπτική αντοχή **f<sub>cc</sub>** των ΑΣΣ μίγμάτων, με αρκετά υψηλό συντελεστή προσαρμογής **R<sup>2</sup>** για την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.

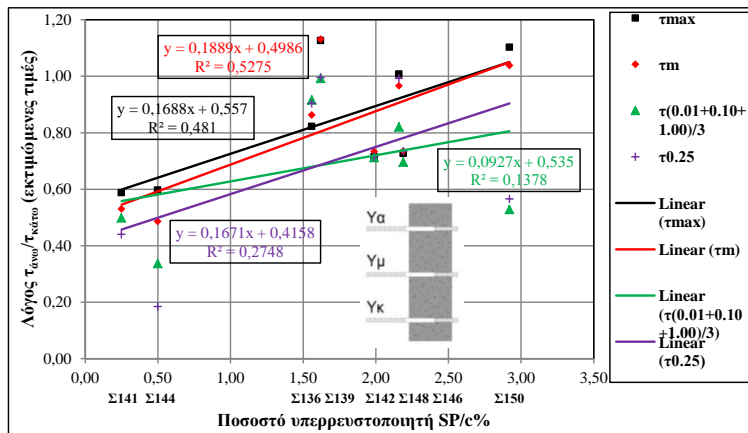


**Διάγραμμα 2.22** Επιρροή του ποσοστού πυριτικής παιπάλης **sf%** στην θλιπτική αντοχή **f<sub>cc</sub>**, για όλα τα ΑΣΣ μίγματα.

Συγκεντρωτικά, η αύξηση του ποσοστού πυριτικής παιπάλης **sf%**, στα ΑΣΣ μίγματα, δείχνει να μειώνει την ένταση του προβλήματος των άνω οπλισμών και να αυξάνει την θλιπτική αντοχή **f<sub>cc</sub>**, δηλαδή συνολικά επιδρά ευνοϊκά σε σημαντικά χαρακτηριστικά των μίγμάτων. Στο ίδιο συμπέρασμα, ως προς την επιρροή της πυριτικής παιπάλης, καταλήγει και ο **Στύλος Α.** (2011) στην διπλωματική του εργασία.

#### Επιρροή ποσοστού υπερρευστοποιητή **SP/c%**

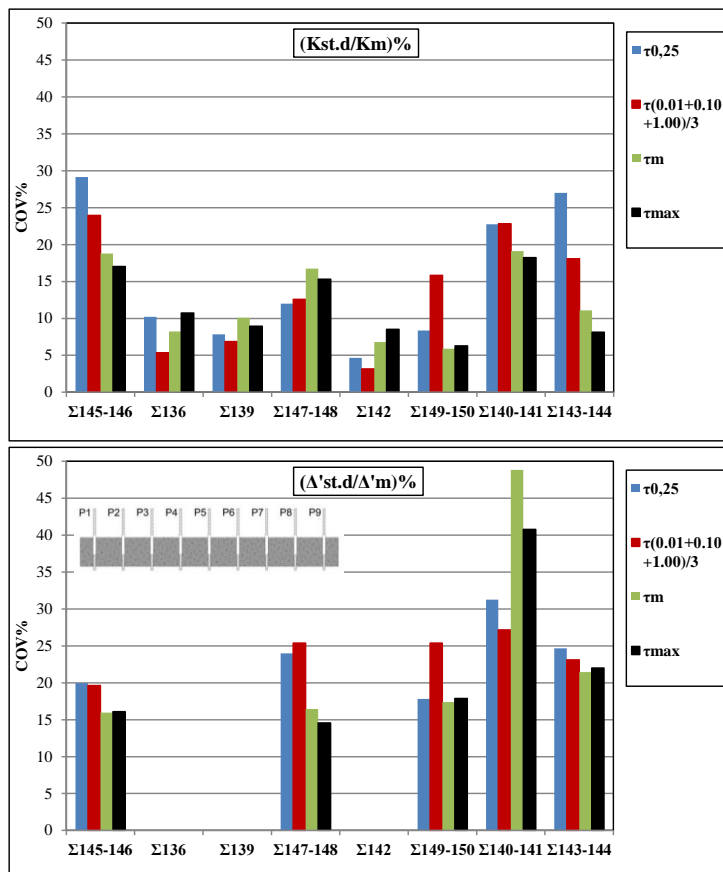
Ως προς την επιρροή της προσθήκης υπερρευστοποιητή **SP/c%**, φαίνεται, στο **Διάγραμμα 2.23**, πως αυξανόμενου του ποσοστού **SP/c%** αυξάνεται ο λόγος  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές), δηλαδή μειώνεται η ένταση του προβλήματος των άνω οπλισμών, και για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις ( $\tau_{0,25}$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{\text{max}}$ ), με μικρούς βέβαια συντελεστές προσαρμογής **R<sup>2</sup>** για την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Σημειώνεται πως η ταυτόχρονη ύπαρξη των παραμέτρων της προσθήκης του υπερρευστοποιητή και της αντικατάστασης ποσοστού τσιμέντου με πυριτική παιπάλη, δυσχεραίνει την εξαγωγή συμπερασμάτων, όπως και γενικότερα αναμένεται σε περιπτώσεις αλληλεπιδρώντων παραμέτρων.



Διάγραμμα 2.23 Επιρροή ποσοστού υπερρευστοποιητή SP/c% στους λόγους τάσεων συνάφειας (εκτιμώμενων) άνω/κάτω ράβδου χαμηλού υποστυλώματος, για όλες τις συνθέσεις ΣΣ και ΑΣΣ.

Συντελεστές μεταβλητότητας COV% -κυβικά δοκίμια και δοκίμια δοκού

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διάγραμμα και πίνακα (Διάγραμμα 2.24, Πίνακας 2.21) οι συντελεστές μεταβλητότητας COV% (τυπική απόκλιση/μέση τιμή) για τις τάσεις συνάφειας των ράβδων των δοκιμίων δοκού (μη μεταποτισμένες Δ'm), και ράβδων κυβικών δοκιμίων (Km), για όλες τις συνθέσεις, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις.



Διάγραμμα 2.24 (Άνω) Συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας κυβικών δοκιμίων, και (Κάτω) συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας.

Πίνακας 2.21 Συντελεστές μεταβλητότητας των τάσεων συνάφειας κυβικών δοκιμίων και δοκιμίων δοκού, για όλες τις συνθέσεις, στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας

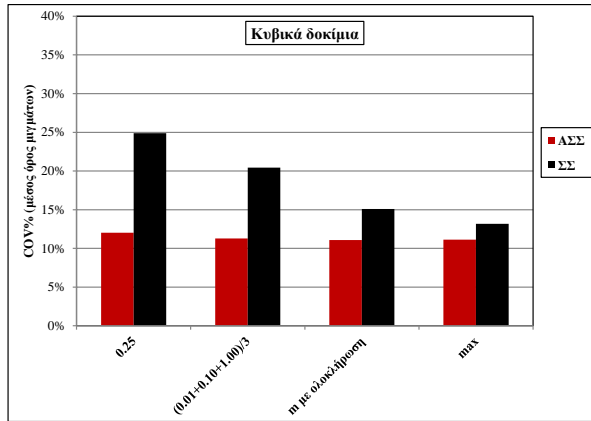
		ΑΣΣ						ΣΣ		Μέσος Όρος		Εύρος	
		Σ145 -146	Σ136	Σ139	Σ147 -148	Σ142	Σ149 -150	Σ140 -141	Σ143 -144				
		COV% Κυβικά δοκίμια								ΑΣΣ	ΣΣ	ΑΣΣ	ΣΣ
(Kst. d/K m)%	$\tau_{0.25}$	29	10	8	12	5	8	23	27	12	25	25	4
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	24	5	7	13	3	16	23	18	11	20	21	5
	$\tau_m$	19	8	10	17	7	6	19	11	11	15	13	8
	$\tau_{max}$	17	11	9	15	9	6	18	8	11	13	11	10
		COV% Δοκίμια Δοκού											
(Δ'st. d/Δ' m)%	$\tau_{0.25}$	20	-	-	24	-	18	31	25	21	28	6	7
	$\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$	20	-	-	25	-	25	27	23	23	25	6	4
	$\tau_m$	16	-	-	16	-	17	49	21	17	35	1	27
	$\tau_{max}$	16	-	-	15	-	18	41	22	16	31	3	19

Ο συντελεστής μεταβλητότητας αποτελεί χρηστικό εργαλείο για την αποτίμηση της ανομοιογένειας των καταμετρημένων τάσεων συνάφειας των ράβδων οπλισμού στα κατασκευασμένα κυβικά δοκίμια και δοκίμια δοκού. Όσο μικρότερες είναι οι τιμές του συντελεστή COV% τόσο μεγαλύτερη είναι η ομοιογένεια των καταμετρημένων τάσεων συνάφειας.

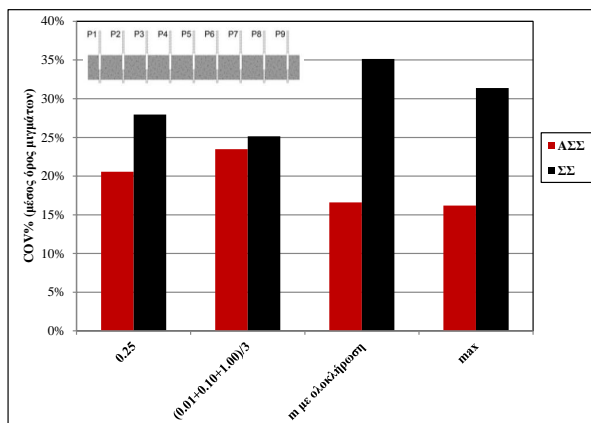
Στα κυβικά δοκίμια οι τιμές COV% κυμαίνονται από 6 μέχρι 29, για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}, \tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}, \tau_m, \tau_{max}$ ), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2.21, με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται, για τις  $\tau_{max}$ , στην Σ149-150 (ΑΣΣ), με τιμή 6, και έπειτα στις Σ144-144 (ΣΣ). Η μεγαλύτερη τιμή παρουσιάζεται στην Σ140-141 (ΣΣ), ίση με 18 και έπειτα στην Σ145-146 (ΑΣΣ), ίση με 17. Οι συντελεστές COV% παρατηρούνται αυξημένοι στις τάσεις συνάφειας  $\tau_{0.25}$  σε σχέση με τις  $\tau_{max}$ , με πιθανή εξήγηση την αρκετά διαφορετική εξέλιξη (αύξηση) των τάσεων συνάφειας στις χαμηλές τιμές ολίσθησης, όπως φαίνεται και στα πρωτογενή διαγράμματα τ-s.

Στα δοκίμια δοκού οι τιμές COV% κυμαίνονται από 15 μέχρι 49, για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας ( $\tau_{0.25}, \tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}, \tau_m, \tau_{max}$ ), με τις μικρότερες τιμές να εμφανίζονται, για τις  $\tau_{max}$ , στην Σ147-148 (ΑΣΣ), με τιμή 15, και έπειτα στην Σ145-146 (ΑΣΣ). Η μεγαλύτερη τιμή, με διαφορά, εμφανίστηκε στην Σ140-141 (ΣΣ), ίση με 41, και ακολουθεί η Σ143-144 (ΣΣ) με τιμή 22.

Συγκριτικά, μεταξύ των ΑΣΣ και ΣΣ μιγμάτων παρατηρείται (Διάγραμμα 2.25, 2.26) σημαντική διαφορά στις τιμές των συντελεστών μεταβλητότητας, ειδικά στην περίπτωση των δοκιμίων δοκού, όπου οι τιμές των ΣΣ μιγμάτων παρουσιάζονται σημαντικά αυξημένες. Η αυξημένη ανομοιογένεια των τάσεων συνάφειας των δοκιμίων δοκού ενδεχομένως οφείλεται σε ανομοιόμορφη δόνηση κατά μήκος της δοκού στα ΣΣ μίγματα, ενώ στα ΑΣΣ οι τιμές δεν διαφέρουν πολύ σε σχέση με τις τιμές των κυβικών δοκιμίων. Στα ΑΣΣ μίγματα, αύξηση της ανομοιογένειας, όπως παρατηρείται στην Σ149-150 (ΑΣΣ), πιθανώς οφείλεται σε μεταβολές της τοπικής ομοιογένειας του υλικού κατά την ελεύθερή του κίνηση από το ένα άκρο της δοκού στο άλλο, οι οποίες σχετίζονται με τα εκάστοτε ρεολογικά χαρακτηριστικά του μίγματος.



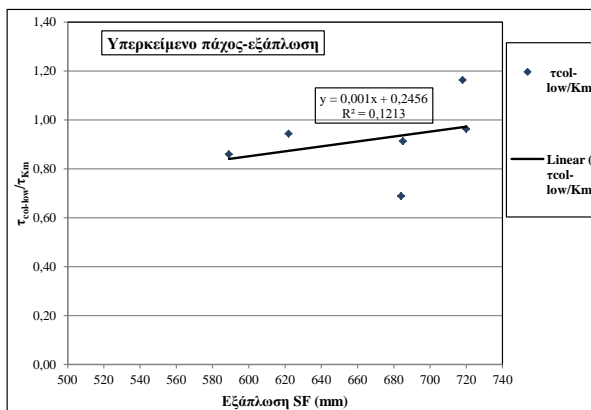
Διάγραμμα 2.25 Συντελεστές μεταβλητότητας COV% (μέσος όρος μιγμάτων), συγκριτικά για ΑΣΣ (n=6) και ΣΣ (n=2), στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, για κυβικά δοκίμια.



Διάγραμμα 2.26 Συντελεστές μεταβλητότητας COV% (μέσος όρος μιγμάτων), συγκριτικά για ΑΣΣ (n=6) και ΣΣ (n=6), στις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, για δοκίμια δοκού.

Συσχέτιση του προβλήματος άνω οπλισμών και της επιρροής του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος με την εξάπλωση SF (mm)

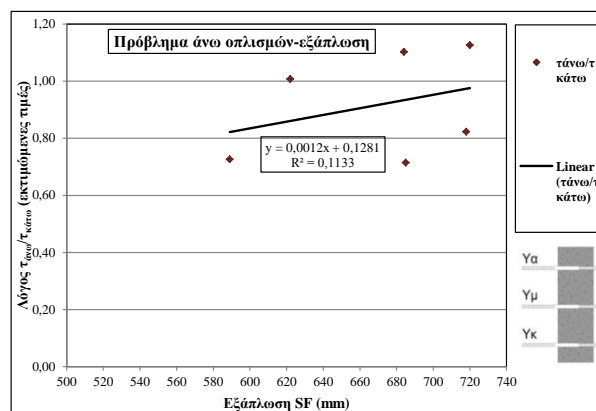
Τέλος, για την διερεύνηση της επιρροής των ρεολογικών χαρακτηριστικών των ΑΣΣ μιγμάτων, συγκεκριμένα της εξάπλωσης SF (mm), στις τάσεις συνάφειας των ράβδων των χαμηλών υποστρωμάτων, κατασκευάστηκαν τα Διαγράμματα 2.27, 2.28.



Διάγραμμα 2.27 Λόγος  $\tau_{col-low}/K_m$  συναρτήσει της εξάπλωσης SF (mm), για τα χαμηλά υποστρώματα των ΑΣΣ μιγμάτων.

Αυξανόμενη της εξάπλωσης SF (mm) υπάρχει τάση αύξησης του λόγου  $\tau_{col-low}/K_m$ ,

στα χαμηλά υποστυλώματα, δηλαδή η τάση συνάφειας των κάτω ράβδων αυξάνεται. Η διασπορά των τιμών βέβαια είναι μεγάλη, όπως υποδηλώνεται από την χαμηλή τιμή του συντελεστή προσαρμογής  $R^2$  για την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων. Η αμέσως ακόλουθη σκέψη είναι εάν αυτή η αύξηση της τάσης συνάφειας της κάτω ράβδου, δηλαδή η θετική επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος αυξανόμενης της εξάπλωσης, συνοδεύεται από μείωση των τάσεων συνάφειας των άνω ράβδων (συνίζηση, εξίδρωση, πρόβλημα άνω οπλισμών) αυξανόμενης της εξάπλωσης  $SF$  (mm). Η απάντηση δίνεται στο **Διάγραμμα 2.28**, όπου παρόλο την επίσης χαμηλή τιμή του συντελεστή προσαρμογής  $R^2$ , φαίνεται πως αυξανόμενης της εξάπλωσης  $SF$  (mm) υπάρχει τάση αύξησης του λόγου  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές), δηλαδή μείωση της έντασης του προβλήματος των άνω οπλισμών.



**Διάγραμμα 2.28** Λόγος  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (εκτιμώμενες τιμές) συναρτήσει της εξάπλωσης  $SF$  (mm) για τα χαμηλά υποστυλώματα των ΑΣΣ μιγμάτων.

Δηλαδή συγκεντρωτικά, στα μίγματα ΑΣΣ με μεγαλύτερη εξάπλωση παρατηρείται αυξημένη επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος, και ταυτόχρονα μείωση της έντασης του προβλήματος άνω οπλισμών. Τα αποτελέσματα αυτά ενθαρρύνουν τη χρήση ΑΣΣ με υψηλές τιμές εξάπλωσης  $SF$  (mm), ανάλογα πάντα με τις εκάστοτε απαιτήσεις, και αντικρούουν την αντίληψη που θέλει τα αυξημένα ρεολογικά χαρακτηριστικά ταυτόχρονα να συνεπάγονται μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ακολουθούν, συγκεντρωτικά, τα συμπεράσματα όπως έχουν προκύψει κατά την ανάλυση των πειραματικών δεδομένων στην §2.4:

- Αναφορικά με την **προσομοίωση σεισμού σε νωπό σκυρόδεμα**, συμπεραίνουμε πως συνολικά οι τιμές των τάσεων συνάφειας μειώνονται σημαντικά στις μετακινημένες ράβδους, με γενική εικόνα που μπορεί να συσχετιστεί με το αντίστοιχο Διάγραμμα πήξης του νωπού σκυροδέματος. Η μείωση είναι της τάξης του 60-80% ή και περισσότερο. Σημαντικότερη μείωση καταγράφηκε στις ράβδους που μετακινήθηκαν τελευταίες (P6, P8), ενώ η πρώτη που μετακινήθηκε (P2) έδειξε σε ορισμένες περιπτώσεις αυξημένες τάσεις συνάφειας. Ενδεχομένως δηλαδή μια πρόιμη μετακίνηση στα πολύ αρχικά στάδια της πήξης του νωπού σκυροδέματος να έχει ευνοϊκή επίδραση στις τάσεις συνάφειας του χάλυβα οπλισμού με το σκυρόδεμα.
- Για την **επιρροή της απόστασης από το σημείο της σκυροδέτησης**, εξετάστηκε με διαφορετικούς τρόπους, με τελικό συμπέρασμα πως δεν παρατηρείται συστηματική μείωση των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του δοκιμίου δοκού.
- Ως προς το **πρόβλημα των άνω οπλισμών**, βρέθηκε σημαντικά εντονότερο στα ΣΣ μίγματα, και για τις 4 αντιπροσωπευτικές τάσεις συνάφειας, ενώ συγκριτικά μεταξύ τους, εντονότερο παρουσιάζεται στο μίγμα με το μεγαλύτερο ποσοστό υπερρευστοποιητή SP/c%. Για 2 από τα 6 ΑΣΣ χαμηλά υποστυλώματα δεν εμφανίζεται πρόβλημα άνω οπλισμών, καθώς η τάση συνάφειας αυξάνεται καθ' ύψος του δοκιμίου χαμηλού υποστυλώματος. Επιπλέον, συγκριτικά με τα αποτελέσματα των Castel et al (2006) τα εύρη τιμών των λόγων  $\tau_{\text{άνω}}/\tau_{\text{κάτω}}$  (μέτρο έντασης του φαινομένου) είναι παρόμοια, της τάξης του ~0.65 έως ~0.80 για τα ΑΣΣ.
- Σχετικά με την **επιρροή του υπερκείμενου σκυροδέματος**, παρατηρήθηκε ευνοϊκή μόνο σε 3 από τις 8 συνθέσεις. Ακόμη, παρατηρείται υπεροχή των ΣΣ μιγμάτων έναντι των ΑΣΣ, δηλαδή ενδεχομένως η συμπτωκνωτική επίδραση του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος ευνοεί περισσότερο τα ΣΣ μίγματα.
- Για την **επιρροή της πυριτικής παιπάλης**, δείχνει να είναι θετική όσον αφορά στην θλιπτική αντοχή των ΑΣΣ μιγμάτων, όπως φάνηκε και στην εργασία του Στύλου Α. (2011). Αναφορικά με άλλες παραμέτρους (μεταβολή τάσεων κυβικών δοκιμίων, πρόβλημα άνω οπλισμών, μεταβολή τάσεων δοκιμίων δοκού), τα επιμέρους συμπεράσματα που εξάγονται παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία.
- Η **ανομοιογένεια των μετρήσεων** των τάσεων συνάφειας περιγράφηκε από το συντελεστή μεταβλητότητας COV% και εξετάστηκε και συγκριτικά μεταξύ των ΑΣΣ και ΣΣ μιγμάτων. Τόσο στα κυβικά δοκίμια όσο και στα δοκίμια δοκού, η ανομοιογένεια των τάσεων είναι αρκετά μεγαλύτερη στα ΣΣ μίγματα, και ενδεχομένως, στην περίπτωση των δοκιμίων δοκού, να οφείλεται σε ανομοιόμορφη δόνηση κατά μήκος.
- Σχετικά με την **θλιπτική αντοχή**, φάνηκε μεγαλύτερη στα ΑΣΣ μίγματα, με τιμές της τάξης του ~60MPa, με σχετικά μεγάλες διασπορές, ενώ στα ΣΣ μίγματα οι τιμές ήταν της τάξης του ~50 MPa, με μικρές διασπορές.
- Συνολικά τα **ρεολογικά χαρακτηριστικά** των συνθέσεων ικανοποίησαν τα όρια των κανονισμών.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- Για τις ανάγκες της παρούσης διπλωματικής εργασίας παρήχθησαν συνολικά 8 διαφορετικές συνθέσεις, 6 αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος και 2 συμβατικού, και κατασκευάστηκαν 5 δοκίμια δοκού, 8 χαμηλά υποστυλώματα και 40 κυβικά δοκίμια. Δηλαδή, για κάθε διαφορετική σύνθεση υπήρχε 1 μόνο αντιπροσωπευτικό δοκίμιο χαμηλού υποστυλώματος και δοκού. Για αυξημένη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και έλεγχο των συμπερασμάτων υπάρχει ανάγκη επανάληψης των συνθέσεων και αύξηση του πλήθους των δοκιμίων.
- Επανάληψη της ίδιας πειραματικής διαδικασίας με διεύρυνσή της με διαφορετικές συνθέσεις (π.χ. συνθέσεις ΑΣΣ με διαφορετική αναλογία αδρανών και λεπτόκοκκων υλικών από αυτές που παρήχθησαν).
- Έλεγχος χαμηλών υποστυλωμάτων και δοκιμίων δοκού κανονικώς οπλισμένων, καθώς η παρουσία οπλισμού επηρεάζει τη διελυσιμότητα των μιγμάτων ΑΣΣ.
- Το μήκος του δοκιμίου δοκού ήταν ίσο με 1.80m, το οποίο κρίνεται μικρό σχετικά με τις ρεολογικές ικανότητες του ΑΣΣ. Προτείνεται έλεγχος δοκιμίων δοκού αρκετά μεγαλύτερου μήκους από αυτά της παρούσης εργασίας, για παράδειγμα μήκους >5m, ώστε να είναι ξεκάθαρα ορατή μια ενδεχόμενη προοδευτική μείωση των τάσεων συνάφειας από την παρειά σκυροδέτησης ως το άλλο άκρο του ξυλότυπου, αλλά και μια ενδεχόμενη προοδευτική μείωση του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας του υλικού.
- Σκυροδέτηση ΑΣΣ από διαφορετικό σημείο του ξυλότυπου του δοκιμίου δοκού. Για παράδειγμα από το μέσο, ώστε να γίνει εμφανής η μεταβολή των τάσεων συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από την πηγή σκυροδέτησης και σε σχέση με το μέγεθος των διασπορών, συγκρίνοντας τις αντίστοιχες εκατέρωθεν ράβδους οπλισμού.
- Χρήση δοκιμίων υποστυλωμάτων μεγαλύτερου ύψους, ώστε να είναι περισσότερο αξιολογήσιμη η επιρροή του υπερκείμενου πάχους σκυροδέματος, και το πρόβλημα των άνω οπλισμών.
- Διερεύνηση επιρροής μεγαλύτερων ποσοστών αντικατάστασης τσιμέντου από πυριτική παιπάλη, ώστε να γίνει πιο ξεκάθαρη η επιρροή της.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Πάσιος Χ.Γ. «Συνάφεια Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
2. Στύλος Α. «Συνάφεια Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος με Χάλυβα Οπλισμού» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.
3. Πάλμος Μ., Σωτηροπούλου Ε. «Θέματα Αντοχής και Συνάφειας Καθ' ύψος στο Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
4. Πάττα Σ.Δ., Περβολαράκης Δ.Μ. «Συνάφεια χάλυβα σκυροδέματος : Επίδραση της Γεωμετρίας των Νευρώσεων» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2005.
5. Βαγγελή Ι., Χρηστάκης Α. «Συνάφεια χάλυβα σκυροδέματος : Επίδραση της Γεωμετρίας των Νευρώσεων» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2008.
6. Καρέλλη Μ, Νταντάμη Κ., Ντογκούλη Ε. «Σεισμός σε νωπό σκυρόδεμα, επίδραση στη συνάφεια χάλυβα – σκυροδέματος» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2002.
7. Γεωργίου Χ. «Σεισμική καταπόνηση νωπού σκυροδέματος: επιπτώσεις στη συνάφεια», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2001.
8. Μυλωνάδης Γ. «Μελέτη της επίδρασης της επιβολής μετατόπισης στο χάλυβα στη συνάφεια του οπλισμένου σκυροδέματος» Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2000.
9. Μπόλη Α. «Σκυροδέματα νέας τεχνολογίας», Πτυχιακή εργασία, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Έργων Υποδομής, 2009.
10. Πίγκος Γ. «Η τροποποιημένη δοκιμή δοκού για τον προσδιορισμό του νόμου συνάφειας-ολίσθησης της διεπιφάνειας ράβδων οπλισμού FRP-σκυροδέματος για ανακυκλιζόμενη φόρτιση», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010.
11. Σφήκας Ι.Π. «Τεχνολογία Αυτοσυμπυκνούμενου Σκυροδέματος» Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2007.
12. Castel A., Vidal T., Viriyametanont K., Francois R. “Effect of Reinforcing Bar Orientation and Location on Bond with Self-Consolidating Concrete”, ACI Structural Journal, 2006, vol. 103, No. 4.
13. Soylev T.A., Francois R. “Effects of bar-placement conditions on steel-concrete bond”, Materials and Structures (2006) vol. 39: pp. 211-220, (RILEM 2006).
14. Foroughi-Asl A., Dilmaghani S., Famili H. “Bond strength of reinforcement steel

- in self-compacting concrete”, International Journal of Civil Engineering, vol. 6, No. 1, 2008.
15. Almeida Filho F.M., El Debs M.K. and El Debs, A.L.H.C. “Bondslip behavior of self-compacting concrete and vibrated concrete using pullout and beam tests.”, Materials and Structures, vol. 41 (2008): pp. 1073-1089.
  16. Boel V., P. Helincks, P. Desnerck, and G. De Schutter. "Bond behaviour and shear capacity of self-compacting concrete." Edited by K. H. Khayat, & D. Feys. Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete (RILEM Bookseries, 2010) Vol.1, Part 8 (2010): pp.343-353.
  17. Domone P.L. “A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete.”, Cement & Concrete Composites, vol. 29 (2007): pp. 1-12.
  18. Hassan A.A.A., Hossain K.M.A., Lachemi M. “Bond strength of deformed bars in large reinforced concrete members cast with industrial self-consolidating concrete mixture”, Construction and Building Materials, vol. 24 (2009): pp. 520-530.
  19. Valcuende M. and Parra C. “Bond behaviour of reinforcement in self-compacting concretes.”, Construction and Building Materials, vol. 23 (2009): pp. 162-170.
  20. Thrane, L. N. , C. Pade, C. Idzerda, and M. Kaasgaard. “Effect of Rheology of SCC on Bond Strength of Ribbed Reinforcement Bars.” Edited by K. H. Khayat, & D. Feys. Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete (RILEM Bookseries 1), 2010.
  21. Trezos, K., I. Sfikas, M. Palmos, and E. Sotiropoulou. "Top-Bar Effect in Self-Compacting Concrete Elements." Edited by D. Feys, & K. H. Khayat. Design, Production and Placement of Self-Consolidating Concrete (RILEM Bookseries, 2010) Vol.1, Part 8 (2010): pp.355-366.
  22. Yerlici V. A. and Özturan T. “Factors Affecting Anchorage Bond Strength in High- Performance Concrete.”, ACI Structural Journal, Title no. 97-S54 (2000).
  23. Zhu W., Sonebi M. and Bartos, P.J.M. “Bond and interfacial properties of reinforcement in self-compacting concrete”, Materials and Structures, vol. 37(2004): pp. 442-448.
  24. Ouchi M., Nakamura S., Hallberg S.V. and Osterberg T., Lwin M. “Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States”, ISHPC, 2003.
  25. Lachemi M., Bael S., Hossain K.M.A., Sahmaran M. “Steel-concrete bond strength of lightweight self-consolidating concrete”, Materials and Structures vol 42(2009): pp. 1015-1023, (RILEM 2008).
  26. Γιαννόπουλος Π.Ι. «Συνάφεια ράβδων οπλισμού στο σκυρόδεμα» 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη, 25-27 Οκτωβρίου, 2006.
  27. Σίδερης, Κ.Κ. «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα και Ελληνική πραγματικότητα: Παρούσα κατάσταση και προοπτικές εξέλιξης» 16ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, 21-23/10/ 2009, Πάφος, Κύπρος.

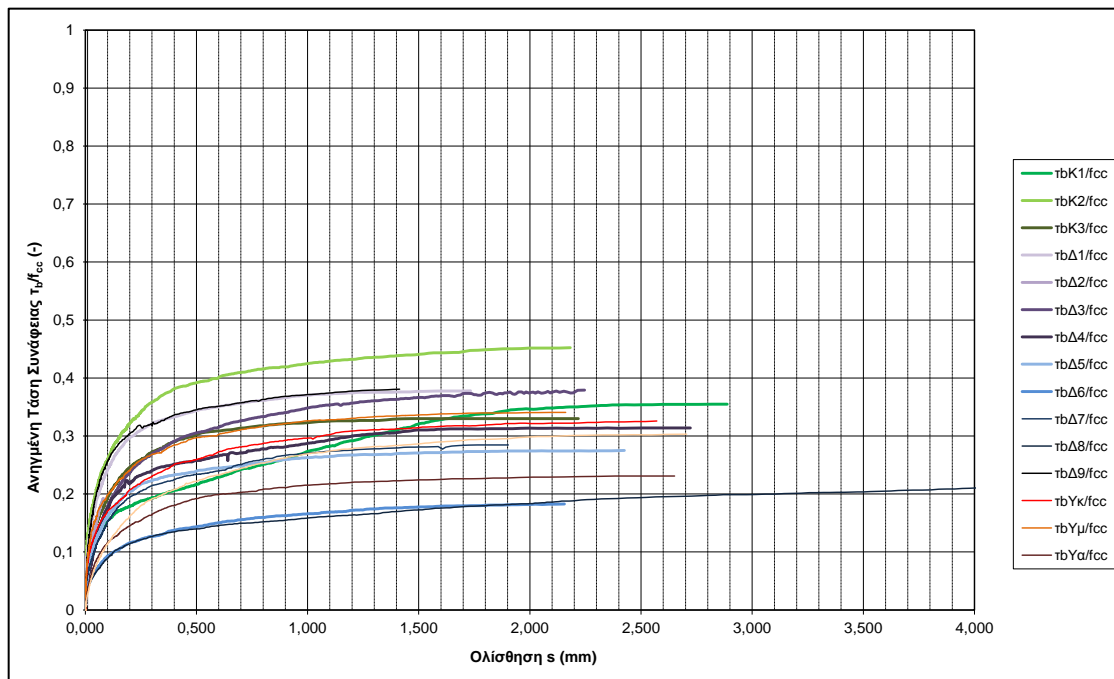
28. Κτένας Α.Ε. «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα (self-compacting concrete) » 12ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2006.
29. Τζίμας Α., Χατζάκης Π., «Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα», 13ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών», Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 2007.
30. Παπανικολάου Κ. «Το Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυρόδεμα στην Ελληνική πραγματικότητα, νέες εξελίξεις, τάσεις και προοπτικές», [http://library.tee.gr/digital/m2312/m2312\\_papanikolaou.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2312/m2312_papanikolaou.pdf), Δεκέμβριος 2011.
31. Manitoba Ready Mix Concrete Association, <http://www.mrmca.com/>, Δεκέμβριος 2011.
32. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pccp/pubs/02099/chapt2.cfm>, Δεκέμβριος 2011.
33. 2007 Louisiana Transportation Engineering Conference, [http://www.ltrc.lsu.edu/tec\\_07/presentations/Self%20Consolidating%20Concrete%20in%20Louisiana.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/tec_07/presentations/Self%20Consolidating%20Concrete%20in%20Louisiana.pdf), Ιανουάριος 2012.
34. Construction Competence & Consulting, <http://www.3-co.com/Pro/Engineers/Special.Concrete/scc.htm>, Δεκέμβριος 2011.
35. Cultural Projects, Rosenthal, <http://www.culture.ohio.gov/commission/detail.asp?id=599>, Δεκέμβριος 2011.
36. Phaeno Science Center, <http://offcite.org/2008/12/12/an-interview-with-hanif-kara>, Δεκέμβριος 2011.
37. Yokohama Bridge Corp., [http://www.yokogawa-bridge.co.jp/english/05\\_steelbridges/index.html](http://www.yokogawa-bridge.co.jp/english/05_steelbridges/index.html), Δεκέμβριος 2011.
38. ConstructionManuals, [http://constructionmanuals.tpub.com/14043/css/14043\\_159.htm](http://constructionmanuals.tpub.com/14043/css/14043_159.htm), Δεκέμβριος 2011.
39. ASTM Test Methods for Self-Consolidating Concrete, <http://www.hpcbridgeviews.org/i50/Article4.asp>, Δεκέμβριος 2011.
40. Concrete Workability, [http://www.patrickbradley.org.uk/ready\\_mix.html](http://www.patrickbradley.org.uk/ready_mix.html), Δεκέμβριος 2011.
41. Okamura H., Ferguson Lecture at ACI Fall Convention(New Orleans) 1996, <http://concrete.t.u-tokyo.ac.jp/en/research/HPC/fer.html>, Δεκέμβριος 2011.
42. European Standard, EN12620, “Aggregates for Concrete”, September 2002.
43. EFNARC. “Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete.” (European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems) 2005.
44. European Standards, prEN 10080, “Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel – General”, January 2008.

45. FIB. "Bulletin 10: Bond of reinforcement in concrete." (Fédération Internationale du Béton) 2000.
46. Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.) «Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (ΠΕΤΕΠ) 01-01-06-00» 2005.
47. Ο.Α.Σ.Π., Σ.Π.Μ.Ε. «Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος 2000 (ΕΚΩΣ2000)» 2000.
48. «Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 97», ΦΕΚ 315/Β/17-4-97.
49. ΕΛΟΤ 1421-1 «Χάλυβες Ωπλισμένου Σκυροδέματος – Μέρος 1: Γενικές Απαιτήσεις».

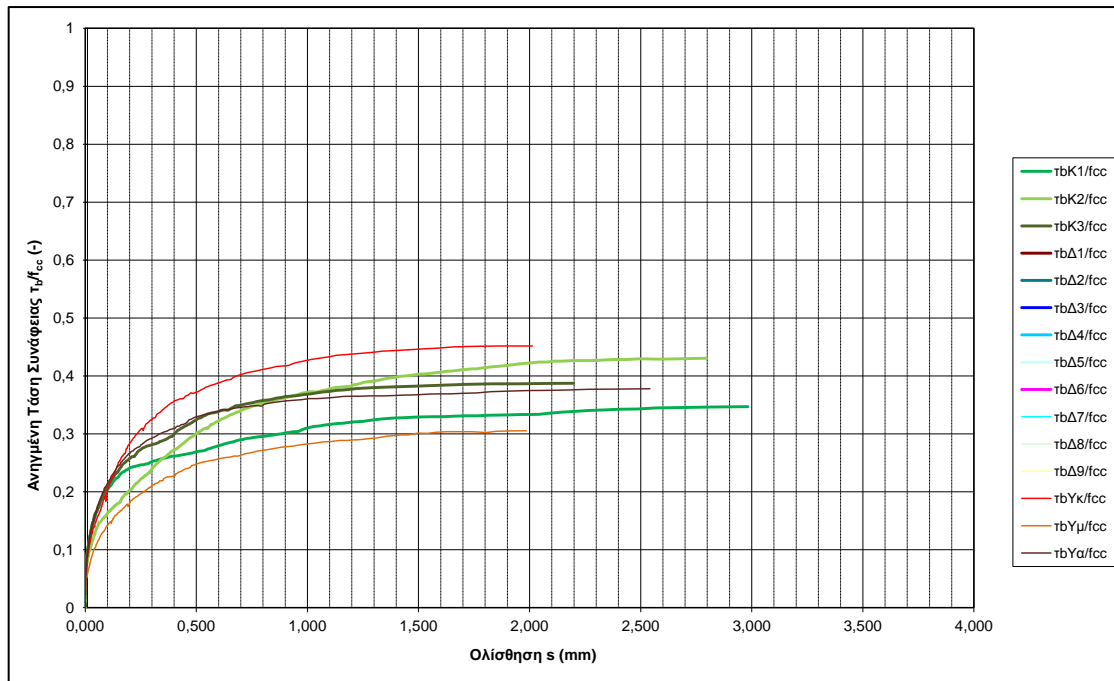
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Παρουσιάζονται διαγράμματα κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού πυριτικής παιτάλης (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β.) για τα μίγματα από ΑΣΣ, και για τα μίγματα από ΣΣ, κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού υπερρευστοποιητή (0.25, 0.50 %SP/c).

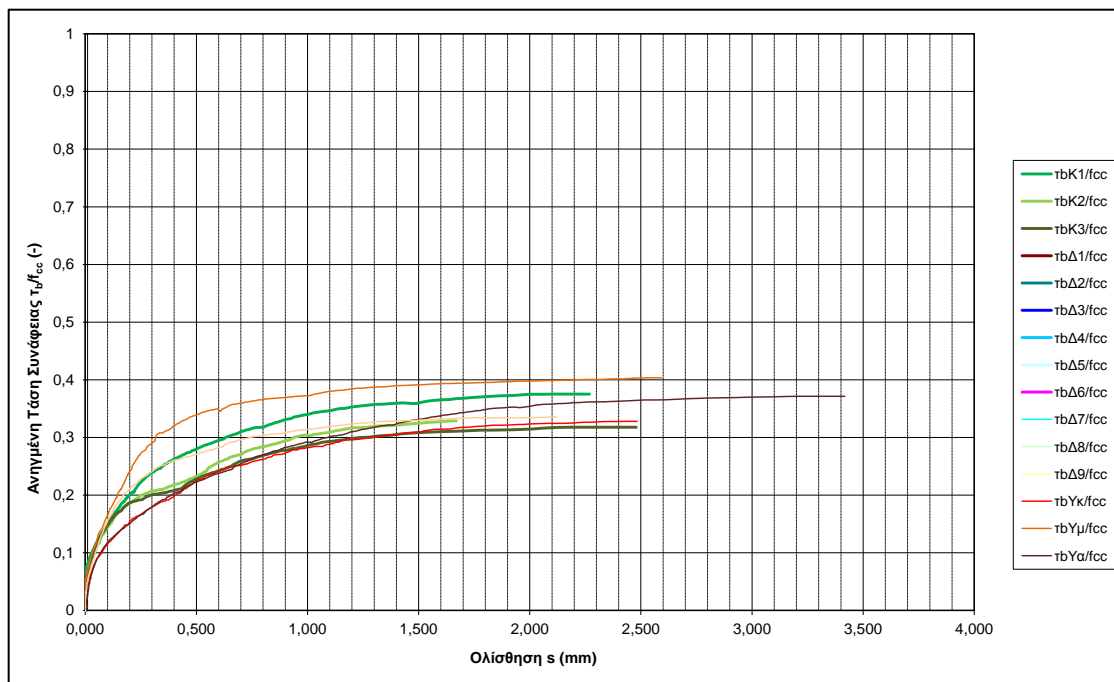
**α)** Ανηγμένη τάση συνάφειας ράβδου οπλισμού στη θλιπτική αντοχή ως προς την ολίσθηση της ράβδου



**Διάγραμμα 1** Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, συνθέση SCC-34 (Σ145-146).

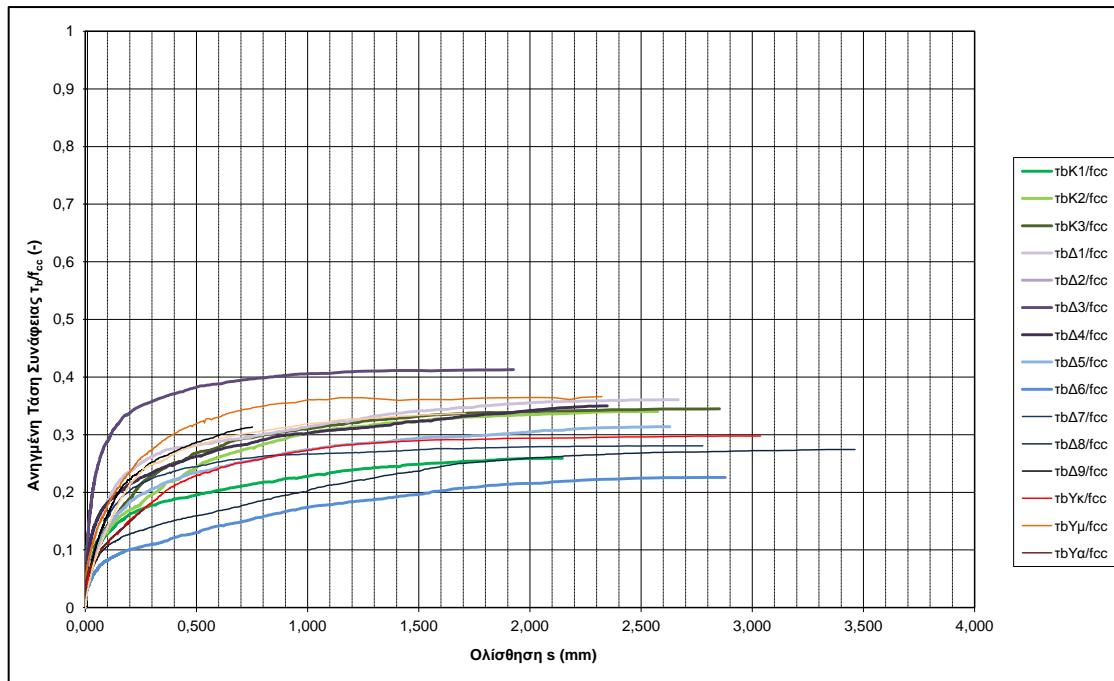


Διάγραμμα 2 Αηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση SCC-30 (Σ136).

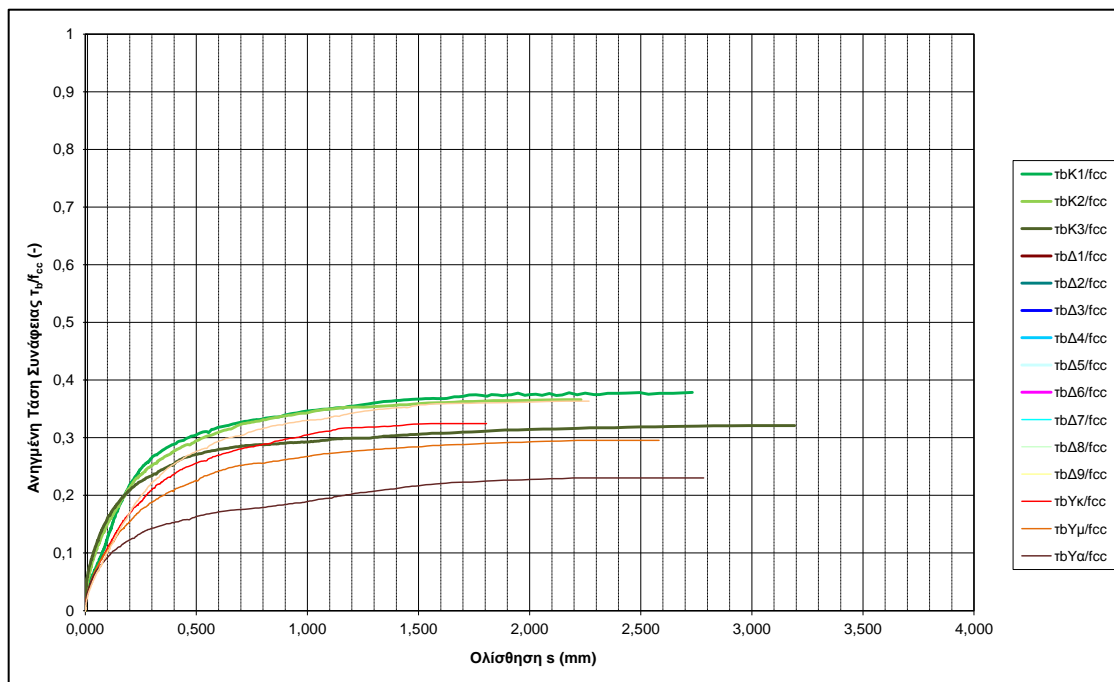


Διάγραμμα 3 Αηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση SCC-32 (Σ139).

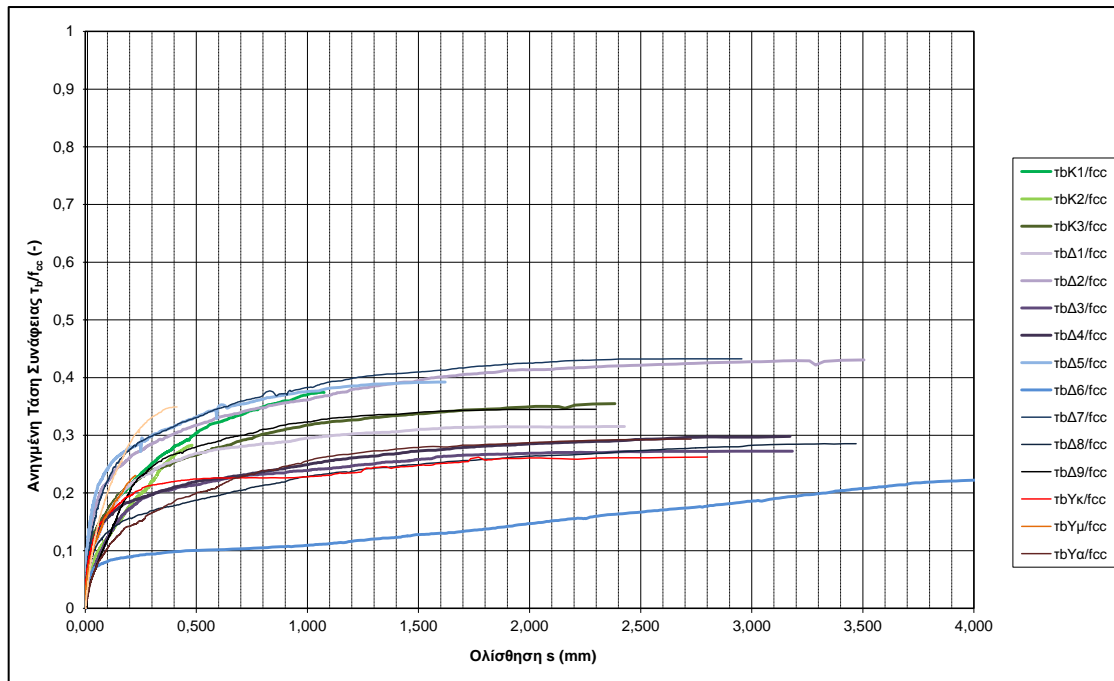




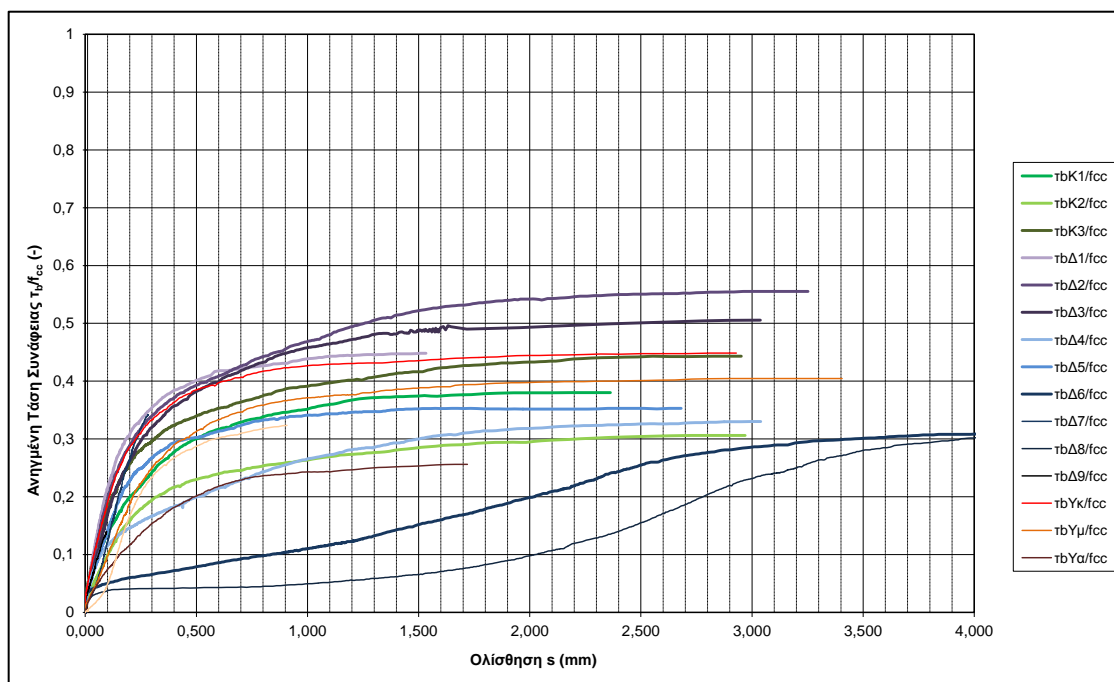
Διάγραμμα 4 Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση SCC-35 (Σ147-148).



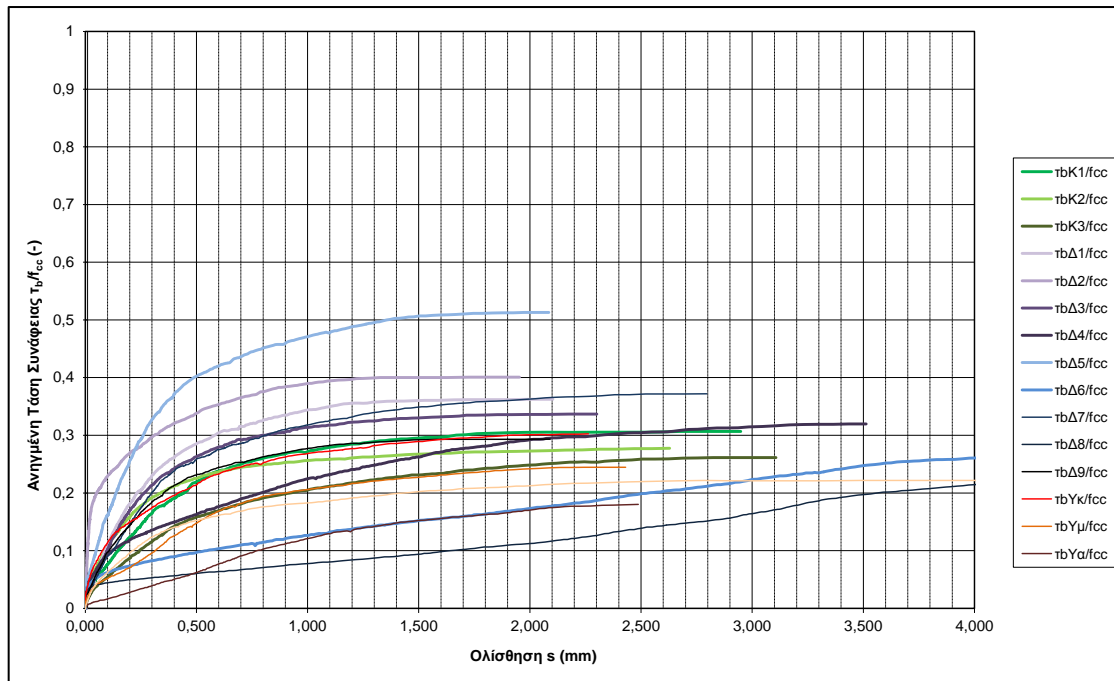
Διάγραμμα 5 Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση SCC-33 (Σ142).



Διάγραμμα 6 Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση SCC-36 (Σ149-150).

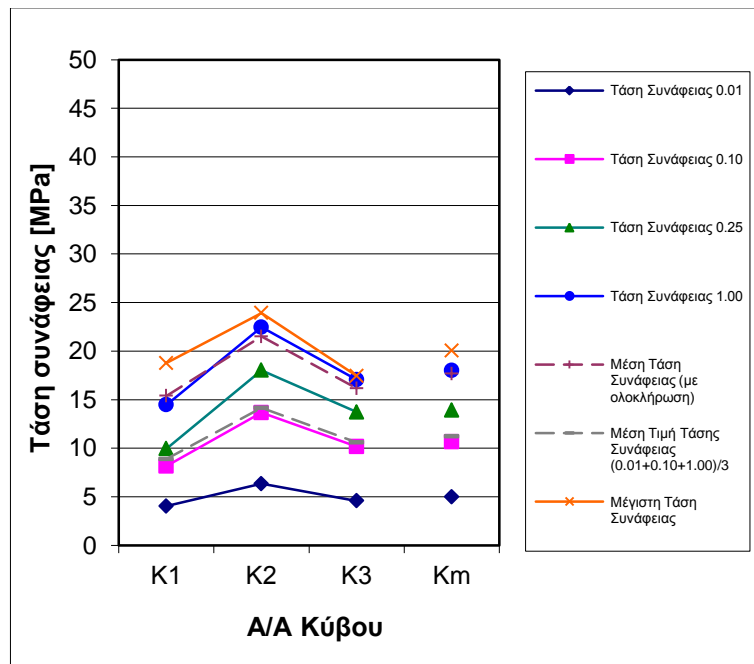


Διάγραμμα 7 Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση NC-13 (Σ140-141).

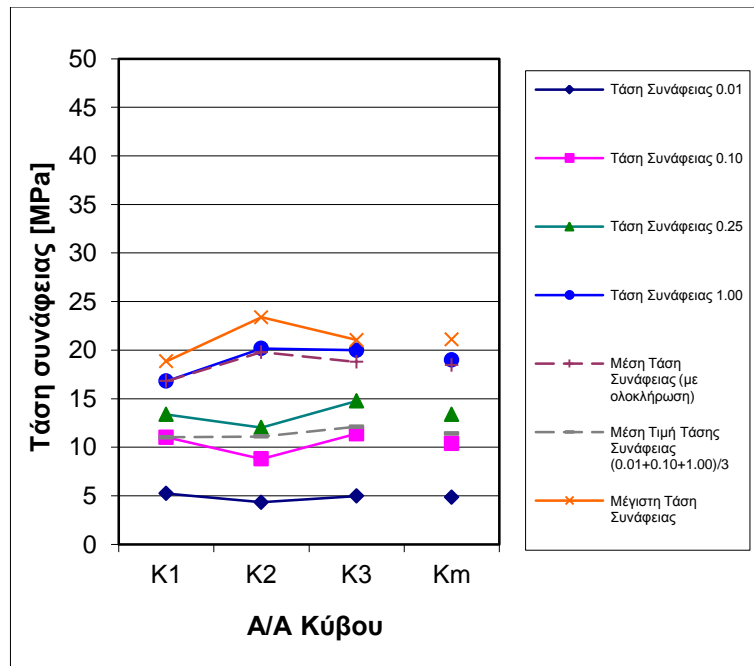


Διάγραμμα 8 Ανηγμένη Τάση Συνάφειας Ράβδου Οπλισμού στη Θλιπτική Αντοχή συναρτήσει της Ολίσθησης της Ράβδου, σύνθεση NC-14 (Σ143-144).

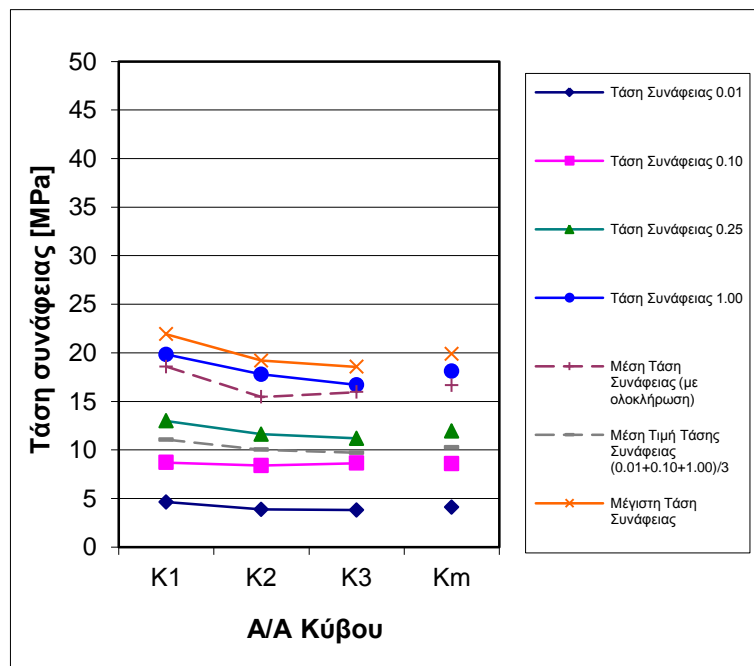
β) Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km).



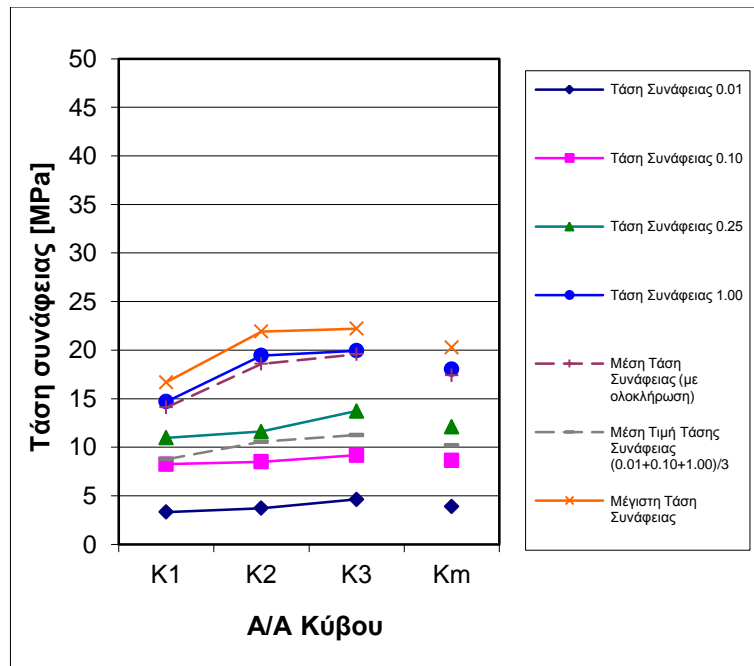
Διάγραμμα 9 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.0)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-34 (Σ146).



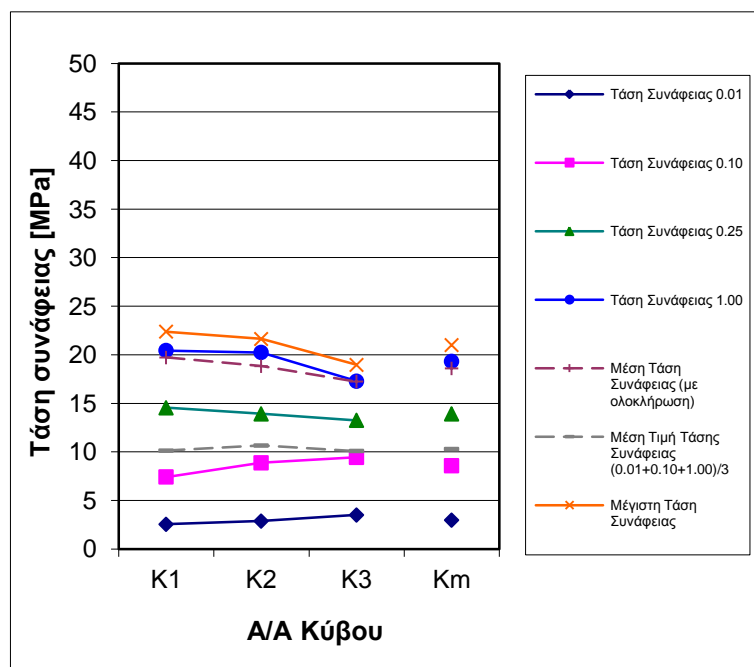
Διάγραμμα 10 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-30 (Σ136).



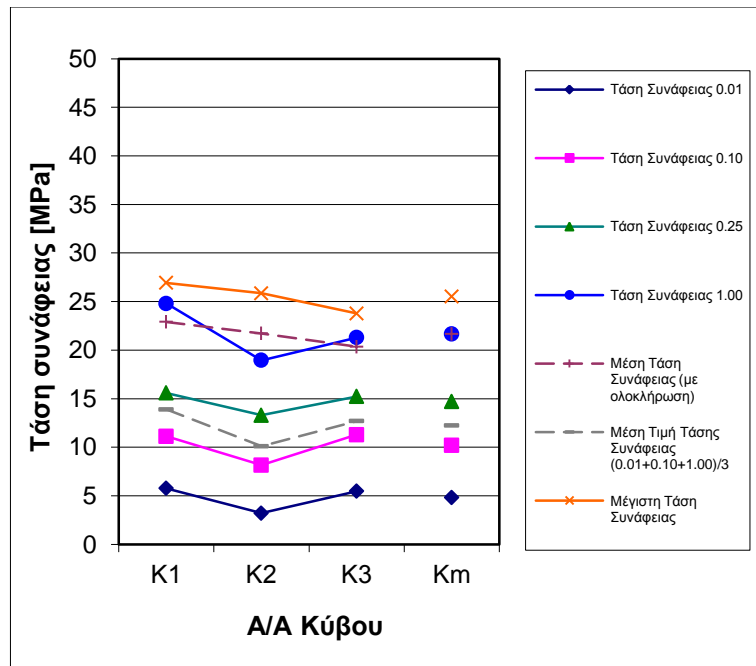
Διάγραμμα 11 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-32 (Σ139).



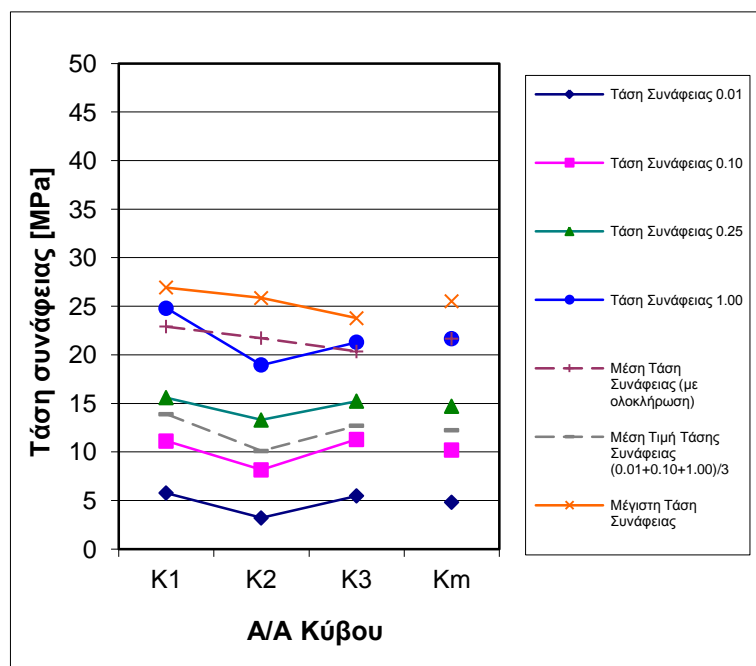
Διάγραμμα 12 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-35 (Σ148).



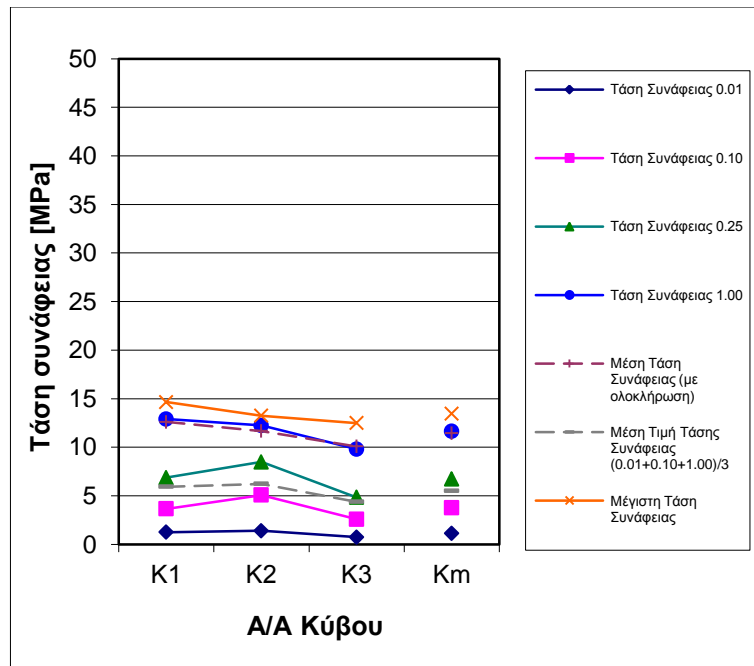
Διάγραμμα 13 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-33 (Σ142).



Διάγραμμα 14 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση SCC-36 (Σ150).

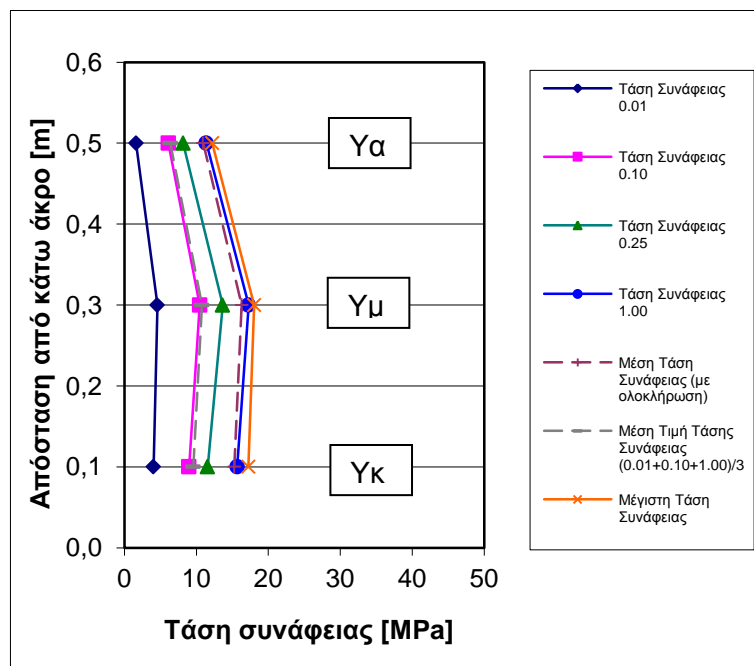


Διάγραμμα 15 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση NC-13 (Σ141).

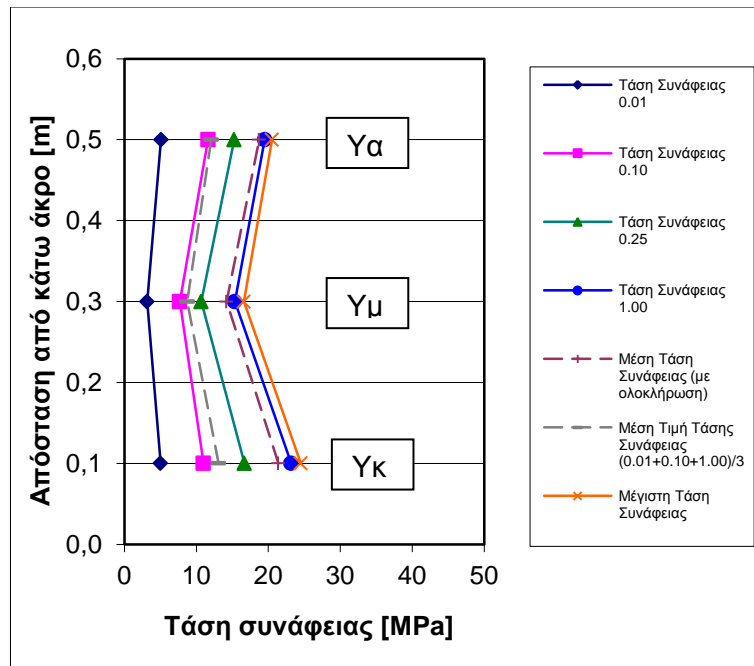


Διάγραμμα 16 Αντιπροσωπευτικές τιμές τάσης συνάφειας ( $\tau_{0.01}$ ,  $\tau_{0.10}$ ,  $\tau_{0.25}$ ,  $\tau_{1.00}$ ,  $\tau_m$ ,  $\tau_{(0.01+0.10+1.00)/3}$ ,  $\tau_{max}$ ) των τριών κυβικών δοκιμίων (K1, K2, K3), μέση τάση 3 κύβων (Km), σύνθεση NC-14 (Σ144).

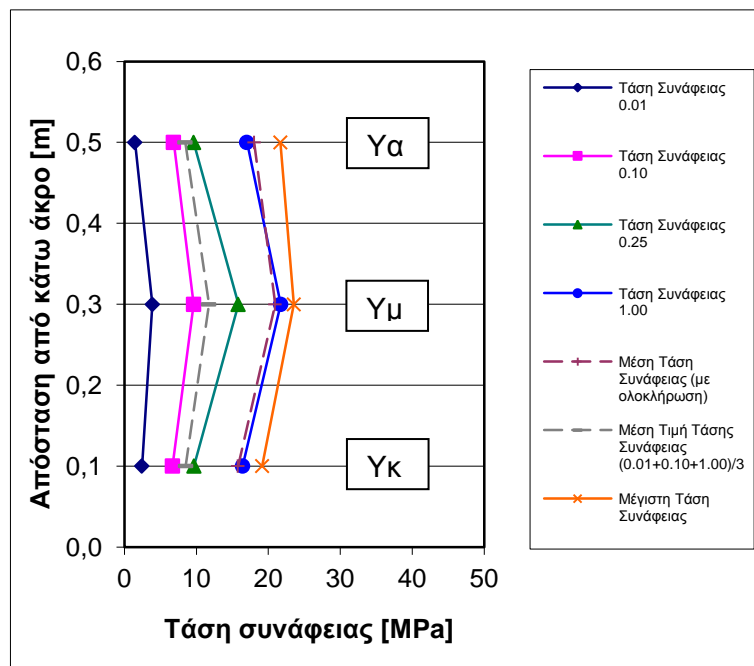
γ) Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο.



Διάγραμμα 17 Τάσεις συνάφειας υποστυλώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-34 (Σ146).

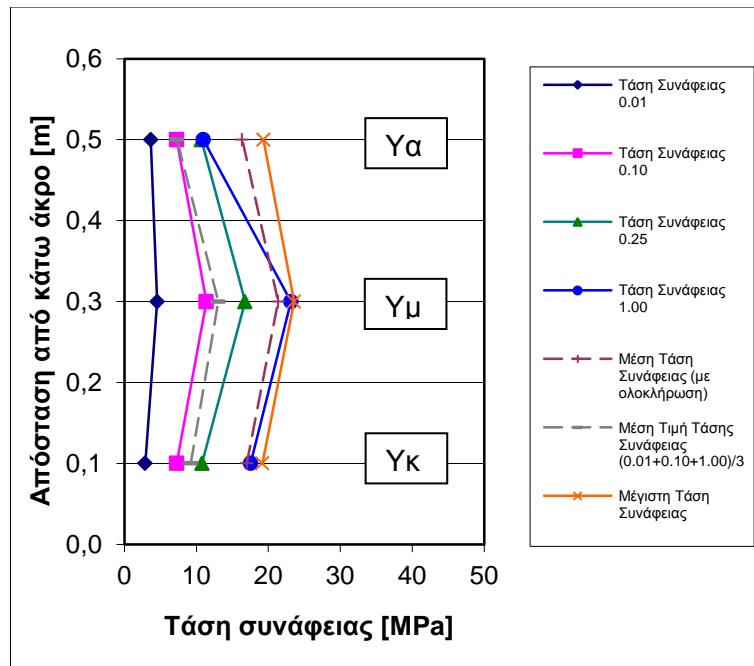


Διάγραμμα 18 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-30 (Σ136).

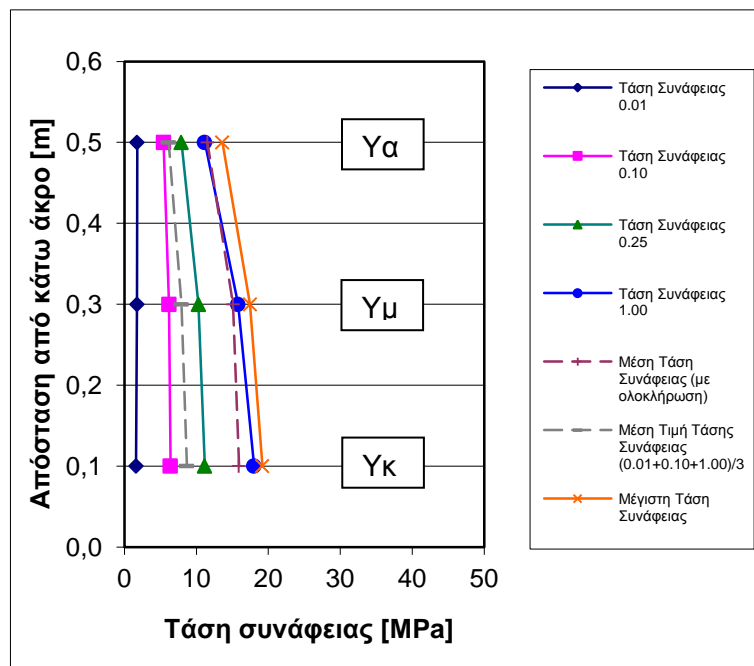


Διάγραμμα 19 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-32 (Σ139).

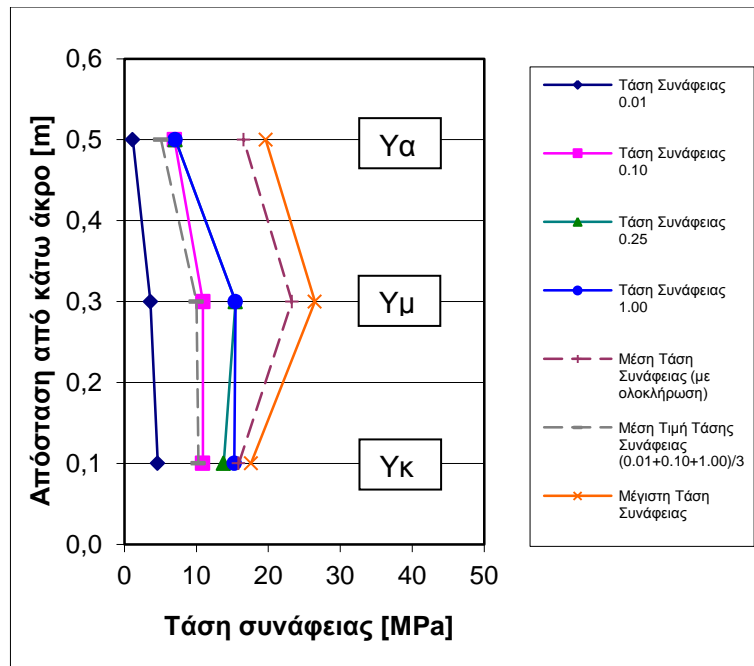




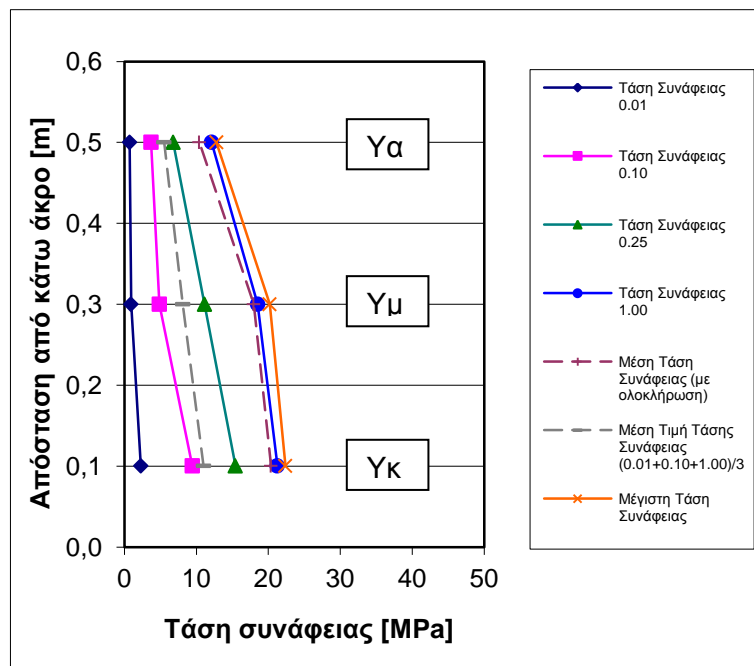
Διάγραμμα 20 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-35 (Σ148).



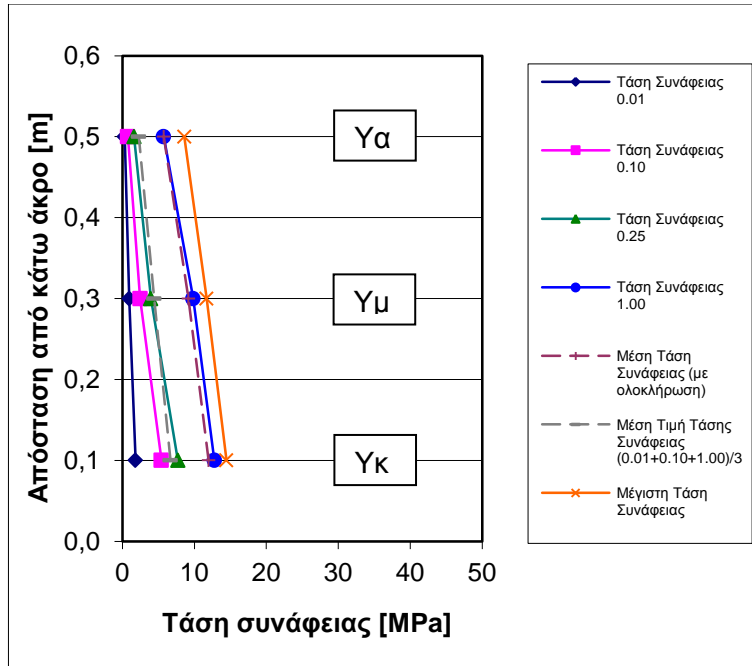
Διάγραμμα 21 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-33 (Σ142).



Διάγραμμα 22 Τάσεις συνάφειας υποστύλωσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση SCC-36 (Σ150).

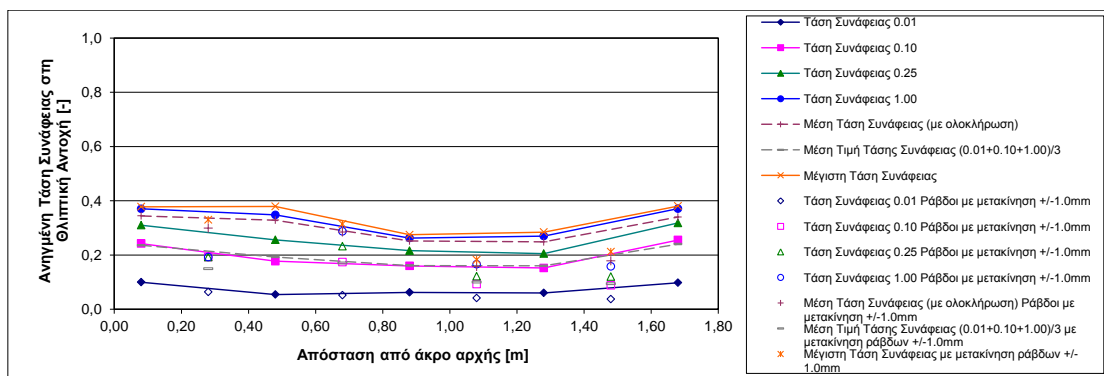


Διάγραμμα 23 Τάσεις συνάφειας υποστύλωσης συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση NC-13 (Σ141).

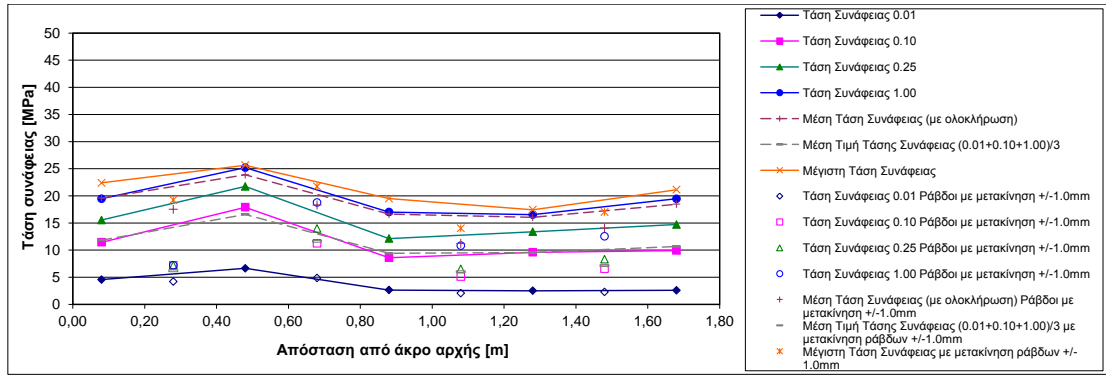


Διάγραμμα 24 Τάσεις συνάφειας υποστρώματος συναρτήσει της απόστασης από το κάτω άκρο, σύνθεση NC-14 (Σ144).

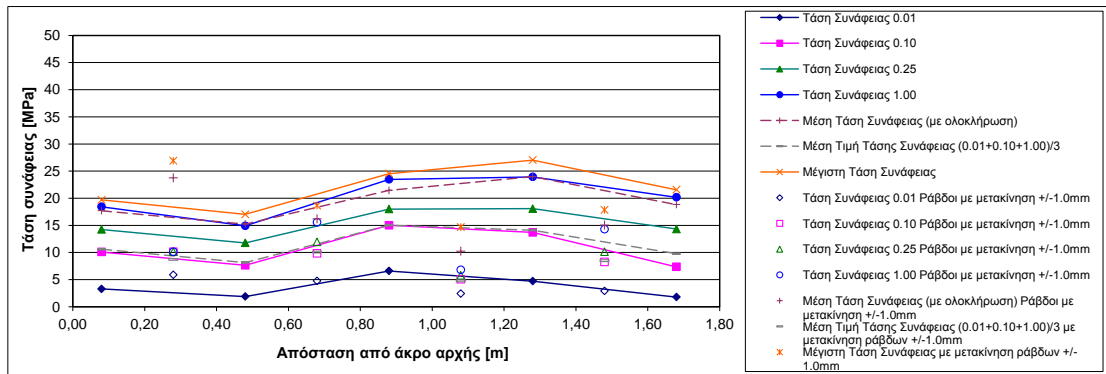
δ) Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο αρχής για τα δοκίμια δοκού, κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού πυριτικής παιπάλης (4.86, 6.86, 8.86, 10.57, 12.29, 14.00 %κ.β.) για τα μίγματα από ΑΣΣ, και για τα μίγματα από ΣΣ, κατά αύξουσα σειρά του ποσοστού υπερρευστοποιητή (0.25, 0.50 %SP/c).



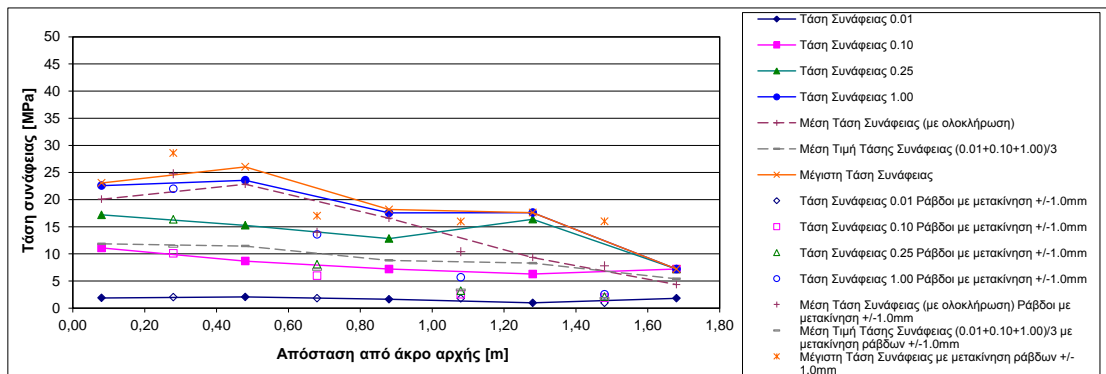
Διάγραμμα 25 Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης SCC-34 (Σ145). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 και το σκυρόδεμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κούλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8).



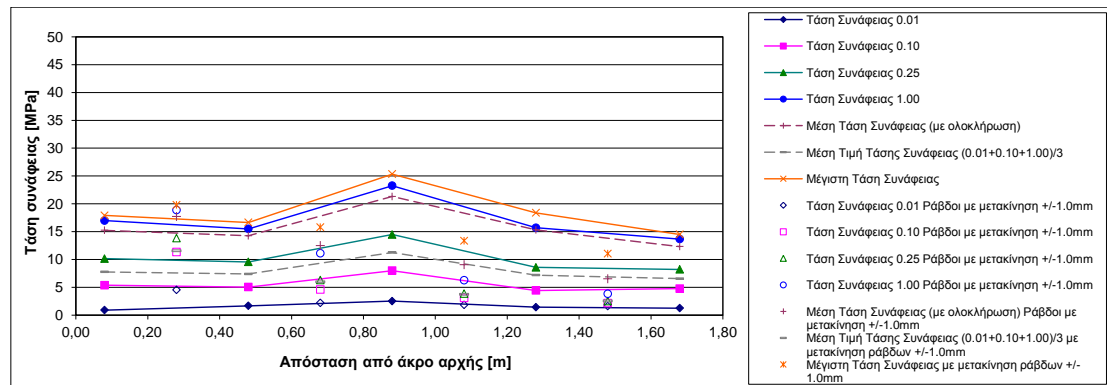
**Διάγραμμα 26** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης SCC-35 (Σ147). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 και το σκυρόδεμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κοίλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8).



**Διάγραμμα 27** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης SCC-36 (Σ149). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 και το σκυρόδεμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κοίλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8).



**Διάγραμμα 28** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης NC-13 (Σ140). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 και το σκυρόδεμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κοίλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8).



**Διάγραμμα 29** Αντιπροσωπευτικές τιμές της τάσης συνάφειας συναρτήσει της απόστασης από το άκρο της αρχής, για δοκίμιο δοκού σύνθεσης NC-14 (Σ143). Η σκυροδέτηση έγινε πλησίον της ράβδου P1 και το σκυρόδεμα αφέθηκε να μετακινηθεί προς το άλλο άκρο χωρίς εξωτερική επίδραση. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που φαίνονται με συμπαγές σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P1, P3, P5, P7, P9, ενώ αυτές που φαίνονται με κούλο σημείο αντιστοιχούν στις ράβδους P2, P4, P6, P8, στις οποίες έχει επιβληθεί μετατόπιση (πρώτα στην P2 και τελευταία στην P8).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: Τεχνικά φυλλάδια υλικών

**ΕΚΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ**  
**TEST REPORT**

Ημερομηνία Έκδοσης: 03.12.2010  
*Date of issue:*

Αριθμός Εργαστηριακής Εντολής: 17759-01/10  
*Work order Number:*

Εντολέας: TITAN A.E.  
*Submitted by:* TITAN S.A.

Διεύθυνση: Χαλκίδος 22Α, 111 43 Αθήνα  
*Address:* 22A Halkidos Str, 111 43 Athens

Έργο: -  
*Project:*

Ημερομηνία εισαγωγής: 19.11.2010  
*Reception Date:*

Ημερομηνία εκτέλεσης δοκιμής: 23.11.2010 - 24.11.2010  
*Testing Date:*

No 1: ΣΚΥΡΑ 31,5/63  
No 2: ΧΑΛΙΚΙ 16/31,5  
No 3: ΓΑΡΜΠΙΛΙ (Λατομείο ΞΗΡΟΡΕΜΑΤΟΣ / R: 17.11.2010)  
No 4: ΡΥΖΑΚΙ 4/8  
No 5: ΑΜΜΟΣ 0/4

Στοιχεία δειγμάτων: No 6: ΑΜΜΟΣ ΧΤΙΣΙΜΑΤΟΣ 0/4  
*Samples' Description:* Nr 1: COARSE GRAVEL 31.5/63  
Nr 2: COARSE GRAVEL 16/31.5  
Nr 3: MEDIUM GRAVEL (XIROREMA Quarry / R: 17.11.2010)  
Nr 4: SMALL GRAVEL 4/8  
Nr 5: SAND 0/4  
Nr 6: SAND FOR BUILDING 0/4

Μάζα των ξηρών δειγμάτων ΣΚΥΡΑ / COARSE GRAVEL 16585 g  
δοκιμής: ΧΑΛΙΚΙ / COARSE GRAVEL 5238 g  
*Mass of dry samples tested:* ΓΑΡΜΠΙΛΙ / MEDIUM GRAVEL 2171 g  
ΡΥΖΑΚΙ / SMALL GRAVEL 1453,4 g  
ΑΜΜΟΣ / SAND 1028,5 g  
ΑΜΜΟΣ ΧΤΙΣΙΜΑΤΟΣ / SAND FOR BUILDING 1088,2 g

Αιτηθείσα δοκιμή: Δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των  
*Requested Test:* νερού ΕΛΟΤ EN 1097-6: 2000/A1:2006  
Tests for mechanical and physical properties of aggregates -  
Part 6: Determination of particle density and water absorption  
ELOT EN 1097.06:2000 / A1:2006

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ RESULTS

**No 1, No 2, No 3 & No 4: ΜΕΘΟΔΟΣ  
ΣΥΡΜΑΤΙΝΟΥ ΚΑΛΑΘΙΟΥ**

*Nr 1, Nr 2, Nr 3 & Nr 4: Wire Basket Method*

		No.1 <i>Nr 1</i>	No.2 <i>Nr 2</i>	No.3 <i>Nr 3</i>	No.4 <i>Nr 4</i>
Φαινόμενη Πυκνότητα <i>Apparent Particle Density</i>	$\rho_a$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,71</b>	<b>2,72</b>	<b>2,72</b>	<b>2,74</b>
Πυκνότητα επί ξηρού <i>Apparent Density on an oven dried basis</i>	$\rho_{rd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	<b>2,65</b>	<b>2,66</b>	<b>2,66</b>
Πυκνότητα επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού <i>Particle density on a saturated and surface dried basis</i>	$\rho_{ssd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,67</b>	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>	<b>2,69</b>
Απορροφητικότητα <i>Water absorption</i>	WA <sub>24</sub> (%)	<b>0,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>

**No 5 & No 6: ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟΥ**

*Nr 5 & Nr 6: Pycnometer Method*

		No.5 <i>Nr 5</i>	No.6 <i>Nr 6</i>
Φαινόμενη Πυκνότητα <i>Apparent Particle Density</i>	$\rho_a$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,73</b>	<b>2,73</b>
Πυκνότητα επί ξηρού <i>Apparent Density on an oven dried basis</i>	$\rho_{rd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,65</b>	<b>2,64</b>
Πυκνότητα επί κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού <i>Particle density on a saturated and surface dried basis</i>	$\rho_{ssd}$ (tn/m <sup>3</sup> )	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>
Απορροφητικότητα <i>Water absorption</i>	WA <sub>24</sub> (%)	<b>1,0</b>	<b>1,2</b>

## ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ- REMARKS

1. Η προέλευση του παραπάνω υλικού είναι κατά δήλωση του πελάτη.  
*The sample's description, stated in the present report, is made by the client.*
2. Το παρόν πιστοποιητικό δεν μπορεί να αναπαραχθεί, παρά μόνο συνολικά και μόνο με την γραπτή έγκριση του εργαστηρίου.  
*The present report cannot be reproduced, except in full and with the written approval of the laboratory.*
3. Τα αποτελέσματα των δοκιμών αφορούν μόνο στο προσκομισθέν δείγμα που υποβλήθηκε σε δοκιμή.  
*The test results relate only to the sample, which was delivered to the laboratory and was subjected to the test.*

Ο υπεύθυνος τμήματος  
*Head of Department*



Γ. Γαρυφαλλίδης  
*G. Garyfallidis*

Η διευθύντρια του εργαστηρίου  
*Laboratory Director*  
Γ. ΓΚΡΙΝΤΖΟΣ & ΣΙΑ ΑΝΩΝΥΜΟΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑ  
δ.τ. ERGOTEST ΑΕ  
ΔΙΑΣΦΑΛΙΣΗΣ & ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ  
ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ  
Φ. Αναστασίου  
*F. Anastassiou*



# ELKEM MICROSILICA<sup>®</sup> 920D

Πυριτική παιπάλη συμπυκνωμένη σε μορφή σκόνης.

## Γενικά

Η πυριτική παιπάλη ELKEM Microsilica<sup>®</sup>920D, είναι μία πολύ ενεργή ποζολάνη σε μορφή σκόνης.

Ένα σκυρόδεμα το οποίο περιέχει πυριτική παιπάλη σε προμελετημένη δοσολογία, με σωστή διάστρωση και αγωγή, θα παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και πυκνότητα από ένα κοινό σκυρόδεμα. Το σκυρόδεμα αυτό, θα παρουσιάζει αυξημένη αντοχή σε θειικά, χλωριόντα, οξέα, παγοπληξία, απότριψη και τη καταστροφική αντίδραση αλκαλίων – πυριτικών. Εναλλακτικά η πυριτική παιπάλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη υψηλών αντοχών αντικαθιστώντας το τσιμέντο.

Η πυριτική παιπάλη ELKEM, αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, με πυκνότητα 2,2 kg/dm<sup>3</sup>. Τα σωματίδια αυτά είναι τυπικά 100 φορές μικρότερα από αυτά του τσιμέντου και έτσι η διαχείριση και η μεταφορά τους είναι πολύ δύσκολη. Τα σωματίδια υφίστανται μια ειδική επεξεργασία που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ξηρής πυκνότητάς τους κατά 2-3 φορές. Με το τρόπο αυτό δημιουργούνται κόκκοι υλικού στη μορφή των κόκκων της ζάχαρης και έτσι η διαχείρισή τους είναι πολύ ευκολότερη.

Χημική σύσταση, %	
SiO <sub>2</sub>	min 85
H <sub>2</sub> O	max 1.0
C	max 2.5
LOI	max 3.5
Φυσικές ιδιότητες	
Πυκνότητα χύδην (kg/m <sup>3</sup> )	500 - 650

## Αναλογίες ανάμιξης

Συνήθως η δοσολογία της πυριτικής παιπάλης ELKEM Microsilica<sup>®</sup>920D, υπολογίζεται σαν ποσοστό κατά βάρος του τσιμέντου στο σκυρόδεμα. Ο παρακάτω πίνακας δίνει ενδεικτικές δοσολογίες για διάφορες περιπτώσεις

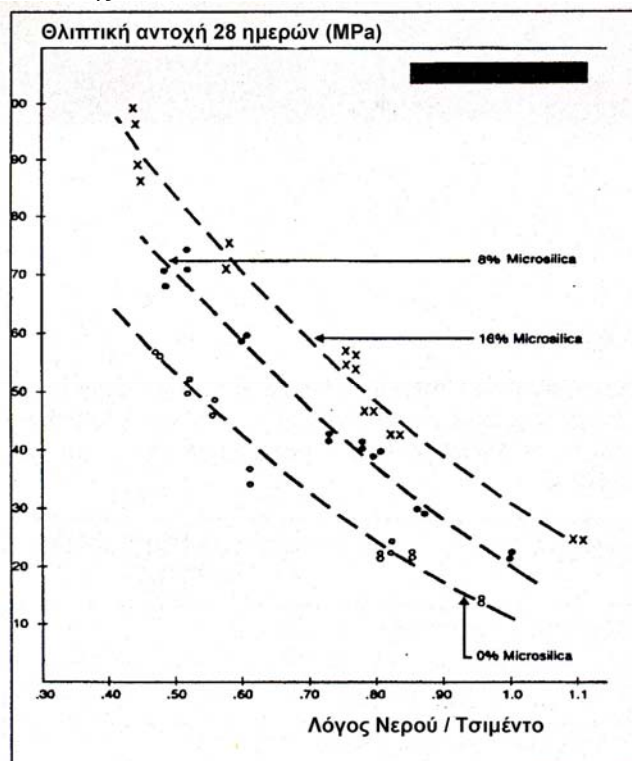
Πεδίο εφαρμογής	Περιεκτικότητα πυριτικής παιπάλης % κ.β. τσιμέντου
Κοινό σκυρόδεμα	4 – 7
Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής	7 – 15
Υποθαλάσσιο σκυρόδεμα	12 – 15
Βοηθητικό άντλησης	2 - 3

Λόγω του ότι η πυριτική παιπάλη είναι πολύ λεπτόκοκκο υλικό, με τη προσθήκη της σε ένα μίγμα σκυροδέματος, αυξάνεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού για την επίτευξη δεδομένης εργασιμότητας. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, είναι επιβεβλημένη η χρήση ενός υπερρευστοποιητή από τις σειρές προϊόντων RHEOBUILD<sup>®</sup> ή GLENIUM<sup>®</sup>.

Στη περίπτωση που η πυριτική παιπάλη χρησιμοποιείται για την υποκατάσταση του τσιμέντου στο σκυρόδεμα, μια καλή αναλογία για την αρχή είναι ότι 1 Kg πυριτική παιπάλη μπορεί να υποκαταστήσει 3 Kg τσιμέντου, χωρίς να υπάρξει διαφορά στην αντοχή 28 ημερών. Αυτό βέβαια προϋποθέτει σωστές συνθήκες αγωγής.

Το παρακάτω διάγραμμα δείχνει τη σχέση μεταξύ θλιπτικής αντοχής και του λόγου νερού / τσιμέντο σε σκυρόδεμα με διάφορες δοσολογίες πυριτικής

παιπάλης



Στη περίπτωση που προγραμματίζεται η παραγωγή σκυροδέματος με τη χρήση πυριτικής παιπάλης, συνιστάται πριν την έναρξη της παραγωγής, να πραγματοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές έτσι ώστε να καθοριστούν σωστά οι τοπικές συνθήκες.

### Διαδικασία ανάμιξης

Όταν γίνεται χρήση συμπυκνωμένης πυριτικής παιπάλης, συνιστάται αυτή να προστίθεται στην αρχή της διαδικασίας ανάμιξης. Προτιμάται ιδιαίτερα η ανάμιξη της εν ξηρό μαζί με το τσιμέντο και τα αδρανή.

### Μην προσθέτετε ποτέ τη πυριτική παιπάλη σε έτοιμο σκυρόδεμα !

Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι πιθανό να χρειαστεί αύξηση του χρόνου ανάμιξης σε σχέση με ένα κοινό σκυρόδεμα. Αυτό εξαρτάται από το τύπο του παρασκευαστηρίου.

### Νωπό σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα που περιέχει πυριτική παιπάλη έχει μηδενική ή πολύ μειωμένη τάση να παρουσιάσει εξίδρωση. Το σκυρόδεμα αυτό είναι πολύ εύκολο να αντληθεί. Λόγω της μεγάλης συνεκτικότητας της μάζας του, συνιστάται η κάθισή του να είναι 20 – 30 mm μεγαλύτερη από ένα κοινό σκυρόδεμα. Ένα σταθερό και εργάσιμο σκυρόδεμα είναι εύκολο να διαστρωθεί. Αν το σκυρόδεμα έχει χαμηλή κάθιση και μεγάλη περιεκτικότητα σε πυριτική παιπάλη, τότε απαιτείται αυξημένος χρόνος δόνησης, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε απόμιξη.

### Αγωγή

Όλα τα σκυροδέματα πρέπει να προστατεύονται έναντι της ξήρανσης στα πρώιμα στάδιά τους. Ειδικά τα σκυροδέματα που περιέχουν πυριτική παιπάλη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα, καθώς το ποσοστό νερού στην επιφάνειά τους είναι αρκετά χαμηλότερο σε σχέση με τα συμβατικά σκυροδέματα. Η γρήγορη ξήρανση στην επιφάνεια, μπορεί να οδηγήσει στη ρηγμάτωση λόγω πλαστικής συρρίκνωσης. Μετά τη διάστρωση είναι πολύ σημαντικό να εξασφαλίζονται κατάλληλες συνθήκες αγωγής, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα. Συνιστάται η επικάλυψη με φύλλα νάιλον, βρεγμένες λινάτσες ή αντιεξατμιστικές μεμβράνες.

**Η παρούσα έκδοση αντικαθιστά κάθε προηγούμενη: Οκτώβριος 2009**

### BASF HELLAS SA

Κλάδος Χημικών Κατασκευής  
Αθήνα:  
Λεωφ. Μεσογείων 449,  
153 43 Αγ. Παρασκευή, Αθήνα  
Τηλ. +30 210 6860100  
Fax +30 210 6860215  
[www.basf-cc.gr](http://www.basf-cc.gr)

Θεσσαλονίκη:  
ΒΙ.ΠΕ Σίνδου  
570 22 Σίνδος  
Τηλ. +30 2310 417 101  
Fax: +30 2310 417 115

Εργοστάσιο Θήβας:  
Παλαιά Σωτήρα Θηβών  
322 00 Θήβα  
Τηλ: +30 22620 22471  
Fax: +30 22620 28573

# GLENIUM<sup>®</sup> C347

(ex. GLENIUM<sup>®</sup> 747)

**Νέας γενιάς υπερρευστοποιητής με βάση τον πολυκαρβοξυλικό αιθέρα, για τη παραγωγή υψηλής ποιότητας έτοιμου σκυροδέματος, με χαμηλό λόγο νερού προς τσιμέντο και εξαιρετική εργασιμότητα. (Σύμφωνα με τα πρότυπα EN934-2:2001 Π11.1 & 11.2)**

## Περιγραφή

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 είναι ένας επαναστατικός υπερρευστοποιητής δεύτερης γενιάς, βασισμένος σε πολυμερή πολυκαρβοξυλικού αιθέρα (PCE) και αποτελεί άμεση απόρροια του συστήματος Ολοκληρωτικού Ελέγχου Απόδοσης (Total Performance Control). Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 είναι ειδικά σχεδιασμένο για χρήση σε έτοιμο σκυρόδεμα. Η ειδική του σύσταση επιτρέπει την καθυστέρηση της απορρόφησης του από τους κόκκους του τσιμέντου, επιτυγχάνοντας έτσι την αποτελεσματική διασπορά τους. Σε σχέση με άλλους υπερρευστοποιητές PCE, επιτρέπει την επίτευξη ενός μίγματος σκυροδέματος υψηλής ποιότητας, με γρήγορη ανάπτυξη αντοχών και παρατεταμένη εργασιμότητα, χωρίς να καθυστερεί τα χαρακτηριστικά της πήξης. Το σύστημα Total Performance Control<sup>™</sup> διασφαλίζει ότι οι παραγωγοί έτοιμου σκυροδέματος, οι εργολάβοι αλλά και οι μηχανικοί, παραλαμβάνουν σκυρόδεμα της ίδιας υψηλής ποιότητας με αυτήν που έχει προδιαγραφεί αρχικά, ξεκινώντας από τη παραγωγή στο παρασκευαστήριο, μέχρι την παράδοση και την επιτόπου εφαρμογή, καθώς και κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης. Χρησιμοποιώντας τη τεχνολογία του Ρεοδυναμικού (Rheodynamic<sup>™</sup>) σκυροδέματος, παρέχει ένα μίγμα σκυροδέματος με εξαιρετικά χαρακτηριστικά χειρισμού και ταχεία ενυδάτωση του τσιμέντου, για την ανάπτυξη της αρχικής αντοχής και την επίτευξη σκυροδέματος υψηλής ποιότητας.

## Πεδία εφαρμογής

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347, χρησιμοποιείται για τη παραγωγή έτοιμου σκυροδέματος υψηλής ποιότητας. Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το GLENIUM<sup>®</sup> STREAM, για την παραγωγή Ρεοδυναμικού σκυροδέματος, με ικανότητα αυτοσυμπύκνωσης, ακόμα και σε περίπτωση πολύ πυκνού οπλισμού.

## Χαρακτηριστικά και Πλεονεκτήματα

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

### Για τον παραγωγό έτοιμου σκυροδέματος:

- Δυνατότητα παράδοσης υψηλής ποιότητας σκυροδέματος ανά πάσα στιγμή, επί τόπου στο εργοτάξιο
- Παραγωγή σκυροδέματος με χαμηλό λόγο νερού προς τσιμέντο, χωρίς επιπτώσεις στην εργασιμότητα
- Προϊόν με πολλαπλές εφαρμογές

### Για τον εργολάβο / χρήστη:

- Ευκολότερη σκυροδέτηση και ταχύτερη ανάπτυξη αντοχών
- Βελτιωμένες επιφάνειες από σκυρόδεμα
- Εγγύηση σκυροδέτησης με το σκυρόδεμα που προδιαγράφηκε και παραγγέλθηκε από τη μονάδα παραγωγής σκυροδέματος

### Για το μηχανικό:

- Βεβαιότητα ότι το σκυρόδεμα πληρεί τις αρχικές προδιαγραφές
- Υψηλής ποιότητας σκυρόδεμα μεγάλης αντοχής και ανθεκτικότητας

## Συσκευασία

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 διατίθεται σε δεξαμενές 1075kg, σε βαρέλια 225kg, ή χύδην.

Χρώμα	Καφέ
Ειδικό βάρος στους 20°C	1.060 – 1.080
Τιμή Ph	6,4

## Δοσολογία

Η συνιστώμενη δοσολογία του GLENIUM<sup>®</sup> C 347 κυμαίνεται μεταξύ 0,4 kg και 2,0 kg (0,37-1,87Lt) ανά 100 kg του συνολικού τσιμεντοειδούς υλικού. Σε ειδικές περιπτώσεις ενδέχεται να εφαρμοστεί διαφορετική δοσολογία, αναλόγως των ειδικών εργοταξιακών συνθηκών. Σε αυτήν την περίπτωση, μπορείτε να συμβουλευτείτε το Τμήμα Τεχνικών Υπηρεσιών.

# GLENIUM<sup>®</sup> C347

(ex. GLENIUM 747)

## Ανάμιξη

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 είναι ένα πρόσμικτο έτοιμο προς χρήση, το οποίο προστίθεται στο σκυρόδεμα ως ξεχωριστό στοιχείο.

Τα βέλτιστα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 διοχετεύεται στο μίγμα του σκυροδέματος, μετά από την προσθήκη όλου του νερού ανάμιξης, όταν δηλαδή έχουν διαβραχεί όλα τα στερεά υλικά. Αποφύγετε την προσθήκη του πρόσμικτου σε στεγνά αδρανή.

## Συμβατότητα

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 δεν είναι συμβατό με τους υπερρευστοποιητές της σειράς RHEOBUILD<sup>®</sup>.

Για την ικανοποίηση τυχόν ειδικών απαιτήσεων, συνιστάται η συμπληρωματική χρήση των ακόλουθων πρόσθετων:

- Ρυθμιστής ιξώδους GLENIUM<sup>®</sup> STREAM, για την παραγωγή Ρεοδυναμικού σκυροδέματος
- Αερακτικό MICRO AIR<sup>®</sup>, για τη βελτίωση της αντοχής σε ψύξη / απόψυξη

## Αποθήκευση

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 αποθηκεύεται σε μέρος που δεν έρχεται σε απευθείας επαφή με το ηλιακό φως, προστατευμένο από μεγάλες εναλλαγές της θερμοκρασίας. Εάν αποθηκευτεί σύμφωνα με αυτές τις οδηγίες, η διάρκεια ζωής του προϊόντος είναι 12 μήνες.

## Χειρισμός και μεταφορά

Δεν υπάρχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις, οι οποίες πρέπει να τηρούνται κατά τη χρήση. Ωστόσο, συνιστάται η χρήση προστατευτικών γαντιών και γυαλιών. Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 δεν είναι εύφλεκτο ή τοξικό, δεν προκαλεί ερεθισμούς και δεν απαιτεί ειδικές συνθήκες μεταφοράς.

## Προφυλάξεις

Το GLENIUM<sup>®</sup> C 347 δεν περιέχει επικίνδυνες ουσίες, οι οποίες πρέπει να αναγράφονται. Για περισσότερες πληροφορίες, μπορείτε να ανατρέξετε στο Φύλλο Πληροφοριών Ασφαλείας Υλικού.

## Σημείωση

Η επιτόπου εξυπηρέτηση, όπου παρέχεται, δεν συνιστά ευθύνη επίβλεψης. Για επιπλέον πληροφορίες, επικοινωνήστε με τον τοπικό σας αντιπρόσωπο της BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. Η BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε. επιφυλάσσει του δικαιώματός της να διατηρεί την πραγματική αιτία οιασδήποτε δυσκολίας προσδιορισμένης από αποδεκτές μεθόδους ελέγχου.

## Ποιότητα και μέριμνα

Όλα τα προϊόντα που προέρχονται από τις εγκαταστάσεις της BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε., κατασκευάζονται με βάση ένα σύστημα διαχείρισης, το οποίο φέρει ανεξάρτητη πιστοποίηση, ώστε να συνάδει με τις απαιτήσεις των προτύπων ISO 9001 & ISO 14001.

## BASF ΕΛΛΑΣ Α.Β.Ε.Ε.

### Τμήμα Χημικά Κατασκευών

Αθήνα: Μεσογείων 449 • 153 43 Αγία Παρασκευή

Τηλ. 210 6860100 • Fax 210 6860215

Θεσσαλονίκη: ΒΙ.ΠΕ. Σίνδου • 570 72 Σίνδος

Τηλ. 2310 417 101 • Fax 2310 417 115

Εργοστάσιο Θήβας: Τηλ. 22620 22471 • Fax 22620 28573

[www.basf-cc.gr](http://www.basf-cc.gr)

## ΝΟΒΟCΑRΒ Νο 20 ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ

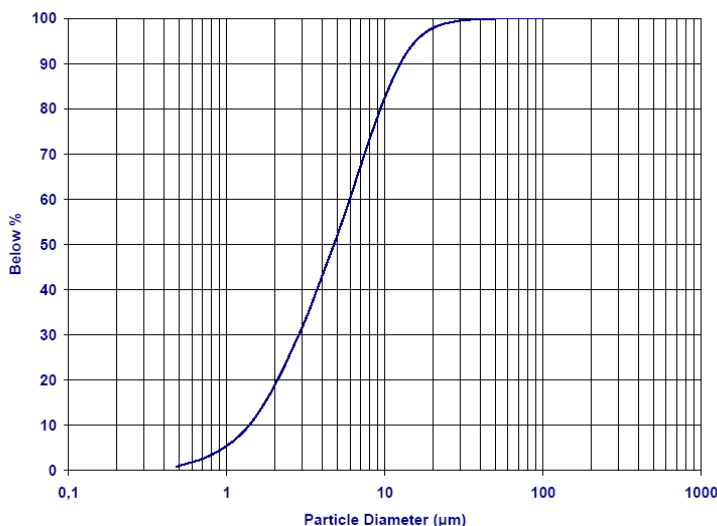
**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:** Λεπτόκοκκο φυσικό κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο, υψηλής λευκότητας, προερχόμενο από το κοίτασμα λευκού μαρμάρου στο Διόνυσο Αττικής.

### ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ:

CaCO <sub>3</sub>	≥	98,0	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤	0,07	%
SiO <sub>2</sub>	≤	0,35	%	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	≤	0,001	%
MgO	≤	0,75	%	Περιεχόμενη υγρασία	≤	0,2	%

### ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

Λεπτότητα κόκκων d (0,97)	16-20 μm
Μέσο μέγεθος κόκκων d (0,50)	4-6 μm
Κόκκοι λεπτότεροι από 2 μm	14-26 %



Ειδικό βάρος	2,6
Φαινόμενο βάρος	0,7 g/cm <sup>3</sup>
Ελαιοαπορροφητικότητα	20 g/100 g
Σκληρότητα (κλίμακα Mohs)	3

### ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

Λευκότητα (Whiteness index ASTM 313)	97,5
--------------------------------------	------

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ:

- Κάποιες από τις συνήθειες χρήσεις του ως πληρωτικό υλικό:
- Χρώματα (Υδροχρώματα εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών, αλκυδικά χρώματα, αστάρια κτλ...)
  - Προϊόντα από PVC (Καλύμματα δαπέδων και κάποια άλλα προϊόντα σε μορφή φύλλων)
  - Συγκολλητικές ύλες
  - Στόκος με πολυεστερική βάση

### ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ ΠΩΛΗΣΗΣ:

Σακιά των 25 kg με παλετοποίηση 1250 kg (50 σακιά)  
Big Bags 600 kg ή 800 kg / Χύμα σε σιλοφόρο 25 tn

Οι παραπάνω τιμές είναι ενδεικτικές. Βασίζονται σε αποτελέσματα δοκιμών που εκτελούνται σε εξωτερικά εργαστήρια, καθώς και σε συνεχείς μετρήσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα στα πλαίσια του εφαρμοζόμενου συστήματος διαχείρισης ποιότητας ISO 9001