

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΣΑΡΑ ΟΜΠΙΕΝΤ-ΑΛΦΙΕΡΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ



Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

AOHNA 2018



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΑΡΑ ΟΜΠΙΕΝΤ-ΑΛΦΙΕΡΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΧΗΜΙΚΩΝ ΑΓΚΥΡΙΩΝ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΕΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ

Επιβλέπουσα: Ελισάβετ Βιντζηλαίου Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

AOHNA 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια της διπλωματικής μου εργασίας κα Ελισάβετ Βιντζηλαίου, καθηγήτρια Ε.Μ.Π. και την κα Βασιλική Παλιεράκη, Δρ. Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π., που μου πρότειναν την ιδέα να συμμετάσχω και να παρακολουθήσω τα πειράματα. Μου έδωσαν την ευκαιρία να εμβαθύνω τις γνώσεις μου στο πεδίο της μηχανικής της τοιχοποιίας και σε ένα νέο για μένα ευρύ πεδίο της μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς των χημικών αγκυρίων σε τοιχοποιία.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Χριστίδη, Δρ. Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π. και την κα Δέσποινα Καραγιαννάκη Πολ. Μηχ. Ε.Μ.Π. για την βοήθεια την οποία μου προσέφεραν, τις χρήσιμες συμβουλές τους, και την παρέα τους καθόλη την διάρκεια των πειραμάτων, της συγγραφής του κειμένου και της παρουσίασης της διπλωματικής μου εργασίας.

Σπουδαία ήταν η βοήθεια του ηλεκτρονικού του Εργαστηρίου Ωπλισμένου Σκυροδέματος, κ. Παναγιώτη Κορνέζου, ο οποίος ήταν πάντα πρόθυμος να μας βοηθήσει σε όλα τα πειράματα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την διαρκή στήριξη τους.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη της συμπεριφοράς των χημικών αγκυρίων υπό μονοτονικές και οιονεί σεισμικές δράσεις σε σύγχρονη τοιχοποιία.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε δύο κύριες ενότητες:

- Το θεωρητικό μέρος το οποίο αναπτύσσεται στα δύο πρώτα κεφάλαια.
- Το πειραματικό μέρος που αποτελεί αντικείμενο των Κεφαλαίων 3,4 και 5.

Αρχικά παρουσιάζεται η ιστορική αναδρομή της κατασκευής και της χρήσης των οπτοπλίνθων στις κατασκευές κτιρίων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα (Κεφάλαιο 1). Εν συνέχεια γίνεται αναφορά στα είδη των αγκυρίων, τα υλικά τους και τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται, ενώ γίνεται αναφορά στις χρήσεις των αγκυρίων και στην σχέση τους με την τοιχοποιία.

Ακολουθεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση των πειραμάτων και των αποτελεσμάτων που πραγματοποιήθηκαν σε παλαιότερες μελέτες (Κεφάλαιο 2). Αναλύονται οι τύποι αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας – αγκυρίου. Συγκρίνονται οι τιμές του μέγιστου φορτίου που μπορεί να φτάσει το αγκύριο και της μετατόπισης σε αυτό το φορτίο με κάποιες παραμέτρους (π.χ. την διάμετρο του αγκυρίου και το βάθος έμπηξης).

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται περιγραφή της διάταξης και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ελέγχου των μηχανικών χαρακτηριστικών των οπτοπλίνθων και των κονιαμάτων σε κάμψη τριών σημείων και σε θλίψη. Γίνεται επίσης περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και αναφορά στην εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς του αγκυρίου.

Το Κεφάλαιο 4 περιλαμβάνει την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας καθώς και συμπεράσματα που αφορούν την σύγκριση του θεωρητικού με το πειραματικό μέρος της εργασίας.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 περιλαμβάνονται τα βασικότερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

5

Abstract

This diploma thesis focuses on the behavior of chemical anchors under monotonic and quasi-seismic actions in contemporary masonry.

This diploma thesis is structured into two main sections:

- The theoretical part developed in the first two chapters.
- The experimental part covered by Chapters 3,4 and 5.

Initially, the historical overview of the construction and use of bricks in building construction from ancient times to the present (Chapter 1) is presented. Then reference is made to the types of anchors, their materials and the components of which they are composed. It also refers to the uses of anchors and their relation to masonry.

Consequently follows the literature review of the experiments and results of previous studies (Chapter 2). The types of failure of the masonry-anchor system are analyzed. Comparison of the maximum load values that anchor can reach and the corresponding displacement in this load under different parameters (e.g., anchor diameter and embedment depth).

Chapter 3 describes the test set up and the materials used in the experiments and presents the mechanical properties of bricks and mortars in three-point bending and compression. Description of the experimental process and a reference to the assessment of the mechanical behavior of the anchor is also made.

Chapter 4 includes the presentation of the results of the tests carried out in the context of this thesis as well as conclusions regarding the comparison of the theoretical with the experimental part of the thesis.

Finally, Chapter 5 contains the main conclusions of the present research as well as proposals for further future research.

Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της συμπεριφοράς χημικών αγκυρίων υπό σεισμικές δράσεις. Στο πειραματικό μέρος της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε αγκύρια τα οποία εγκαταστάθηκαν σε δοκίμια δύο διαφορετικών τύπων σύγχρονων φερουσών τοιχοποιιών. Δηλαδή τα αγκύρια εγκαταστάθηκαν σε διαφορετικά δοκίμια τοιχοποιίας από συμπαγείς και από διάτρητες οπτοπλίνθους με κατακόρυφες οπές, καθώς χρησιμοποιήθηκαν και δύο διαφορετικές κατηγορίες συνδετικού κονιάματος το πρώτο ασθενές κατηγορίας M5 και το δεύτερο ισχυρό κατηγορίας M20 αντίστοιχα, υπό τρία πρωτόκολλα φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Πρωτόκολλο 1: μονοτονική φόρτιση τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε διάτμηση.
- Πρωτόκολλο 2: επαναλαμβανόμενες δοκιμές εφελκυσμού και ανακυκλιζόμενες δοκιμές διάτμησης.
- Πρωτόκολλο 3: ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε διάτμηση.

Η ανάγκη για την μελέτη της σεισμικής απόκρισης χημικών αγκυρίων σε σύγχρονες τοιχοποιίες, έγκειται στο κενό που συναντάται στην διεθνή βιβλιογραφία. Οι έρευνες έχουν ως αντικείμενο τους την μελέτη της συμπεριφοράς αγκυρίων υπό μονοτονική και ανακυκλιζόμενη εφελκυστική φόρτιση σε ιστορικές λιθοδομές χαμηλών αντοχών αλλά και σε πλινθοδομές ιστορικών και σύγχρονων κτιρίων.

Κατ' επέκταση, ελάχιστες είναι οι μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει ως έγχυτο κονίαμα σύγχρονα συνθετικά υλικά, όπως είναι οι ρητίνες για την σύνδεση του αγκυρίου με την τοιχοποιία. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η πλειοψηφία των μελετών αφορούν ιστορικές τοιχοποιίες, στις οποίες βασικό ζητούμενο είναι η συμβατότητα (ως προς τις μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες) του αντικειμένου ενίσχυσης και του αυθεντικού υλικού.

Στο πλαίσιο του παρόντος πειραματικού προγράμματος, λήφθηκαν σοβαρά υπόψη οι παραπάνω ελλείψεις της βιβλιογραφίας. Γι αυτό, πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλο πλήθος πειραμάτων το οποίο θα μπορούσε να ήταν αντιπροσωπευτικό.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί προσπάθεια συμβολής στον εμπλουτισμό της βάσης δεδομένων της διεθνούς βιβλιογραφίας όσον αφορά το

θέμα των δοκιμών αγκυρίων σε τοιχοποιία καθώς και στην εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν την επιρροή διαφόρων παραμέτρων στην φέρουσα ικανότητα τους, όπως είναι η ορθή τάση, η θέση του αγκυρίου στην τοιχοποιία, η αντοχή και ο τύπος της τοιχοποιίας.

Περιεχόμενα

Eι	υχα	ριστ	τίες	3
П	ερίλ	\ηψ	ນຖ	5
A	ostr	act	t	7
Σ۴	οπ	ός τ	της εργασίας	9
П	εριε	εχόμ	μενα	11
П	εριε	εχόμ	μενα εικόνων	13
П	εριε	εχόμ	μενο πινάκων	21
1		Ητα	οιχοποιία ως φέρων οργανισμός	24
	1.1	L	Η ιστορική εξέλιξη των δομικών μονάδων της τοιχοποιίας	24
	1.2	2	Η σύγχρονη τοιχοποιία	27
		1.2.	.1 Είδη οπτοπλίνθων	28
		1.2.	.2 Οι χρήσεις των οπτοπλίνθων	29
		1.2.	.3 Τα πλεονεκτήματα μίας κατασκευής από σύγχρονη τοιχοποιία.	31
	1.3	3	Αγκύρια	32
		1.3.	.1 Τα είδη των αγκυρίων	32
		1.3.	.2 Οι χρήσεις των αγκυρίων	34
2		Βιβλ	λιογραφική ανασκόπηση	36
	2.1	L	Εισαγωγή	36
	2.2	2	Μηχανική συμπεριφορά τοιχοποιίας και αγκυρίου υπό σεισμική φό	όρτιση36
	2.3	3	Περίληψη των πειραμάτων της βιβλιογραφίας	37
	2.4	ŀ	Παράγοντες που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου	45
	2.5	5	Τύποι (μορφές) αστοχίας συστήματος τοιχοποιίας- αγκυρίου	48
	2.6	5	Επεξεργασία πειραμάτων και αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας	62
		2.6.	.1 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό μονοτονική φόρ	σιση73
		2.6.	.2 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό ανακυκλιζόμενη	1
		φόρ	ρτιση	95
		2.6. ανα	.3 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό μονοτονική και ακυκλιζόμενη φόρτιση	99
		2.6.4	.4 Αγκύρια εγκατεστημένα σε φυσικούς λίθους	105
3		Πειρ	ραματικό Μέρος	111
	3.1	L	Εισαγωγή	111
	3.2	2	Πειραματική διάταξη	113
		3.2.	.1 Επιλογή μηχανήματος και εξοπλισμού	115

	3.2	.2	Θέσεις τοποθέτησης των αγκυρίων	119
	3.3	Υλυ	κά	120
	3.3	.1	Οπτόπλινθοι	120
	3.3	.2	Κονιάματα	123
	3.3	.3	Μηχανικά χαρακτηριστικά οπτοπλίνθων και κονιαμάτων	132
	3.3	.4	Αγκύρια	143
	3.3	.5	Έγχυτο κονίαμα (χημικό αγκύριο)	143
	3.3	.6	Χιτώνιο με συνθετικό πλέγμα	143
	3.3	.7	Εξαρτήματα καθαρισμού	143
	3.4	Σχε	διασμός δοκιμίων	144
	3.4	.1	Τρόπος εγκατάστασης των αγκυρίων σε τοιχοποιία	145
	3.5	Περ	υγραφή πειραματικής διαδικασίας	147
	3.5	.1	Πρωτόκολλα φόρτισης	148
	3.6	Εκτ	ίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των αγκυρίων	151
	3.6	5.1	Αγκύρια υπό εφελκυστικά φορτία	152
	3.6	5.2	Αγκύρια υπό διατμητικά φορτία	154
4	Пε	ιραμ	ατικά αποτελέσματα	157
	4.1	Εξό	λκευση	157
	4.1	.1	Συμπαγείς οπτόπλινθοι	158
	4.1	.1	Διάτρητες οπτόπλινθοι	222
	4.2	Διά	τμηση	231
5	Συ	μπερ	άσματα και προτάσεις	245
	5.1	Προ	οτάσεις για περαιτέρω έρευνα	246
B	ιβλιογ	ραφί	α	247

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 Κατασκευές τοιχοποιίας από λιθοσώματα α) Göbekli Tepe 9600π.Χ.,
Τουρκία. Πηγή Unesco world heritage sites β) Μυκήνες 1500π.Χ. Ελλάδα γ)Ερέχθειο
1300π.Χ. Ελλάδα. Πηγή: σημειώσεις τοιχοποιίας24
Εικόνα 2 Ωμοπλινθοδομές α) Πυραμίδες της Γκίζας 3000π.Χ.,Αίγυπτος. Πηγή :
σημειώσεις τοιχοποιίας, β) Μάρι 3500π.Χ., ανατολική Συρία. Πηγή : προσωπικά
αρχεία25
Εικόνα 3 Παράδειγμα κατασκευής από έγχυτη τοιχοποιία α), β) Ρωμαϊκό ωδείο
Πάτρας. Πηγή Διάζωμα και γ) Η γέφυρα του Αγίου Γρηγορίου. Πηγή Ponte della
Mola Sinopoli et al., (2010)
Εικόνα 4 Σύγχρονη κατοικία από οπτοπλινθοδομή. Πηγή σημειώσεις Δομικών
υλικών, Φ. Καραντώνη27
Εικόνα 5 Διαφορετικά είδη διάτρητων οπτοπλίνθων. Πηγή Χαλκίς ΑΕ
Εικόνα 6 Διαφορετικά είδη συμπαγών οπτοπλίνθων. Πηγή Παναγιωτόπουλος
κεραμοτουβλοποιία
Εικόνα 7Διάτρητες οπτόπλινθοι: α) τοιχοποιίας πληρώσεως. Πηγή ανακαινίσεις
Οικονόμου. β) φέρουσα τοιχοποιία. Πηγή μελέτες Παπαγεωργίου
Εικόνα 8 Οι χρήσεις των οπτοπλίνθων στην Ελλάδα. Πηγή Παναγιωτόπουλος
κεραμοτουβλοποιία
Εικόνα 9 Η χρήση των συμπαγών οπτοπλίνθων στην Ισπανία. Πηγή metalocus.es30
Εικόνα 10 Μηχανικά αγκύρια. Πηγή (Fischer and Hilti)32
Εικόνα 11 Αγκύριο Πηγή (Fischer and Hilti)33
Εικόνα 12 Διαφορετικά είδη χημικών αγκυρίων και τα εργαλεία έγχυσης του
κονιάματος33
Εικόνα 13 Χιτώνια χημικών αγκυρίων Πηγή (Fischer and Hilti)
Εικόνα 14 Χρήση αγκυρίου σε παλαιά τοιχοποιία.Πηγή: tonearch.com
Εικόνα 15 Οι χρήσεις των αγκυρίων στην σύγχρονη τοιχοποιία. Πηγή (Fischer, Hilti)
Εικόνα 16 Εγκατάσταση αγκυρίων στο πείραμα των Chen et al. (2004)
Εικόνα 17 Πείραμα των Arifovic and Nielsen, (2004), (α) Διάταξη πειράματος (β)
Αστοχία αγκυρίου
Εικόνα 18 Πείραμα των Algeri et al., (2010), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία
αγκυρίου
Εικόνα 19 Πείραμα των Dizhur et al., (2013), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία
αγκυρίου40
Εικόνα 20 Διάταξη πειράματος των Paganoni and D'Ayala, (2014), (α) Για μονοτονική
φόρτιση (β) Για ανακυκλιζόμενη φόρτιση41
Εικόνα 21 Πείραμα των Abate et al., (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία
αγκυρίου41
Εικόνα 22 Πείραμα των Braimah et al., (2014), α) Εγκατάσταση αγκυρίου (β) Αστοχία
αγκυρίου42
Εικόνα 23 Πείραμα των Silveri et al. (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία
αγκυρίου43

Εικόνα 24 Πείραμα Contrafatto et al. (2014), α) Διάταξη πειράματος β) Αστοχία Εικόνα 25 Πείραμα των Moreira et al., (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία Εικόνα 26 Πείραμα των Munoz et al., (2018)), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία Εικόνα 27 Ροή τάσεων και φορτίου θραύσης λόγω εφελκυστικού φορτίου (Dizhur et Εικόνα 28 Τύποι αστοχίας λόγω εφελκυστικού φορτίου. Πηγή εικόνων: (α-β-γ-δ) κατά (cook et al. 1998) και (ε) (Hilti technical data sheet for chemical mortar for Εικόνα 29 Τρόπος συμπεριφοράς του μηχανισμού παρεμπόδισης κατά Meyer, Εικόνα 30 Υπολογισμός της επιφάνειας Α⁰_{c.N} σύμφωνα με το [ETAG 029:2013-09]..51 Εικόνα 31 Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου, από το πείραμα των Arifovic and Nielsen, (2004)......53 Εικόνα 32 Συνδυαστική μορφή αστοχίας κατά (Moreira et al. 2014)......54 Εικόνα 33 Προσέγγιση υπολογισμού κατά Βιντζηλαίου και Τάσσιος, (1987), πηγή Εικόνα 34 Τύποι αστοχίας λόγω διατμητικού φορτίου......57 Εικόνα 35 Η διάκριση της απόστασης του μοχλοβραχίονα [ETAG 029 Annex C: 2013-Εικόνα 36 Πιθανές περιπτώσεις αστοχίας σε συμπαγείς οπτοπλίνθους (Welz 2017) Εικόνα 37 Περιπτώσεις αγκυρίων υπό διάτμηση σε διάτρητες οπτοπλίνθους (Welz Εικόνα 38 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με την διάμετρο......74 Εικόνα 39 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με το βάθος έμπηξης τους......76 Εικόνα 40 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με την μορφή Εικόνα 41 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων με ρητίνη σε σχέση με την διάμετρο του αγκυρίου......80 Εικόνα 42 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων με ρητίνη σε σχέση με το βάθος έμπηξης τους82 Εικόνα 43 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων με ρητίνη και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία......84 Εικόνα 44 Πειράματα σε αγκύρια με χρήση κονιάματος ή ρητίνης (α) Arifovic and Nielsen, 2004 (β) Silveri et al., 201485

Εικόνα 45 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε μονοτονική εφελκυστική φόρτιση αγκυρίων σε σχέση με την διάμετρο τους86 Εικόνα 46 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε Εικόνα 47 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία.....90 Εικόνα 48 Αγκύρια εγκατεστημένα στην κεφαλή της οπτοπλίνθου πειράματα Εικόνα 50 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε σχέση με την διάμετρο του αγκυρίου και το βάθος Εικόνα 51 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία......98 Εικόνα 52 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε σχέση με Εικόνα 53 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε σχέση με Εικόνα 54 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία.....104 Εικόνα 55 Εικόνες από τα πειράματα (α) Moreira et al. 2014 και (β) Munoz et al. Εικόνα 56 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων σε αγκύρια εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από φυσικούς λίθους σε σχέση με την διάμετρο του Εικόνα 57 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων σε αγκύρια εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από φυσικούς λίθους σε σχέση με το βάθος έμπηξης Εικόνα 58 Συγκεντρωτικά διαγράμματα φορτίου και μετατόπισης συναρτήσει του γινόμενου d*heff σε σχέση με την μορφή αστοχίας σε πειράματα τοιχοποιίας από Εικόνα 59 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε συνάρτηση με την τάση......110 Εικόνα 60 Διάταξη του τοίχου κατά την διάρκεια του πειράματος: (α) Σχέδιο σε autocad, (β) και (γ) φωτογραφίες από το εργαστήριο.....114 Εικόνα 61 Διάταξη μηχανήματος εξόλκευσης: (α) φωτογραφία διάταξης χρησιμοποιούμενου μηχανήματος στο εργαστήριο και (β) σχήμα διάταξης σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15].....116 Εικόνα 62 Διάταξη μηχανήματος διάτμησης: (α) βάση του μηχανήματος (β) Εικόνα 63 Δείγμα ελάσματος για χρήση σε διατμητικά φορτία......118 Εικόνα 64 Σχήμα διάταξης σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15]......118 Εικόνα 65 Σημεία τοποθέτησης των αγκυρίων119

Εικόνα 66 Η συμπαγής οπτόπλινθος που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των
τοιχίσκων120
Εικόνα 67 Διάταξη τοποθέτησης των οπτοπλίνθων για την κατασκευή των δοκιμίων
τοιχοποιίας: α) Διάταξη με αρηγμάτωτες οπτοπλίνθους β) Διάταξη με ρηγματωμένες
οπτοπλίνθους121
Εικόνα 68 Τοποθέτηση δειγμάτων κονιάματος στις μήτρες
Εικόνα 69 Η διάταξη που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καμπτικής
αντοχής των κονιαμάτων125
Εικόνα 70 Δοκιμή θλίψης σε δοκίμια κονιαμάτων127
Εικόνα 71 Διάγραμμα καμπύλης θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων ανά ημέρα
δοκιμής131
Εικόνα 72 Έλεγχος οπτοπλίνθων σε κάμψη τριών σημείων
Εικόνα 73 Έλεγχος οπτοπλίνθου σε θλίψη134
Εικόνα 74 Δοκιμή θλίψης σε δοκίμια κονιαμάτων139
Εικόνα 75 Φωτογραφίες κονιαμάτων (α) μετά την δοκιμή της κάμψης και (β) μετά
την δοκιμή της θλίψης140
Εικόνα 76 Αγκύριο143
Εικόνα 77 Εξαρτήματα καθαρισμού α) Βούρτσα β) Πιστόλι πεπιεσμένου αέρα143
Εικόνα 78 Κατασκευή δοκιμίου από συμπαγείς οπτοπλίνθους
Εικόνα 79 Κατασκευή δοκιμίου τοιχοποιίας από διάτρητες οπτοπλίνθους με
κατακόρυφες οπές145
Εικόνα 80 Πρότυπη διαδικασία εγκατάστασης αγκυρίου σε συμπαγή οπτόπλινθο146
Εικόνα 81 Πρότυπη διαδικασία εγκατάστασης αγκυρίου σε διάτρητη οπτόπλινθο146
Εικόνα 82 Μέτρηση μεγέθους ανοίγματος ρωγμών μέσω βελομέτρων κατά την
εφαρμογή διαγώνιας θλίψης147
Εικόνα 83 Θέση βελόμετρων κοντά στα αγκύρια κάθετα στο άνοιγμα της ρωγμής 148
Εικόνα 84 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.1149
Εικόνα 85 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.2151
Εικόνα 86 Αγκύριο μετά την δοκιμή158
Εικόνα 87 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου158
Εικόνα 88 Αγκύριο μετά την δοκιμή159
Εικόνα 89 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου159
Εικόνα 90 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 91 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου160
Εικόνα 92 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 93 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου161
Εικόνα 94 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 95 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου162
Εικόνα 96 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 97 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου163
Εικόνα 98 Αγκύριο μετά την δοκιμή164
Εικόνα 99 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου164
Εικόνα 100 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή

Εικόνα 101 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου165
Εικόνα 102 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή
Εικόνα 103 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου166
Εικόνα 104 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 105 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου167
Εικόνα 106 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή168
Εικόνα 107 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου168
Εικόνα 108 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτιση169
Εικόνα 109 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 110 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορίο
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης
Εικόνα 111 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 112 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης
Εικόνα 113 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 114 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορίο
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης
Εικόνα 115 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 116 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης177
Εικόνα 117 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή178
Εικόνα 118 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης179
Εικόνα 119 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή180
Εικόνα 120 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης181
Εικόνα 121 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή182
Εικόνα 122 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης183
Εικόνα 123 Συγκεντρωτικά τελικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική
φόρτιση184
Εικόνα 124 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 125 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου185
Εικόνα 126 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Εικόνα 127 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου186
Εικόνα 128 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Εικόνα 129 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 130 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 131 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 132 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 133 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 134 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 135 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 136 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτ	ιση191
Εικόνα 137 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 138 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	192
Εικόνα 139 Αγκύριο μετά την δοκιμή	193
Εικόνα 140 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	193
Εικόνα 141 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 142 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 143 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 144 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 145 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 146 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 147 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 148 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 149 Αγκύριο μετά την δοκιμή	
Εικόνα 150 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 151 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή	
Εικόνα 152 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	
Εικόνα 153 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	200
Εικόνα 154 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	200
Εικόνα 155 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	201
Εικόνα 156 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	201
Εικόνα 157 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	202
Εικόνα 158 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	202
Εικόνα 159 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	203
Εικόνα 160 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	203
Εικόνα 161 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική	φόρτιση
σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1	204
Εικόνα 162 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	205
Εικόνα 163 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	206
Εικόνα 164 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	207
Εικόνα 165 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	207
Εικόνα 166 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	208
Εικόνα 167 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	208
Εικόνα 168 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	209
Εικόνα 169 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	210
Εικόνα 170 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	211

Εικόνα 171 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	211
Εικόνα 172 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	212
Εικόνα 173 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	212
Εικόνα 174 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό ανακυκλιζόμεν	νη φόρτιση
σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 2	213
Εικόνα 175 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	214
Εικόνα 176 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	214
Εικόνα 177 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	215
Εικόνα 178 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	215
Εικόνα 179 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	216
Εικόνα 180 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	216
Εικόνα 181 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	217
Εικόνα 182 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	217
Εικόνα 183 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	218
Εικόνα 184 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	218
Εικόνα 185 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	219
Εικόνα 186 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	219
Εικόνα 187 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	220
Εικόνα 188 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	220
Εικόνα 189 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό ανακυκλιζόμεν	νη φόρτιση
σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3	221
Εικόνα 190 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	222
Εικόνα 191 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	222
Εικόνα 192 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	223
Εικόνα 193 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	223
Εικόνα 194 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	224
Εικόνα 195 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	224
Εικόνα 196 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	225
Εικόνα 197 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	225
Εικόνα 198 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	226
Εικόνα 199 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	226
Εικόνα 200 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	227
Εικόνα 201 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	227
Εικόνα 202 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	228
Εικόνα 203 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	228
Εικόνα 204 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	229
Εικόνα 205 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	229
Εικόνα 206 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σε αγκύρια εγκατεσ	στημένα σε
διάτρητες οπτοπλίνθους	230
Εικόνα 207 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	231
Εικόνα 208 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	231
Εικόνα 209 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	232
Εικόνα 210 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	232

Εικόνα 211 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	233
Εικόνα 212 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	233
Εικόνα 213 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	234
Εικόνα 214 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	234
Εικόνα 215 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	235
Εικόνα 216 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	235
Εικόνα 217 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	236
Εικόνα 218 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία
φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μ	ιονοτονική ς
φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης	237
Εικόνα 219 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	238
Εικόνα 220 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	238
Εικόνα 221 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	239
Εικόνα 222 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	239
Εικόνα 223 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	240
Εικόνα 224 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	240
Εικόνα 225 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή	241
Εικόνα 226 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	241
Εικόνα 227 Αγκύριο (α) πριν και (β) (γ) μετά την δοκιμή	242
Εικόνα 228 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	242
Εικόνα 229 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή	243
Εικόνα 230 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου	243
Εικόνα 231 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό: α) μονοτονι	ική φόρτιση
Πρωτόκολλο 1 β) ανακυκλιζόμενη Πρωτόκολλο 2 γ) ανακυκλιζόμενη φ	όρτιση υπό
ελεγχόμενη μετατόπιση Πρωτόκολλο 3	244

Περιεχόμενο πινάκων

Πίνακας 1 Υπολογισμός του ενεργού βάθους έμπηξης για την διάτρητη οπτόπλινθο κατά Meyer, (2006)......52 Πίνακας 2 Τιμές διατμητικής συνοχής (f_{vko}) για συνδετικό κονίαμα γενικής εφαρμογής σύμφωνα με το [EN 1996 1-1:2005]55 Πίνακας 3 Οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με το πρότυπο [ETAG 029 Annex C:2013] Πίνακας 4 Οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με το πρότυπο [ETAG 029 Annex C:2013] Πίνακας 5 Ομαδοποίηση των πειραμάτων σύμφωνα με την διάμετρο του αγκυρίου Πίνακας 6 Αποτελέσματα δοκιμών σε μονοτονική και δυναμική φόρτιση......67 Πίνακας 7 Τυπικά χαρακτηριστικά οπτοπλίνθου climablock 25......122 Πίνακας 8 Τυπική αναλογία μίγματος για συνδετικό κονίαμα κατηγορίας Μ5 και Πίνακας 10 Αποτελέσματα διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων σε κάμψη126 Πίνακας 11 Αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης των πρισμάτων των κονιαμάτων 128 Πίνακας 12 Τελικές συνθέσεις κονιάματος.....131 Πίνακας 14 Αποτελέσματα ελέγχου της θλιπτικής ανοχής των συμπαγών Πίνακας 16 Αποτελέσματα δοκιμών για τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων κατηγορίας. Μ5 και Μ20 που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή Πίνακας 17 Αποτελέσματα που αφορούν την καμπτική αντοχή των ισχυρών κονιαμάτων κατηγορίας Μ20......138 Πίνακας 18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων κατηγορίας M5 και M20......140 Πίνακας 19 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής των ισχυρών κονιαμάτων κατηγορίας M20......142 Πίνακας 20 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.1......149 Πίνακας 21 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.2......150 Πίνακας 23 Αποτελέσματα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς αγκυρίου σε εφελκυστικά φορτία......154 Πίνακας 24 Αποτελέσματα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς αγκυρίου σε Πίνακας 25 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-3......158 Πίνακας 26 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-4......159 Πίνακας 27 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-3......160 Πίνακας 28 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-4......161

Πίνακας 29 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW3-1	162
Πίνακας 30 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-2	163
Πίνακας 31 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-3	164
Πίνακας 32 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-4	165
Πίνακας 33 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-3	166
Πίνακας 34 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-4	167
Πίνακας 35 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-1	168
Πίνακας 36 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW3-2	171
Πίνακας 37 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW3-3	173
Πίνακας 38 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW3-4	175
Πίνακας 39 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-4	177
Πίνακας 40 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-2	179
Πίνακας 41 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-3	181
Πίνακας 42 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-4	183
Πίνακας 43 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-3	185
Πίνακας 44 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-4	186
Πίνακας 45 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-5	187
Πίνακας 46 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS5-1	188
Πίνακας 47 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS5-2	189
Πίνακας 48 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS5-3	190
Πίνακας 49 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-1	192
Πίνακας 50 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-2	193
Πίνακας 51 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-2	194
Πίνακας 52 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-1	195
Πίνακας 53 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-2	196
Πίνακας 54 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-1	197
Πίνακας 55 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-1	198
Πίνακας 56 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-3	199
Πίνακας 57 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-1	200
Πίνακας 58 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-1	201
Πίνακας 59 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-2	202
Πίνακας 60 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS10-1	203
Πίνακας 61 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW3-1	206
Πίνακας 62 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-2	207
Πίνακας 63 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW4-1	208
Πίνακας 64 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS12-2	210
Πίνακας 65 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS13-1	211
Πίνακας 66 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS14-2	212
Πίνακας 67 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW2-1	214
Πίνακας 68 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW2-2	215
Πίνακας 69 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW2-3	216
Πίνακας 70 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW5-1	217
Πίνακας 71 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS11-1	218

Πίνακας 72 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS11-2	219
Πίνακας 73 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS12-1	220
Πίνακας 74 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-3	222
Πίνακας 75 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-2	223
Πίνακας 76 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-4	224
Πίνακας 77 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-4	225
Πίνακας 78 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-1	226
Πίνακας 79 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-3	227
Πίνακας 80 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-1	228
Πίνακας 81 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-2	229
Πίνακας 82 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW1-1	231
Πίνακας 83 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-1	232
Πίνακας 84 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-3	233
Πίνακας 85 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-4	234
Πίνακας 86 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-5	235
Πίνακας 87 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS8-2	237
Πίνακας 88 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS9-1	238
Πίνακας 89 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS9-2	239
Πίνακας 90 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-2	240
Πίνακας 91 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS7-1	241
Πίνακας 92 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS7-2	242
Πίνακας 93 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS8-1	243

1 Η τοιχοποιία ως φέρων οργανισμός

1.1 Η ιστορική εξέλιξη των δομικών μονάδων της τοιχοποιίας

Τα περισσότερα δομικά έργα από την αρχαιότητα μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα είναι κατασκευασμένα από τοιχοποιία. Η ανάγκη στέγασης αποτέλεσε μία από τις πρωταρχικές και θεμελιώδεις ανάγκες που προσπάθησε να ικανοποιήσει ο άνθρωπος ήδη από τις πρώτες κοινωνίες. Με την αύξηση του πληθυσμού της κάθε κοινωνίας εμφανίστηκε η ανάγκη κατασκευής μεγαλύτερων έργων που εξυπηρετούσαν τις καθημερινές δραστηριότητες των πολιτών της, όπως οι ναοί, τα ανάκτορα, τα υδραγωγεία και τα θέατρα. Οι κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία αποτελούν την πλειονότητα των κτιρίων σε πολλές περιοχές του κόσμου και οι περισσότερες από αυτές έχουν ενταχθεί ως κατασκευές παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς (Καραντώνη, 2012).

Οι τοιχοποιίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το είδος της δομικής μονάδας ως εξής:

i. Τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους (λιθοδομές) στις οποίες χρησιμοποιείται φυσικός λίθος (πέτρα) με κάποια κατεργασία ή και όχι στις επιφάνειές του ώστε να πάρει το κατάλληλο σχήμα και τις κατάλληλες διαστάσεις για να χρησιμοποιηθεί για την συγκεκριμένη κατασκευή. Ανάλογα με το είδος της λιθοδομής μπορεί να γίνει ή όχι η χρήση συνδετικού κονιάματος (Καραντώνη, 2012).

Η συγκεκριμένη τεχνική δόμησης εμφανίζεται σε κτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για θρησκευτικούς σκοπούς πριν το 10000π.Χ. όπως ο ναός στο Göbekli Tepe (9600-8200π.Χ.) στη Τουρκία που ανέφερε η Unesco world heritage sites.



Εικόνα 1 Κατασκευές τοιχοποιίας από λιθοσώματα α) Göbekli Tepe 9600π.Χ., Τουρκία. Πηγή Unesco world heritage sites β) Μυκήνες 1500π.Χ. Ελλάδα γ)Ερέχθειο 1300π.Χ. Ελλάδα. Πηγή: σημειώσεις τοιχοποιίας

ii. Τοιχοποιίες από τεχνητούς λίθους (πλινθοδομές) στις οποίες χρησιμοποιείται τεχνητός πλίνθος που παράγεται με τεχνικά μέσα δηλαδή είναι βιομηχανικό προϊόν. Οι δομικές μονάδες χαρακτηρίζονται για τις σταθερές τους διαστάσεις και σχήμα. Ο πηλός ως το βασικό υλικό παραγωγής πλίνθων στις περιοχές που βρίσκονται κοντά σε μεγάλους ποταμούς με μεγάλη ποσότητα αργίλου όπως στην Μεσοποταμία, στην Βόρεια Αφρική και στην Νότια Αμερική (Καραντώνη, 2012).

Οι πλινθοδομές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το υλικό των δομικών μονάδων ως εξής:

 Ωμοπλινθοδομές στις οποίες το υλικό δόμησης είναι οι ωμόπλινθοι δηλαδή άψητες πλίνθοι από χώμα που έχουν στεγνώσει και έχουν σκληρυνθεί στον αέρα. Αυτή η τεχνική δόμησης ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στην Μεσοποταμία το 10000π.Χ. περίπου. Αντίθετα στην βόρεια Αφρική και στην Ελλάδα η χρήση αυτής της τεχνικής εμφανίζεται στις πεδινές περιοχές κατά το 3000π.Χ. και μέχρι τα πρώτα μετεπαναστατικά χρόνια (Καραντώνη, 2012).



Εικόνα 2 Ωμοπλινθοδομές α) Πυραμίδες της Γκίζας 3000π.Χ.,Αίγυπτος. Πηγή : σημειώσεις τοιχοποιίας, β) Μάρι 3500π.Χ., ανατολική Συρία. Πηγή : προσωπικά αρχεία

- Οπτοπλινθοδομές στις οποίες το υλικό δόμησης είναι ψημένες πλίνθοι κυρίως από αργιλικό υλικό (πηλό).
- ίἰι. Ἐγχυτη τοιχοποιία. Κατασκευάζεται στο εσωτερικό του τοίχου ένα πλαστικό μίγμα πηλού, κροκάλων και σκυροδέματος, το οποίο στη συνέχεια σκληρύνεται.

Χρησιμοποιείται ως καλούπι ένα στρώμα από συμπαγείς οπτοπλίνθους στις δύο εξωτερικές επιφάνειες του τοίχου το οποίο αποτελεί την εξωτερική επένδυση της κατασκευής (Καραντώνη,2012).

Κατά την Ρωμαϊκή περίοδο οι Ρωμαίοι τεχνίτες ανέπτυξαν αυτή την μέθοδο δόμησης για την κατασκευή μεγάλων κτιρίων και γεφυρών. Έτσι χρησιμοποιώντας για το εσωτερικό πυρήνα του τοίχου ένα μίγμα ποζολάνης ως αρχικό τεχνητό υλικό σκυροδέτησης, με μία εξωτερική τεχνητή επένδυση προσέγγιζαν μία μονολιθική κατασκευή με καλή εφελκυστική αντοχή (Sinopoli et al.2010).

Τα ωδεία χτίζονταν συνήθως στις πιο ανεπτυγμένες περιοχές της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας. Το ωδείο της Πάτρας, μία από τις πλουσιότερες ρωμαϊκές αποικίες στον Ελλαδικό χώρο, χτίστηκε στο α' μισό του 2^{ου} αιώνα μ.Χ. Οι τοίχοι κατασκευάστηκαν από μικρές πέτρες που στη συνέχεια επενδύθηκαν με πλίνθους. Η χαρακτηριστική κοκκινωπή απόχρωση οφείλεται στα οικοδομικά υλικά της εξωτερικής επένδυσης (Διάζωμα).



(α)



(β)



(Υ) Εικόνα 3 Παράδειγμα κατασκευής από έγχυτη τοιχοποιία α), β) Ρωμαϊκό ωδείο Πάτρας. Πηγή Διάζωμα και γ) Η γέφυρα του Αγίου Γρηγορίου. Πηγή Ponte della Mola Sinopoli et al., (2010)

1.2 Η σύγχρονη τοιχοποιία

Η τοιχοποιία ως δομικό σύστημα αποτελείται από τα πλήρη κατακόρυφα στοιχεία μίας οικοδομής (Τοιχοποιίες e-class aspete). Είναι σύνθεση δύο στοιχείων, της δομικής μονάδας και του συνδετικού κονιάματος (Καραντώνη, 2012).

Η πρώτη συσκευή για ευρεία παραγωγή οπτοπλίνθων χρονολογείται το 1619μ.Χ., Ύστερα κατέστη δυνατή η βιομηχανική παραγωγή οπτοπλίνθων μετά την ανακάλυψη της υψικαμίνου Hoffman το 1858μ.Χ.. Σήμερα η παραγωγή των οπτοπλίνθων είναι εξ' ολοκλήρου βιομηχανική. Στην Ελλάδα η χρήση της πέτρας ως υλικό δόμησης για τους φέροντες τοίχους αντικαταστάθηκε πλήρως από τις οπτοπλίνθους μετά το 1960μ.Χ. (Καραντώνη, 2012).

Οι οπτόπλινθοι αποτελούνται από άργιλο, άμμο και νερό, αλλά και διάφορα πρόσθετα υλικά. Κατά την κατασκευή της τοιχοποιίας, οι οπτόπλινθοι συνδέονται μεταξύ τους με κονίαμα, το οποίο συνήθως έχει ως υλικό βάσης το τσιμέντο (Καραντώνη, 2012).

Στην Ευρώπη και ειδικά στην Γερμανία η χρήση του πηλού και του πυριτικού ασβεστίου αποτελεί το 72% των υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές από τοιχοποιία. Οι απαιτήσεις για την επιλογή των διαστάσεων, τη διαμόρφωση των οπών, την αντοχή και την πυκνότητα των μονάδων τοιχοποιίας γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα του DIN (Meyer and Eligehausen, 2006).

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν σχετικές προδιαγραφές και οι διαστάσεις κάθε οπτοπλίνθου διαφέρουν από κεραμοβιομηχανία σε κεραμοβιομηχανία (Καραντώνη, 2012).



Εικόνα 4 Σύγχρονη κατοικία από οπτοπλινθοδομή. Πηγή σημειώσεις Δομικών υλικών, Φ. Καραντώνη

1.2.1 Είδη οπτοπλίνθων

Στην Ελληνική αγορά υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία οπτοπλίνθων.

Η βασική διάκριση τους έγκειται στην ύπαρξη οπών ή όχι. Η πιο συνήθης κατηγοριοποίηση των διατρητών οπτοπλίνθων γίνεται βάσει αφενός του αριθμού των οπών (εξάοπες, εννιάοπες, δωδεκάοπες) και αφετέρου της διεύθυνσης αυτών (κατακόρυ161φες ή οριζόντιες) (Καραντώνη, 2012).



Εικόνα 5 Διαφορετικά είδη διάτρητων οπτοπλίνθων. Πηγή Χαλκίς ΑΕ

Όσον αφορά τις συμπαγείς οπτοπλίνθους, οι ελληνικές κεραμοβιομηχανίες παράγουν και αυτό το είδος των οπτοπλίνθων λόγω της ευρείας χρήσης τους σε οικοδομικές εργασίες.



Εικόνα 6 Διαφορετικά είδη συμπαγών οπτοπλίνθων. Πηγή Παναγιωτόπουλος κεραμοτουβλοποιία

1.2.2 Οι χρήσεις των οπτοπλίνθων

Οι χρήσεις των οπτοπλίνθων διαφέρουν ανάλογα με το είδος τους ως εξής:

1. Διάτρητες οπτόπλινθοι:

Οι διάτρητες οπτόπλινθοι με οριζόντιες οπές είναι οι πιο δημοφιλείς στην Ελλάδα. Χρησιμοποιούνται σε τοιχοποιίες πληρώσεως σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα ή από δομικό χάλυβα. Στην Ελλάδα οι διάτρητες οπτόπλινθοι με κατακόρυφες οπές χρησιμοποιούνται σε φέρουσες τοιχοποιίες ως δύο ορόφων σύμφωνα με τους εθνικούς κανονισμούς όπως ο KAN.ΕΠΕ., ο ΕΑΚ 2000 και ο Κ.Ε.Ν.Α.Κ. και τους Ευρωκώδικες ΕC6 και EC8.



Εικόνα 7Διάτρητες οπτόπλινθοι: α) τοιχοποιίας πληρώσεως. Πηγή ανακαινίσεις Οικονόμου. β) φέρουσα τοιχοποιία. Πηγή μελέτες Παπαγεωργίου.

2. Συμπαγείς οπτόπλινθοι:

Σε πολλές χώρες του κόσμου οι συμπαγείς οπτόπλινθοι χρησιμοποιούνται σε κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία ενώ στην Ελλάδα περιορίστηκε η χρήση τους είτε ως διακοσμητική επένδυση σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς τοίχους κτιρίων είτε ως πλακάκια δαπέδου για εξωτερικούς χώρους.



Εικόνα 8 Οι χρήσεις των οπτοπλίνθων στην Ελλάδα. Πηγή Παναγιωτόπουλος κεραμοτουβλοποιία



Εικόνα 9 Η χρήση των συμπαγών οπτοπλίνθων στην Ισπανία. Πηγή metalocus.es

1.2.3 Τα πλεονεκτήματα μίας κατασκευής από σύγχρονη

τοιχοποιία

Η χρήση της τοιχοποιίας ως δομικό σύστημα και η χρήση των τεχνητών οπτοπλίνθων ως δομικό υλικό, προσφέρουν δυνατότητες στα κτίρια που δεν τις παρέχουν τα άλλα υλικά δόμησης. Κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι οι εξής:

1. Ακρίβεια διαστάσεων, ομοιόμορφο σχήμα και συμπαγή μάζα.

Οι διάτρητες οπτόπλινθοι χτίζονται και χωρίς σκελετό από μπετόν και έως 2 ορόφους με τα ίδια χαρακτηριστικά ασφαλείας. Το τελικό κτίριο από φέρουσα τοιχοποιία έχει την ίδια μηχανική αντοχή με το αντίστοιχο κτίριο από μπετόν και η οικοδομική άδεια δεν απαιτεί την αναλογική στατική μελέτη. Οικονομία στην κατασκευή (Χαλκίς ΑΕ).

- 2. Η μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται οφείλεται στη μεγάλη θερμική τους αγωγιμότητα σε συνδυασμό με την μεγάλη θερμική τους αντίσταση. Ιδανικός συνδυασμός για μικρή κατανάλωση το χειμώνα και χωρίς την ανάγκη ψύξης το καλοκαίρι.
- Αντέχουν στην πυρκαγιά καθώς έχουν ήδη ψηθεί στους 900°C περίπου. (Χαλκίς ΑΕ).
- 4. Οι συμπαγείς οπτόπλινθοι προσφέρουν ευκολία στο χτίσιμο. Έχουν λεία επιφάνεια και δεν περιέχουν χημικά πρόσθετα ή υπολείμματα καύσης, προστατεύοντας έτσι τα χέρια των κτιστών. (Παναγιωτόπουλος κεραμοτουβλοποιία).
- 5. Μεγάλη διάρκεια ζωής και ανθεκτικότητα στο χρόνο. Μια σωστά σχεδιασμένη κατασκευή από τοιχοποιία με υλικά καλής ποιότητας μπορεί να έχει διάρκεια ζωής πάνω από 500 χρόνια, σε σχέση με τα 30-100 έτη που αποτελούν τη συνήθη διάρκεια ζωής των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και δομικό χάλυβα (Σουλιώτης, 2013).
- Μεγάλη θλιπτική αντοχή, ικανότητα ανάληψης μεγάλων κατακόρυφων φορτίων.
- Δυνατότητα διατήρησης εμφανούς τοιχοποιίας στις εξωτερικές όψεις του κτιρίου συνεπάγεται μειωμένο κόστος συντήρησης, αφού δεν απαιτούνται βαψίματα. (Σουλιώτης, 2013).
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και οπλισμός (οπλισμένη τοιχοποιία) αυξάνοντας την πλαστιμότητα της κατασκευής και την απόκριση σε σεισμικά φορτία (Καραντώνη, 2012).

1.3 Αγκύρια

Το αγκύριο είναι ένα σύστημα στερέωσης και αγκύρωσης διαφορετικών δομικών στοιχείων όπως επίσης στερέωσης μη δομικών με δομικά στοιχεία.

Στην Ελληνική αγορά υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία αγκυρίων. Τα αγκύρια διακρίνονται τόσο ως προς το είδος τους όσο και ως προς τις χρήσεις τους. Στα παρακάτω υποκεφάλαια θα γίνει αναφορά στα αγκύρια τα οποία χρησιμοποιούνται στην τοιχοποιία.

1.3.1 Τα είδη των αγκυρίων

Τα αγκύρια διακρίνονται σε δύο διαφορετικά είδη:

- 1) Μηχανικά αγκύρια.
- 2) Χημικά αγκύρια.

Τα μηχανικά αγκύρια τοποθετούνται με ένα ειδικό βύσμα πλαστικό ή μεταλλικό. Η δε στερέωση τους επιτυγχάνεται με μηχανικό τρόπο (διόγκωση και τριβή). Είναι καταλληλότερα για χρήση σε σκυρόδεμα και σε συμπαγή υλικά παρά για χρήση σε τοιχοποιία, της οποίας η αντοχή σε εφελκυσμό είναι πολύ μικρή και προκαλεί ρηγμάτωση στο εσωτερικό της οπτοπλίνθου χάνοντας έτσι την αντίσταση της. Σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται μεγαλύτερη συνάφεια μεταξύ του αγκυρίου και του υποβάθρου (agirosis.gr).



Εικόνα 10 Μηχανικά αγκύρια. Πηγή (Fischer and Hilti)

Τα χημικά αγκύρια διαφέρουν από τα μηχανικά ως προς: α) το σύστημα αγκύρωσής τους, β) το είδος του αγκυρίου και του χιτωνίου γ) τη χρήση και το είδος του έγχυτου κονιάματος το οποίο εξασφαλίζει την απαραίτητη συνάφεια μεταξύ του αγκυρίου και του υποβάθρου. Τα αγκύρια αποτελούνται από τα εξής υλικά:

α) Το αγκύριο ή τον κοχλία αγκύρωσης. Είναι ράβδος από χάλυβα ή από επιψευδαργυρωμένο χάλυβα με σπείρωμα ειδικών προδιαγραφών σταθερής διαμέτρου (agirosis.gr).

Η διάμετρος κυμαίνεται από M8 έως M30 και το μήκος από 200mm έως 380mm ανάλογα με τη χρήση τους (Hilti.gr)



Εικόνα 11 Αγκύριο Πηγή (Fischer and Hilti)

β) Το έγχυτο χημικό κονίαμα. Είναι σύνθετο υλικό με βάση την εποξική ρητίνη ή το πολυουριθάνιο. Τα αγκύρια αυτού του είδους είναι κατάλληλα για αντισεισμικές ενισχύσεις και ανακαινίσεις κτιρίων από άοπλη τοιχοποιία με χαμηλή θλιπτική αντοχή. (agirosis.gr) και (Hilti.gr). Επίσης είναι κατάλληλα για εξωτερικούς και εσωτερικούς χώρους για την χημική και αντιπυρική αντοχή τους.



Εικόνα 12 Διαφορετικά είδη χημικών αγκυρίων και τα εργαλεία έγχυσης του κονιάματος Πηγή (Fischer and Hilti)

γ) Το χιτώνιο. Είναι ένα δικτυωτό πλαστικό ή μεταλλικό περίβλημα το οποίο επιτρέπει στο κονίαμα να εισχωρήσει μέσα στις οπές της διάτρητης οπτοπλίνθου και να σκληρυνθεί χωρίς όμως να χάνεται μεγάλη ποσότητα αυτού του κονιάματος στο εσωτερικό της.



Εικόνα 13 Χιτώνια χημικών αγκυρίων Πηγή (Fischer and Hilti)

1.3.2 Οι χρήσεις των αγκυρίων

Τα αγκύρια έχουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Μία από αυτές τις εφαρμογές είναι η παρεμβολή τους στην διεπιφάνεια μεταξύ παλαιών και νέων στοιχείων. Συγκεκριμένα στην περίπτωση ανακατασκευής και ενίσχυσης υφιστάμενων δομικών στοιχείων όπως σε παλαιά φέρουσα τοιχοποιία (Paganoni et al., 2014). Τα αγκύρια αυτά περιλαμβάνουν μία πλάκα διαφόρων σχημάτων που εμφανίζεται στην εξωτερική επιφάνεια των κτιρίων όπως για παράδειγμα στην Εικόνα 14.



Εικόνα 14 Χρήση αγκυρίου σε παλαιά τοιχοποιία.Πηγή: tonearch.com
Στις σύγχρονες κατασκευές η χρήση των αγκυρίων είναι ακόμα πιο συχνή και πιο αποτελεσματική στην αγκύρωση μη δομικών στοιχείων όπως γυαλί ή μέταλλο με υπάρχοντα δομικά στοιχεία της κατασκευής από σκυρόδεμα ή από τοιχοποιία.

Για παράδειγμα στη στήριξη ικριωμάτων, εξωστών και σκάλας εξόδου κινδύνου σε κτίρια, στη στήριξη της εγκατάστασης του ανελκυστήρα. στη σύνδεση των ξύλινων πατωμάτων με φέρουσα τοιχοποιία και στην επένδυση μεταλλικών όψεων σε επαγγελματικά κτίρια. (Hilti.gr).

Τα περισσότερα αγκύρια είναι δοκιμασμένα για να αντέχουν στη φωτιά σε περίπτωση πυρκαγιάς. (Fischer.gr) και (Hilti.gr).

Μερικά από αυτά τα παραδείγματα εμφανίζονται στην Εικόνα 15.



Εικόνα 15 Οι χρήσεις των αγκυρίων στην σύγχρονη τοιχοποιία. Πηγή (Fischer, Hilti)

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η χρήση και η τοποθέτηση των αγκυρίων σε τοιχοποιία κατά την ανέγερση μίας κατασκευής και κατά την διάρκεια ζωής ενός έργου, οδήγησαν στην ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση και πειραματικό έλεγχο της μηχανικής συμπεριφοράς των αγκυρίων και ειδικά στα αγκύρια που υπόκεινται σε σεισμικές δράσεις.

Στην βιβλιογραφία συναντάται σημαντικός αριθμός μελετών που περιλαμβάνουν την μελέτη της συμπεριφοράς μεταλλικών αγκυρίων είτε σε εφαρμογές ενίσχυσης ιστορικών και υφιστάμενων κτιρίων από τοιχοποιία είτε σε εφαρμογές συνδέσεων σε νέες κατασκευές από τοιχοποιία. Ωστόσο, η μεγάλη διασπορά στις υπό εξέταση παραμέτρους (π.χ. υλικό υποβάθρου, υλικό έγχυτου κονιάματος, βάθος έμπηξης, τύπος φόρτισης κ.α.) οδηγεί στην ανάγκη συστηματικής ομαδοποίησης και οργάνωσης του διαθέσιμου υλικού έτσι ώστε να αξιοποιηθούν σωστά όλα τα διαθέσιμα δεδομένα. Μόνο με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εντοπισθούν τα κενά και να υπάρξει εξέλιξη στην μελέτη αυτού του θέματος. Όπως διαπιστώθηκε από την μελέτη της βιβλιογραφίας, ο όγκος των μελετών που αφορά την εφαρμογή «χημικών αγκυρίων με χρήση ρητίνης» σε συμπαγείς οπτοπλίνθους ή σε διάτρητες οπτοπλίνθους τύπου Climablock 25 είναι σαφώς περιορισμένος.

2.2 Μηχανική συμπεριφορά τοιχοποιίας και αγκυρίου υπό σεισμική φόρτιση

Η τοιχοποιία χαρακτηρίζεται από την ασθενή της αντίσταση στις σεισμικές δράσεις. Αυτό οφείλεται σε πολλούς παράγοντες όπως είναι: α) η μικρή της εφελκυστική αντοχή, β) η μικρή ικανότητα παραμόρφωσης της και γ) η ανομοιογενής της φύση. Οι παραπάνω παράγοντες οδηγούν στην ξαφνική και εύθραυστη αστοχία της υπό σεισμικές δράσεις (Καραντώνη, 2012).

Η διεύθυνση ενός σεισμού επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας καθώς επίσης και των αγκυρίων τα οποία είναι εγκατεστημένα σε εκείνη. Όταν τα διαφράγματα (τα πατώματα των ορόφων ή η οροφή) είναι κατασκευασμένα από ξύλο (δηλαδή δεν υπάρχει ισχυρό διάφραγμα) η παραμόρφωση κάθε τοίχου είναι ανεξάρτητη από τις παραμορφώσεις των υπόλοιπων τοίχων. Επομένως ανάλογα με την διεύθυνση της σεισμικής δύναμης αλλάζει και η συμπεριφορά του συγκεκριμένου τοίχου (Καραντώνη, 2012).

Όταν η διεύθυνση της σεισμικής δύναμης είναι κάθετη στο τοίχο (δηλαδή εκτός επιπέδου φόρτιση), ο τοίχος καταπονείται από καμπτικές παραμορφώσεις. Ως εκ τούτου τα αγκύρια που εγκαθίστανται στον τοίχο καταπονούνται σε αξονικό φορτίο. Αντίθετα όταν η διεύθυνση της σεισμικής δύναμης είναι παράλληλη προς τον τοίχο (εντός επιπέδου φόρτιση) η παραμόρφωση της τοιχοποιίας και του αγκυρίου είναι διατμητική. Στα αγκύρια η συγκεκριμένη μορφή φόρτισης συχνά ονομάζεται «δράση βλήτρου» (Καραντώνη, 2012).

Η εντός επιπέδου φόρτιση προκαλεί ρηγματώσεις κατά μήκος της τοιχοποιίας οι οποίες επηρεάζουν και τα αγκύρια που είναι εγκατεστημένα στον τοίχο, με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητάς τους.

2.3 Περίληψη των πειραμάτων της βιβλιογραφίας

Σε αυτό το μέρος της Βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία και τα δεδομένα των πειραμάτων ανά συγγραφέα για τις μελέτες που σχετίζονται με τη μηχανική συμπεριφορά χημικών αγκυρίων εγκατεστημένων σε φέρουσα τοιχοποιία και τοιχοποιία πληρώσεως.

Οι Chen et al., (2004) μελέτησαν την μηχανική συμπεριφορά αγκυρίων εγκατεστημένων σε μεμονωμένες διάτρητες οπτοπλίνθους υπό μονοτονική φόρτιση. Οι διάτρητες οπτόπλινθοι ήταν διαστάσεων (Y102xM213xΠ60 mm³) με τρεις οπές διαμέτρου 38mm. Τα αγκύρια εγκαταστάθηκαν οριζόντια και υπό γωνία 45°.μοιρών. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έγχυτο συνθετικό υλικό από ρητίνη το οποίο τοποθετήθηκε σε δύο διαφορετικά χιτώνια το πρώτο μεταλλικό και το δεύτερο από νάϋλον.





Εικόνα 16 Εγκατάσταση αγκυρίων στο πείραμα των Chen et al. (2004)

Οι Arifovic and Nielsen, (2004) μελέτησαν την μηχανική συμπεριφορά αγκυρίων υπό μονοτονική εφελκυστική φόρτιση δηλαδή «εξόλκευση» σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους διαστάσεων (Y56xM220xΠ108 mm³), θλιπτικής αντοχής f_{bc}=21,20MPa οι οποίες συνδέθηκαν με συνδετικό κονίαμα θλιπτικής αντοχής f_{mc}=2,90MPa. Τα αγκύρια ήταν διαφορετικής διαμέτρου και βάθους έμπηξης. Χρησιμοποιήθηκε έγχυτο συνθετικό υλικό από ρητίνη το οποίο τοποθετήθηκε στο υπόβαθρο χωρίς την ύπαρξη χιτωνίου. Οι τρεις διάμετροι του αγκυρίου που χρησιμοποιήθηκαν ήταν d=10, 12 και 16mm και τα βάθη έμπηξης ήταν h_{eff}= από 90 έως 230mm. Κατά την διάρκεια των δοκιμών εφαρμόστηκε ορθή θλιπτική τάση στα δοκίμια τοιχοποιίας.

Τονίζεται ότι η συγκεκριμένη μελέτη των Arifovic and Nielsen, (2004) ήταν από τις λίγες μελέτες και η πιο κοντινή στα πειράματα του πειραματικού προγράμματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τα πειράματα τους σχετίστηκαν με αγκύρια εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους υπό μονοτονική εφελκυστική φόρτιση και με χρήση χημικού αγκυρίου από έγχυτο συνθετικό υλικό ρητίνης.



(α)



(β)

Εικόνα 17 Πείραμα των Arifovic and Nielsen, (2004), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου

Οι Algeri et al., (2010) μελέτησαν τη συμπεριφορά οριζόντιων αγκυρίων υπό μονοτονική εφελκυστική φόρτιση «εξόλκευση». Τα δοκίμια τοιχοποιίας διαστάσεων (Y2,00xM1,70xΠ0,75 m³) χτίστηκαν από συμπαγείς οπτοπλίνθους τριών διαστάσεων (Y60xM250xΠ120 mm³), (Y50xM300xΠ150 mm³), (Y80xM260xΠ130 mm³). Το συνδετικό κονίαμα των οπτοπλίνθων αποτελείτο από μίγμα με βάση τον ασβέστη θλιπτικής αντοχής f_{mc}= 2,50MPa. Χρησιμοποιήθηκε έγχυτο κονίαμα για την εγκατάσταση των αγκυρίων το οποίο ήταν συμβατό με το υπόβαθρο. Συγκεκριμένα παράχθηκαν στο εργαστήριο δύο διαφορετικά υλικά το ένα από ένεμα με βάση το τσιμέντο θλιπτικής αντοχής f_{cj}= 55MPa και το άλλο με βάση την άσβεστο θλιπτικής αντοχής f_{cj}= 2,50MPa και το άλλο με βάση την άσβεστο θλιπτικής αντοχής f_{cj}= 12 MPa τα οποία τοποθετήθηκαν σε υφασμάτινο χιτώνιο. Ο χρόνος σκλήρυνσης ήταν 28 μέρες πριν την δοκιμή του αγκυρίου. Το αγκύριο είχε διάμετρο

d= 20mm και βάθος έμπηξης h_{eff} = 500mm. Χρειάστηκε να ανοιχθεί οπή με διάμετρο τρεις φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου του αγκυρίου. Πραγματοποιήθηκαν 100 δοκιμές στις οποίες εφαρμόστηκε ορθή θλιπτική τάση σ_d= 0,20 MPa, μέσω δύο μεταλλικών δοκών.







Εικόνα 18 Πείραμα των Algeri et al., (2010), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου

Οι Dizhur et al., (2013) μελέτησαν τη μηχανική συμπεριφορά οριζόντιων και υπό γωνία 67,5° μοιρών αγκυρίων υπό μονοτονική εφελκυστική φόρτιση δηλαδή «εξόλκευση». Τα αγκύρια εγκαταστάθηκαν σε παλαιά τοιχοποιία υφιστάμενων κτιρίων από συμπαγείς οπτοπλίνθους διαστάσεων (Y1,70xM2xΠ0,75 m³) άγνωστης θλιπτικής αντοχής. Πραγματοποιήθηκαν 400 δοκιμές στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά υλικά έγχυτου κονιάματος. Δεν υπάρχουν στοιχεία για την θλιπτική τάση που υπέστη η τοιχοποιία. Συγκεκριμένα, για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκαν έξι έγχυτα κονιάματα από ρητίνες και δύο διαφορετικά κονιάματα από ένεμα με βάση το τσιμέντο διαφορετικών κατασκευαστών, τα οποία τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε μεταλλικά χιτώνια. Το αγκύριο είχε διάμετρο d= 12, 16 και 20mm και σε βάθη έμπηξης h_{eff} = 100, 200 και 300mm. Η διάμετρος της οπής ήταν ανάλογη με το υλικό του έγχυτου κονιάματος. Συγκεκριμένα στην περίπτωση του έγχυτου συνθετικού υλικού από ρητίνη η διάμετρος της οπής ήταν 2mm μεγαλύτερη και αντίστοιχα στην περίπτωση του έγχυτου κονιάματος από ένεμα, η διάμετρος της οπής κυμαινόταν από 1,5 μέχρι 2 φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου του αγκυρίου.





(α) Εικόνα 19 Πείραμα των Dizhur et al., (2013), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου

Οι Paganoni and D'Ayala, (2014) μελέτησαν τη μηχανική συμπεριφορά οριζόντιων αγκυρίων υπό εφελκυστικά φορτία. Η μελέτη αυτή σχετίζεται με την ενίσχυση της τοιχοποιίας στις περιοχές που συνδέονται δύο τοίχοι κάθετα μεταξύ τους σε ιστορικά κτίρια. Τα αγκύρια εγκαταστάθηκαν σε ιστορική τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους διαστάσεων (Y70xM220xΠ110 mm³). Η πρώτη δοκιμή ήταν υπό μονοτονική φόρτιση για την οποία φτιάχτηκε ένα δοκίμιο τοιχοποιίας διατομής «L» διαστάσεων (Y1,50xM1,40xΠ0,35 m³), θλιπτικής αντοχής f_{wc} = 6.70MPa και η δεύτερη δοκιμή ήταν ανακυκλιζόμενη, για την οποία φτιάχτηκε ένα δοκίμιο τοιχοποιίας διατομής «Τ», ο κορμός του οποίου ήταν διαστάσεων (Y1,20xM0,70xΠ0,22 m³) και το πέλμα διαστάσεων (Y1,20xM0,90xΠ0,22 m³), θλιπτικής αντοχής fwc= 3,10MPa. Οι οπτόπλινθοι που χρησιμοποιήθηκαν είχαν διαφορετική θλιπτική αντοχή fbc= 27,30MPa και 12,80MPa και για την σύνδεση τους φτιάχτηκε συνδετικό κονίαμα από άσβεστο θλιπτικής αντοχής fmc= 1MPa και 0,50MPa για κάθε δοκιμή αντίστοιχα. Επιπλέον, για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έγχυτο κονίαμα από ένεμα με βάση το τσιμέντο θλιπτικής αντοχής f_{ci}=50MPa το οποίο τοποθετήθηκε σε υφασμάτινο χιτώνιο. Το αγκύριο είχε διάμετρο d= 16mm και βάθος έμπηξης h_{eff}= 350mm. Χρειάστηκε να ανοιχθεί οπή με διάμετρο 5 φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου του αγκυρίου. Δοκιμάστηκαν έξι αγκύρια σε μονοτονική φόρτιση ασκώντας ορθή θλιπτική τάση σ_d= 0,09 - 0,707MPa και τρία σε ανακυκλιζόμενη ασκώντας ορθή θλιπτική τάση σ_d= 0,08MPa.



Εικόνα 20 Διάταξη πειράματος των Paganoni and D'Ayala, (2014), (α) Για μονοτονική φόρτιση (β) Για ανακυκλιζόμενη φόρτιση

Το πείραμα των Abate et al., (2014) πραγματοποιήθηκε σε δοκίμιο τοιχοποιίας πληρώσεως διαστάσεων (Y2,80xM3,75xΠ0,30 m³) από διάτρητες οπτοπλίνθους με κατακόρυφες οπές τοποθετημένο σε σεισμική τράπεζα. Επομένως τα αγκύρια καταπονήθηκαν σε δυναμική φόρτιση. Τα αγκύρια διαμέτρου d= 10mm και με βάθος έμπηξης 85mm εγκαταστάθηκαν οριζόντια. Για την εγκατάστασή τους χρησιμοποιήθηκε έγχυτο συνθετικό υλικό από ρητίνη το οποίο τοποθετήθηκε σε πλαστικό χιτώνιο. Ο χρόνος σκλήρυνσης ήταν 28 μέρες πριν την δοκιμή του αγκυρίου.







(β)

Εικόνα 21 Πείραμα των Abate et al., (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου

Οι Braimah et al., (2014) μελέτησαν την μηχανική συμπεριφορά αγκυρίων εγκατεστημένων σε μεμονωμένες διάτρητες οπτοπλίνθους υπό δυναμική φόρτιση. Οι διάτρητες οπτόπλινθοι ήταν διαστάσεων (Y90xM190xΠ57 mm³) με τρεις οπές διαμέτρου 38mm. Τα αγκύρια εγκαταστάθηκαν οριζόντια και υπό γωνία 45°.μοιρών. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έγχυτο συνθετικό υλικό από ρητίνη το οποίο τοποθετήθηκε σε δύο διαφορετικά χιτώνια το πρώτο μεταλλικό και το δεύτερο από νάϋλον.



Εικόνα 22 Πείραμα των Braimah et al., (2014), α) Εγκατάσταση αγκυρίου (β) Αστοχία αγκυρίου

Οι Silveri et al., (2014) μελέτησαν τη μηχανική συμπεριφορά οριζόντιων αγκυρίων υπό εφελκυστικό φορτίο σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους. Η πρώτη δοκιμή ήταν υπό μονοτονική φόρτιση για την οποία φτιάχτηκε ένα δοκίμιο τοιχοποιίας διαστάσεων (Y1,00xM2,00xΠ0,50 m³) και η δεύτερη δοκιμή ήταν ανακυκλιζόμενη, για την οποία φτιάχτηκαν δοκίμια τοιχοποιίας διατομής «L» και «Τ». Ο κορμός και το πέλμα ήταν ίδιων διαστάσεων με το προηγούμενο. Για την σύνδεση των οπτοπλίνθων φτιάχτηκε συνδετικό κονίαμα με βάση τον ασβέστη θλιπτικής αντοχής fmc= 0,42MPa. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων φτιάχτηκαν τρία κονιάματα έγχυσης. Συγκεκριμένα, το πρώτο και το δεύτερο από ένεμα με βάση το τσιμέντο θλιπτικής αντοχής f_{ci}=49,20 MPa και 59,10MPa αντίστοιχα και το τρίτο από ένεμα με βάση την άσβεστο θλιπτικής αντοχής f_{ci}=9,30MPa τα οποία τοποθετήθηκαν σε χιτώνιο από πολυεστερικό ύφασμα. Ο χρόνος σκλήρυνσης ήταν 28 μέρες πριν την δοκιμή του αγκυρίου. Η διάμετρος του αγκυρίου ήταν d=20mm και βάθος έμπηξης heff= 400mm και 900mm. Χρειάστηκε να ανοιχθεί οπή με διάμετρο 3 φορές μεγαλύτερη της διαμέτρου του αγκυρίου. Πραγματοποιήθηκαν οι δοκιμές εξόλκευσης επιβάλλοντας διαφορετικές τιμές ορθής θλιπτικής τάσης σ_d= 0,05 MPa έως 0,20MPa, μέσω δύο μεταλλικών δοκών.



(α)



(β)

Εικόνα 23 Πείραμα των Silveri et al. (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου Oι Contrafatto et al. (2014) επικεντρώθηκαν στην μελέτη της συμπεριφοράς χημικών αγκυρίων υπό μονοτονική φόρτιση σε μεμονωμένους φυσικούς λίθους. Οι διαστάσεις των λίθων ήταν διαφορετικές ανάλογα με το είδος τους. Επομένως οι λίθοι από αμμόπετρα είχαν διαστάσεις (Y150xM450xΠ250 mm³) και θλιπτική αντοχή f_{bc}= 20MPa, οι λίθοι από βασάλτη είχαν διαστάσεις από (Y200xM200xΠ400 έως Y300xM400xΠ600 mm³) και θλιπτική αντοχή f_{bc}= 500MPa και οι λίθοι από ασβεστόλιθο είχαν διαστάσεις (Y200xM300xΠ400 mm³). Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έγχυτο συνθετικό υλικό από εποξική ρητίνη θλιπτικής αντοχής f_{cj}= 82.40MPa. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές διάμετροι αγκυρίων d= 10, 14 και 20 mm με βάθη έμπηξης h_{eff}= 3d, 5d και 10d.



(α)

(β)

Εικόνα 24 Πείραμα Contrafatto et al. (2014), α) Διάταξη πειράματος β) Αστοχία αγκυρίου Οι Moreira et al., (2014) μελέτησαν την συμπεριφορά αγκυρίων υπό μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε ιστορική τοιχοποιία διαστάσεων (Y1,60xM2xΠ0,40 m³) από φυσικούς λίθους. Η τοιχοποιία κατασκευάστηκε από ασβεστόλιθους θλιπτικής αντοχής f_{bc}= 106,70MPa και για την σύνδεσή τους χρησιμοποιήθηκε συνδετικό κονίαμα θλιπτικής αντοχής f_{mc}= 1,30MPa. Έγιναν δοκιμές στις 28 μέρες μετά την εγκατάσταση του αγκυρίου και στις 400 μέρες. Το αγκύριο είχε διάμετρο d= 16 και 20mm και βάθος έμπηξης h_{eff}= 350mm. Χρειάστηκε να ανοιχθεί οπή με διάμετρο 50mm. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έτοιμο έγχυτο κονίαμα από τσιμέντο θλιπτικής αντοχής f_{ci}= 51.50MPa.



Εικόνα 25 Πείραμα των Moreira et al., (2014), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου Οι Munoz et al., (2018) ασχολήθηκαν και αυτοί με την μελέτη της συμπεριφοράς των αγκυρίων υπό μονοτονική φόρτιση σε ιστορική τοιχοποιία. Κατασκευάστηκαν τέσσερα δοκίμια τοιχοποιίας διαστάσεων (Y1,20xM0,80xΠ0,40 m³) από γρανίτη θλιπτικής αντοχής f_{bc}= 68,70MPa. Οι φυσικοί λίθοι από γρανίτη συνδέθηκαν με κονίαμα από μίγμα με βάση το τσιμέντο και την άμμο θλιπτικής αντοχής 1,63MPa. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκαν δύο είδη έγχυτου κονιάματος το πρώτο από συνθετικό υλικό ρητίνης και το δεύτερο σε μορφή ενέματος με βάση το τσιμέντο. Το αγκύριο που χρησιμοποιήθηκε είχε διάμετρο d=10mm και βάθος αγκύρωσης h_{eff}= 150mm. Οι οπές ανοίχθηκαν σε δύο διαφορετικές διαμέτρους ανάλογα με το υλικό του έγχυτου κονιάματος. Η διάμετρος της οπής ήταν 12mm στην περίπτωση χρήσης ρητίνης και 20mm όταν χρησιμοποιήθηκε κονίαμα από ένεμα.



Εικόνα 26 Πείραμα των Munoz et al., (2018)), (α) Διάταξη πειράματος (β) Αστοχία αγκυρίου

2.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου

Σε αυτό το μέρος της Βιβλιογραφικής ανασκόπησης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι απόψεις των συγγραφέων σε σχέση με τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους, οι τύποι αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας - αγκυρίου που προέκυψαν από τα πειράματα αυτά και οι παράμετροι που επηρέασαν την αστοχία σε κάθε πείραμα και έχουν ως εξής:

1. Γωνία αγκύρωσης:

Η γωνία μεταξύ του άξονα του αγκυρίου και της κατακόρυφης επιφάνειας του τοίχου. Τα αγκύρια που είναι εγκατεστημένα σε τοιχοποιία με ελάχιστη γωνία αγκύρωσης τις 67,5⁰ μοίρες έχουν μικρότερη φέρουσα ικανότητα σε σύγκριση με τα αγκύρια που είναι εγκατεστημένα κάθετα ως προς τον τοίχο. Οι Dizhur et al., (2013) παρατήρησαν ότι τα οριζόντια αγκύρια είχαν μεγαλύτερο φορτίο αστοχίας σε αντίθεση με τα αγκύρια υπό γωνία που το παραμένον φορτίο μετά το φορτίο αστοχίας μειώθηκε πολύ σύντομα χρονικά. Η μείωση αυτή οφείλεται στην δημιουργία θλιπτικής δύναμης στην περιοχή κάτω από το αγκύριο με αποτέλεσμα την θραύση του υποβάθρου.



Εικόνα 27 Ροή τάσεων και φορτίου θραύσης λόγω εφελκυστικού φορτίου (Dizhur et al. 2013)

2. Τύποι αστοχίας:

α) Σημειώθηκε υπέρβαση του ορίου διαρροής του χάλυβα σε μία περίπτωση του πειράματος silveri et al., (2014).

β) Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου τοιχοποιίας. Εμφανίζεται ιδιαίτερα σε ασθενές υπόβαθρο και σε μικρότερα βάθη έμπηξης Dizhur et al., (2013). Κατά την γνώμη των Paganoni and D'Ayala, (2014) αυτός ο τύπος αστοχίας είναι ο πρώτος και ο συνηθέστερος στην περίπτωση αγκυρίων υπό μονοτονική φόρτιση και χρήσης έγχυτου κονιάματος από ένεμα.

Στην περίπτωση κυκλικής φόρτισης σε τοίχο με σχήμα διατομής «Τ» η αστοχία συνάφειας μεταξύ έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου εμφανίζεται στα πρώιμα στάδια του πειράματος με αποτέλεσμα την διάνοιξη μίας κατακόρυφης ρωγμής κοντά στην σύνδεση μεταξύ των δύο τοίχων (στο κορμό) και την δημιουργία οριζόντιων ρωγμών στους αρμούς γύρω από το αγκύριο (στο πέλμα). Ωστόσο το αγκύριο δημιουργεί μία δράση διάτρησης στο πέλμα του τοίχου διατομής «Τ», και αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι εάν το αγκύριο δεν είναι σε θέση να αναπτύξει μία επαρκή συνάφεια μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου, η αποτελεσματικότητά του στην επανασύνδεση των δύο τοίχων είναι μειωμένη.

γ) Σχεδόν σε όλα τα πειράματα των Dizhur et al., (2013) εμφανίζεται η αστοχία
 υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου.

δ) Σύμφωνα με τους Moreira et al., (2014) η συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την αστοχία της οπτοπλίνθου αναπτύχθηκε όταν η απόσταση του αγκυρίου από τα άκρα ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από το βάθος έμπηξης.

3. Υλικό έγχυσης και μεταλλικό χιτώνιο:

Τα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν με κονίαμα είχαν την ίδια μέση τιμή της φέρουσας ικανότητας με τα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν με ρητίνη. Η απόδοση των χημικών αγκυρίων σύμφωνα με το πρότυπο (NZSEE 2006) αποδόθηκε στα αγκύρια που εγκαθίστανται με ρητίνη σε υπερβολικά υγρή τοιχοποιία και σε υπερβολικά υψηλή περιεκτικότητα νερού στο τσιμεντοκονίαμα καθώς και σε ανεπαρκή όγκο κονιάματος. Σύμφωνα με τις εργαστηριακές έρευνες η επιρροή του μεταλλικού χιτωνίου δεν επηρέασε την αντοχή του αγκυρίου κατά τους Dizhur et al., (2013).

4. Βάθος έμπηξης και η διάμετρος του αγκυρίου:

Το φορτίο αστοχίας αυξάνεται με την αύξηση του βάθους έμπηξης. Τα αγκύρια με βάθος έμπηξης 100mm έχουν μεγαλύτερη τάση συνάφειας από τα αγκύρια με μεγαλύτερο βάθος έμπηξης. Όσον αφορά την διάμετρο, διαπιστώθηκε ότι τα αγκύρια με διάμετρο 16mm έχουν το μέγιστο φορτίο αστοχίας. Το φορτίο

αστοχίας της οπτοπλίνθου στην οποία έχουν εγκατασταθεί αγκύρια με διάμετρο 20mm είναι μικρότερο. Εν τέλει τα αγκύρια με μεγαλύτερη διάμετρο από 16mm δημιουργούν τριχοειδείς ρωγμές στην επιφάνεια της οπής κατά την διάνοιξή τους και επομένως μειώνουν την φέρουσα ικανότητα του συστήματος τοιχοποιίας - αγκυρίου Dizhur et al., (2013).

5. Η επίδραση της ορθής θλιπτικής τάσης:

Αξίζει να σημειωθεί ότι η αύξηση της ορθής θλιπτικής τάσης επηρεάζει την μηχανική συμπεριφορά του αγκυρίου και το περιβάλλον υπόβαθρο τοιχοποιίας. Τα αγκύρια που υφίστανται χαμηλότερη ορθή θλιπτική τάση παρουσιάζουν περισσότερο όλκιμη συμπεριφορά, καθώς οι χαμηλότερες δυνάμεις τριβής επί της επιφάνειας αστοχίας επιτρέπουν σχετικές μετακινήσεις μεταξύ του υποστρώματος και του αγκυρίου Paganoni et al., (2014).

6. Ιδιότητες υλικών τοιχοποιίας:

Η φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών του υποβάθρου, δηλαδή την θλιπτική αντοχή των οπτοπλίνθων f_{bc}, του συνδετικού κονιάματος f_{mc} και του υλικού του έγχυτου κονιάματος f_{cj}, για τα οποία δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία από τα πειράματα.

 Η φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου εξαρτάται από την ποιότητα της εγκατάστασης δηλαδή:

α) Από τον καλό καθαρισμό με πεπιεσμένο αέρα και μεταλλική βούρτσα μετά
 από την διάνοιξη των οπών.

Σε μη καλά καθαρισμένες οπές ο μέσος όρος της φέρουσας ικανότητας των αγκυρίων μειώθηκε κατά 55% σε σύγκριση με την φέρουσα ικανότητα των αγκυρίων από εποξική ρητίνη τα οποία εγκαταστάθηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές που αναφέρονται από τον κατασκευαστή, Dizhur et al., (2013).

β) Από την επαρκή ύγρανση των οπτοπλίνθων στα εσωτερικά τοιχώματα της οπής γύρω από το χιτώνιο, στην περίπτωση χρήσης χημικού αγκυρίου από ένεμα τσιμεντοκονιάματος ή ασβεστοκονιάματος, Silveri et al., (2014).

8. Τύπος φόρτισης:

Στις μονοτονικές δοκιμές, οι καμπύλες μετατόπισης – φορτίου παρουσίασαν χαμηλότερη ακαμψία και πιο απότομο φθιτό κλάδο μετά την αστοχία του αγκυρίου σε σύγκριση με τις κυκλικές δοκιμές φόρτισης, Moreira et al., (2014). Στην ανακυκλιζόμενη φόρτιση το αγκύριο δείχνει μια συμπεριφορά αποδυνάμωσης της δύναμης και της δυσκαμψίας με τη αύξηση των κύκλων και μια συσσώρευση της παραμένουσας μετατόπισης. Η παραμένουσα μετατόπιση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την σύνθεση της διεπιφάνειας μεταξύ του αγκυρίου και του υποβάθρου και εμφανίζεται μετά το πέρας του φορτίου αστοχίας κατά την εμφάνιση των ρωγμών.

2.5 Τύποι (μορφές) αστοχίας συστήματος τοιχοποιίαςαγκυρίου

Η μηχανική συμπεριφορά ενός αγκυρίου εγκατεστημένου στην τοιχοποιία επηρεάζεται από τις μηχανικές ιδιότητες του υποβάθρου, του συνδετικού κονιάματος αλλά και από την αντοχή της διεπιφάνειας υποβάθρου τοιχοποιίας / έγχυτου κονιάματος και έγχυτου κονιάματος / αγκυρίου. Επομένως, ο μηχανισμός μεταφοράς του φορτίου εξαρτάται από τις παραπάνω παραμέτρους. Κατ' επέκταση, ο μηχανισμός αστοχίας που λαμβάνει χώρα κάθε φορά εξαρτάται από τις μηχανικές αντοχές των δομικών μονάδων αλλά και από τον μηχανισμό μεταφοράς του φορτίου.

Στα επόμενα υποκεφάλαια θα αναλυθούν οι τύποι αστοχίας στην περίπτωση που η αστοχία οφείλεται στην επιρροή αξονικής ή διατμητικής φόρτισης στο σύστημα τοιχοποιίας - αγκυρίου σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004 και Meyer 2006 and Welz 2011) και τα Ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα [ETAG and ACI].

2.5.1.1 Αστοχία υπό αξονική φόρτιση

Οι πιθανοί τύποι αστοχίας που μπορούν να αναπτυχθούν είναι οι εξής:



Εικόνα 28 Τύποι αστοχίας λόγω εφελκυστικού φορτίου. Πηγή εικόνων: (α-β-γ-δ) κατά (cook et al. 1998) και (ε) (Hilti technical data sheet for chemical mortar for masonry)

- Αστοχία του χάλυβα Εικόνα 28 (α) λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής του αντοχής που προκαλεί αποκοπή του αγκυρίου. Αυτός ο τύπος αστοχίας εξαρτάται από το βάθος έμπηξης και το υλικό του υποβάθρου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).
 - Η μέγιστη χαρακτηριστική δύναμη υπολογίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα
 [ETAG Tr 054:2016-04] και [ETAG-029 Annex C:2013-04]:

$$N_{RK,S,1} = A_S * f_{uk}$$
 [N] (2,1)

ii.Διαρροή του χάλυβα σύμφωνα με το πρότυπο [ACI 530:2011]: $N_{RK,S,2}=0.90^*A_s^*f_{y,k}$ [N]

iii. Αστοχία του χάλυβα σύμφωνα με το πρότυπο [ACl 318, 2005-a]:

 $N_{RK,S,3} = 0.75^* A_s^* f_{u,k}$ [N] (2,3)

 Αστοχία συνάφειας Εικόνα 28 – (β) μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου με αποτέλεσμα να προκληθεί ολίσθηση του αγκυρίου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

Κατά Meyer and Eligehausen ,(2006) το μέγιστο χαρακτηριστικό φορτίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$N_{RK,2}^{0} = \tau_{Rk,1} \cdot h_{ef} \cdot d \cdot \pi$$
 [N] (2,4)

Αστοχία συνάφειας Εικόνα 28 – (γ) μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου (οπτόπλινθος ή συνδετικό κονίαμα) με αποτέλεσμα να προκληθεί ολίσθηση του αγκυρίου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

Kατά Meyer and Eligehausen ,(2006) το μέγιστο χαρακτηριστικό φορτίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$N_{RK,3}^{0} = \tau_{Rk,2} \cdot h_{ef} \cdot d_{B} \cdot \pi \qquad [N]$$
(2,5)

Στην περίπτωση διάτρητης οπτοπλίνθου το φορτίο υπολογίζεται από την σχέση: $N_{RK,3}^0 = \tau_{Rk,M} \cdot (h_{ef} - h_{web}) \cdot d_B \cdot \pi$ [N] (2,6) Όπου τα $\tau_{Rk,1}, \tau_{Rk,2}$ και $\tau_{Rk,M}$ θα ληφθούν από 8 MPa μέχρι 12MPa για χημικό αγκύριο από ρητίνη ανάλογα με τον κατασκευαστή (Δρίτσος 2005). Κατά (Arifovic and Nielsen 2004) το μέγιστο φορτίο υπολογίζεται κατά περίπτωση: στην περίπτωση που το αγκύριο είναι εγκατεστημένο σε αρμό:

$$N_{RK,3} = 22.38 * \sqrt{f_{mc} * h_{ef}} * d^{\frac{3}{2}} [N]$$
(2,7)

Και στην περίπτωση που το αγκύριο είναι εγκατεστημένο σε οπτόπλινθο:

$$N_{RK,3} = 3.79 * d * h_{ef} * \sqrt{f_{bc}}$$
 [N] (2,8)

Στην περίπτωση των διάτρητων οπτοπλίνθων, λόγω της μορφής τους είναι δύσκολο να προβλεφθεί το βάθος του κώνου. Ο μηχανισμός μεταφοράς του φορτίου είμαι μικτός και αποτελείται από τα εξής μέρη: α) χημικός δεσμός ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και της οπτοπλίνθου και β) μηχανική αλληλεμπλοκή μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και των τοιχωμάτων της οπτοπλίνθου. Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την φέρουσα ικανότητα του συστήματος τοιχοποιίας – αγκυρίου σε εξόλκευση αποτελεί το βάθος έμπηξης του αγκυρίου (Meyer 2006).



Εικόνα 29 Τρόπος συμπεριφοράς του μηχανισμού παρεμπόδισης κατά Meyer, (2006)

Ο μηχανισμός της αλληλεμπλοκής του έγχυτου κονιάματος με τα τοιχώματα της οπτοπλίνθου μπορεί να ενεργοποιηθεί μόνο αφού αστοχήσει η συνάφεια μεταξύ της οπτοπλίνθου και του έγχυτου κονιάματος και πραγματοποιηθεί ολίσθηση μεταξύ του αγκυρίου και του υποβάθρου. Σε αυτήν την περίπτωση το φορτίο εξόλκευσης αυξάνεται ώστε να φτάσει μία μέγιστη τιμή και μετά μειώνεται μέχρι την μεταφορά όλου του φορτίου στα τοιχώματα της οπτοπλίνθου μέσω αυτού του μηχανισμού (Meyer 2006).

4. Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας Εικόνα 28 – (δ) που οφείλεται στην υπέρβαση της αντοχής του, με αποτέλεσμα την εξόλκευση ενός μέρους της οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004). Για τον υπολογισμό του φορτίου αντοχής της οπτοπλίνθου κατά το πρότυπο [ETAG 029:2010-09] υπολογίζεται η χαρακτηριστική αντοχή του υποβάθρου από σκυρόδεμα από την σχέση:

$$N_{RK,C}^{0} = k_{1} * \sqrt{f_{ck,cube}} * h_{ef}^{1.5} * \left(\frac{A_{CN}}{A_{CN}^{0}}\right) [N]$$
(2,9)
(2,9)

 k_1 = 7,2 για ρηγματωμένο σκυρόδεμα [N^{0.5}/mm^{0.5}]

 k_1 =10,1 για αρηγμάτωτο σκυρόδεμα [N^{0.5}/mm^{0.5}]

Οι επιφάνειες A_{CN}^0 και A_{CN} υπολογίζονται σύμφωνα με την Εικόνα 30.



Εικόνα 30 Υπολογισμός της επιφάνειας Α⁰_{c,N} σύμφωνα με το [ETAG 029:2013-09]

Αναπτύχθηκαν οι παρακάτω σχέσεις κατά Meyer, (2006) σύμφωνα με το υλικό της δομικής μονάδας:

i. Οπτόπλινθος από πυριτικό ασβέστιο:

$$N_{RK,c}^{0} = 1.4 \beta_{b,net} \cdot h_{ef}^{\prime 1.5}$$
 [N] (2,10)

$$N_{RK,c}^{o} = 5.5 \beta_{b,net}^{o.5} \sqrt{\rho} \cdot h_{ef}^{c.5} \qquad [N]$$

$$(2,11)$$

iii. Συμπαγής οπτόπλινθος από πηλό:

Στην περίπτωση της διάτρητης οπτοπλίνθου το h_{ef} υπολογίζεται σύμφωνα με τον Πίνακα 1.



[N]



Επίσης οι Arifovic and Nielsen, (2004) πρότειναν την παρακάτω σχέση (2,13) για τον υπολογισμό του φορτίου αστοχίας του αγκυρίου:

$$N_{RK,c}^{0} = \left(3.93\sqrt{f_{bc}} (h_{ef} - 5.76 * d) + 37.44 * \sqrt{f_{ci}} * (l_{b} + d)\right) * d * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}}$$
 [N] (2,13)

5. Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου Εικόνα 28 – (ε) στην οποία είναι εγκατεστημένο το αγκύριο. Η χαρακτηριστική αντοχή ενός αγκυρίου υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις σύμφωνα με το πρότυπο [ΕΤΑG Tr 054:2016-04] και το πρότυπο [ΕΤΑG-029 Annex C:2013-04]:

$$N_{RK,pb} = 2*l_{brick}*b_{brick}*(0.50*f_{vko}+0.40*\sigma_d) + 2*b_{brick}*h_{brick}*0.50f_{vko}$$
[N] (2,14)

6. Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της, Εικόνα 31, στην οποία είναι εγκαταστημένο το αγκύριο. Επίσης μπορεί να προκαλέσει την εξόλκευση των παράπλευρων οπτοπλίνθων γύρω από την περιοχή του αγκυρίου. Αυτός ο μηχανισμός δημιουργείται μόνο στην περίπτωση των συμπαγών οπτοπλίνθων και ειδικά στην περίπτωση που το αγκύριο βρίσκεται πολύ κοντά σε ελεύθερη άκρη του τοίχου. (Arifovic and Nielsen, 2004).

Σε πρώτη φάση ο μηχανισμός αυτός οδηγεί σε μία μικρή πτώση του φορτίου χωρίς όμως να εμποδίζει την μετέπειτα αύξηση του μέχρι να εξόλκευση του αγκυρίου.



Εικόνα 31 Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου, από το πείραμα των Arifovic and Nielsen, (2004)

Υπολογίζεται το φορτίο αστοχίας του αγκυρίου από την σχέση (2,15) κατά (Arifovic and Nielsen 2004):

$$N_{RK,sl} = f_{bc} * \pi * d * h_{ef} * \min \begin{cases} 0,12\nu + 0,89*\rho * \left(\frac{b}{d} - 1\right) \\ 0,28\nu + 0,48*\rho * \left(\frac{b}{d} - 1\right) \end{cases}$$
(2.15)

Όπου ο συντελεστής $v = \frac{k_1}{\sqrt{f_{cb}}}$ και $\rho = \frac{k_2}{20} * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}}$ και όταν το K₁ =3.35 και το K₂ =3 τότε το φορτίο υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση (2,17) ως εξής:

$$N_{RK,sl} = \pi * d * h * \min \begin{cases} 0.40 * \sqrt{f_{bc}} + 0.13 * f_{cb} * \left(\frac{b}{d} - 1\right) * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}} \\ 0.94 * \sqrt{f_{bc}} + 0.07 * f_{cb} * \left(\frac{b}{d} - 1\right) * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}} \end{cases}$$
(2.16)

7. Συνδυαστική μορφή αστοχίας Εικόνα 32 που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική ή ολική εξόλκευση της οπτοπλίνθου. Η αστοχία του υποβάθρου μπορεί να πραγματοποιηθεί υπό την μορφή κώνου.(Moreira et al., 2014).



Εικόνα 32 Συνδυαστική μορφή αστοχίας κατά (Moreira et al. 2014)

Υπολογίζεται το φορτίο αστοχίας από τις παρακάτω σχέσεις σύμφωνα με το [ETAG 029-2010-09]:

$$N_{RK,comb} = \tau * \pi * d * h_{ef} * \left(\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0}\right)$$
[N]
(2,17)

Όπου στην περίπτωση που το αγκύριο είναι εγκαταστημένο μακριά από της άκρες του τοίχου τότε το $A_{c,N}^0 = A_{c,N}$ αλλιώς το $A_{c,N}^0 = s_{cr,N} = 9 * h_{ef}^2$ και σύμφωνα με τίς διατάξεις του προτύπου [ETAG 029-2010-09]:

Επίσης υπολογίζεται το φορτίο αστοχίας από την σχέση που χρησιμοποιείται για σκυρόδεμα κατά (Cook et al. 1998):

$$N_{RK,comb} = 0.85 * h_c^2 * \sqrt{f_{cc,200}} + \pi * \tau * d * (h_{ef} - h_c)$$
 [N] (2,18)

Παρακάτω παρατίθεται η ονοματολογία των συμβόλων που χρησιμοποιήθηκαν στις παραπάνω σχέσεις:

A _S	: Το εμβαδό του αγκυρίου σε (mm²)
$f_{y,k}$: Η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στο όριο διαρροής του χάλυβα σε (N/mm²)
f_{uk}	: Η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στο όριο αστοχίας του χάλυβα σε (N/mm²)
$\tau_{Rk,1}$: Η χαρακτηριστική αντοχή συνάφειας μεταξύ της διεπιφάνειας του έγχυτου
	κονιάματος και του αγκυρίου σε (N/mm²)
\mathbf{h}_{ef} και \mathbf{h}_{ef}'	: Το ενεργό βάθος έμπηξης του αγκυρίου (mm)
d	: Η διάμετρος του αγκυρίου (mm)
$\tau_{Rk,2}$: Η χαρακτηριστική αντοχή συνάφειας μεταξύ της διεπιφάνειας του έγχυτου
	κονιάματος και του υποβάθρου (N/mm²)
d_{B}	: Η διάμετρος της οπής (mm)
$\tau_{Rk,M}$: Η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή του έγχυτου κονιάματος (N/mm²)
h _{web}	: Το άθροισμα όλων των τοιχωμάτων της οπτοπλίνθου κατά μήκος του αγκυρίου (mm)
$\beta_{b,net}$: Η θλιπτική αντοχή της καθαρής επιφάνειας της οπτοπλίνθου (MPa)

ρ	: Το καθαρό ειδικό βάρος της οπτοπλίνθου σύμφωνα με το EN 772-4 (gr/cm³)
f _{bc}	: Η θλιπτική αντοχή της οπτοπλίνθου (N/mm²)
f _{mc}	: Η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος (MPa)
f _{ci}	: Η θλιπτική αντοχή της διεπιφάνειας του συνδετικού κονιάματος και της οπτοπλίνθου (N/mm²)
h _c	: Το ύψος του κώνου (mm)
ν	: Ο ενεργός συντελεστής
h _{brick}	: Το ύψος της οπτοπλίνθου (mm)
l_{brick} και l_b	: Το μήκος της οπτοπλίνθου (mm)
b _{brick} και b	: Το πλάτος της οπτοπλίνθου (mm)
σ_{d}	: Η θλιπτική τάση στην μεσαία ίνα (N/mm²)
f _{vko}	:Η διατμητική συνοχή του συνδετικού κονιάματος χωρίς την ύπαρξη κατακόρυφης ορθής τάσης. Υπολογίζεται από τον Πίνακα 2- (N/mm²)
A _{c,N}	: Το ιδανικό εμβαδό της επιφάνειας της βάσης του κώνου (mm²)
$A^0_{c,N}$: Το εμβαδό της βάσης του κώνου (mm²)
f _{cc,200}	: Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος με διαστάσεις κύβου πλευράς 200mm - (N/mm ²)
f _{ck,cube}	: Η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος σε δοκίμια με μήκος 150mm - ((N/mm²)

Πίνακας 2 Τιμές διατμητικής συνοχής (f_{vko}) για συνδετικό κονίαμα γενικής εφαρμογής σύμφωνα με το [ΕΝ 1996 1-1:2005]

Δομική μονάδα	Συνδετικό κονίαμα γενικής εφαρμογής	f _{vko} (N/mm²)
	M10-M20	0,30
Αργιλική οπτόπλινθος	M2,5-M9	0,20

Η μέγιστη τιμή του φορτίου σχεδιασμού υπολογίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα [ETAG Tr 054:2016-04] και [ETAG-029 Annex C:2013-04] στον Πίνακα 3 ως εξής:

Πίνακας 3 Οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με το πρότυπο [ETAG 029 Annex C:2013]

Διαρροή του χάλυβα	$N_{Sd}^{h} \leq N_{Rk,s}/\gamma_{ms}$
Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος/ράβδου	$N_{Sd} \leq N^0_{Rk,1} / \gamma_{Mm}$
Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος/υποβάθρου	$N_{Sd} \leq N^0_{Rk,2} / \gamma_{Mm}$
Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας	$\begin{array}{l} N_{Sd} \leq \ N_{Rk,c}/\gamma_{Mm} \\ N_{Sd} \leq \ N^{0}{}_{Rk,3}/\gamma_{Mm} \end{array}$
Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου με εγκατεστημένο αγκύριο	$N_{Sd} \leq N_{Rk,pb}/\gamma_{Mm}$

Όπου το γ_m υπολογίζεται για τις τιμές σχεδιασμού:

i. Για την αστοχία του αγκυρίου:

$$\gamma_{ms}=\, \tfrac{1.2}{\frac{f_{yk}}{f_{uk}}} \geq 1.40$$

ii. Για την αστοχία του έγχυτου κονιάματος: $\gamma_{Mm} = 2.50$ Και για τις τιμές του φορτίου λειτουργίας με $\gamma_{Mm} = 1$

2.5.1.2 Αστοχία υπό διατμητική φόρτιση

Η μηχανική συμπεριφορά των αγκυρίων που υπόκεινται σε διατμητικά φορτία διαφέρει από την συμπεριφορά τους σε αξονικό φορτίο στις τάσεις που αναπτύσσονται και στο τύπο αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας-αγκυρίου. Η δράση βλήτρου αναπτύσσεται όταν το αγκύριο καταπονείται σε διάτμηση η οποία προκαλεί σημειακή εκκεντρότητα στο αγκύριο, με αποτέλεσμα την τοπική θλίψη του υποβάθρου και πλαστικοποίηση του ως ένα βαθμό σε διεύθυνση κάθετη στον άξονα του αγκυρίου.

Επίσης η ανακύκλιση της φόρτισης και η τοποθέτηση των βλήτρων υπό γωνία μειώνουν τη διατμητική αντοχή της εξωτερικής επιφάνειας του υποβάθρου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

Στην εικόνα 33 η κατανομή της τάσης μέχρι την πλαστική άρθρωση στο αγκύριο το οποίο έχει εγκατασταθεί σε σκυρόδεμα είναι ορθογώνια και αντιστοιχεί πέντε φορές την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Επίσης εμφανίζεται η περιοχή κατανομής της κάμψης και το ύψος της πλαστικής άρθρωσης.



Εικόνα 33 Προσέγγιση υπολογισμού κατά Βιντζηλαίου και Τάσσιος, (1987), πηγή Welz, (2011)

Το διατμητικό φορτίο υπολογίζεται από την σχέση:

$$D_{u} = \sqrt{25(f_{c} * d_{b} * e)^{2} + 1.7 * d_{b}^{4} * f_{cc} * f_{sy} - 5 \cdot f_{cc} \cdot d_{b} \cdot e [N]}$$
(2,19)

Όπου:

Du	: το οριζόντιο φορτίο (N)
Fc	: η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (N/mm²)
db	: η διάμετρος της ράβδου (mm)
fsy	: η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα (N/mm²)
e	: η απόσταση μεταξύ της θέσης του φορτίου και της επιφάνειας του σκυροδέματος (mm)
α	: η απόσταση της πλαστικής άρθρωσης από την επιφάνεια του σκυροδέματος (mm)

Οι πιθανοί τύποι αστοχίας που μπορούν να αναπτυχθούν είναι οι εξής:



Εικόνα 34 Τύποι αστοχίας λόγω διατμητικού φορτίου. Πηγή (α,β) (Δρίτσος 2005) και (γ,δ)Hilti technical data sheet for chemical mortar for masonry)

1. Αστοχία του χάλυβα Εικόνα 34 – (α) λόγω υπέρβασης της διατμητικής του αντοχής που προκαλεί αποκοπή του αγκυρίου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004). Η χαρακτηριστική διατμητική αντοχή του αγκυρίου υπολογίζεται h αστοχία του χάλυβα σύμφωνα με το πρότυπο [ETAG-029 Annex C:2013-04]: $V_{RK,S} = 0.50 * A_s * f_{uk}$ [N] (2,21) Και σύμφωνα με το Ευρωκώδικα 3 [EC3-8] η αστοχία του χάλυβα υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_{RK,S} = \alpha_{\nu} * A_{s} * f_{uk} \qquad [N] \qquad (2,22)$$

Όπου το $\alpha_{
m v}=0,60$ για χάλυβα ποιότητας 8,8

Στην περίπτωση που αστοχήσει το αγκύριο λόγω του διατμητικού φορτίου που συμπεριλαμβάνει και την ύπαρξης μοχλοβραχίονα.

Η διατμητική δύναμη υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{Rk,s} = \frac{M_{RK,S}}{l}$$
[N]
(2,23)

To $l=a_3+e_1$ (mm) σύμφωνα με την Εικόνα 35.



Εικόνα 35 Η διάκριση της απόστασης του μοχλοβραχίονα [ETAG 029 Annex C: 2013-04]

- 2. Τοπική αστοχία υποβάθρου Εικόνα 34 (β) στο περιβάλλον του βλήτρου λόγω της θλιπτικής δύναμης που ασκεί το βλήτρο στην οπτόπλινθο στην κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004). Η διατμητική αντοχή του αγκυρίου υπολογίζεται σύμφωνα με τον (Welz 2017) Εικόνα 36. Υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη οπτόπλινθο ως εξής:
 - a) Για συμπαγείς οπτοπλίνθους:
 - i) Με λεπτό έλασμα (t_{fix}≤0.5d_s):

$$V_{0,Rk,b,A} = 0.75^* d_{nom} * f_1 * h_{ef} * (\sqrt{2}-1) [N]$$
 (Case A) (2,24)

$$V_{0,Rk,b,B} = 0.75^* \sqrt{2^* M_{Pl,H}^* d_{nom}^* f_1} [N]$$
 (Case B) (2,25)

ii) Με παχύ έλασμα (t_{fix}>d_s):

$$V_{0,Rk,b,C} = 0.75^* d_{nom}^* f_1^* h_{ef}^* (\sqrt{2 + \frac{4^* M_{Pl,S}}{d_{nom}^* f_1^* h_{ef}^2}} - 1) [N] \text{ (Case C)}$$
(2,26)

$$V_{0,Rk,b,D} = 0.75^* \sqrt{2^* (M_{Pl,S} + M_{Pl,H})^* d_{nom}^* f_1} [N]$$
 (Case D) (2,27)

iii) Κυρίως για εφαρμογές σε σκυρόδεμα σύμφωνα με τον (Σπυράκος 2004)

$$V_{Rk,s} = 1.30 * d_s^2 * \sqrt{f_{yk} * f_b}$$
 [N] (2,28)

ή σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα [ΕC3-8]:

$$V_{Rk,s} = 1.30 * A_s * \sqrt{f_{yk} * f_b}$$
 [N] (2,29)



Εικόνα 36 Πιθανές περιπτώσεις αστοχίας σε συμπαγείς οπτοπλίνθους (Welz 2017)

b) Για διάτρητες οπτοπλίνθους: Η διαμόρφωση των οπών πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό. Στην περίπτωση που το αγκύριο έχει βάθος μικρότερο από το πάχος του εξωτερικού τοιχώματος θα ληφθεί ως συμπαγής οπτόπλινθος. Οι σχέσεις αφορούν τα παχιά ελάσματα.

$$V_{RK,b,C1} = V_{RK,b,C2} = 0.75 * d_{nom} * f_1 * \left(\sqrt{2 * (h_1 + h_2)^2 + 4 * \left[(2h_1 + h_2 + h_1 + h_L)h_L + \frac{M_{PL,S}}{d_{nom} * f_1} \right]} * h_L - (h_{ef} + h_L) \right) [N] \quad (2,30)$$

$$V_{RK,b,C3}^{0} = 0.75 * d_{nom} * f_{1} * \left(\sqrt{2 * (h_{1} + h_{2})^{2} + 4 * \left[h_{2} * h_{L} + \frac{M_{PL,S}}{d_{nom} * f_{1}} \right] - (h_{1} + h_{2})} \right)$$
 [N] (2,31)

$$V_{RK,b,D1}^{0} = 0.75 * d_{nom} * f_1 \left(\sqrt{2h_1 * h_L + h_L^2 + 2 * \frac{M_{PL,S} + M_{PL,H}}{d_{nom} * f_1}} - h_L \right)$$
 [N] (2,32)

Τα h_1, h_2, h_L , σε (mm) υπολογίζονται σύμφωνα με τις αποστάσεις στα σχήματα της Εικόνας 37.



Case D1Case D2Case D3 (only for $h_1 \ge h_2$)

- -

۵

Εικόνα 37 Περιπτώσεις αγκυρίων υπό διάτμηση σε διάτρητες οπτοπλίνθους (Welz 2011)

- Αστοχία υποβάθρου με την μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου Εικόνα 34 – (γ) σε περίπτωση που το αγκύριο είναι κοντά σε ελεύθερο άκρο (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004). Το φορτίο αστοχίας υπολογίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα [ETAG Tr 054:2016-04] και [ETAG-029 Annex C:2013-04] ανάλογα με το είδος της οπτοπλίνθου:
 - i. Για συμπαγείς οπτόπλινθους:

$$V_{RK,C} = k * \sqrt{d_{nom}} * \left(\frac{h_{nom}}{d_{nom}}\right)^{0.20} * \sqrt{f_b} * C_1^{1.50}$$
 [N] (2,34)

k=0.25 όταν η διεύθυνση του φορτίου είναι προς το ελεύθερο άκρο. k=0.45 όταν η διεύθυνση του φορτίου είναι παράλληλη προς το ελεύθερο άκρο. ii. Για διάτρητες οπτόπλινθους:

 $V_{RK,C,II} = 2500 \text{ N}$ (2,35) Αν η κατεύθυνση του φορτίου είναι παράλληλη προς το ελεύθερο άκρο σε απόσταση c_{min} ≥ 100 mm ≥ 6 d ή αν η κατεύθυνση του φορτίου είναι κάθετη ως προς το ελεύθερο άκρο σε απόσταση c_{min} ≥ 250 mm. Και

 $V_{\rm RK,C,\perp} = 1250 \,\mathrm{N}$ (2,36)

αν η κατεύθυνση του φορτίου είναι κάθετη ως προς το φορτίο σε απόσταση $c_{min} \ge 100 \text{ mm}$

 Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου Εικόνα 34 – (δ) στην οποία είναι εγκατεστημένο το αγκύριο στην περίπτωση που το αγκύριο είναι κοντά στην άκρη του τοίχου.
 Σύμφωνα με το [ETAG-029 Annex C:2013-04] υπολογίζεται η μέγιστη διατμητική αντοχή του υποβάθρου από την σχέση:

$$W_{\rm RK,pb} = 2^* l_{\rm brick} * b_{\rm brick} * (0.50^* f_{\rm vko} + 0.40^* \sigma_{\rm d})$$
[N]
(2,37)

Η μέγιστη τιμή του φορτίου σχεδιασμού υπολογίζεται σύμφωνα με τα πρότυπα [ETAG Tr 054:2016-04] και [ETAG-029 Annex C:2013-04] στο Πίνακα 4 ως εξής:

Πίνακας 4 Οι τιμές σχεδιασμού σύμφωνα με το πρότυπο [ETAG 029 Annex C:2013]

Αστοχία του χάλυβα , με ή χωρίς την ύπαρξη μοχλοβραχίονα	$V_{SD}^h \leq V_{RK,S}/\gamma_{ms}$
Τοπική αστοχία υποβάθρου	$V_{Sd} \le V_{RK,b}/\gamma_{Mm}$ $V_{Sd}^g \le V_{Rk}^g/\gamma_{Mm}$
Αστοχία υποβάθρου με την μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου	$\begin{array}{l} V_{Sd} \leq V_{RK,c}/\gamma_{Mm} \\ V_{Sd}^g \leq V_{Rk}^g/\gamma_{Mm} \end{array}$
Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου με εγκατεστημένο αγκύριο	$V_{Sd} \le V_{RK,pb}/\gamma_{Mm}$

Όπου το γ_m υπολογίζεται για τις τιμές σχεδιασμού:

Για την αστοχία του αγκυρίου με ή χωρίς την ύπαρξη μοχλοβραχίονα:

$$\begin{split} \gamma_{ms} &= \frac{1}{\frac{f_{yk}}{f_{uk}}} \geq 1.25 \text{ όταν το } f_{uk} \leq 800 \text{MPa και } \frac{I_{yk}}{f_{uk}} \leq 0.80 \\ \gamma_{Mm} &= 1.50 \text{ όταν το } f_{uk} > 800 \text{ MPa } \text{ } \text{ } \text{ } \frac{f_{yk}}{f_{uk}} > 0.80 \end{split}$$

ii. Για την αστοχία του έγχυτου κονιάματος σε τοιχοποιία: $\gamma_{Mm} = 2.50$

Και για τις τιμές φορτίου λειτουργίας με $\gamma_{\rm Mm}=1$

Παρακάτω παρατίθεται η ονοματολογία των συμβόλων που χρησιμοποιήθηκαν στις παραπάνω σχέσεις:

A	· Το εμβαδό του αγκυρίου σε (mm²)
r s	: Η ονομαστική χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στο όριο διαρροής του χάλυβα
t _{yk}	σε (N/mm ²)
f _{uk}	: Η ονομαστική χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στο όριο αστοχίας του χάλυβα σε (N/mm²)
M _{RK,S}	: Η καμπτική ροπή που δημιουργείται από την παρεμβολή του μοχλοβραχίονα (N.mm)
1	: Η απόσταση του μοχλοβραχίονα (mm)
a ₃	0,5d όπου d είναι η διάμετρος του αγκυρίου σε(mm)
e ₁	: Η απόσταση μεταξύ του διατμητικού φορτίου και την επιφάνεια του στοιχείου
d_{nom}	: Η διάμετρος της οπής (mm)
h _{ef}	: Το ενεργό βάθος έμπηξης του αγκύρωσης (mm)
f ₁	$=\alpha_{local} * f_{bc}$
	α _{local:} υπολογίζεται από τις δοκιμές και είναι α _{loca} ≥2 για συμπαγείς οπτοπλίνθους και
	για διάτρητες $\alpha_{loca} \ge 1$.
	$\frac{1}{2}$ θλιπτική αντοχή της οπτοπλίνθου σε (N/mm ⁻)
M _{PL,S}	: Η πλαστική καμπτική αντοχή του αγκυρίου, $M_{PL,S} = d_{ss} \uparrow_{y,k}/6$ (N.mm)
0 _{ss}	: Η διαμετρος του αγκυριου που καταπονειται σε διατμητική τασή (mm)
M _{PL,H}	: Η πλαστική καμπτική αντοχή του συνθετου συστήματος αγκυρωσής, M _{PL,H} = α _H *M _{PL,S} (N.mm)
	α _Η ≥1.0 -είναι ο τροποποιητικός παράγων και αλλάζει ανάλογα με την δοκιμή
h _{nom}	: Το συνολικό βάθος έμπηξης (mm)
	:Η κοντινότερη απόσταση από την άκρη σε (mm)
C ₁	c₁ ≥ c _{min} αν δεν υπάρχει συνδετικό κονίαμα τότε θα πρέπει να είναι μικρότερο από:
_	c ₁ ≤ h / 1,5 και c1 ≤ h _{brick} / 3
l _{brick}	: Το μήκος της οπτοπλίνθου (mm)
b _{brick}	: Το πλάτος της οπτοπλίνθου (mm)
f _b	: Η ανοιγμένη μέση θλιπτική αντοχή της οπτοπλίνθου σε (N/mm²)
σ_{d}	: Η θλιπτική τάση σχεδιασμού κάθετη στην διάτμηση σε (N/mm²)
f _{vko}	: Η διατμητική συνοχή χωρίς την ύπαρξη κατακόρυφης ορθής τάσης υπολογίζεται από τον Πίνακα 2- (N/mm²)

2.6 Επεξεργασία πειραμάτων και αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας

Συνοπτικά οι πληροφορίες που προέκυψαν από την βιβλιογραφία όσον αφορά τα χρησιμοποιούμενα υλικά, τις διατάξεις και τον τύπο φόρτισης είναι οι εξής:

- Τα πειράματα σχετίζονται με τοιχοποιία από οπτόπλινθους και από φυσικούς λίθους.
- 2. Όλα τα αγκύρια ήταν μεταλλικά και τα περισσότερα ήταν (ποιότητας 8.8).
- Χρησιμοποιήθηκε χημικό αγκύριο για την εγκατάσταση των αγκυρίων σε τοιχοποιία λόγω της ψαθυρής φύσης της τοιχοποιίας.
- 4. Τα πειράματα έχουν διεξαχθεί σε εργαστήρια αλλά και σε υφιστάμενα κτίρια.
- Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υπό μονοτονική, ανακυκλιζόμενη και δυναμική φόρτιση.
- 6. Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν για την μελέτη της φέρουσας ικανότητας των αγκυρίων σε εφελκυστικά φορτία. Επομένως παρατηρείται ένα κενό στην βιβλιογραφία όσον αφορά την μελέτη της συμπεριφοράς αγκυρίων υπό διάτμηση.

Επίσης από την μελέτη της βιβλιογραφίας προέκυψαν διάφορα ερωτήματα σχετικά με τα αποτελέσματα των πειραμάτων τα οποία είναι τα εξής:

- Κατά πόσο η μηχανική συμπεριφορά των χημικών αγκυρίων διαφοροποιείται ανάλογα με την διάμετρο, το βάθος έμπηξης, το είδος του υποβάθρου και την θέση εγκατάστασης του αγκυρίου και πως αυτές οι μεταβλητές επηρεάζουν την αύξηση ή την μείωση του φορτίου αστοχίας του αγκυρίου.
- Η επιρροή ή μη της θλιπτικής αντοχής και της δομικής μονάδας στην μετατόπιση του αγκυρίου κατά την άσκηση του εφελκυστικού φορτίου.
- 3) Πως διαφοροποιείται η μορφή αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας αγκυρίου ανάλογα με την διάμετρο, το βάθος έμπηξης ,το είδος του υποβάθρου και την θέση εγκατάστασης του αγκυρίου (πρόσωπο ή κεφαλή οπτοπλίνθου ή αρμός συνδετικού κονιάματος). Στην συνέχεια, πως και η ίδια διαφοροποιεί με την σειρά της το μέγιστο φορτίο και την μετατόπιση σε αυτό το φορτίο το οποίο μπορεί να φτάσει το αγκύριο.
- Η ύπαρξη συσχέτισης των πειραματικών τιμών της βιβλιογραφίας με τις τιμές από τις σχέσεις της θεωρίας.

Για την πιο εποπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της βιβλιογραφίας, έγινε η ομαδοποίηση τους σε δύο πίνακες: Ο πρώτος σύμφωνα με την διάμετρο του αγκυρίου και ο δεύτερος σύμφωνα με το είδος της φόρτισης «μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη» που ασκήθηκε στο αγκύριο Πίνακες 5 και 6, αντίστοιχα.

Διαπιστώθηκε ότι η διάμετρος των αγκυρίων κυμαινόταν από 10mm έως 20mm με βάθος έμπηξης από 85mm έως 900 mm. Οι δομικές μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των τοίχων αφορούσαν είτε φυσικούς λίθους, στην περίπτωση της ιστορικής τοιχοποιίας, ή οπτοπλίνθους, οι οποίοι αφορούν τόσο την ιστορική όσο και την σύγχρονη τοιχοποιία.

Το κονίαμα με το οποίο επιτυγχάνεται η σύνδεση μεταξύ αγκυρίου και τοιχοποιίας λαμβάνει δύο μορφές ανάλογα με το είδος της τοιχοποιίας. Στην περίπτωση της ιστορικής τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκαν ενέματα από ασβέστη ή τσιμέντο, τα οποία ικανοποιούν τις απαιτήσεις συμβατότητας που ισχύουν στις επεμβάσεις σε ιστορικές κατασκευές. Επίσης, το κονίαμα σύνδεσης τοποθετήθηκε σε ένα υφασμάτινο χιτώνιο το οποίο εμπόδιζε την διαφυγή του στα κενά που συνήθως χαρακτηρίζουν το εσωτερικό των ιστορικών τοιχοποιιών. Η οπή που διανοίχθηκε για την εγκατάσταση του αγκυρίου είχε, στις περισσότερες περιπτώσεις, πολύ μεγαλύτερη διάμετρο από την διάμετρο του αγκυρίου σε (1.5d, 2d, 2.50, 3d και 5d) Αντίθετα, στις περιπτώσεις των σύγχρονων τοιχοποιιών χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά όπως είναι οι ρητίνες. Οι οπές στις οποίες εγκαθίστανται τα αγκύρια είναι πολύ μικρότερες, της τάξης των (1.13d, 1.25d και 1.83d).

Διάμετρος	Διάμετρος	ος Βάθος	Βάθος	Βάθος	Βάθος	Γωνία	Δοκίμιο τοιχο	ποιίας	Δομική μονό	ιδα	Υλικό και Θλιπτική αυτοχή		Έγχυτο κονίαμα		Είδος και	Συννοαφείς
του αγκυρίου d (mm)	οπής d _B (mm)	έμπηξης h _{eff} (mm)	αγκύρωσης Θ⁰	Διαστάσεις (m)	Θλιπτική αντοχή f _{wc} (MPa)	Είδος και διαστάσεις (mm)	Θλιπτική αντοχή f _{bc} (MPa)	αντοχη συνδετικού κονιάματος f _{mc} (MPa)	Είδος χιτωνίου	Υλικό	Θλιπτική αντοχή f_{cj} (MPa)	ποιοτητά του αγκυρίου	Ζυγγραφεις πειράματος			
		28/63	90			Διάτρητη οπτόπλινθος	38.50				71		Braimah et al.			
		40	45	-	-	(Ү90хМ190хП57)				Ρητίνη EPCON G5			2014			
6.4	0	28/36	90			Διάτρητη οπτόπλινθος	38 50				71,58	Χάλυβας				
0,4	0	40	45			(Y102xM213xП60)	38,30									
	88/11	88/114	90		-	Ασβεστόλιθος	32,50						Chen et al.			
		88/114	45			(Y230xM305xП305)		Δεν υπήρχε	Μεταλλικό ή				2004			
		28/63	90			Διάτρητη	20.50		ναυλυν							
		40	45	-	-	οπτοπλίνθος (Y102xM213xΠ60)	38,50									
9,5	11,10	28/36	90			Διάτρητη	20.50				74		Braimah et al.			
		40	45	-	-	οπτοπλίνθος (Y90xM190xΠ57)	38.50				/1		2014			
		88/114	90			Ασβεστόλιθος	32,50				71,58		Chen et al.			
		88/114	45			(Y230xM305x11305) Σιμπανής							2004			
	12	100/120/ 140/160	90	-	7,50	οπτόπλινθος (Y56xM228xΠ108)	21,20	2,90	Δεν είχε	Ρητίνη	-	Χάλυβας	Arifovic and Nielsen 2004			
	12			(V1 20vM0 80vП				Κονίαμα με		Ρητίνη ΗΙΤ- RE 500	82.70	Válutas	Munoz et el			
	20	150	90	0,40)	1,71	Γρανίτης	68,70	βάση το τσιμέντο, 1,63	Δεν είχε	Ένεμα με βάση το τσιμέντο	-	HIT-V-8,8	2018			
10	15	85	90	(Y2,80xM3,75xП 0,30)	-	Διάτρητη οπτόπλινθος με κατακόρυφες οπές (Y210xM240xΠ300)	-	-	Πλαστικό	Ρητίνη	-	Χάλυβας	Abate 2014			
	14	30/50/10 0	90	-	-	Αμμόπετρα (Y150xM450xΠ250) Βασάλτης (Y200xM200xΠ400) και (Y300xM400xΠ600)	20 500 220	Δεν υπήρχε	Δεν είχε	Ρητίνη ΗΙΤ- RE 500	82.70	Χάλυβας 4,6	Contrafatto et al. 2014			

Πίνακας 5 Ομαδοποίηση των πειραμάτων σύμφωνα με την διάμετρο του αγκυρίου

						Ασβεστόλιθος (Y200xM300xΠ400) και (Y400xM400xΠ600)							
	14	100/120/ 140/160/ 185	90	-	7,50	Συμπαγής οπτόπλινθος (Y56xM228xΠ108)	21,20	2,90	Δεν είχε	Ρητίνη	-	Χάλυβας	Arifovic and Nielsen 2004
12	14		67,50		Ασθενής	Σιμιπανός			Δεν είχε	Ρητίνη	-	Χάλυβας	Dizbur et al
	22	200/300	90	Υφιστάμενα κτίρια		οπτόπλινθος	-	-	Μεταλλικό	Ένεμα με βάση το τσιμέντο	37,80	4,0 χάλυβας 8,8	2013
14				-	-	Αμμόπετρα (Y150xM450xΠ250)	20	Δεν υπήρχε				Χάλυβας 4,6	
	18	42/70/ 140	2/70/ 140 90			Βασάλτης (Y200xM200xΠ400) (Y300xM400xΠ600)	500		Δεν είχε	Ρητίνη ΗΙΤ- RE 500	82.70		Contrafatto et al. 2014
						Ασβεστόλιθος (Y200xM300xΠ400) (Y400xM400xΠ600)	220						
	50	350	90	(Y1,60xM2xП0,40)	1,70	Ασβεστόλιθος	106,70	Κονίαμα με βάση το τσιμέντο, 1,30	Πολυεστερικό ύφασμα	Ένεμα με βάση το τσιμέντο	51,50	Χάλυβας 8,8	Moreira et al. 2014
	18	100/120/ 140/160/ 230	90	-	7,50	Συμπαγής οπτόπλινθος (Y56xM228xΠ108)	21,20	2,90	Δεν είχε	Ρητίνη	-	Χάλυβας	Arifovic and Nielsen 2004
16		350		Τοίχοι σε σχήμα «L» (Y1,50xM1,40xΠ 0,35)	6,70		27,30	Υδράσβεστος, 1				AISI 304	
10	80		0 90	Τοίχοι σε σχήμα «Τ» ο κορμός διαστάσεων (Y1,20xM0,70xΠ 3,1 0,22) και το πέλμα (Y1,20xM0,90xΠ 0,22)	3,10	Συμπαγής οπτόπλινθος (Υ70xM220xΠ110)	12,80	Υδράσβεστος, 0,50	Πολυεστερικό ύφασμα	Ένεμα με βάση το τσιμέντο	50	χάλυβάς κατηγορίας 70 (6,8)	Paganoni D'Ayala 2014
	18	100/200/	67,50	Υφιστάμενα κτίρια	Ασθενής	Συμπαγής	-	-	Μεταλλικό	Ρητίνη	-	Χάλυβας 4,6	Dizhur et al.
	24	300	90	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	17	οπτόπλινθος				Ένεμα από	37,80	χάλυβας	2013

										τσιμέντο		8,8					
	50	350	90	(Y1,60xM2x⊓0,40)	1,70	Ασβεστόλιθος	106,70	Τσιμέντο, 1,30		Ένεμα με βάση το τσιμέντο	51,50	Χάλυβας 8,8	Moreira et al. 2014				
	60	500	90	(Y1.70xM2xΠ0.75)	-	Συμπαγής οπτόπλινθος (Y60xM250xΠ120) (Y50xM300xΠ150) (Y80xM260xΠ130)	_	Ασβέστης	Πολυεστερικό ύφασμα	Ένεμα με βάση την υδραυλική άσβεστο	12	Χάλυβας	Algeri et al. 2010				
								2,50		Ένεμα με βάση το τσιμέντο	55						
			67,50				-		Μεταλλικό	Ρητίνη	-	Χάλυβας					
	-	300	90	Υφιστάμενα κτίρια	Ασθενής			-		Ένεμα με βάση το τσιμέντο	37,80	4,6 χάλυβας 8,6	Dizhur et al. 2013				
				(Y1xM2xП0,5)	-	Συμπαγής				Τσιμέντο	49,20						
20	60	400	90			οπτοπλίνθος	-	Ασβέστης,	Πολυεστερικό	Τσιμέντο Hs	59,10	AISI 304	Silveri et				
		900	50	Σε τοίχο (Y1xM2xΠ0,50) με σχήμα «L» ή «T»				0.42	ύφασμα	Άσβεστος Ls	9,30		al.2014				
	24									Αμμόπετρα (Y150xM450xΠ250)	20						
		60/100/ 200	60/100/ 200 90	-	-	Βασάλτης (Y200xM200xΠ400) (Y300xM400xΠ600)	500	Δεν υπήρχε	Δεν είχε	Ρητίνη ΗΙΤ- RE 500	82.70	Χάλυβας 4,6	Contrafatto et al. 2014				
					-	Ασβεστόλιθος (Y200xM300xΠ400) (Y400xM400xΠ600)	220										

Είδος δοκιμής	Διάμετρος αγκυρίου d (mm)	Βάθος έμπηξης h _{eff} (mm)	Γωνία αγκύρωσης	Θέση τοποθέτησης των αγκυρίων	Ορθή θλιπτική τάση (MPa)	Διατμητική συνοχή / αντοχή (συνδετικού/έγ χυτου) κονιάματος f _{vk0} /τ _{Rk1} /τ _{RK2}	Ο επικρατέστερος τύπος αστοχίας	Φορτίο αστοχίας P _{max} (kN)	Μετατόπιση αγκυρίου στο φορτίο αστοχίας Sp _{max} (mm)	Συγγραφέας πειράματος
	6,40	28/63	90					4,80/8,20	0,50/1,10	
	9,50	28/63	90				Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	6,60/13,40	0,40/0,50	
	6,4 9,5	40 40	45 45	Οπτόπλινθος Φυσικός λίθος	Δεν υπήρχε	-/- 0,3/-/-		3,80 4,90	2,40 3,10	
	6.4	88 114	90					17,8/16/16,4 18,8/17,5/18.7	1,6/2,3/2,3 2,2/1.3/9.9	Chen et al. 2004 Arifovic and Nielsen 2004
	6.4	88 114	45					9,20 9,20	15,20 14,40	
	9,5	88 114	90					48,30/42,7/40,4 49/44,1/47,1	2,3/1,7/1,2 2,10/1,9/1,7	
	9,5	88 114	45					17,20 23,90	16,5 17	
Μονοτονική αξονική φόρτιση		100 120 140 160		Οπτόπλινθος (πρόσωπο)				21,80 34,20 22,30 37,80	1,60 1,90 2,20 2,20	
		100 120 140 160		Οριζόντιος αρμός				17,70 22,60 30,90 22,60	0,88 1,20 1,50 1,70	
	10	90 100 110 120 130 140 150 160	90	Οπτόπλινθος (κεφαλή)	0	0,3/-/-	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας)	11,8 26,7 28,6 26,6 23,9 39,1 32,1 42,7	0,47 1,40 2,80 1,30 1,40 2,10 3,40 4	
		170						45,7	2,80	

Πίνακας 6 Αποτελέσματα δοκιμών σε μονοτονική και δυναμική φόρτιση

		150		Φυσικός λίθος	0,20	-	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου	19 35,20 16,9 29	4,20 9,1 4,20 10	Munoz et al. 2018
	10	30/50/100	90	Φυσικός λίθος	0	-	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου	4,6/14,2/17 25,2/34,1/33,60 22,30/34,4/33,8		Contrafatto et al. 2014
	12	100 120 140 160 185/185/185		Οπτόπλινθος (πρόσωπο)		0,3/-/-	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου	18,20 21,60 11,60 27,60 41,70/35,8/34	2,10 1,70 1,50 1,90 1,50/1,20/1,30	Arifovic and Nielsen 2004
Μονοτονική αξονική φόρτιση	12	100 120 140 160 185/185/185	90	Οπτόπλινθος (κεφαλή)	0	0,3/-/-	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας)	27,20 29,60 38,30 15,20 28,30/36,30/35,90	1,70 1,80 2,10 11 1,50/1,50/1,40	Arifovic and Nielsen 2004
		100 120 140 160 185		Οριζόντιος αρμός		0,3/-/-	Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	16,30 17,60 15,20 21,20 36,30	1,50 1,20 3,8 1,30 1,50	Arifovic and Nielsen 2004
	12	300	22,50					21		
		200	00	Οπτόπλινθος (πρόσωπο)	-	-	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	29 30,5	-	Dizhur et al. 2013
		300	90	,				27 38		
	14	42/70/140	90	Φυσικός λίθος	0		Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	9,30/15,2/26 46,10/68,60/72,20 38,60/40,10/58	-	Contrafatto et al. 2014
	16	350	90	Οπτόπλινθος	0,707 0,713	-/0,52 -/0,52	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία	60 64	2,75 1,77	Paganoni and D'Ayala 2014.

	16	350 100 120 140		Φυσικός λίθος Οπτόπλινθος (πρόσωπο)	0,713 0,077 0,091 0,091 0,20 Δεν υπήρχε	-/0,52 -/0,52 -/0,27 -/0,27 0.20/0.29/- 0,3/-/-	υποβάθρου τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας) Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	54 58 40 52 74,30 42,30 58,30 52,90 52,90	1,04 3,29 1,61 1,12 3,50 2 2,40 2,40 2,40	Moreira et al. 2014
Μονοτονική αξονική φόρτιση	16	100 230/230/230 100 120 140 160 230/230/230		Οπτόπλινθος (κεφαλή)	0	0,3/-/-	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος και υποβάθρου τοιχοποιίας)	63,1/36,8/33,7 17,10 25,4 45,2 28,60 73,40/40,50/55,70	2,30 2,20/1,40/1,40 1,60 1,80 2 1,60 2,30/1,60/2	Arifovic and Nielsen 2004
		100 120 140 160	90	Οριζόντιος αρμός	0	0,3/-/-	Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	21.70 28.40 35.70 53.20	1,30 1,30 1,80 2	
		100 200 300	22,50	Οπτόπλινθος (πρόσωπο)	-	-	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	17 20 28 33 31 34 42	-	Dizhur et al. 2013
		200	90					47 25 22 30 34 35,5 37,5 59	-	
		300						45 65 55	10	

		300	90					44	-	Dizhur et al. 2013
	20	350	90	Φυσικός λίθος	0,20	0,29/0,37/-	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας)	76,80	7	Moreira et al. 2014
Μονοτονική αξονική φόρτιση		500		Οπτόπλινθος (πρόσωπο)	0,20	-/1,81/5,62 -/0,89/2,77	Δεν είναι σαφές ποιοι είναι οι τύποι αστοχίας	186 155 125 105 86 57 105	15 4 3,5 4,5 3 15,50 10,50	Algeri et al. 2010
								95 53 50	10,50 18,50 14	
		60/100/200	90	Φυσικός λίθος	0	-	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	11,70/30,70/73 90,60/141,2/142,8 60,40/101/141	-	Contrafatto et al. 2014
		400	90	Οπτόπλινθος (πρόσωπο)	0.05	-/1,62/0,54 -/3,07/1,02 -/2,14/0,71	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	40,78 77,04 53,88	1,46 1,79 0,96	
					0.10	-/1,50/0,5 -/3,9/1,13 -/1,71/0,57 -/2,19/0,73 -/2,48/0,83 -/2,02/0,67	Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	37,58 85,15 42,93 55,08 62,3 50,69	2,43 3,94 0,79 1,39 5,91 1,29	Silveri et al. 2014
Μονοτονική αξονική φόρτιση					0.20	-/2,18/0,73 -/3,58/1,19 -/3,06/1,02		54,84 90,01 77	1,21 1,87 1,14	
		900			0,06	-/2,23/0,74 -/1,96/0,65		126,27 110,82	2,84 5,69	
						-/3,25/1,08	Διαρροή του χάλυβα	183,78	5,47	
Δυναμική αξονική φόρτιση	10	85	90	Οπτόπλινθος	-	-	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	5,674	0,464	Abate et al. 2014
-----------------------------------	----	-----	----	------------------	------	--	--	---	--	-------------------------------
						-	Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	5,365	1,361	
						-	Δεν υπήρξε αστοχία	6,210	4,268	
						-	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	4,953	1,523	
Ανακυκλιζόμενη αξονική φόρτιση	16	350	90	Οπτόπλινθος	0,08	-/-/0.08 -/-/0.06	Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας	10,9 17,80 21,90	0,78 5,06 10	Paganoni and D'Aayala 2014
		350		Φυσικός λίθος	0,20	0.29/0.37/-	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία υποβάθρου	107,2 104,9 75	- 7,50 3,50	Moreira et al. 2014
	20	350	90	Φυσικός λίθος	0,20	0.29/0.37/-	τοιχοποιίας και Αστοχία συνάφειας έγχυτου κονιάματος /υποβάθρου τοιχοποιίας)	111,7 81,20	4,80 2	
		400	90	Οπτόπλινθος	0,06	-/1.39/0,46 -/1.83/0,61 -/1.17/0,49 -/1.29/0,43 -/1.77/0,59 -/1.46/0,49	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	35,01 45,75 37,27 32,52 44,55 36,6	2,47 1,86 4,05 1,44 2,45 2,51	
						-/1.08/0,36 -/1.83/0,61 -/1.17/0,39	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου	27,22 45,9 29,36	4,01 1,06 1,48	Silveri et al. 2014
		900				-/1.74/0,58 -/2.09/0,70 -/2.32/0,77 -/1.77/0,59	Αστοχία υποβάθρου υπό μορφή κώνου	98,13 118,19 131,29 100,29	6,21 2,51 4,54 15,99	
						-/1.02/0,34 -/2.44/0,81	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου	57,96 138,13	0,91 6,84	

Κρίθηκε σκόπιμο να κατασκευαστούν διαγράμματα, που να συγκεντρώνουν τα αποτελέσματα των Πινάκων 5 και 6. Μέσω αυτών των διαγραμμάτων θα γίνει μία προσπάθεια να διαπιστωθεί αν υπάρχουν συσχετίσεις ανάμεσα: α) στο μέγιστο εφελκυστικό φορτίο και β) στην μετακίνηση στην οποία εμφανίζεται αυτό, με τις εξής παραμέτρους: i) την διάμετρο αγκυρίου «d» και ii) το βάθος έμπηξης του «h_{eff}».

Η πολυπαραμετρικότητα της συμπεριφοράς των αγκυρίων, που έγκειται κυρίως στην χρήση διαφορετικών υλικών υποστρώματος αλλά και υλικών έγχυσης, επιβάλλουν τον συστηματικό διαχωρισμό των αποτελεσμάτων. Για τον λόγο αυτό στις επόμενες παραγράφους τα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας χωρίζονται αρχικά ανάλογα με το υλικό του υποβάθρου σε αυτά με οπτόπλινθους ή με φυσικούς λίθους ενώ στην συνέχεια ακολουθεί και περαιτέρω κατηγοριοποίηση ανάλογα με το είδος του υλικού έγχυσης (κονιάματα ή ρητίνες). Τέλος, πραγματοποιήθηκε κατηγοριοποίηση ανάλογα με το είδος της φόρτισης (μονοτονική ή ανακυκλιζόμενη).

Οι τύποι αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας - αγκυρίου που προέκυψαν και οι οποίοι αναφέρονται στα επόμενα διαγράμματα των πειραμάτων της βιβλιογραφίας είναι οι εξής:

Αστοχία 1	: Αστοχία του αγκυρίου
Αστοχία 2	: Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου
Αστοχία 3	: Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου
Αστοχία 4	: Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου
Αστοχία 5	: Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου
Αστοχία 6	: Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της
Αστοχία 7	: Συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική ή ολική εξόλκευση της οπτοπλίνθου

Αρχικά αφαιρέθηκαν τα αποτελέσματα τεσσάρων πειραμάτων. Τα πειράματα των Braimah et al. 2014 - Chen et al.2004 και Contrafatto et al. 2014 ήταν με αγκύρια εγκατεστημένα σε μεμονωμένες οπτοπλίνθους ή μεμονωμένους λίθους χωρίς την ύπαρξη δοκιμίων τοιχοποιίας. Ενώ το πείραμα των Abate et al. 2014 ήταν σε τοιχοποιία πληρώσεως τοποθετημένη σε σεισμική τράπεζα. Επομένως δεν θα μπορούσαν να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους με τα αποτελέσματα των άλλων πειραμάτων τα οποία ήταν σε δοκίμια φέρουσας τοιχοποιίας υπό στατικά φορτία

2.6.1 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό μονοτονική φόρτιση

Τα διαγράμματα αυτής της υποενότητας σχετίζονται με τα πειράματα της βιβλιογραφίας στα οποία τα αγκύρια ήταν εγκατεστημένα οριζόντια σε φέρουσα τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους και δοκιμάστηκαν σε μονοτονικά στατικά φορτία. Για μία πιο λεπτομερή ανάλυση χωρίστηκαν τα αποτελέσματα σε δύο μέρη ανάλογα με το είδος του υλικού έγχυσης σε:

2.6.1.1 Έγχυτο κονίαμα από ένεμα

Τα διαγράμματα της Εικόνας 38 σχετίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους στο «πρόσωπο της οπτοπλίνθου» με την χρήση έγχυτου κονιάματος από ένεμα τσιμεντοκονιάματος ή ασβεστοκονιάματος. Είναι φανερό ότι η αύξηση της διαμέτρου του αγκυρίου είναι σημαντική παράμετρος στην αύξηση του μέγιστου φορτίου και της μετατόπισης του αγκυρίου σε αυτό το φορτίο. Αλλά παίζει ρόλο και μία άλλη παράμετρος που είναι το βάθος έμπηξης. Η ξαφνική αύξηση και η μεγάλη διασπορά που εμφανίζεται στις τιμές των φορτίων και της μετατόπισης στα αγκύρια με σταθερή την διάμετρο στα 20mm, προέρχεται από την επιρροή του βάθους έμπηξης σε αυτά τα αγκύρια. Γι' αυτό τον λόγο στην επόμενη σελίδα θεωρήθηκε αναγκαία η σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων του φορτίου και της μετατόπισης με το βάθος έμπηξης.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 38 (α) δεν εμφανίζονται οι μετατοπίσεις των αγκυρίων από τα πειράματα των Dizhur et al., (2013) γιατί δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία.







Εικόνα 38 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με την διάμετρο

Τα διαγράμματα της Εικόνας 39 σχετίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους με την χρήση έγχυτου κονιάματος από ένεμα.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 39-(α) οι τιμές των αποτελεσμάτων είναι πιο διακριτές. Η αύξηση του βάθους έμπηξης αυξάνει σημαντικά το μέγιστο φορτίο, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται και η διασπορά ανάμεσα στις τιμές των φορτίων για το ίδιο βάθος έμπηξης. Συγκεκριμένα υπάρχουν δύο διαφορετικοί λόγοι γι' αυτό το θέμα που είναι οι εξής: α) η διαφορετική μορφή αστοχίας που επηρεάζει το φορτίο και β) η σχέση του φορτίου με το υπόβαθρο, δηλαδή η εμφάνιση τριχοειδών ρωγμών κατά το άνοιγμα της οπής στο περιβάλλον της οπής του αγκυρίου και οι οποίες πολλές φορές δεν είναι εμφανείς ή η ποιότητα της εγκατάστασης του αγκυρίου. Το είδος του έγχυτου κονιάματος μπορεί και αυτό να παίξει ρόλο γιατί στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν έγχυτα κονιάματα από διαφορετικά υλικά. Όλα αυτά τα συμπεράσματα χρειάζονται περαιτέρω γνώση στο πως συμπεριφέρεται το αγκύριο και περαιτέρω στοιχεία που πολλές φορές δεν έχουν δηλωθεί.

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του βάθους έμπηξης με συντελεστή συσχέτισης R^2 =0.502

Στο διάγραμμα της Εικόνας 39-(β) ενώ οι τιμές της μετατόπισης αυξάνονται με την αύξηση του βάθους έμπηξης υπάρχει μία ξαφνική μείωση σε βάθος 900 mm. Ο λόγος είναι ότι το φορτίο επηρεάζεται από το βάθος έμπηξης του αγκυρίου, σύμφωνα με τις σχέσεις της βιβλιογραφίας, με αποτέλεσμα να αυξάνονται η φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου και η επιφάνεια τριβής στην διεπιφάνεια μεταξύ του χιτωνίου και του υποβάθρου τοιχοποιίας πράγμα που οδηγεί στη μείωση της μετατόπισης.

75







Εικόνα 39 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με το βάθος έμπηξης τους

Σε μία προσπάθεια να ληφθούν ταυτόχρονα υπόψη οι δύο βασικές παράμετροι της διαμέτρου και του βάθους έμπηξης έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων με το γινόμενο του d* h_{eff} και σε σχέση με την μορφή αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας - αγκυρίου. Το γινόμενο d*h_{eff} δεν είναι και απολύτως επαρκές συγκρίσιμο στοιχείο γιατί δεν φαίνεται σε ποιά διάμετρο και σε ποιό βάθος έμπηξης ακριβώς βρίσκεται το αγκύριο. Το γεγονός ότι οι ίδιες μορφές αστοχίας είναι σχεδόν παντού σε διαφορετικές τιμές του d*h_{eff} και σε διαφορετικά φορτία σημαίνει ότι επηρεάζονται και από άλλες παραμέτρους όπως είναι η θλιπτική αντοχή των δομικών μονάδων (οπτοπλίνθων) και η ορθή θλιπτική τάση που ασκείται στο δοκίμιο κατά την διάρκεια των δοκιμών εξόλκευσης. Λόγω των μη υπαρκτών στοιχείων για την θλιπτική αντοχή των οπτοπλίνθων και μόνο από δύο πειράματα καθίσταται δύσκολο να συγκριθούν όλα τα πειράματα σε ένα διάγραμμα.

Στο διάγραμμα της Εικόνας 40-(α) η αύξηση της τιμής του γινομένου d*h_{eff} αυξάνει το μέγιστο φορτίο και την μετατόπιση σε αυτό. Παρατηρείται ότι η επικρατέστερη αστοχία είναι η αστοχία 4 «αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου». Η διαρροή του χάλυβα εμφανίζεται στα φορτία γύρω στα 180 kN γιατί όπως φαίνεται και στους υπολογισμούς σε συσχέτιση με την θεωρία και με τα δεδομένα των πειραμάτων των Silveri et al., (2014) το φορτίο διαρροής του χάλυβα ήταν 153kN και το φορτίο αστοχίας του 196kN.

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του γινομένου d*h_{eff} συντελεστή συσχέτισης R²=0,753.

Στο πείραμα των Algeri et al., (2010) δεν έχουν αναφερθεί οι μορφές αστοχίας γι' αυτό το λόγο έχουν αφαιρεθεί από τα διαγράμματα της Εικόνας 39.









Εικόνα 40 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία με χρήση ενέματος σε σχέση με την μορφή αστοχίας Πειράματα:

Paganoni et al. 2014, Dizhur et al. 2013, Algeri et al. 2010, Silveri et al. 2014

2.6.1.2 Έγχυτο κονίαμα από ρητίνη

Τα διαγράμματα της Εικόνας 40 σχετίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους στο «πρόσωπο της οπτοπλίνθου» με την χρήση έγχυτου συνθετικού υλικού «ρητίνη».

Η συμπεριφορά του αγκυρίου στην περίπτωση χρήσης χημικού αγκυρίου από ρητίνη είναι ίδια με την συμπεριφορά του όταν χρησιμοποιείται έγχυτο κονίαμα από ένεμα. Δηλαδή με την αύξηση της διαμέτρου αυξάνεται το μέγιστο φορτίο και η μετατόπιση.

Με σταθερή την διάμετρο υπάρχει μία μεγάλη διασπορά στην τιμή του μέγιστου φορτίου που μπορεί να φτάσει το αγκύριο. Ο λόγος έγκειται στο ότι επηρεάζεται και από το βάθος έμπηξης του. Επομένως και εδώ η επιρροή των δύο παραμέτρων, διάμετρος αγκυρίου και βάθος έμπηξης, είναι σημαντική στην φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου.

Τα πειράματα των Dizhur et al. 2013 δεν είχαν πολλά στοιχεία για την μετατόπιση των αγκυρίων γι' αυτό τον λόγο δεν είναι αρκετά τα αποτελέσματα στο διάγραμμα της Εικόνας 40-(β).







Εικόνα 41 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων με ρητίνη σε σχέση με την διάμετρο του αγκυρίου

Συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων με το βάθος έμπηξης Εικόνα 41 (α) και (β). Η αύξηση του φορτίου και της μετατόπισης επηρεάζονται από την αύξηση του βάθους έμπηξης.

Στα αποτελέσματα των πειραμάτων των Arifovic and Nielsen, (2004) παρατηρείται αύξηση του φορτίου με την αύξηση του βάθους έμπηξης κατά ομάδες λόγω της διαφορετικής διαμέτρου του αγκυρίου που χρησιμοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε βάθος έμπηξης υπάρχουν τρία διαφορετικά φορτία που αντιπροσωπεύουν τις διαμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα των Arifovic and Nielsen, (2004).

Στο διάγραμμα της Εικόνας 41-(β) η μετατόπιση είναι σχεδόν σταθερή σε σχέση με το βάθος έμπηξης και δεν επηρεάζεται από την διαφορά της διαμέτρου.







Εικόνα 42 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων αγκυρίων με ρητίνη σε σχέση με το βάθος έμπηξης τους

Στα διαγράμματα της Εικόνας 43 συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων συναρτήσει της αστοχίας του αγκυρίου.

Είναι φανερό ότι η επικρατέστερη αστοχία είναι η αστοχία του υποβάθρου υπό μορφή κώνου με μεγαλύτερα φορτία και μετατοπίσεις. Η αστοχία του υποβάθρου σύμφωνα με τις σχέσεις της βιβλιογραφίας εξαρτάται από την θλιπτική αντοχή της οπτοπλίνθου η οποία δεν μπορεί να συγκριθεί επειδή δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία.

Η αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου εξαρτάται από την διάμετρο της οπής και επομένως η διαφορά στα φορτία δεν επηρεάζεται από τις διαφορετικές τιμές του γινομένου d*h_{eff} αλλά από την διάμετρο της οπής που από τη μεριά της αυξάνει την επιφάνεια τριβής.







Πειράματα : Arifovic and Nielsen 2004, Dizhur et al. 2013

2.6.1.3 Έγχυτο κονίαμα και ρητίνη

Τα διαγράμματα της Εικόνας 45 αφορούν την εφελκυστική μονοτονική φόρτιση αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία από οπτοπλίνθους - Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί ότι στα παρακάτω διαγράμματα έχουν συμπεριληφθεί αποτελέσματα που αφορούν την εγκατάσταση αγκυρίων με διαφορετικά υλικά έγχυτων κονιαμάτων, είτε αυτά αφορούν: α) ενέματα με βάση το τσιμέντο ή την άσβεστο ή β) σύνθετα υλικά όπως είναι οι ρητίνες.



(β)

Εικόνα 44 Πειράματα σε αγκύρια με χρήση κονιάματος ή ρητίνης (α) Arifovic and Nielsen, 2004 (β) Silveri et al., 2014

Το μέγιστο φορτίο και η μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο αυξάνεται με την αύξηση της διαμέτρου του αγκυρίου. Είναι προφανές ότι η συμπεριφορά των αγκυρίων είτε είναι εγκατεστημένα με κονίαμα είτε με ρητίνη δεν αλλάζει αλλά γίνεται μία πύκνωση των σημείων στα φορτία μεταξύ 10kN και 65kN στην περίπτωση χρήσης έγχυτου κονιάματος από ρητίνη.

Τα πειράματα με τα μεγαλύτερα φορτία αστοχίας των αγκυρίων ήταν με την χρήση έγχυτου κονιάματος από ένεμα ενώ τα πειράματα με μικρότερα φορτία αστοχίας ήταν στα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν με ρητίνες. Ο λόγος γι' αυτό το αποτέλεσμα, που μπορεί να θεωρηθεί και ως συμπέρασμα είναι ότι όταν χρησιμοποιείται έγχυτο κονίαμα από ένεμα η διάμετρος της οπής είναι από 1.5d μέχρι 5d που σημαίνει μεγαλύτερη επιφάνεια τριβής και επομένως μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα.





Εικόνα 45 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε μονοτονική εφελκυστική φόρτιση αγκυρίων σε σχέση με την διάμετρο τους

Στα διαγράμματα της Εικόνας 46 - (α) και (β) συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα για το σύνολο των πειραμάτων σε σχέση με το βάθος έμπηξης. Το βάθος έμπηξης επηρεάζει σημαντικά το μέγιστο φορτίο ενώ είναι σημαντικό και στην αύξηση της μετατόπισης. Παρατηρείται ότι η χρήση έγχυτου κονιάματος από ρητίνη δίνει μικρότερα φορτία σε σχέση με το τσιμεντοκονίαμα ή το ασβεστοκονίαμα και αυτό σημαίνει διαφορά στην θλιπτική αντοχή του ίδιου του κονιάματος. Τα στοιχεία που διατίθενται δεν είναι επαρκή για την αριθμητική σύγκριση των αποτελεσμάτων. Η αύξηση του φορτίου φτάνει ως ένα σημείο και μετά σταθεροποιείται. Μπορεί να σημειωθεί εδώ ότι σε αυτό το σημείο του σταθερού φορτίου η αστοχία του χάλυβα είναι η προβλεπόμενη.

Με την αύξηση του βάθους έμπηξης αυξάνεται και η διασπορά ανάμεσα στις τιμές των μετατοπίσεων. Αυτή η αύξηση οφείλεται στην διαφορετική μορφή αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας - αγκυρίου.

Παρατηρούνται μικρά φορτία αστοχίας έως 65kN σε αγκύρια που χρησιμοποιήθηκε έγχυτο κονίαμα από ρητίνη σε σχέση με τα φορτία που σημειώθηκαν στα υπόλοιπα πειράματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε έγχυτο κονίαμα από ένεμα.

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του βάθους έμπηξης με συντελεστή συσχέτισης R²=0,5975.









Εικόνα 46 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε μονοτονική εφελκυστική φόρτιση αγκυρίων σε σχέση με το βάθος έμπηξης

Όσον αφορά τα διαγράμματα της Εικόνας 47 στην οποία τα αποτελέσματα είναι για το σύνολο των πειραμάτων που αφορούν αγκύρια σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους σε μονοτονική φόρτιση και με χρήση διαφορετικών ειδών έγχυτων κονιαμάτων συμπεραίνουμε ότι:

Η αύξηση της τιμής του γινομένου d*h_{eff} επηρεάζει θετικά στην αύξηση των τιμών των φορτίων και της μετατόπισης σε αυτό το φορτίο.

Παρατηρείται μία σταθερή αύξηση των φορτίων με συντελεστή συσχέτισης R²=0,70296.

Τα φορτία και οι μετατοπίσεις για κάθε αστοχία αυξάνονται με την αύξηση της τιμής του γινομένου d*h_{eff}. Συγκεκριμένα η αστοχία (3) και η αστοχία (4) επηρεάζονται άμεσα από την αύξηση του βάθους έμπηξης σύμφωνα με τις σχέσεις της θεωρίας.











Εικόνα 47 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία Arifovic and Nielsen, (2004) - Paganoni and D'Ayala, (2014) - Dizhur et al., (2013)

- Algeri et al., (2014) - Silveri et al., (2014)

2.6.1.4 Αγκύρια εγκατεστημένα σε διαφορετικές θέσεις

Για μία πιο σκόπιμη ανάλυση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων των Arifovic and Nielsen, (2004) φτιάχτηκαν τα απαιτούμενα διαγράμματα για τις τρεις περιπτώσεις που τα αγκύρια είναι εγκατεστημένα στην κεφαλή της οπτοπλίνθου ή σε αρμό. Για την εγκατάστασή τους χρησιμοποιήθηκε ρητίνη και τα αγκύρια δοκιμάστηκαν σε μονοτονικά εφελκυστικά φορτία. Τα συμπεράσματα των διαγραμμάτων αναφέρονται παρακάτω, ανάλογα με την περίπτωση, και έχουν ως εξής:

α) Αγκύρια εγκατεστημένα στην κεφαλή της οπτοπλίνθου Εικόνα 49.

Δημιουργήθηκε μία αστοχία διάσπασης της οπτοπλίνθου η οποία εμφανίζεται όταν το αγκύριο έχει εγκατασταθεί στην ελεύθερη άκρη του τοίχου.

Το μεγαλύτερο φορτίο εμφανίστηκε στην συνδυαστική μορφή αστοχίας, αστοχία (7).

Η μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στην αστοχία εξόλκευσης μίας οπτοπλίνθου.

Η κυριότερη αστοχία ήταν η εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου αστοχία (5) η οποία επηρεάζεται από τις διαστάσεις της οπτοπλίνθου και την θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος σύμφωνα με την θεωρία. Καθώς το αγκύριο είναι εγκατεστημένο στην οπτόπλινθο, το βάθος έμπηξης είναι παράλληλο προς το μήκος της οπτοπλίνθου και επομένως έχει μεγαλύτερη επιφάνεια τριβής. Εδώ θα πρέπει να συγκριθεί η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος με την οποία δεν υπάρχουν στοιχεία και εφόσον η αστοχία (5) εμφανίζεται σε πολλά σημεία στο διάγραμμα, αυτό σημαίνει ότι η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος είναι το βάθος το βάθος και εφόσον η αστοχία (5) εμφανίζεται σε πολλά σημεία στο διάγραμμα, αυτό σημαίνει ότι η θλιπτική αντοχή

91







(β)

d*heff

🔵 Αστοχία 6 🔵 Αστοχία 7

γ) Αγκύρια εγκατεστημένα σε οριζόντιο συνδετικό κονίαμα ή αρμό.

Τα διαγράμματα της Εικόνας 49 συγκρίνουν το γινόμενο d*h_{eff} με το φορτίο και την μετατόπιση συναρτήσει της αστοχίας που εμφανίστηκε.

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η κύρια αστοχία είναι η αστοχία (3) και το μόνο που επηρεάστηκε σε αυτήν την περίπτωση είναι το περιβάλλον συνδετικό κονίαμα του οποίου η θλιπτική αντοχή και επομένως η διατμητική του αντοχή παίζει μεγάλο ρόλο στην μορφή αστοχίας που θα ακολουθήσει το σύστημα τοιχοποιίας αγκυρίου και όπως φαίνεται η αύξηση της τιμής του d*h επηρεάζει τις τιμές του φορτίου και της μετατόπισης.





Εικόνα 49 Αγκύρια εγκατεστημένα στο αρμό Arifovic and Nielsen, (2004)

2.6.2 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που σχετίζονται με τα αγκύρια τα οποία ήταν εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους, με την χρήση έγχυτου κονιάματος από ένεμα τσιμεντοκονιάματος και ασβεστοκονιάματος και τα οποία δοκιμάστηκαν σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση συγκρίθηκαν στα παρακάτω διαγράμματα.

Αυτό που παρατηρείται είναι ότι τα αγκύρια έχουν την ίδια συμπεριφορά με τα αγκύρια που είχαν δοκιμαστεί σε μονοτονική φόρτιση.

Στα πειράματα των Silveri et al., (2014) τα αγκύρια είχαν εγκατασταθεί σε διαφορετικά μέρη του δοκιμίου και αυτός είναι ένας από τους λόγους που είναι μεγάλη η διασπορά στις τιμές των φορτίων αστοχίας. Ο άλλος λόγος έγκειται στο διαφορετικό βάθος έμπηξης των αγκυρίων που είναι σχεδόν το διπλάσιο δηλαδή από 400mm σε 900mm.









Εικόνα 50 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση σε σχέση με την διάμετρο του αγκυρίου και το βάθος έμπηξης του αγκυρίου

Τα διαγράμματα της Εικόνας 51 (α) και (β) σχετίζονται με την σχέση των αποτελεσμάτων των πειραμάτων της ανακυκλιζόμενης φόρτισης με την αστοχία.

Οι κυριότερες αστοχίες ήταν η αστοχία του υποβάθρου υπό μορφή κώνου όπως η αστοχία (4) και η συνδυαστική αστοχία του υποβάθρου όπως η αστοχία (7) που δημιούργησε μικρότερα φορτία.

Η αστοχία (7) σχετίζεται με τα πειράματα των Paganoni and D'Ayala, (2014) στα οποία η διάμετρος του αγκυρίου και το βάθος έμπηξης ήταν μικρότερα από τα αντίστοιχα των πειραμάτων των Silveri et al. 2014. Φαίνεται ότι το βάθος έμπηξης παίζει μεγάλο ρόλο και στην μορφή που θα αστοχήσει το σύστημα τοιχοποιίας αγκυρίου.

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του γινομένου με συντελεστή συσχέτισης R²= 0,8341.

Η διαφορά των φορτίων και της μετατόπισης με σταθερή την τιμή του γινομένου d*h_{eff} στις 8000 και 18000mm² οφείλεται στην διαφορά του υλικού του έγχυτου κονιάματος και της θλιπτικής του αντοχής. Ωστόσο τα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν με κονιάματα με βάση την άσβεστο έδωσαν μικρότερα φορτία από αυτά που εγκαταστάθηκαν με κονιάματα με βάση το τσιμέντο.







Εικόνα 51 Συγκεντρωτικά διαγράμματα των πειραματικών αποτελεσμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία Πειράματα Paganoni and D Ayala 2014 και Silveri et al. 2014

2.6.3 Αγκύρια εγκατεστημένα σε οπτοπλίνθους υπό μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση

Τα στοιχεία που έχουν προκύψει από το σύνολο των πειραμάτων που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες συγκεντρώθηκαν στα επόμενα διαγράμματα. Τα αγκύρια ήταν οριζόντια ή υπό γωνία αγκύρωσης 67,5°, ήταν εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους και τοποθετήθηκαν είτε σε οπτόπλινθο ή σε συνδετικό κονίαμα, η δε εγκατάστασή τους έγινε με την χρήση έγχυτου κονιάματος από ένεμα τσιμεντοκονιάματος ή ασβεστοκονιάματος και από συνθετικά υλικά όπως οι ρητίνες.

Οι τιμές των φορτίων στα αγκύρια τα οποία εγκαταστάθηκαν με ρητίνη εμφανίζουν μικρότερα φορτία για δύο λόγους:

 α) Η διάμετρος της οπής είναι μικρή και συνήθως κατά 2mm μεγαλύτερη από την διάμετρο του αγκυρίου.

β) Το μικρό βάθος έμπηξης από 100mm μέχρι 230mm σε σχέση με το βάθος έμπηξης των αγκυρίων που εγκαταστάθηκαν με κονίαμα και που ήταν από 300mm μέχρι 900mm.

Άρα μικρότερη επιφάνεια τριβής και μικρότερο βάθος μεταφοράς των τάσεων στο υπόβαθρο έχουν ως αποτέλεσμα να επηρεαστεί μικρότερη επιφάνεια της τοιχοποιίας από την αξονική φόρτιση και επομένως μικρότερη αντίσταση αυτής.

Μπορεί να σημειωθεί ότι τα φορτία στα πειράματα των αγκυρίων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση είχαν μειωθεί κατά 30% σε σύγκριση με τα φορτία στα πειράματα των αγκυρίων υπό μονοτονική φόρτιση.

99



Εικόνα 52 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε σχέση με την διάμετρο

Όσον αφορά τα διαγράμματα της Εικόνας 53 - (α) έως (γ) διακρίνονται πιο εύκολα λόγω της διαφοράς του βάθους έμπηξης σε κάθε πείραμα.

Τα φορτία όπως αναφέρθηκε και πριν επηρεάζονται από την διάμετρο του αγκυρίου, το υλικό του έγχυτου κονιάματος και από το βάθος έμπηξης. Τα μικρότερα φορτία ως 65kN συγκεντρώνονται στα μικρότερα βάθη έμπηξης στην περίπτωση εγκατάστασης των αγκυρίων με έγχυτο κονίαμα από ρητίνη.

Τα πειράματα με βάθος έμπηξης από 350mm μέχρι 900mm σχετίζονται με την χρήση έγχυτου κονιάματος με βάση την άσβεστο ή με βάση το τσιμέντο.

Παρατηρείται αύξηση της διασποράς ανάμεσα στις τιμές των αποτελεσμάτων όσο αυξάνεται το βάθος έμπηξης.

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του βάθους έμπηξης με συντελεστή συσχέτισης R^2 =0,5565.











Εικόνα 53 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε σχέση με το βάθος έμπηξης

Για ίδιες τιμές της διαμέτρου και του βάθους έμπηξης του αγκυρίου σημειώνονται διαφορετικές τιμές αντοχής του συστήματος αγκυρίου-τοιχοποιίας, κάτι το οποίο υποδηλώνει την ανάγκη συσχέτισης της αντοχής του συστήματος με τις δύο αυτές παραμέτρους ταυτόχρονα. Γι' αυτόν τον λόγο κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα της Εικόνας 54. Στην ίδια εικόνα παρατίθενται τα διαγράμματα φορτίου και μετατόπισης στο μέγιστο φορτίο συναρτήσει της διαμέτρου και του βάθους έμπηξης των αγκυρίων, με την διαφορά του ότι έχουν ομαδοποιηθεί οι πειραματικές τιμές ανάλογα με την μορφή αστοχίας που έχει εμφανιστεί σε κάθε περίπτωση. Συμπεριλαμβάνονται αποτελέσματα που προέκυψαν τόσο από μονοτονική όσο και από ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Παρατηρείται αύξηση του μέγιστου φορτίου και της μετατόπισης σε αυτό το φορτίο με την αύξηση της τιμής του γινομένου d*h_{eff}.

Η αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου αστοχία (3) εμφανίζεται σχεδόν παντού όπως και η αστοχία του υποβάθρου υπό μορφή κώνου αστοχία(4).

Υπάρχει μία γραμμική αύξηση του φορτίου συναρτήσει του γινομένου d*h_{eff} με συντελεστή συσχέτισης R^2 =0.5029.









Εικόνα 54 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων και η σχέση του γινομένου d*h_{eff} με την αστοχία

2.6.4 Αγκύρια εγκατεστημένα σε φυσικούς λίθους



Εικόνα 55 Εικόνες από τα πειράματα (α) Moreira et al. 2014 και (β) Munoz et al. 2018

Εδώ γίνεται μία προσπάθεια ερμηνείας των διαγραμμάτων της Εικόνας 56, τα οποία σχετίζονται με τοιχοποιίες από φυσικούς λίθους. Για την εγκατάσταση των αγκυρίων χρησιμοποιήθηκε έγχυτο κονίαμα από ένεμα τσιμεντοκονιάματος και από εποξική ρητίνη. Τα αγκύρια δοκιμάστηκαν σε μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση και προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το φορτίο αστοχίας του συστήματος τοιχοποιίας-αγκυρίου αυξάνεται με την αύξηση της διαμέτρου και του βάθους έμπηξης του αγκυρίου.
- Η μετατόπιση στην οποία εμφανίζεται το μέγιστο φορτίο (η φέρουσα ικανότητα του αγκυρίου) αυξάνεται καθώς αυξάνεται η θλιπτική αντοχή του υποβάθρου f_{bc} ανεξάρτητα από την τιμή της διαμέτρου ή του βάθους έμπηξης του αγκυρίου.
- Επικρατεί μια μεγάλη διασπορά ανάμεσα στις τιμές της μετατόπισης για το ίδιο πείραμα.

Είναι φανερό από τα διαγράμματα της Εικόνας 56, ότι το μέγιστο φορτίο το οποίο μπορεί να αντέξει το αγκύριο εξαρτάται τόσο από το βάθος έμπηξης όσο και από την διάμετρο του αγκυρίου όπως ήταν και στην περίπτωση αγκυρίων που εγκαταστάθηκαν σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους.

105



Εικόνα 56 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων σε αγκύρια εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από φυσικούς λίθους σε σχέση με την διάμετρο του αγκυρίου
Όσον αφορά τα διαγράμματα της Εικόνας 57 τα οποία σχετίζονται με τα πειραματικά αποτελέσματα συναρτήσει του βάθους έμπηξης, συμπεραίνουμε ότι:

Η αύξηση του βάθους έμπηξης αυξάνει το φορτίο και μειώνει την μετατόπιση λόγω της αύξησης της επιφάνειας τριβής και της αύξησης της διατμητικής συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.



Εικόνα 57 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραματικών αποτελεσμάτων σε αγκύρια εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από φυσικούς λίθους σε σχέση με το βάθος έμπηξης

Στην Εικόνα 58, συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε τοιχοποιία από φυσικούς λίθους σε σχέση με το γινόμενο d*h_{eff} και σε σχέση με την αστοχία που προκλήθηκε μετά την δοκιμή εξόλκευσης σε μονοτονική και ανακυκλιζόμενη φόρτιση.

Με την αύξηση της τιμής του d*h_{eff} αυξάνεται το φορτίο αστοχίας και μειώνεται η μετατόπιση. Η επικρατέστερη αστοχία είναι η συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και η αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας) με μεγαλύτερα φορτία αστοχίας και μεγαλύτερη μετατόπιση.



Εικόνα 58 Συγκεντρωτικά διαγράμματα φορτίου και μετατόπισης συναρτήσει του γινόμενου d*h_{eff} σε σχέση με την μορφή αστοχίας σε πειράματα τοιχοποιίας από φυσικούς λίθους

Τέλος συγκρίνονται όλα τα αποτελέσματα των πειραμάτων που αναλύθηκαν, με την θλιπτική τάση η οποία εφαρμόστηκε κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Στα διαγράμματα της Εικόνας 59 (α) έως (δ) σημειώνεται ότι δεν εμφανίζεται κάποιο συγκεκριμένο συγκρίσιμο στοιχείο.

Τα περισσότερα πειράματα έγιναν μεταξύ των τιμών της κατακόρυφης θλιπτικής αντοχής (0,10-0,20) MPa.





Εικόνα 59 Συγκεντρωτικά διαγράμματα για το σύνολο των πειραμάτων σε συνάρτηση με την τάση

3 Πειραματικό Μέρος

3.1 Εισαγωγή

Σκοπός των πειραμάτων είναι η μελέτη της σεισμικής απόκρισης χημικών αγκυρίων εγκατεστημένων σε τοιχοποιία τόσο από συμπαγείς όσο και από διάτρητες οπτοπλίνθους. Για τις πειραματικές δοκιμές χτίστηκαν 10 δοκίμια τοιχοποιίας από διάτρητες και 20 από συμπαγείς οπτοπλίνθους (διαστάσεων περίπου 1mX1m).

Το σύστημα επιβολής της ορθής θλιπτικής τάσης είναι εγκατεστημένο κατά μήκος των δύο ελεύθερων πλευρών του δοκιμίου τοιχοποιίας (κάθετα προς την κατεύθυνση της ρωγμής) που επιτρέπει την ρύθμιση της στην επιθυμητή στάθμη.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δύο συστήματα φόρτισης (το ένα που προκαλεί τη ρωγμή του δοκιμίου τοιχοποιίας και το άλλο που χρησιμοποιείται για την επιβολή της ορθής τάσης) θα λειτουργούν παράλληλα και ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, για να θέσουν τη ρωγμή στο επιθυμητό άνοιγμα και την κανονική τάση στο επιθυμητό έπίπεδο 2 (0,2 MPa). Με βάση τις δοκιμές που έχουν γίνει σε άλλες χώρες η κανονική τάση είναι 0,1 MPa για τοιχοποιίες πληρώσεως ενώ με βάση τον EC 8 και το εθνικό προσάρτημα για περιοχές με σεισμική επιτάχυνση 0,24g προκύπτουν τιμές 0,2 MPa και 0,3 MPa (τυπικά για κτίρια ενός και δύο ορόφων).

Λόγω του μεγάλου αριθμού των παραγόντων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων και της μεγάλης κλίμακας τιμών που μπορεί να πάρει καθένας από αυτούς, συγκεντρώθηκαν οι σημαντικότεροι παράγοντες που ακολουθούν:

- Δύο τύποι τοιχοσωμάτων: α) Συμπαγείς οπτόπλινθοι που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τοίχων σε πολλές χώρες του κόσμου. β) Διάτρητες οπτόπλινθοι με κατακόρυφες οπές, οι οποίες πλέον χρησιμοποιούνται συχνά για την κατασκευή φέρουσας τοιχοποιίας σε χώρες της Ευρώπης που είναι επιρρεπείς σε σεισμικές δράσεις.
- Δύο κατηγορίες συνδετικών κονιαμάτων: α) Ασθενές κονίαμα, β) Ισχυρό κονίαμα.
- 3) Η θέση εγκατάστασης του αγκυρίου

Επίσης αποφασίστηκε κατά την διάρκεια των δοκιμών να χρησιμοποιηθούν κάποιες σταθερές παράμετροι οι οποίες είναι οι εξής:

- 1) Η ορθή θλιπτική τάση να είναι 0,2 MPa.
- 2) Το χημικό αγκύριο.
- 3) Η διάμετρος του αγκυρίου 12mm.

- Το βάθος έμπηξης του αγκυρίου το οποίο καθορίστηκε σε 100mm για τις συμπαγείς οπτοπλίνθους και 130 mm για τις διάτρητες.
- 5) Η γωνία αγκύρωσης του αγκυρίου 90° .
- Τέλος θα πραγματοποιηθούν τρία πρωτόκολλα φόρτισης που είναι τα εξής:
 - Πρωτόκολλο 1: εφαρμογή μονοτονικής εφελκυστικής ή διατμητικής φόρτισης αγκυρίων.
 - Πρωτόκολλο 2: εφαρμογή επαναλαμβανόμενης φόρτισης στα αγκύρια που υπόκεινται σε εφελκυσμό και ανακυκλιζόμενη φόρτιση στα αγκύρια που υπόκεινται σε διάτμηση σύμφωνα με το πρότυπο C1.1 και C1.2 αντίστοιχα του [ETAG 049:2016-08].
 - Πρωτόκολλο 3: ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση είτε σε εφελκυσμό είτε σε διάτμηση.

Η ακριβής ιστορία φόρτισης (τα βήματα της επιβαλλόμενης αξονικής ή διατμητικής φόρτισης και το μέγεθος της μέγιστης μετατόπισης στην πρώτη ομάδα των τριών κύκλων κ.λπ.), θα αναφέρεται αναλυτικά στις επόμενες υποενότητες.

3.2 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Δύο μεταλλικά υποστυλώματα διατομής HEB 300. Στο ένα υποστύλωμα στηρίζεται ο επενεργητής επιβολής της διαγώνιας θλίψης, ενώ το άλλο στην ουσία αποτελεί την πάκτωση της αντιδιαμετρικής γωνίας από αυτήν που ασκείται η διαγώνια θλίψη.
- 2) Φτιάχτηκε μία μεταλλική βάση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση του δοκιμίου τοιχοποιίας. Τα δοκίμια τοιχοποιίας είναι σε οριζόντια θέση ώστε η κατεύθυνση του φορτίου διάτμησης να είναι παράλληλη προς την κατεύθυνση της ορθής τάσης και προς την κατεύθυνση της ρωγμής.

Για την εφαρμογή της ορθής θλιπτικής τάσης:

- 3) Τοποθετήθηκε ένας κοντός υδραυλικός κύλινδρος (μηχάνημα Enerpac).
- Επίσης χρειάστηκαν πέντε μεταλλικές δοκοί τύπου ΗΕΒ 180 και τέσσερις μεταλλικές ντίζες M27.
- 5) Η διαγώνιος θλίψη εφαρμόστηκε με την χρήση δύο μεταλλικών γωνιών, η μία γωνία ήταν σταθερή και η δεύτερη ήταν κινούμενη και τοποθετημένη σε έμβολο.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 60 Διάταξη του τοίχου κατά την διάρκεια του πειράματος: (α) Σχέδιο σε autocad, (β) και (γ) φωτογραφίες από το εργαστήριο

3.2.1 Επιλογή μηχανήματος και εξοπλισμού

3.2.1.1 Εφαρμογή δοκιμών αξονικής φόρτισης

Ο σχεδιασμός και η διάταξη για την εφαρμογή των δοκιμών εξόλκευσης σε αγκύρια πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15]. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιούνται συσκευές μέτρησης που πληρούν τον καθορισμένο ρυθμό δειγματοληψίας και η βαθμονόμηση του φορτίου και της μετατόπισης να γίνεται με ηλεκτρονικό τρόπο.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εμβόλου σχεδιάστηκαν ώστε να πληρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις του προτύπου.

Η δοκιμή επιλέχθηκε να γίνει «unconfined». Γι' αυτό τον λόγο σύμφωνα με το πρότυπο, σχεδιάστηκε η διάταξη ώστε το πάχος της πλάκας της βάσης να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από την ονομαστική διάμετρο του αγκυρίου που πρόκειται να δοκιμαστεί και να έχει εσωτερική διάμετρο ίση με το τετραπλάσιο του βάθους έμπηξης (d=4*h_{ef}=4*100=400mm) όπως στην Εικόνα 65. Αυτή η απόσταση επιτρέπει τον ελεύθερο σχηματισμό του κώνου τοιχοποιίας κατά την διάρκεια της εξόλκευσης και διασφαλίζει ότι η αστοχία δεν θα επηρεάσει τα άλλα αγκύρια.

Ο σχεδιασμός της διάταξης του μηχανήματος εξόλκευσης πρέπει να έχει επαρκές μέγεθος και αρκετή ακαμψία ώστε να αποφεύγονται η αστοχία του περιβάλλοντος μέλους και οι παραμορφώσεις στις οποίες θα υπόκειται το μηχάνημα κατά την διάρκεια της δοκιμής να μην επηρεάζουν τα αποτελέσματα της.

Η ράβδος φόρτωσης πρέπει να έχει επαρκή διάμετρο για την ανάπτυξη της αναμενόμενης τελικής αντοχής του υλικού αγκύρωσης με μη ελαστική επιμήκυνση που να μην υπερβαίνει το 10% της αναμενόμενης ελαστικής επιμήκυνσης του αγκυρίου.

Στην Εικόνα 61 παρουσιάζεται η διάταξη του μηχανήματος εξόλκευσης και ο απαιτούμενος σχεδιασμός σύμφωνα με πρότυπο [ASTM E488/E488M-15].

115





(β)

Εικόνα 61 Διάταξη μηχανήματος εξόλκευσης: (α) φωτογραφία διάταξης χρησιμοποιούμενου μηχανήματος στο εργαστήριο και (β) σχήμα διάταξης σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15].

3.2.1.2 Εφαρμογή δοκιμών διάτμησης

Στο δεύτερο κομμάτι των πειραμάτων για την εφαρμογή διατμητικής φόρτισης στα αγκύρια εφαρμόστηκαν οι συστάσεις του προτύπου [ASTM E488/E488M-15]. Χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μηχάνημα της εξόλκευσης με διαφορετική βάση η οποία εμφανίζεται στην Εικόνα 62 - (α) και η οποία σχεδιάστηκε να είναι κινούμενη κατά το μήκος του δοκιμίου. Φτιάχτηκαν κάποια βοηθητικά εξαρτήματα για την σύνδεση των αγκυρίων με το μηχάνημα. Η κεντρική δοκός περιέχει οπές οι οποίες είναι ανοιγμένες σε σταθερές αποστάσεις κατά μήκος της προκειμένου το αγκύριο να μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε θέση ανάλογα με το πείραμα Εικόνα 62 - (β).



(α)



Εικόνα 62 Διάταξη μηχανήματος διάτμησης: (α) βάση του μηχανήματος (β) τοποθέτηση εμβόλων και σύνδεση του αγκυρίου με το μηχάνημα

Η δοκός έχει σχήμα u , ο κορμός με πάχος t_{fix} = 15mm και με διάμετρο ανοίγματος οπής d_F =14 mm σύμφωνα με το [ETAG 054:2016-4]όπως φαίνεται στην Εικόνα 63.



Εικόνα 63 Δείγμα ελάσματος για χρήση σε διατμητικά φορτία

Δεν τηρήθηκε η απόσταση μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων και η απόσταση μεταξύ του αγκυρίου και της πλευρικής στηρίξεως σε όλα τα πειράματα διότι το δοκίμιο είναι περιορισμένων διαστάσεων και δεν γίνεται να αλλάξει το μήκος του για να είναι σύμφωνο με το πρότυπο, όπου C_a είναι η απόσταση μεταξύ του αγκυρίου και του ελεύθερου άκρου όπως φαίνεται στην Εικόνα 64.



Εικόνα 64 Σχήμα διάταξης σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15].

3.2.2 Θέσεις τοποθέτησης των αγκυρίων

Πραγματοποιήθηκαν τέσσερις δοκιμές εξόλκευσης αγκυρίων σε κάθε τοίχο. οι θέσεις εγκατάστασης των αγκυρίων ονομάστηκαν ως εξής: i) Στο κέντρο της αρηγμάτωτης οπτοπλίνθου (L1). ii) Σε ρηγματωμένη οπτόπλινθο (L2). iii) Σε αρηγμάτωτο συνδετικό κονίαμα (L3), iv) Σε ρηγματωμένο συνδετικό κονίαμα (L4). Στο πειραματικό μέρος της εργασίας δεν λήφθηκε υπόψη η επιρροή που μπορεί να έχει η εγκατάσταση του αγκυρίου κοντά στις άκρες της τοιχοποιίας. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο διατηρήθηκε μία ελάχιστη απόσταση από την άκρη του δοκιμίου τοιχοποιίας ίση με c_{cr,N}=1.50*h_{eff}=1.50*100=150mm όπου h_{eff} είναι το βάθος έμπηξης του αγκυρίου [ETAG-029:2013-04]. Επιπροσθέτως, μελετήθηκε η συμπεριφορά μονού αγκυρίου υπό εξόλκευση και επομένως έπρεπε να διατηρηθεί μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο αγκυρίων ίση με scr,N=2*ccr,N=2*150=300mm (Welz, 2017).



Εικόνα 65 Σημεία τοποθέτησης των αγκυρίων

3.3 Υλικά

3.3.1 Οπτόπλινθοι

Στο πειραματικό μέρος χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά είδη οπτοπλίνθων, κατασκευασμένων από πηλό: i) συμπαγείς οπτόπλινθοι και ii) διάτρητες οπτόπλινθοι κατακόρυφων οπών. Αυτοί οι δύο τύποι οπτοπλίνθων αποτελούν τους συνηθέστερους τύπους οπτοπλίνθων που χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη έναντι των οπτοπλίνθων από πυριτικό ασβέστιο ή τσιμεντόλιθων. (Meyer and Eligehausen, 2004)

3.3.1.1 Συμπαγείς οπτόπλινθοι

Επιλέχθηκε η οπτόπλινθος διαστάσεων (Υ50xM210xΠ100 mm³) που φαίνεται στην Εικόνα 66. Η συγκεκριμένη οπτόπλινθος επιλέχθηκε όχι μόνο για τις διαστάσεις της, αλλά για το ότι παράγεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής Ένωσης [ΕΝ 771-1:2000] από την Ελληνική κεραμοτουβλοποιία (Παναγόπουλος) με έδρα την Πελοπόννησο.

Ο τρόπος χτισίματος που ακολουθήθηκε φαίνεται στην Εικόνα 67-(α). Χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος τρόπος κατασκευής των τοιχίσκων έτσι ώστε να είναι πιο εύκολο να σχηματιστεί μία διαγώνια ρωγμή κατά την επιβολή της διαγώνιας θλίψης. Ωστόσο μετά την πραγματοποίηση κάποιων πειραμάτων φάνηκε ότι δεν μπορούν να σχηματιστούν ρωγμές σε οπτοπλίνθους. Έτσι χτίστηκαν επιπλέον τοιχίσκοι με διαφορετική διάταξη όπως φαίνεται στην Εικόνα 67-(β). Η συγκεκριμένη διάταξη οπτοπλίνθων περιλαμβάνει προρηγματωμένες οπτοπλίνθους κατά μήκος της διαγωνίου, καθώς και μία ασθενή διαδρομή εκατέρωθεν αυτών των προρηγματωμένων οπτοπλίνθων.



Εικόνα 66 Η συμπαγής οπτόπλινθος που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των τοιχίσκων

		/													
har header he	ader	stret	cher	hea	ader		stret	cher		header stretche			che	r	
header	header	head	der he	eader		stret	cher		hea	der		stret	cher		half header
half header	stretche	r	str	etcher		hea	ader		stret	cher		hea	ader	hea	ader
header	stre	tcher		stret	cher		hea	der		stret	cher		head	der	half header
cut stret	cher	stret	cher		stret	cher		hea	ader		stret	cher		hea	ader
stret	cher		stretche	er		stret	cher		hea	der		stret	cher		half header
cut header	stretche	er	st	retche	r		stret	cher		hea	ader		stret	che	r
haf header he	ader	stret	cher		stret	cher			stret	cher		hea	ader	hea	ader
header	header		stretche	er		stret	cher			stret	cher		head	der	half header
cut stret	cher he	eader	st	retche	Г		stret	cher			stret	cher		hea	ader
haif header	stretche	er	heade	er	stre	tche	r		stre	tcher			stret	che	r
header	stre	tcher	he	eader		stret	cher			stret	cher		head	der	haif header
cut stret	cher he	eader	st	retche	r	he	ader		stre	tcher			stret	che	r
header	stre	tcher	he	eader		stret	cher		hea	der		stret	cher		haif header
haif header he	ader	stret	cher	hea	ader		stret	cher	•	hea	ader	he	ader	hea	ader
stret	cher	head	ler	stret	cher		hea	der		stret	cher	/	head	der	haif header
						(α)									
haff header he	ader	stret	cher	hea	ader		stret	cher		hea	ader		stret	cher	
header	header	head	der he	eader		stret	cher		hea	der		stret	cher		half header
haf	stretche	r	str	etcher		hea	ader		stret	cher		hea	ader	hea	ader
header	stre	cher		stret	cher		head	der		streto	cher		head	der	half header
cut stret	cher	stret	cher		stret	cher		hea	ader		stret	cher		hea	ader
stret	cher		streiche	er		stret	cher		hea	der		stret	cher		haif header
cut header	stretche	er	st	retcher	r		stret	cher		hea	ader		stret	cher	
haf header he	ader	stret	cher		stre	cher			stret	cher		hea	ader	hea	ader
header	header		stretche	er		stret	cher			streto	cher		head	der	half header
cut stret	cher he	eader	st	retche	r		stre	cher			stret	cher		hea	ader
half header	stretche	er	heade	er	stre	tche	r		stre	tcher			stret	cher	
header	stre	tcher	he	eader		stret	cher			stre	her		head	ter	half header
cut stret	cher he	eader	st	retche	r	he	ader		stre	tcher			stret	cher	
header	stre	tcher	he	eader		stret	cher		hea	der		stret	cher		half header
haff header he	ader	stret	cher	hea	ader		stret	cher		hea	ader	hea	ader	hea	ader
stret	cher	head	ler	stret	cher		head	der		streto	cher		head	der	half header

(β)

Εικόνα 67 Διάταξη τοποθέτησης των οπτοπλίνθων για την κατασκευή των δοκιμίων τοιχοποιίας: α) Διάταξη με αρηγμάτωτες οπτοπλίνθους β) Διάταξη με ρηγματωμένες οπτοπλίνθους

3.3.1.2 Διάτρητες οπτόπλινθοι με κατακόρυφες οπές

Η οπτόπλινθος που χρησιμοποιήθηκε φέρει την πιστοποίηση CE και σύμφωνα με τον [EN 772-1:2000] και παράγεται από την πιστοποιημένη εταιρεία Χαλκίς σύμφωνα με την πιστοποίηση [ISO 9001:2008] και [ISO 14001:2004] με έδρα την Χαλκίδα. Είναι από την σειρά **clima**block και πρόκειται για οπτοπλίνθους κατακόρυφης διάτρησης μεγάλου πάχους και μεγάλης μάζας η δε μορφοποίηση τους διασφαλίζει την αλληλεμπλοκή μεταξύ τους. Αυτό το είδος των οπτοπλίνθων στην Ευρώπη χρησιμοποιείται ήδη από τη δεκαετία του '70. Η παραγωγή τους ξεκίνησε στην Αυστρία και στη Γερμανία λόγω της θερμοχωρητικότητας τους και στη συνέχεια επεκτάθηκε και σε άλλες χώρες.

Το νέο σύστημα οικοδόμησης καλύπτει όλες τις απαιτήσεις του νέου Κανονισμού 305/2011 (CE) για τα νέα κτίρια και βρίσκεται σε πλήρη εναρμόνιση με τον Κ.ΕΝ.Α.Κ.. Ικανοποιεί την ελάχιστη απαίτηση αντοχής και πλαστιμότητας της κατασκευής κατά την διάρκεια των σεισμών που έχει καθοριστεί κατά τον EC 8-Part 1 [5] σχετικά με το πάχος των τοίχων από φέρουσα τοιχοποιία η οποία καταπονείται σε εκτός επιπέδου σεισμικά φορτία (240mm, 9.5, πίνακας 9.2) (εταιρία Χαλκίς).

Ο σημαντικός παράγων για την επιλογή τους είναι τα πάχη των τοιχωμάτων της μεμονωμένης οπτοπλίνθου. Δηλαδή το πάχος του εξωτερικού κελύφους (tsh), το πάχος του πρώτου τοιχώματος παράλληλο προς το κέλυφος (tw) και η απόσταση μεταξύ του κελύφους και του τοιχώματος (L). Αυτές οι διαστάσεις είναι καθοριστικές για τη συμπεριφορά του αγκυρίου καθώς επηρεάζουν το μήκος έμπηξης του αγκυρίου και συνεπώς τη συμπεριφορά της οπτοπλίνθου στη περιοχή γύρω από το αγκύριο.

Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	tsh (mm)	tw (mm)	L (mm)	Μέση κατακόρυφη θλιπτική αντοχή (MPa)	Εικόνα
250	250	240	10,90	6,1	15	8,4	Climablock 25

Πίνακας 7 Τυπικά χαρακτηριστικά οπτοπλίνθου climablock 25

3.3.2 Κονιάματα

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας λήφθηκαν υπόψη δύο διαφορετικές κατηγορίες συνδετικού κονιάματος, ένα ασθενές (W) και ένα ισχυρό (S). Οι δύο κατηγορίες κονιαμάτων είναι: το M5 που αντιστοιχεί στο ασθενές κονίαμα και είναι η ελάχιστη θλιπτική αντοχή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φέρουσα τοιχοποιία σύμφωνα με τον Eurocode 8-1 [EN 1998-1:2004](CEN, 2004), και το πρότυπο [EN 998-2:2010] και το M20 που αντιστοιχεί στο ισχυρό κονίαμα σύμφωνα με το πρότυπο [EN 998-2:2016] (CEN, 2016).

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι τελικές αναλογίες των μιγμάτων για τα δύο κονιάματα, διεξήχθηκε προκαταρκτική διερεύνηση έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη της θλιπτικής αντοχής ανά κατηγορία κονιάματος. Οι αναλογίες των μιγμάτων περιλαμβάνονται στον Πίνακα 9. Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης τριών σημείων και θλίψης, τα αποτελέσματα των οποίων συγκρίθηκαν με τις ονομαστικές τιμές αντοχής που δίνονται στο πρότυπο [ΕΝ 998-2: 2016] (CEN, 2016) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Τυπική αναλογία μίγματος για συνδετικό κονίαμα κατηγορίας M5 και M20 (Τριανταφύλλου, 2007)

Τύπος κοινάματος	Τσιμέντο CEM II	Άσβεστος Ca(OH)₂	Άμμος 0-4mm				
κονιαματος	(ανά όγκο)						
M5	1	2	6				
M20	1	-	3				

Παράχθηκαν εννέα διαφορετικές συνθέσεις (Ι έως ΙΧ – Πίνακας 9) με διαφορετικές αναλογίες τόσο στη στερεή όσο και στην υγρή φάση των κονιαμάτων έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη της θλιπτικής αντοχής (5 και 20MPa).

Πίνακας 9 Ποσότητες ανά είδος μίγματος κονιάματος

Μίγμα	Τσιμέντο CEM II	Άσβεστος Ca(OH)₂	Άμμος 0-4mm	Νερό/Τσιμέντο
κονιαματος		(ανά όγκο)		(ανά βάρος)
I	1	4.77	7.35	0.29
II	1	5	7.47	0.50
III	1	-	3.80	0.48
IV	1	2	6	0.41
V	1	-	3	0.60
VI	1	2	6	0.46
VII	1	-	3	0.55
VIII	1	0.5	3	0.50
IX	1	0.5	3	0.55

Για την εύρεση της σύνθεσης του κονιάματος που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις της θλιπτικής αντοχής που έχουν τεθεί για (5 και 20MPa), λήφθηκαν τα δοκίμια των κονιαμάτων κατά την παραγωγή τους στο εργαστήριο κατά την διάρκεια της κατασκευής των δοκιμίων τοιχοποιίας. Συντηρήθηκαν σε μήτρες 40x40x160mm³ όπως καθορίζει το πρότυπο [EN 1015-11:1999]. Εννιά πρίσματα (3 πρίσματα για κάθε ηλικία δοκιμής στις 7, 14 και 28 ημέρες) κάθε σύνθεσης κονιάματος. Συντηρήθηκαν σε θερμοκρασία 20±5°C και σχετική υγρασία 100%, η οποία επιτεύχθηκε με την κάλυψη των δοκιμίων με υγρές λινάτσες.





Εικόνα 68 Τοποθέτηση δειγμάτων κονιάματος στις μήτρες

Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, το πρισματικό δοκίμιο (διαστάσεων 40x40x160mm³) τοποθετήθηκε στην συσκευή δοκιμής με τέτοιο τρόπο ώστε η όψη του να είναι η επιμήκης του πλευρά και ο επιμήκης άξονας του δοκιμίου να είναι κάθετος προς τα στηρίγματα. Επιλέχθηκε η πλευρά του δοκιμίου που επρόκειτο να τοποθετηθεί στα κυλινδρικά στηρίγματα της πειραματικής διάταξης, να είναι η πιο επίπεδη από τις υπόλοιπες πλευρές, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να επηρεαστούν όσο γίνεται λιγότερο από παράγοντες μη επιπεδότητας, τραχύτητας κ.α. του δοκιμίου. Τα πρισματικά δοκίμια φορτίστηκαν με συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσον του ανοίγματος που δημιουργούν οι δύο κυλινδρικές στηρίξεις με άνοιγμα 100mm. Το φορτίο αυτό χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εφελκυστικής/καμπτικής αντοχής. Η αντοχή σε κάμψη (f_c) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{M}{W} (MPa)$$

Όπου:

 f_c : Η αντοχή σε κάμψη (MPa)

M :Η μέγιστη ροπή στο μέσον
$$M = \frac{P*L}{4}$$
 (Nmm)

L : Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων (mm)

W : Η ροπή αντίστασης, η οποία ισούται με W =
$$\frac{1}{h/2}$$
 = b * $\frac{h^2}{6}$ (mm³)

- I : Η ροπή αδράνειας του πρίσματος, όπου I = $\frac{b*h^3}{12}$ (mm⁴)
- b : Το πλάτος του πρίσματος (mm)
- h : Το ύψος του πρίσματος (mm)
- P : Το φορτίο που ασκείται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση (N)



Εικόνα 69 Η διάταξη που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10 Αποτελέσματα διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων σε κάμψη

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (μέρες)	Βάρος (gr)	<mark>Μήκος</mark> (mm)	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Πλευρικές αποστάσεις (mm)	Μήκος ανοίγματος (mm)	Μήκος ανοίγματος (m)	Φορτίο Ρ (kN)	Ροπή Μ (kN*m)	Ροπή αντίστασης W (m3)	Αντοχή σε κάμψη fc (Mpa)
1.1, 2.3.2018	7	514.31	160.00	41.30	40.18	30	100.00	0.1000	0.4634	0.0116	1.1E-05	1.01
1.2, 2.3.2018	7	511.04	160.00	41.40	40.02	30	100.00	0.1000	0.4742	0.0119	1.1E-05	1.04
II.1, 2.3.2018	7	492.10	160.00	41.09	40.09	30	100.00	0.1000	0.3329	0.0083	1.1E-05	0.74
11.2, 2.3.2018	7	483.76	160.00	40.89	40.06	30	100.00	0.1000	0.3196	0.0080	1.1E-05	0.72
III.1, 2.3.2018	7	587.85	160.00	42.66	40.24	30	100.00	0.1000	2.4973	0.0624	1.2E-05	5.12
III.2, 2.3.2018	7	582.77	160.00	41.31	40.78	30	100.00	0.1000	2.5533	0.0638	1.2E-05	5.50
IV.1, 2.3.218	7	540.32	160.00	40.81	40.01	30	100.00	0.1000	1.0279	0.0257	1.1E-05	2.31
IV.2, 2.3.2018	7	541.04	160.00	41.04	40.68	30	100.00	0.1000	0.9815	0.0245	1.1E-05	2.15
V.1, 2.3.2018	7	538.16	160.00	40.62	40.17	30	100.00	0.1000	1.7466	0.0437	1.1E-05	3.95
V.2, 2.3.2018	7	529.73	160.00	40.87	40.84	30	100.00	0.1000	1.6218	0.0405	1.1E-05	3.57
VI.1, 7.3.2018	7	531.42	160.00	40.00	40.00	30	100.00	0.1000	1.0879	0.0272	1.1E-05	2.55
VI.2, 7.3.2018	7	545.32	160.00	39.00	38.00	30	100.00	0.1000	1.1464	0.0287	9.6E-06	2.98
VII.1, 7.3.2018	7	547.87	160.00	39.00	38.00	30	100.00	0.1000	1.9864	0.0497	9.6E-06	5.16
VII.2, 7.3.2018	7	547.49	160.00	39.00	38.00	30	100.00	0.1000	2.0695	0.0517	9.6E-06	5.37
VIII.1, 20.3.2017	7	540.43	160.00	40.14	39.85	30	100.00	0.1000	1.6131	0.0403	1.1E-05	3.77
VIII.2, 20.3.2017	7	541.41	160.00	40.34	39.88	30	100.00	0.1000	1.4217	0.0355	1.1E-05	3.29
IX.1, 20.3.2017	7	543.34	160.00	40.73	39.93	30	100.00	0.1000	1.3912	0.0348	1.1E-05	3.15
IX.2, 20.3.2017	7	541.75	160.00	40.36	39.80	30	100.00	0.1000	1.5001	0.0375	1.1E-05	3.47
1.1, 2.3.2018	14	502.66	160.00	41.01	40.60	30	100.00	0.1000	0.6	0.0150	1.1E-05	1.32
1.2, 2.3.2018	14	483.37	160.00	40.00	40.00	30	100.00	0.1000	0.5736	0.0143	1.1E-05	1.34
11.1, 2.3.2018	14	485.43	160.00	41.11	40.19	30	100.00	0.1000	0.4674	0.0117	1.1E-05	1.03
11.2, 2.3.2018	14	483.07	160.00	41.32	40.62	30	100.00	0.1000	0.551	0.0138	1.2E-05	1.19
III.1, 2.3.2018	14	583.46	160.00	41.86	40.45	30	100.00	0.1000	2.9005	0.0725	1.2E-05	6.14
IV.1, 2.3.218	14	540.96	160.00	41.08	40.00	30	100.00	0.1000	1.4413	0.0360	1.1E-05	3.20
IV.2, 2.3.2018	14	541.88	160.00	41.32	40.10	30	100.00	0.1000	1.2538	0.0313	1.1E-05	2.75
V.1, 2.3.2018	14	538.42	160.00	40.10	40.05	30	100.00	0.1000	1.6269	0.0407	1.1E-05	3.79
V.2, 2.3.2018	14	525.41	160.00	40.02	39.95	30	100.00	0.1000	1.6049	0.0401	1.1E-05	3.76
VI.1, 7.3.2018	14	536.22	160.00	40.24	40.11	30	100.00	0.1000	1.2458	0.0311	1.1E-05	2.88
VI.2, 7.3.2018	14	533.56	160.00	40.22	40.00	30	100.00	0.1000	1.2717	0.0318	1.1E-05	2.95
VII.1, 7.3.2018	14	551.63	160.00	40.80	40.66	30	100.00	0.1000	2.2171	0.0554	1.1E-05	4.91
VII.2, 7.3.2018	14	552.15	160.00	40.29	40.21	20	100.00	0.1000	2.2441	0.0561	1.1E-05	5.16
1.1, 2.3.2018	28	519.72	160.00	40.05	40.01	30	100.00	0.1000	0.8067	0.0202	1.1E-05	1.89
1.2, 2.3.2018	28	517.70	160.00	41.65	40.31	30	100.00	0.1000	0.8374	0.0209	1.2E-05	1.80
11.1, 2.3.2018	28	495.52	160.00	40.76	40.01	30	100.00	0.1000	0.6986	0.0175	1.1E-05	1.58
11.2, 2.3.2018	28	497.41	160.00	40.81	40.08	30	100.00	0.1000	0.72	0.0180	1.1E-05	1.62
III.1, 2.3.2018	28	586.42	160.00	41.49	40.70	30	100.00	0.1000	2.81	0.0703	1.2E-05	6.02
III.2, 2.3.2018	28	574.61	160.00	40.80	40.39	30	100.00	0.1000	2.6561	0.0664	1.1E-05	5.93
IV.1, 2.3.218	28	544.40	160.00	41.39	40.16	30	100.00	0.1000	1.647	0.0412	1.1E-05	3.59
IV.2, 2.3.2018	28	550.96	160.00	41.11	40.11	30	100.00	0.1000	1.8237	0.0456	1.1E-05	4.04
V.1, 2.3.2018	28	547.88	160.00	40.18	39.91	30	100.00	0.1000	2.644	0.0661	1.1E-05	6.16
V.2, 2.3.2018	28	547.93	160.00	40.19	39.85	30	100.00	0.1000	2.2665	0.0567	1.1E-05	5.28
V.3, 2.3.2018	28	553.7	160	40.16	40.09	30	100.00	0.1000	1.9467	0.0487	1.1E-05	4.52

VI.1, 7.3.2018	28	548.59	160.00	40.91	39.9	30	100.00	0.1000	0.155	1.5476	0.0387	1.11E-05	3.48
VI.2, 7.3.2018	28	550.74	160.00	41.43	40.14	30	100.00	0.1000	0.173	1.7316	0.0433	1.15E-05	3.77
VII.1, 7.3.2018	28	564.75	160.00	40.64	40.03	30	100.00	0.1000	0.220	2.1986	0.0550	1.1E-05	4.99
VII.2, 7.3.2018	28	562.77	160.00	40.97	40.15	30	100.00	0.1000	0.251	2.5131	0.0628	1.12E-05	5.59
VIII.1, 20.3.2017	28	529.88	160.00	40.50	40	30	100.00	0.1000	0.3614	3.614	0.0904	1.09E-05	8.26
VIII.2, 20.3.2017	28	528.5	160.00	40.50	40	30	100.00	0.1000	0.36047	3.6047	0.0901	1.09E-05	8.24
IX.1, 20.3.2017	28	520.64	160.00	40.00	40	30	100.00	0.1000	0.33727	3.3727	0.0843	1.07E-05	7.90
IX.2, 20.3.2017	28	518.56	160.00	40.00	40	30	100.00	0.1000	0.32539	3.2539	0.0813	1.07E-05	7.63

Όπου:

To (I.1, 2.3.2018) είναι η ονοματολογία των πρισμάτων των κονιαμάτων. Η αρίθμηση από Ι και VIII συμβολίζει τη σύνθεση του κονιάματος

Οι συνθέσεις Ι, ΙΙ, ΙV και VI αντιστοιχούν στο κονίαμα M5 Οι συνθέσεις ΙΙΙ, V, και VII αντιστοιχούν στο κονίαμα M20 Η αρίθμηση 1,2,3 συμβολίζει τον αριθμό θήκης της μήτρας Το 2.3.2018 συμβολίζει την ημερομηνία κατασκευής

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη, χρησιμοποιήθηκαν τα δύο κομμάτια του δοκιμίου που προέκυψαν από την κάμψη τριών σημείων. Η τοποθέτησή τους έγινε στο κέντρο των πλακών της συσκευής θλίψης, ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες διαστάσεων 40x40mm². Η συσκευή θραύσης που χρησιμοποιείται είναι η TONIPACT 3000.



Εικόνα 70 Δοκιμή θλίψης σε δοκίμια κονιαμάτων

Η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται θεωρητικά από την σχέση: $f_{mc} = \frac{P}{A}$ (MPa)

όπου:

- ${
 m f}_{mc}$: Η αντοχή σε θλίψη (MPa)
- P : Το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης (N)
- Α : Η επιφάνεια στην οποία ασκείται το φορτίο (mm^2)

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (ημέρες)	Μήκος 1 (m)	Μήκος 2 (m)	Επιφάνεια φόρτισης (m ²)	Φορτίο Ρ (kN)	Θλιπτική αντοχή f _{Mc} (MPa)	Μέση θλιπτική αντοχή f _{M,mc} (MPa)
I.1,A 2.3.2018	7	0.04	0.04018	0.00161	6.20	3.86	
I.1,B 2.3.2018	7	0.04	0.04018	0.00161	6.56	4.08	3.97
I.2,A 2.3.2018	7	0.04	0.04002	0.00160	6.44	4.02	
I.2,B 2.3.2018	7	0.04	0.04002	0.00160	6.42	4.01	4.02
II.1,A 2.3.2018	7	0.04	0.04009	0.00160	4.06	2.53	
II.1,B 2.3.2018	7	0.04	0.04009	0.00160	4.27	2.66	2.60
II.2,A 2.3.2018	7	0.04	0.04006	0.00160	4.28	2.67	
II.2,B 2.3.2018	7	0.04	0.04006	0.00160	4.47	2.79	2.73
III.1,A 2.3.2018	7	0.04	0.04024	0.00161	42.00	26.09	
III.1,B 2.3.2018	7	0.04	0.04024	0.00161	44.50	27.65	26.87
III.2,A 2.3.2018	7	0.04	0.04078	0.00163	48.64	29.82	
III.2,B 2.3.2018	7	0.04	0.04078	0.00163	46.73	28.65	29.23
IV.1,A 2.3.2018	7	0.04	0.04001	0.00160	14.20	8.87	
IV.1,B 2.3.2018	7	0.04	0.04001	0.00160	16.70	10.43	9.65
IV.2,A 2.3.2018	7	0.04	0.04068	0.00163	15.53	9.54	
IV.2,B 2.3.2018	7	0.04	0.04068	0.00163	17.21	10.58	10.06
V.1,A 2.3.2018	7	0.04	0.04017	0.00161	28.43	17.69	
V.1,B 2.3.2018	7	0.04	0.04017	0.00161	31.93	19.87	18.78
V.2,A 2.3.2018	7	0.04	0.04084	0.00163	25.73	15.75	
V.2,B 2.3.2018	7	0.04	0.04084	0.00163	28.23	17.28	16.52
VI.1,A 7.3.2018	7	0.04	0.04000	0.00160	15.26	9.54	
VI.1,B 7.3.2018	7	0.04	0.04000	0.00160	16.52	10.33	9.93
VI.2,A 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	18.89	12.43	
VI.2,B 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	17.78	11.70	12.06
VII.1,A 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	39.99	26.31	
VII.1,B 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	37.42	24.62	25.46
VII.2,A 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	38.83	25.55	
VII.2,B 7.3.2018	7	0.04	0.03800	0.00152	31.64	20.82	23.18
VIII.1, A, 20.3.2018	7	0.04	0.03985	0.00159	23.33	14.64	
VIII.1, B, 20.3.2018	7	0.04	0.03985	0.00159	26.56	16.66	15.65
VIII.2, A, 20.3.2018	7	0.04	0.03988	0.00160	30.32	19.01	
VIII.2, B, 20.3.2018	7	0.04	0.03988	0.00160	28.78	18.04	18.52
IX.1, A, 20.3.2018	7	0.04	0.03993	0.00160	29.48	18.46	
IX.1, B, 20.3.2018	7	0.04	0.03993	0.00160	29.54	18.49	18.48
IX.2, A, 20.3.2018	7	0.04	0.03980	0.00159	28.50	17.90	
IX.2, B, 20.3.2018	7	0.04	0.03980	0.00159	29.43	18.49	18.19
I.1,A 2.3.2018	14	0.04	0.04060	0.00162	9.41	5.79	
I.1,B 2.3.2018	14	0.04	0.04060	0.00162	8.94	5.50	5.65
I.2,A 2.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	7.17	4.48	
I.2,B 2.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	8.04	5.03	4.75
II.1,A 2.3.2018	14	0.04	0.04019	0.00161	5.42	3.37	
II.1,B 2.3.2018	14	0.04	0.04019	0.00161	6.01	3.74 3.55	

Πίνακας 11 Αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης των πρισμάτων των κονιαμάτων

II.2,A 2.3.2018	14	0.04	0.04062	0.00162	5.71	3.51	2 50
II.2,B 2.3.2018	14	0.04	0.04062	0.00162	5.67	3.49	3.50
III.1,A 2.3.2018	14	0.04	0.04045	0.00162	50.84	31.42	24.00
III.1,B 2.3.2018	14	0.04	0.04045	0.00162	49.48	30.58	31.00
IV.1,A 2.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	22.52	14.08	12.00
IV.1,B 2.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	22.20	13.88	13.98
IV.2,A 2.3.2018	14	0.04	0.04010	0.00160	22.34	13.93	11.02
IV.2,B 2.3.2018	14	0.04	0.04010	0.00160	22.65	14.12	14.02
V.1,A 2.3.2018	14	0.04	0.04005	0.00160	32.66	20.39	22.40
V.1,B 2.3.2018	14	0.04	0.04005	0.00160	39.31	24.54	22.46
V.2,A 2.3.2018	14	0.04	0.03995	0.00160	33.80	21.15	22.04
V.2,B 2.3.2018	14	0.04	0.03995	0.00160	39.84	24.93	23.04
VI.1,A 7.3.2018	14	0.04	0.04011	0.00160	19.80	12.34	11.02
VI.1,B 7.3.2018	14	0.04	0.04011	0.00160	18.48	11.52	11.93
VI.2,A 7.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	16.65	10.41	11 47
VI.2,B 7.3.2018	14	0.04	0.04000	0.00160	20.05	12.53	11.47
VII.1,A 7.3.2018	14	0.04	0.04066	0.00163	41.17	25.31	25.52
VII.1,B 7.3.2018	14	0.04	0.04066	0.00163	41.87	25.74	25.53
VII.2,A 7.3.2018	14	0.04	0.04021	0.00161	44.90	27.92	27.45
VII.2,B 7.3.2018	14	0.04	0.04021	0.00161	42.45	26.39	27.15
VIII.1, A, 20.3.2018	14	0.04	0.03988	0.00160	41.30	25.89	26.02
VIII.1, B, 20.3.2018	14	0.04	0.03988	0.00160	44.60	27.96	26.92
VIII.2, A, 20.3.2018	14	0.04	0.03998	0.00160	44.30	27.70	20.40
VIII.2, B, 20.3.2018	14	0.04	0.03998	0.00160	46.82	29.28	28.49
IX.1, A, 20.3.2018	14	0.04	0.04007	0.00160	41.28	25.75	27.04
IX.1, B, 20.3.2018	14	0.04	0.04007	0.00160	45.30	28.26	27.01
IX.2, A, 20.3.2018	14	0.04	0.03989	0.00160	45.44	28.48	29.56
IX.2, B, 20.3.2018	14	0.04	0.03989	0.00160	45.71	28.65	20.50
I.1,A 2.3.2018	28	0.04	0.04001	0.00160	9.60	6.00	E Q/
I.1,B 2.3.2018	28	0.04	0.04001	0.00160	9.09	5.68	5.64
I.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.04031	0.00161	9.60	5.95	F 71
I.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.04031	0.00161	8.81	5.46	5.71
II.1,A 2.3.2018	28	0.04	0.04001	0.00160	6.37	3.98	4.1.1
II.1,B 2.3.2018	28	0.04	0.04001	0.00160	6.77	4.23	4.11
II.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.04008	0.00160	6.04	3.77	2.00
II.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.04008	0.00160	6.40	3.99	3.88
III.1,A 2.3.2018	28	0.04	0.04070	0.00163	53.52	32.87	22.21
III.1,B 2.3.2018	28	0.04	0.04070	0.00163	51.34	31.54	32.21
III.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.04039	0.00162	53.49	33.11	21.09
III.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.04039	0.00162	49.84	30.85	31.98
IV.1,A 2.3.2018	28	0.04	0.04016	0.00161	16.20	10.08	12 79
IV.1,B 2.3.2018	28	0.04	0.04016	0.00161	24.85	15.47	12.78
IV.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.04011	0.00160	22.70	14.15	14.00
IV.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.04011	0.00160	24.85	15.49	14.82
V.1,A 2.3.2018	28	0.04	0.03991	0.00160	43.91	27.51	20.10
V.1,B 2.3.2018	28	0.04	0.03991	0.00160	46.00	28.81	28.16

V.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.03985	0.00159	47.60	29.86	20.46
V.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.03985	0.00159	46.33	29.07	29.40
V.2,A 2.3.2018	28	0.04	0.04009	0.00160	37.34	23.29	24.74
V.2,B 2.3.2018	28	0.04	0.04009	0.00160	42.00	26.19	24.74
VI.1,A 7.3.2018	28	0.04	0.03990	0.00160	27.90	17.48	15.00
VI.1,B 7.3.2018	28	0.04	0.03990	0.00160	20.25	12.69	15.08
VI.2,A 7.3.2018	28	0.04	0.04014	0.00161	20.77	12.94	12.00
VI.2,B 7.3.2018	28	0.04	0.04014	0.00161	21.23	13.22	13.08
VII.1,A 7.3.2018	28	0.04	0.04003	0.00160	46.13	28.81	20.77
VII.1,B 7.3.2018	28	0.04	0.04003	0.00160	52.41	32.73	30.77
VII.2,A 7.3.2018	28	0.04	0.04015	0.00161	45.00	28.02	20.20
VII.2,B 7.3.2018	28	0.04	0.04015	0.00161	52.30	32.57	30.29
VIII.1, A, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	56.70	35.44	25.50
VIII.1, B, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	57.10	35.69	35.50
VIII.2, A, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	61.50	38.44	26.52
VIII.2, B, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	55.40	34.63	30.33
IX.1, A, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	52.60	32.88	22.25
IX.1, B, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	53.80	33.63	33.25
IX.2, A, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	50.10	31.31	21 72
IX.2, B, 20.3.2018	28	0.04	0.04000	0.00160	51.41	32.13	31.72

Όπου:

Η αρίθμηση από Ι και VIII συμβολίζει τη σύνθεση του κονιάματος σύμφωνα με τον Πίνακα 9.

Η αρίθμηση 1,2,3 συμβολίζει τον αριθμό πρίσματος του κονιάματος

Η αρίθμηση Α, Β συμβολίζει το κομμάτι του δοκιμίου που προέκυψε μετά την δοκιμή της κάμψεως τριών σημείων

Το 2.3.2018 συμβολίζει την ημερομηνία παρασκευής του κονιάματος

Οι συνθέσεις Ι, ΙΙ αντιστοιχούν στο κονίαμα Μ5

Οι συνθέσεις ΙΙΙ, V, IV, VII, VI αντιστοιχούν στο κονίαμα Μ20

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 11. οι καμπύλες θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων παρουσιάζονται ανά ημέρα δοκιμής στο διάγραμμα της Εικόνας 71.



Εικόνα 71 Διάγραμμα καμπύλης θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων ανά ημέρα δοκιμής

Οι τελικές συνθέσεις των κονιαμάτων σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 11 εμφανίζονται στον Πίνακα 12 με τις ποσότητες τσιμέντου, ασβέστου και άμμου κατ'όγκο και με τον λόγο νερού προς τσιμέντο κατά βάρος. Συγκεκριμένα είναι πιο κοντά στις συνθέσεις IV και VIII του Πίνακα 10.

Μίγμα κονιάματος	Τσιμέντο CEM II	Τσιμέντο Άσβεστος Άμι CEM II Ca(OH)₂ 0-4		Water/cement (N/T)
		(κατά όγκο)		(κατά βάρος)
Ασθενές Μ5	1	2	6	0.5
Ισχυρό Μ20	1	0.5	3	0.5

Πίνακας 12 Τελικές συνθέσεις κονιάματος

3.3.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά οπτοπλίνθων και κονιαμάτων

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των οπτοπλίνθων τόσο στην δοκιμή σε κάμψη όσο και στην δοκιμή σε θλίψη πραγματοποιήθηκαν βάσει του προτύπου [EN 1015-11:1999]. Ο έλεγχος είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της συνολικής αντοχής της τοιχοποιίας και εν τέλει στην εκτίμηση της αντοχής των οπτοπλίνθων στην περίπτωση εφελκυσμού και διατμητικής φόρτισης των αγκυρίων.

1. Έλεγχος της καμπτικής αντοχής των συμπαγών οπτοπλίνθων:

Πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων μέσω της δοκιμής κάμψεως τριών σημείων. Κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας, 8 πρισματικά δοκίμια διαστάσεων (50x210x100mm³) τοποθετήθηκαν στην συσκευή δοκιμής με τέτοιο τρόπο ώστε η όψη του κάθε δοκιμίου να είναι η επιμήκης του πλευρά και ο επιμήκης άξονας του να είναι κάθετος προς τα στηρίγματα. Τα πρισματικά δοκίμια φορτίστηκαν με συγκεντρωμένο φορτίο, στο μέσον του ανοίγματος που δημιουργούν οι δύο κυλινδρικές στηρίξεις με άνοιγμα 160mm. Το φορτίο αυτό χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της εφελκυστικής/καμπτικής αντοχής.

Η αντοχή σε κάμψη υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{\text{flex,b}} = \frac{M}{W} (MPa)$$

Όπου:

 $f_{flex,b}$: Η αντοχή σε κάμψη (MPa).

M : Η μέγιστη ροπή στο μέσον M $= \frac{P*L}{4}$ (N*mm)

- L : Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων (mm)
- W : Η ροπή αντίστασης, η οποία ισούται με W = $\frac{I}{h/2} = b * \frac{h^2}{6}$ (mm³)
- I : Η ροπή αδράνειας του πρίσματος, όπου I = $\frac{b*h^3}{12}$ (mm⁴)
- b : Το πλάτος του πρίσματος (mm)
- h : Το ύψος του πρίσματος (mm)
- P : Το φορτίο που ασκείται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση (N)



Εικόνα 72 Έλεγχος οπτοπλίνθων σε κάμψη τριών σημείων

Αριθμός δοκιμίων	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Βάρος (gr)	Άνοιγμα μεταξύ δύο στηρίξεων (mm)	Απόσταση από τις άκρες (mm)	Φορτίο (kN)	Ροπή αντίστασης (m ³)	Ροπή (kNm)	Καμπτική αντοχή f _{flex} (Mpa)
1	205.0	103.50	51.50	1925.5	160	22.50	13.5	0.000046	0.54	11.80
2	208.0	102.50	52.00	1953.8	160	24.00	16.75	0.000046	0.67	14.50
3	208.0	102.00	51.50	1940.1	160	24.00	17.7	0.000045	0.71	15.70
4	206.0	103.00	53.00	1932.6	160	23.00	19.37	0.000048	0.77	16.07
5	207.0	101.00	52.00	1928.1	160	23.50	16.48	0.000046	0.66	14.48
6	209.0	102.00	52.00	1949.5	160	24.50	13.47	0.000046	0.54	11.72
7	206.0	103.00	52.00	1938.1	160	23.00	15.54	0.000046	0.62	13.39
8	206.0	103.00	52.00	1935.10	160	23.00	15.65	0.000046	0.63	13.49
Μέσος όρος	206.88	102.50	52.00	1937.85	160.00	23.44	16.06	0.000046	0.64	13.89

Πίνακας 13 Αποτελέσματα καμπτικής αντοχής συμπαγών οπτοπλίνθων

Η μέση τιμή της καμπτικής αντοχής τους, $f_{b,flex}$, υπολογίστηκε ίση με 13,89 MPa.

2. Έλεγχος της θλιπτικής αντοχής των συμπαγών οπτοπλίνθων:

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη, δοκιμάστηκαν 46 κυβικά δείγματα των συμπαγών οπτοπλίθων υπό μονοαξονική θλίψη που προέκυψαν από την κάμψη τριών σημείων και μετά κόπηκαν στις διαστάσεις 50x50x50mm³. Η τοποθέτησή τους έγινε κατά το μήκος τους, στο κέντρο των πλακών της συσκευής θλίψης, ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες διαστάσεων 40x40mm². Η συσκευή θραύσης που χρησιμοποιείται είναι η TONIPACT 3000. Η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται θεωρητικά από την σχέση:

$$f_{bc} = \frac{P}{A}(MPa)$$

όπου:

f _{bc}	: Η αντοχή σε θλίψη της οπτοπλίνθου (MPa)
-----------------	---

- P : Το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης (N)
- A : Η επιφάνεια στην οποία ασκείται το φορτίο (mm^2)



Εικόνα 73 Έλεγχος οπτοπλίνθου σε θλίψη

Τα αποτελέσματα της δοκιμής παρουσιάζονται στον Πίνακα 14.

Αριθμός δοκιμίου	Μήκος 1 (mm)	Πλάτος 1 (mm)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Εμβαδό (mm²)	Φόρτίο (kN)	Ολιπτική αντοχή οπτοπλίνθου f _{bc} (MPa)
1	50.37	49.43	50.46	49.43	2492.01	68	27.29
2	50.88	50.27	51.07	50.36	2564.81	73.4	28.62
3	50.73	46.32	50.28	46.38	2340.90	105.1	44.90
4	50.46	50.3	50.85	50.44	2551.51	105.2	41.23
5	50.54	48.97	50.6	49.31	2485.01	62.5	25.15
6	50.53	48.56	50.3	48.21	2439.35	85.7	35.13
7	50.39	47.3	52.33	47.23	2427.50	81	33.37
8	50.21	46.66	50.97	46.65	2360.27	105.1	44.53
9	49.62	49.02	49.71	49.6	2448.99	70.8	28.91
10	51.58	48.43	51.66	48.39	2498.92	134	53.62
11	50.42	49.2	50.36	48.98	2473.65	121.9	49.28
12	49.97	49.13	49.91	48.16	2429.35	89	36.64
13	50.29	49.03	48.81	49.5	2440.91	112.4	46.05
14	49.71	49.83	49.76	49.89	2479.79	71.6	28.87
15	50.94	47.2	50.6	47.2	2396.34	86.8	36.22
16	50.45	49.44	50.57	49.57	2500.50	99.3	39.71

Πίνακας 14 Αποτελέσματα	ελέγχου της	ς θλιπτικής αν	νοχής των	συμπαγών	οπτοπλίνθων
····		,	A-13		•••••••••

17	49.54	47.97	49.95	47.85	2383.27	87.7	36.80
18	49.93	49.21	50.27	49.17	2464.42	55.9	22.68
19	51.55	48.5	51.36	48.4	2493.00	65	26.07
20	50.33	49.57	51.36	49.96	2530.40	99.2	39.20
21	50.29	48.71	50.4	48.63	2450.29	83.8	34.20
22	50.31	47.07	50.55	47.25	2378.29	91.3	38.39
23	51.29	48.51	51.78	48.43	2497.89	100.6	40.27
24	50.29	47.56	50.29	48.06	2404.36	73	30.36
25	50.28	51.09	51.09	50.29	2569.06	117.5	45.74
26	49.52	49.11	50.35	49.06	2451.05	135.5	55.28
27	49.93	48.22	49.57	48.57	2407.62	95.9	39.83
28	51.33	50.33	50.38	51.48	2588.50	123.3	47.63
29	50.5	48.96	50.8	48.27	2462.30	86.9	35.29
30	49.17	49.38	49.32	49.68	2439.12	88.1	36.12
31	49.51	50.48	50.6	50.37	2523.99	63	24.96
32	50.91	50.99	51.03	50.29	2581.10	98.4	38.12
33	51.02	50.46	51.16	50.31	2574.16	68.1	26.46
34	47.72	50.21	50.48	46.97	2383.53	101.5	42.58
35	49.84	50.42	49.73	50.62	2515.13	117.1	46.56
36	49.99	50.52	50.32	50	2520.75	87.5	34.71
37	49.92	49.94	49.98	50.36	2505.00	62.8	25.07
38	48.97	50.52	50.41	49.34	2480.60	88.3	35.60
39	47.91	49.38	47.78	49.92	2375.49	75.8	31.91
40	50.4	49.79	49.82	50.46	2511.67	138.6	55.18
41	47.76	50.48	47.78	50.45	2410.71	80.2	33.27
42	50.78	49.95	50.77	50	2537.48	73.2	28.85
43	50.29	48.89	49.73	50.52	2485.52	70.4	28.32
44	50.32	49.93	50.38	50.34	2524.30	123.1	48.77
45	50.38	46.94	46.43	50.24	2348.74	103.4	44.02
46	49.01	50.32	50.31	48.66	2457.13	61.7	25.11
Μέσος όρος	50.13	49.18	50.27	49.20	2469.23	91.06	36.89

Η μέση τιμή της θλιπτικής αντοχής της οπτοπλίνθου, f_{bc}, υπολογίστηκε ίση με 36,89 MPa. 3. Υπολογισμός της πυκνότητας των συμπαγών οπτοπλίνθων:

Χρησιμοποιήθηκαν τα οκτώ δείγματα που δοκιμάστηκαν σε κάμψη τριών σημείων για τον προσδιορισμό της πυκνότητας των συμπαγών οπτοπλίνθων. Η μέση τιμή της πυκνότητας γ_b, υπολογίστηκε ίση με 17,58 kN/m³.

Το ίδιο βάρος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$γ_{\rm b} = \frac{{\rm Bάρος}}{'0γκος} ({\rm kN}/{\rm m}^3)$$

Αριθμός δοκιμίου	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Όγκος (mm3)	Βάρος (gr)	Ίδιο βάρος (κN/m³)
1	205.0	103.50	51.50	1092701.25	1925.5	17.62
2	208.0	102.50	52.00	1108640.00	1953.8	17.62
3	208.0	102.00	51.50	1092624.00	1940.1	17.76
4	206.0	103.00	53.00	1124554.00	1932.6	17.19
5	207.0	101.00	52.00	1087164.00	1928.1	17.74
6	209.0	102.00	52.00	1108536.00	1949.5	17.59
7	206.0	103.00	52.00	1103336.00	1938.1	17.57
8	206.0	103.00	52.00	1103336.00	1935.10	17.54
Μέσος όρος	206.88	102.50	52.00	1102611.41	1937.85	17.58

Πίνακας 15 Προσδιορισμός της πυκνότητας των συμπαγών οπτοπλίνθων

4. Έλεγχος της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων:

Πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων μέσω της δοκιμής κάμψεως τριών σημείων. Πίνακας 16.

Η αντοχή σε κάμψη ($f_{flex,M}$) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{flex,M} = \frac{M}{W}$$
 (MPa)

Όπου:

 $f_{flex,M}$: Η αντοχή σε κάμψη (MPa).

M : Η μέγιστη ροπή στο μέσον (N*mm) $M = \frac{P*L}{4}$

L : Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων (mm)

W : Η ροπή αντίστασης, η οποία ισούται με
$$W = \frac{I}{h/2} = b * \frac{h^2}{6} (mm^3)$$

I : Η ροπή αδράνειας του πρίσματος, όπου I =
$$\frac{b*h^3}{12}$$
 (mm⁴)

b : Το πλάτος του πρίσματος (mm)

h : Το ύψος του πρίσματος (mm)

P : Το φορτίο που ασκείται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση (N)

Πίνακας 16 Αποτελέσματα δοκιμών για τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής των κονιαμάτων κατηγορίας. Μ5 και Μ20 που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή των
τοιχίσκων

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (ημέρες)	Βάρος (gr)	Μήκος (mm)	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Πλευρικές αποστάσεις (mm)	Μήκος ανοίγματος στηρίξεων (mm)	Μήκος ανοίγματος στηρίξεων (m)	Φορτίο Ρ (tons)	Φορτίο Ρ (κΝ)	Ροπή Μ (κN*m)	Ροπή αντίστασης W (m3)	Καμπτική αντοχή f _{flex,m} (MPa)
13.4.2018-I	28	515.77	160.00	41.46	40.15	30	100.00	0.1000	0.229	2.286	0.0572	1.15E-05	4.97
13.4.2018-II	28	508.09	160.00	40.24	40.05	30	100.00	0.1000	0.233	2.3311	0.0583	1.08E-05	5.39
13.4.2018-III	28	513.03	160.00	40.39	40.10	30	100.00	0.1000	0.212	2.1191	0.0530	1.09E-05	4.86
12.4.2018-I	28	515.60	160.00	41.57	39.88	30	100.00	0.1000	0.189	1.892	0.0473	1.15E-05	4.12
12.4.2018-II	28	510.12	160.00	41.79	40.04	30	100.00	0.1000	0.186	1.8609	0.0465	1.17E-05	3.99
12.4.2018-III	28	496.05	160.00	40.10	39.95	30	100.00	0.1000	0.182	1.8152	0.0454	1.07E-05	4.24
12.4.2018-IV	28	491.80	160.00	40.08	39.79	30	100.00	0.1000	0.154	1.5351	0.0384	1.07E-05	3.60
12.4.2018-V	28	498.63	160.00	40.08	39.98	30	100.00	0.1000	0.169	1.686	0.0422	1.07E-05	3.94
12.4.2018-VI	28	523.88	160.00	42.34	40.11	30	100.00	0.1000	0.169	1.693	0.0423	1.2E-05	3.53
14.4.2018-I	28	496.97	160.00	40.72	40.47	30	100.00	0.1000	0.148	1.4833	0.0371	1.12E-05	3.32
14.4.2018-II	28	497.00	160.00	40.38	40.12	30	100.00	0.1000	0.166	1.6573	0.0414	1.09E-05	3.80
14.4.2018-III	28	495.01	160.00	40.55	40.07	30	100.00	0.1000	0.157	1.5742	0.0394	1.1E-05	3.58
14.4.2018-IV	28	528.68	160.00	41.08	40.00	30	100.00	0.1000	0.236	2.3639	0.0591	1.13E-05	5.25
14.4.2018-V	28	516.03	160.00	40.55	39.96	30	100.00	0.1000	0.251	2.5148	0.0629	1.1E-05	5.74
14.4.2018-VI	28	511.31	160.00	40.13	39.93	30	100.00	0.1000	0.231	2.3114	0.0578	1.07E-05	5.39
A1.I	28	448.64	160.00	40.10	39.83	30	100.00	0.1000	0.034	0.3367	0.0084	1.07E-05	0.79
A1. II	28	441.19	160.00	39.89	39.16	30	100.00	0.1000	0.039	0.3947	0.0099	1.04E-05	0.95
A1. III	28	441.94	160.00	39.66	39.48	30	100.00	0.1000	0.040	0.4036	0.0101	1.03E-05	0.97
A2. IV	28	461.61	160.00	40.70	39.74	30	100.00	0.1000	0.051	0.5097	0.0127	1.1E-05	1.16
A2. V	28	464.82	160.00	40.81	39.86	30	100.00	0.1000	0.054	0.537	0.0134	1.11E-05	1.21
A2. VI	28	458.49	160.00	39.86	39.63	30	100.00	0.1000	0.051	0.5138	0.0128	1.05E-05	1.22

Όπου:

Η αρίθμηση από Ι και VIII συμβολίζει τον αριθμό θήκης του πρίσματος Η αρίθμηση Α, Β συμβολίζει το κομμάτι του δοκιμίου μετά την δοκιμή κάμψης τριών σημείων Το 12.4.2018 συμβολίζει την ημερομηνία παρασκευής του κονιάματος

Πίνακας 17 Αποτελέσματα που αφορούν την καμπτική αντοχή των ισχυρών κονιαμάτων κατηγορίας Μ20

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (ημέρες)	Βάρος (gr)	Μήκος (mm)	Ύψος (mm)	Πλάτος (mm)	Πλευρικές αποστάσεις (mm)	Μήκος ανοίγματος στηρίξεων (mm)	Μήκος ανοίγματος στηρίξεων (m)	Φορτίο P (tons)	Φορτίο Ρ (κΝ)	Ροπή Μ (κN*m)	Ροπή αντίστασης W (m³)	Αντοχή f _{flex,m} (MPa)
29.6.2018-S1	28	486.93	160.00	41.39	40.45	30	100.00	0.1000	0.166	1.662	0.0416	1.15E-05	3.60
29.6.2018-S2	28	488.63	160.00	41.24	41.13	30	100.00	0.1000	0.169	1.6857	0.0421	1.17E-05	3.61
29.6.2018-S3	28	495.16	160.00	42.90	40.78	30	100.00	0.1000	0.214	2.1378	0.0534	1.25E-05	4.27
29.6.2018-S4	28	503.42	160.00	39.49	39.84	30	100.00	0.1000	0.220	2.1998	0.0550	1.04E-05	5.31
29.6.2018-S5	28	508.35	160.00	39.94	39.80	30	100.00	0.1000	0.259	2.5914	0.0648	1.06E-05	6.12
29.6.2018-S6	28	520.75	160.00	40.62	39.89	30	100.00	0.1000	0.260	2.6015	0.0650	1.1E-05	5.93
29.6.2018-S7	28	497.53	160.00	39.97	39.92	30	100.00	0.1000	0.253	2.5267	0.0632	1.06E-05	5.94
29.6.2018-58	28	500.51	160.00	40.41	39.76	30	100.00	0.1000	0.232	2.3198	0.0580	1.08E-05	5.36
29.6.2018-S9	28	505.54	160.00	40.96	39.86	30	100.00	0.1000	0.217	2.1673	0.0542	1.11E-05	4.86

Όπου:

Το γράμμα S συμβολίζει το ισχυρό κονίαμα (strong)- Το 29.6.2018 συμβολίζει την ημερομηνία παρασκευής του κονιάματος

Η αρίθμηση Α, Β συμβολίζει το κομμάτι του δοκιμίου που προέκυψε μετά την δοκιμή της κάμψης τριών σημείων

Σύνθεση ΙΧ 1:0,5:3, N/T = 0,5 που αφορά κατηγορία κονιάματος M20

5. Έλεγχος της θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων:

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη, χρησιμοποιήθηκαν τα δύο κομμάτια του δοκιμίου που προέκυψαν από την κάμψη τριών σημείων.

Η τοποθέτησή τους έγινε στο κέντρο των πλακών της συσκευής θλίψης, ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες διαστάσεων 40x40mm². Η συσκευή θραύσης που χρησιμοποιείται είναι η TONIPACT 3000. (ρυθμός φόρτισης για το ασθενές 0.2KN/sec και για το ισχυρό κονίαμα 0,4 KN/sec).



Εικόνα 74 Δοκιμή θλίψης σε δοκίμια κονιαμάτων

Η αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται θεωρητικά από την σχέση: $f_{mc} = \frac{P}{A}$ (MPa)

όπου:

f _{mc}	: Η αντοχή σε θλίψη (MPa)
Р	: Το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης (Ν)
А	: Η επιφάνεια στην οποία ασκείται το φορτίο (mm²)

Στην Εικόνα 77. Εμφανίζονται τα κονιάματα μετά την δοκιμή της κάμψης:





(α)



Εικόνα 75 Φωτογραφίες κονιαμάτων (α) μετά την δοκιμή της κάμψης και (β) μετά την δοκιμή της θλίψης

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της δοκιμής μονοαξονικής θλίψης που πραγματοποιήθηκαν στα πρίσματα των κονιαμάτων μετά την διενέργεια της δοκιμής της κάμψεως τριών σημείων.

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (ημέρες)	Μήκος 1 (m)	Μήκος 2 (m)	Επιφάνεια φόρτισης (m²)	Φορτίο Ρ (kN)	Θλιπτική αντοχή f _{cm} (MPa)	Μέση θλιπτική αντοχή f _{c,m} (MPa)
13.4.2018-I, A	28	0.04	0.04015	0.00161	31.60	19.68	
13.4.2018-I, B	28	0.04	0.04015	0.00161	33.21	20.68	
13.4.2018-II, A	28	0.04	0.04005	0.00160	29.10	18.16	10.24
13.4.2018-II, B	28	0.04	0.04005	0.00160	27.30	17.04	19.34
13.4.2018-III, A	28	0.04	0.04010	0.00160	33.44	20.85	
13.4.2018-III, B	28	0.04	0.04010	0.00160	31.52	19.65	
12.4.2018-I, A	28	0.04	0.03988	0.00160	23.05	14.45	15.29
12.4.2018-I, B	28	0.04	0.03988	0.00160	20.29	12.72	15.28

Πίνακας 18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής των κονιαμάτων κατηγορίας Μ5 και Μ20

10 1 0010 11 1	20		0.04004	0.004.00	20 54	47.00	
12.4.2018-II, A	28	0.04	0.04004	0.00160	28.51	17.80	
12.4.2018-II, B	28	0.04	0.04004	0.00160	25.85	16.14	
12.4.2018-III, A	28	0.04	0.03995	0.00160	28.30	17.71	
12.4.2018-III, B	28	0.04	0.03995	0.00160	27.24	17.05	
12.4.2018-IV, A	28	0.04	0.03979	0.00159	23.42	14.71	
12.4.2018-IV, B	28	0.04	0.03979	0.00159	22.40	14.07	
12.4.2018-V, A	28	0.04	0.03998	0.00160	23.12	14.46	
12.4.2018-V, B	28	0.04	0.03998	0.00160	25.45	15.91	
12.4.2018-VI, A	28	0.04	0.04011	0.00160	23.49	14.64	
12.4.2018-VI, B	28	0.04	0.04011	0.00160	21.89	13.64	
14.4.2018-I, A	28	0.04	0.04047	0.00162	16.78	10.37	
14.4.2018-I, B	28	0.04	0.04047	0.00162	19.35	11.95	
14.4.2018-II, A	28	0.04	0.04012	0.00160	20.95	13.05	
14.4.2018-II, B	28	0.04	0.04012	0.00160	22.20	13.83	
14.4.2018-III, A	28	0.04	0.04007	0.00160	22.05	13.76	
14.4.2018-III, B	28	0.04	0.04007	0.00160	22.12	13.80	
14.4.2018-IV, A	28	0.04	0.04000	0.00160	40.32	25.20	18.72
14.4.2018-IV, B	28	0.04	0.04000	0.00160	39.56	24.73	
14.4.2018-V, A	28	0.04	0.03996	0.00160	39.63	24.79	
14.4.2018-V, B	28	0.04	0.03996	0.00160	37.84	23.67	
14.4.2018-VI, A	28	0.04	0.03993	0.00160	39.36	24.64	
14.4.2018-VI, B	28	0.04	0.03993	0.00160	39.60	24.79	
13.4.2018-IV, A	28	0.04	0.04016	0.00161	13.03	8.11	
13.4.2018-IV, B	28	0.04	0.04016	0.00161	11.54	7.18	
13.4.2018-V, A	28	0.04	0.03993	0.00160	12.09	7.57	
13.4.2018-V, B	28	0.04	0.03993	0.00160	13.24	8.29	8.21
13.4.2018-VI, A	28	0.04	0.04013	0.00161	14.09	8.78	
13.4.2018-VI, B	28	0.04	0.04013	0.00161	15.00	9.34	
A1.I	7	0.04	0.03983	0.00159	4.34	2.72	
A1.I	7	0.04	0.03983	0.00159	4.14	2.60	
A1. II	7	0.04	0.03916	0.00157	4.60	2.94	
A1. II	7	0.04	0.03916	0.00157	4.10	2.62	
A1. III	7	0.04	0.03948	0.00158	6.10	3.86	
A1. III	7	0.04	0.03948	0.00158	6.25	3.96	
A2. IV	7	0.04	0.03974	0.00159	5.89	3.71	3.42
A2. IV	7	0.04	0.03974	0.00159	6.30	3.96	
A2. V	7	0.04	0.03986	0.00159	5.57	3.49	
A2. V	7	0.04	0.03986	0.00159	6.36	3.99	
A2. VI	7	0.04	0.03963	0.00159	4.96	3.13	
A2. VI	7	0.04	0.03963	0.00159	6.37	4.02	

Ο μέσος όρος της θλιπτική αντοχής των κονιαμάτων για M5 $f_{mc,M5}$ = 3,42 MPa και για το M20 $f_{mc,M20}$ = 17,78 MPa.

Όπου:

Η αρίθμηση από Ι και VIII συμβολίζει τον αριθμό του πρίσματος του κονιάματος.

Η αρίθμηση Α, Β συμβολίζει το κομμάτι του δοκιμίου μετά την δοκιμή κάμψεως τριών σημείων.

Το 12.4.2018 συμβολίζει την ημερομηνία παρασκευής του κονιάματος

Τα Α1 και Α2 αντιστοιχούν στο κονίαμα Μ5.

Δοκίμιο κονιάματος	Χρόνος σκλήρυνσης (μέρες)	Πλάτος 1 (m)	Πλάτος 2 (m)	Επιφάνεια φόρτισης (m²)	Φορτίο Ρ (kN)	Ολιπτική αντοχή f _{c,m} (MPa)	Μέση Θλιπτική αντοχή f _{c/m} (MPa)	Ο λόγος καμπτικής προς θλιπτικής αντοχής f _{g,t} /f _{g,c}
S1, A	28	0.04	0.04045	0.00162	30.30	18.73		0.1921
S1, B	28	0.04	0.04045	0.00162	32.00	19.78		0.1819
S2, A	28	0.04	0.04113	0.00165	32.82	19.95	20.24	0.1812
S2, B	28	0.04	0.04113	0.00165	33.86	20.58	20.24	0.1756
S3, A	28	0.04	0.04078	0.00163	35.02	21.47		0.1990
S3, B	28	0.04	0.04078	0.00163	34.12	20.92		0.2043
S4, A	28	0.04	0.03984	0.00159	38.08	23.90		0.2223
S4, B	28	0.04	0.03984	0.00159	40.11	25.17		0.2110
S5, A	28	0.04	0.03980	0.00159	38.83	24.39	25.40	0.2510
S5, B	28	0.04	0.03980	0.00159	41.10	25.82	25.48	0.2372
S6, A	28	0.04	0.03989	0.00160	44.17	27.68		0.2142
S6, B	28	0.04	0.03989	0.00160	41.40	25.95		0.2285
S7, A	28	0.04	0.03992	0.00160	47.57	29.79		0.1995
S7, B	28	0.04	0.03992	0.00160	44.80	28.06		0.2118
S8, A	28	0.04	0.03976	0.00159	41.30	25.97		0.2064
S8, B	28	0.04	0.03976	0.00159	44.00	27.67	27.22	0.1937
S9, A	28	0.04	0.03986	0.00159	42.44	26.62	1	0.1826
S9, B	28	0.04	0.03986	0.00159	40.20	25.21	1	0.1928
Μέσος όρος							24.31	

Πίνακας 19 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής των ισχυρών κονιαμάτων κατηγορίας Μ20

Ο μέσος όρος των τιμών της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος M20 $f_{mc,M20}$ =24,31MPa.

Όπου:

Το γράμμα S συμβολίζει το ισχυρό κονίαμα(strong).

Η αρίθμηση Α, Β συμβολίζει το κομμάτι του δοκιμίου μετά την δοκιμή κάμψεως τριών σημείων.

Σύνθεση ΙΧ 1:0,5:3, Ν/Τ = 0,5 που αφορά κατηγορία κονιάματος Μ20.
3.3.4 Αγκύρια

Σύνθεση υλικού: επιψευδαργυρωμένος χάλυβας, κοχλίας μήκους 220 mm και διαμέτρου M12 (12mm), ποιότητας 8.8 (fuk=800 MPa, fyk=640 MPa), ειδικά κατασκευασμένο αγκύριο για χρήση με ρητίνη.

Για την αποφυγή αστοχίας του αγκυρίου και για να μην επηρεαστούν οι μορφές αστοχίας της τοιχοποιίας επιλέχθηκε ποιότητα 8.8 ώστε η αντοχή του να είναι μεγαλύτερη από την αντοχή του οπτοπλίνθου και του κονιάματος.



Εικόνα 76 Αγκύριο

3.3.5 Έγχυτο κονίαμα (χημικό αγκύριο)

Η σύνθεση του υλικού (που επονομάζεται εποξική ρητίνη) είναι υβριδική συγκολλητική ουσία μεθακρυλικής ουρεθάνης η οποία πωλείται σε συσκευασία δύο σωλήνων. Η συσκευασία τοποθετείται στο πιστόλι εφαρμογής (χειροκίνητο εργαλείο έγχυσης). Πιέζοντας τη σκανδάλη ωθούνται τα δύο υλικά μαζί σε ένα μακρύ πλαστικό αναμικτήρα.

3.3.6 Χιτώνιο με συνθετικό πλέγμα

Δικτυωτό πλαστικό χιτώνιο. Χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση αγκυρίων σε τοιχοποιία από διάτρητες οπτοπλίνθους για την αποφυγή απώλειας έγχυτου κονιάματος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο χιτώνια ίδιου ή διαφορετικού μήκους ώστε να φτάσουν στο επιθυμητό βάθος έμπηξης. Το χιτώνιο πωλείται σε μήκος 50 και 85 mm και η διάμετρος του κυμαίνεται από 12mm μέχρι 22mm.

3.3.7 Εξαρτήματα καθαρισμού

Βούρτσα καθαρισμού των οπών μετά την διάτρηση με τρυπάνι. Χρησιμοποιείται για την εκτράχυνση της οπής. Η διάμετρος της βούρτσας κυμαίνεται από Φ14 μέχρι Φ30.

Το πιστόλι με πεπιεσμένο αέρα χρησιμοποιείται για την αποτελεσματική απομάκρυνση θραυσμάτων και υπολείμματα σκόνης.



Εικόνα 77 Εξαρτήματα καθαρισμού α) Βούρτσα β) Πιστόλι πεπιεσμένου αέρα

3.4 Σχεδιασμός δοκιμίων

Η δόμηση των τοίχων σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να προσεγγίσει τις πραγματικές συνθήκες κατασκευής.

Για την κατασκευή των δοκιμίων τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκαν τα δύο είδη οπτοπλίνθων (συμπαγείς και διάτρητες με κατακόρυφες οπές). Στην περίπτωση των δοκιμίων με συμπαγείς οπτοπλίνθους χρησιμοποιήθηκαν και οι δύο κατηγορίες κονιαμάτων (M5 και M20) ενώ στην περίπτωση των δοκιμίων με διάτρητες οπτοπλίνθους με κατακόρυφες οπές χρησιμοποιήθηκε μόνο το ισχυρό κονίαμα κατηγορίας M20. Το πάχος του συνδετικού κονιάματος είναι μικρότερο από 15mm σύμφωνα με τις διατάξεις του EC6 και του EC8 για άοπλη τοιχοποιία.

Η κατασκευή των τοίχων από συμπαγείς οπτοπλίνθους έγινε σύμφωνα με την διάταξη που φαίνεται στην Εικόνα 78.Οι τοίχοι είχαν διαστάσεις (Y1xM1xΠ 0.21 m³).



Εικόνα 78 Κατασκευή δοκιμίου από συμπαγείς οπτοπλίνθους

Κατασκευή των τοίχων από διάτρητες οπτοπλίνθους με κατακόρυφες οπές και με διαστάσεις (Y1xM1xΠ0,25 m³) σύμφωνα με την Εικόνα 79.



Εικόνα 79 Κατασκευή δοκιμίου τοιχοποιίας από διάτρητες οπτοπλίνθους με κατακόρυφες οπές

3.4.1 Τρόπος εγκατάστασης των αγκυρίων σε τοιχοποιία

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα των προαναφερθέντων ερευνών (Dizhur et al. 2013 και άλλη), έχει ιδιαίτερη σημασία ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η τοποθέτηση των αγκυρίων στην επίτευξη της απαιτούμενης αντοχής τους.

Η διαδικασία που ακολουθεί τα πρότυπα και τις τεχνικές προδιαγραφές είναι η εξής:

 Διανοίγεται με τρυπάνι η οπή εντός της οποίας θα τοποθετηθεί το αγκύριο σε βάθος 100mm. Η διάμετρος της οπής πρέπει να είναι 2mm μεγαλύτερη από την διάμετρο του αγκυρίου για να υπάρξει ο απαραίτητος χώρος για το έγχυτο κονίαμα ώστε να επιτευχθεί η απαραίτητη συνάφεια μεταξύ του αγκυρίου και του οπτοπλίνθου.

Στην περίπτωση των διάτρητων οπτοπλίνθων, όπου είναι επιβεβλημένη η χρήση χιτωνίου, ώστε να αποφεύγεται η απώλεια κονιάματος, η οπή διανοίγεται με βάθος 135mm και διάμετρο 6mm μεγαλύτερη από την διάμετρο του αγκυρίου. Γι' αυτό τον λόγο το πλάτος των δοκιμίων τοιχοποιίας είναι μεγαλύτερο από 1.5*h_{eff} (όπου το h_{eff} είναι το βάθος έμπηξης) σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15] όπου τα δοκίμια με συμπαγείς οπτοπλίνθους έχουν πλάτος 210mm>1.5*100=150mm και τα δοκίμια με διάτρητες οπτοπλίνθους έχουν πλάτος 250mm>1.5*135=202,5mm.

 Καθαρισμός του εσωτερικού της οπής με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα ώστε να απομακρύνονται υπολείμματα σκόνης και θραύσματα κονιάματος και οπτοπλίνθου από το εσωτερικό της. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η παραπάνω διαπίστωση έχει διερευνηθεί και επιβεβαιωθεί σύμφωνα με το πρότυπο [ASTM E488/E488M-15]. Η συνάφεια ανάμεσα στο κονίαμα και το υπόβαθρο βελτιστοποιείται όταν γίνεται περαιτέρω εκτράχυνση των τοιχωμάτων της οπής με λεπτή συρματόβουρτσα για επαύξηση της πρόσφυσης του αγκυρίου με την οπτόπλινθο.

 Απαραίτητη είναι η τοποθέτηση επαρκούς ποσότητας έγχυτου κονιάματος στην οπή πριν την είσοδο του αγκυρίου, ώστε σε τελική φάση το κονίαμα να καλύπτει πλήρως το κενό μεταξύ του αγκυρίου και των τοιχωμάτων της οπής.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται διάτρητη οπτόπλινθος, χρειάζεται πρώτα να εγκατασταθεί το ειδικό χιτώνιο και μετά να γίνει η τοποθέτηση του κονιάματος έγχυσης.

4. Τοποθέτηση του αγκυρίου ως το επιθυμητό βάθος έμπηξης.



Εικόνα 80 Πρότυπη διαδικασία εγκατάστασης αγκυρίου σε συμπαγή οπτόπλινθο



Εικόνα 81 Πρότυπη διαδικασία εγκατάστασης αγκυρίου σε διάτρητη οπτόπλινθο

3.5 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Στάδια διαδικασίας εφαρμογής των πειραμάτων σε δοκίμια τοιχοποιίας για τον υπολογισμό του φορτίου αναφοράς:

- 1) Τοποθέτηση του τοίχου.
- Τοποθέτηση δύο βελόμετρων των οποίων ο άξονας είναι κάθετος ως προς την θεωρητική γραμμή στην οποία θα περάσει η ρωγμή.



Εικόνα 82 Μέτρηση μεγέθους ανοίγματος ρωγμών μέσω βελομέτρων κατά την εφαρμογή διαγώνιας θλίψης

- 3) Εφαρμογή ορθής θλιπτικής τάσης 0,2 MPa.
- Εφαρμογή διαγώνιας θλίψης μέχρι να ανοίξει η τριχοειδής ρωγμή κατά μήκος της διαγωνίου του δοκιμίου τοιχοποιίας.
- 5) Μέτρηση μεγέθους ανοίγματος ρωγμών.
- 6) Αφαίρεση της διαγώνιας θλίψης.
- 7) Εγκατάσταση αγκυρίων στις θέσεις:
 - i. Δύο αγκύρια σε αρηγμάτωτη οπτόπλινθο (L1)
 - ii. Ένα αγκύριο σε ρηγματωμένη οπτόπλινθο (L2)
- iii. Δύο αγκύρια σε ρηγματωμένο αρμό (L4)
- iv. Άνοιγμα οπών στην περίπτωση δοκιμής σε συμπαγείς οπτοπλίνθους χρησιμοποιείται τρυπάνι 14 mm ενώ στην περίπτωση δοκιμής σε διάτρητες οπτοπλίνθους χρησιμοποιείται τρυπάνι 18 mm.
- 8) Εφαρμογή διαγώνιας θλίψης μέχρι να ανοίξει η τριχοειδής ρωγμή στα επιθυμητά πρόσθετα ανοίγματα ρωγμών (0.3mm και 0.5mm) της διαγωνίου του δοκιμίου τοιχοποιίας μέσω της καταγραφής τους από βελόμετρα τοποθετημένα κάθετα στην θεωρητική θέση της ρωγμής Εικόνα 83.



Εικόνα 83 Θέση βελόμετρων κοντά στα αγκύρια κάθετα στο άνοιγμα της ρωγμής

- Εφαρμογή της διαδικασίας του συγκεκριμένου πρωτόκολλου που αναφέρεται στην υποενότητα 3.5.1.
- 10) Αποφόρτιση του τοίχου.
- 11) Καταγραφή των στοιχείων και των αποτελεσμάτων του πειράματος.

3.5.1 Πρωτόκολλα φόρτισης

Τα πρωτόκολλα φόρτισης χωρίστηκαν σε τρία και για κάθε πρωτόκολλο ακολουθείται μία συγκεκριμένη διαδικασία η οποία περιλαμβάνει τα εξής:

- Πρωτόκολλο 1: εφαρμογή μονοτονικής εφελκυστικής ή διατμητικής φόρτισης σε κάθε αγκύριο μέχρι να φτάσει στην αστοχία.
 Υπολογίζεται το φορτίο αναφοράς (Reference load) το οποίο είναι το μέγιστο φορτίο αντοχής του αγκυρίου σε μονοτονική αξονική φόρτιση. Αυτό το φορτίο διαφοροποιείται ανά περίπτωση από τους εξής παράγοντες: α) Τον τύπο των οπτοπλίνθων (συμπαγείς ή διάτρητες με κατακόρυφες οπές). β) Τη θέση του αγκυρίου σε: i) Ρηγματωμένο αρμό. ii) Ρηγματωμένη ή αρηγμάτωτη οπτόπλινθο. γ) Στο συνδετικό κονίαμα (ασθενές ή ισχυρό).
- Πρωτόκολλο 2: εφαρμογή επαναλαμβανόμενης φόρτισης στα αγκύρια που υπόκεινται σε εφελκυσμό και ανακυκλιζόμενης φόρτισης στα αγκύρια που υπόκεινται σε διάτμηση σύμφωνα με τις κατηγορίες δοκιμών C1.1 και C1.2 αντίστοιχα του προτύπου [ETAG 049:2016-08].

Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της κάθε κατηγορίας ξεχωριστά:

Οι δοκιμές των αγκυρίων σε επαναλαμβανόμενα εφελκυστικά φορτία που υπόκεινται στην κατηγορία των δοκιμών C1.1. Η απαιτούμενη τριχοειδής

ρωγμή για την εφαρμογή των πειραμάτων αυτής της κατηγορίας είναι Δw= 0.50mm και ο ρυθμός συχνότητας των επαναλήψεων είναι 0,2 Hz. Ακολουθεί η εφαρμογή του εφελκυστικού φορτίου σε τρεις σειρές δοκιμών επαναλαμβανόμενης φόρτισης με τρία φορτία τα οποία είναι τα εξής:

$$N_{eq} = 0.5 N_{u,m} \left(\frac{f_{c,C1.1}}{f_{c,3}} \right)^n \qquad [N]$$
(3,1)

$$N_i = 0.75 N_{eq}$$
 [N] (3,2)

$$N_{\rm m} = 0.50 \ N_{\rm eq}$$
 [N] (3,3)

Όπου:

: Ισοδύναμο φορτίο (N)
: Ο μέσος όρος της εφελκυστικής αντοχής των αγκυρίων από ένα σύνολο φορτίων αναφοράς των πειραμάτων για το συγκεκριμένο είδος τοίχου και για την συγκεκριμένη κατηγορία κονιάματος που χρησιμοποιήθηκε (N)
: Δεύτερο φορτίο επανάληψης (Ν)
: Τρίτο φορτίο επανάληψης (N)
: Η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος για το πρωτόκολλο C1.1 και για τις δοκιμές εφελκυστικού φορτίου αναφοράς σύμφωνα με το [EAD330232] σε (MPa)

Πίνακας 20 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.1

Επίπεδο φόρτισης	N _{eq}	Ni	N _m
Αριθμός κύκλων (n _{cyc})	10	30	100



Εικόνα 84 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.1

Στην συνέχεια γίνεται η εφαρμογή εφελκυστικής μονοτονικής φόρτισης Πρωτόκολλο (1) στο αγκύριο μέχρι να φτάσει στην αστοχία. Για την επιτυχή ολοκλήρωση των δοκιμών ανακυκλιζόμενης φόρτισης και την εκπλήρωση του παραμένοντος εφελκυστικού φορτίου θα πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής σεισμικής μείωσης για εφελκυστικά φορτία σύμφωνα με την σχέση:

$$\alpha_{N,C1} = \frac{N_{eq,red}}{N_{eq}}$$

Το οποίο θα πρέπει να ισούται με
 $\alpha_{\textit{N,C1}}=1$ Όπου:

 N_{eq,red}
 : Μειωμένο κυκλικό φορτίο (N)

 N_{eq}
 : Ισοδύναμο φορτίο (N)

 Οι δοκιμές των αγκυρίων σε ανακυκλιζόμενα διατμητικά φορτία που υπόκεινται στην κατηγορία των δοκιμών C1.2:

Σε αυτές τις δοκιμές γίνεται προσπάθεια να προσομοιωθεί η σεισμική δράση σε διατμητικό φορτίο. Η απαιτούμενη τριχοειδής ρωγμή για την εφαρμογή των πειραμάτων αυτής της κατηγορίας είναι Δw= 0.50mm και η συχνότητα των ανακυκλήσεων είναι μεταξύ 0,1 και 2 Hz.

Τα τρία φορτία που θα χρησιμοποιηθούν για τις ανακυκλιζόμενες φορτίσεις είναι τα εξής:

$V_{eq} = 0.35 * A_s * f_{uk}$	[N]	(3,4)
$V_{i} = 0,75 * V_{eq}$	[N]	(3,5)
$V_{\rm m} = 0.50 * V_{\rm eq}$	[N]	(3,6)

Όπου :

A _s	: Το εμβαδό του αγκυρίου (mm²)
f_{uk}	: Η χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή στο όριο αστοχίας του χάλυβα σε (N/mm²)
V _{eq}	: : Ισοδύναμο διατμητικό φορτίο (N)
Vi	: Δεύτερο διατμητικό φορτίο επανάληψης (Ν)
V _m	: Τρίτο διατμητικό φορτίο επανάληψης (Ν)

Πίνακας 21 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.2

Επίπεδο φόρτισης	$\pm V_{eq}$	$\pm V_i$	$\pm V_m$
Αριθμός κύκλων (n _{cyc})	10	30	100



Εικόνα 85 Απαιτούμενη ιστορία φόρτισης για τις σειρές δοκιμών C1.2

Στην συνέχεια γίνεται η εφαρμογή διατμητικής μονοτονικής φόρτισης Πρωτόκολλο (1) στο αγκύριο μέχρι να φτάσει στην αστοχία.

3. Πρωτόκολλο 3: ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση είτε σε εφελκυσμό είτε σε διάτμηση. Ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση του αγκυρίου γίνεται κατά την διάρκεια των δοκιμών εξόλκευσης και διάτμησης αντίστοιχα. Οι τιμές της μετατόπισης είναι διαφορετικές ανάλογα με την δοκιμή. Συγκεκριμένα οι μετατοπίσεις μεταξύ 0,1mm έως 15mm βαίνουν αυξανόμενες κατά το διπλάσιο της τιμής της μετατόπισης ανά κύκλο μέχρι του τέλους της δοκιμής. Εφαρμόζονται τρεις κύκλοι για κάθε μετατόπιση ώστε να μην επηρεάζεται η δυσκαμψία του αγκυρίου από αυτούς καθ' αυτούς τους κύκλους κατά την διάρκεια των δοκιμών.

3.6 Εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς των αγκυρίων

Η μηχανική συμπεριφορά του αγκυρίου εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, κάποιες από αυτές χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του συστήματος τοιχοποιίας – αγκυρίου και είναι οι εξής: α) Η διάμετρος του αγκυρίου και της οπής, η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα.

β) Το βάθος έμπηξης.

γ) Η δομική μονάδα (συμπαγής ή διάτρητη οπτόπλινθος), η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας και του συνδετικού κονιάματος. Τα αγκύρια που καταπονούνται σε αξονική φόρτιση διαφέρουν από τα αγκύρια που είναι υπό διατμητικά φορτία. Επιπλέον ο τύπος αστοχίας και οι σχέσεις της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των φορτίων αστοχίας είναι διαφορετικοί. Γι' αυτό τον λόγο χωρίστηκαν οι υπολογισμοί ανάλογα με την περίπτωση του φορτίου.

3.6.1 Αγκύρια υπό εφελκυστικά φορτία

Για να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των φορτίων αστοχίας των αγκυρίων υπό αξονικά φορτία φτιάχτηκε ο παρακάτω πίνακας με τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν.

	Το όριο διαρροής του χάλυβα	Μέση θλιπτική αντοχή της
	$f_{yk} = 640 \text{ MPa}$	συμπαγούς οπτοπλίνθου
Διάμετρος αγκυρίου d=12mm Διάμετρος οπής d=14mm (συμπαγής) Διάμετρος οπής d=18mm (διάτορτο)	Το όριο αστοχίας του χάλυβα	${ m f}_{ m bc}= { m eta}_{ m b,net}^{0.5}=36.89$ MPa Της διάτρητης οπτοπλίνθου
	$f_{uk} = 800 \text{ MPa}$	$f_{bc}=eta_{b,net}^{0.5}=$ 8,40 MPa
	Η διατμητική συνοχή του	Θεωρητική μέση τιμή της αντοχής
Βάθος έμπηξης για:	συνδετικού κονιάματος από	συνάφειας του έγχυτου
συμπαγή οπτόπλινθο =100mm	τον Πίνακα 2 για	κονιάματος τ $_{{ m Rk},1}= au_{{ m Rk},2}=$
διάτρητη οπτόπλινθο =130mm	M5 το f _{vk0} = 0,20MPa	10MPa
	M20 to f _{vk0} = 0,30MPa	
Αιαστάσεις συμπανούς οπτοπλίνθου		Μέση θλιπτική αντοχή
	Ορθή θλιπτική τάση	συνδετικού κονιάματος
	$\sigma_d = 0,20$ MPa	1. Ασθενές f _{mc} = 17,78 MPa
οπτοπλινθου (Υ250*Μ250*Π300)		2. Ισχυρό f _{mc} = 3,42 MPa

Πίνακας 22 Δεδομένα για τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας

- 1. Η αστοχία του αγκυρίου:
 - i. Η χαρακτηριστική δύναμη του χάλυβα:

$$A_{S} = \frac{\pi * d^{2}}{4} = \frac{\pi * 12^{2}}{4} = 113,10 \text{ mm}^{2}$$
$$N_{RK,S,1} = A_{S} * f_{uk} = 113,10 * 800 * 10^{-3} = 90.84 \text{ kN}$$

ii. Η διαρροή του χάλυβα:

$$N_{RK,S,2} = 0.90*A_s*f_{y,k} = 0.90*113,10*640*10^{-3} = 65,15 \text{ kN}$$

iii. Η αστοχία του χάλυβα:

 $N_{RK,S,3} = 0.75*A_s*f_{u,k} = 0.75*113.10*800*10^{-3} = 67.86 \text{ kN}$

- 2. Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου:
- i. Για συμπαγείς οπτοπλίνθους:

 $N_{RK,2}^{0}=\ \tau_{Rk,1}.\ h_{ef}.\ d\ .\ \pi=10*100*12*\pi*10^{-3}=37,70\ kN$

ii. Για διάτρητες οπτοπλίνθους:

 $N^0_{RK,2} = \tau_{Rk,1}.\,h_{ef}.\,d \ .\,\pi = 10*130*12*\pi*10^{-3} = 49\,kN$

- 3. Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου:
- Για συμπαγείς οπτοπλίνθους:
 - $N^0_{RK,3} = \ \tau_{Rk,2}. \ h'_{ef}. \ d_B \, . \ \pi = 10 * 100 * 14 * \pi * 10^{-3} = 43.98 \ kN$
- ii. Για διάτρητες οπτοπλίνθους:

 $N_{RK,3}^{0} = \tau_{Rk,2} \cdot h'_{ef} \cdot d_{B} \cdot \pi = 10 * (5 * 6.10 + 10.90) * 18 * \pi * 10^{-3} = 23.41 \text{ kN}$

$$\begin{split} N_{RK,3}^{0} = \ \tau_{Rk,M}. \ (h_{ef} - h_{web}). \ d_{B} \, . \, \pi = 10 * \left(130 - (6.1 * 5 + 10.90)\right) * 18 * \pi * 10^{-3} \\ = 50.10 \ kN \end{split}$$

iii. Αγκύριο εγκατεστημένο σε αρμό (ισχυρό κονίαμα):

$$N_{RK,3}^{0} = 22.38 * \sqrt{f_{mc} * h_{ef}} * d^{\frac{3}{2}} = 22,38 * \sqrt{17,78 * 100} * 12^{1,5} * 10^{-3} = 39,23 \text{ kN}$$

iv. Αγκύριο εγκατεστημένο σε αρμό (ασθενές κονίαμα):

$$N_{RK,3}^{0} = 22.38 * \sqrt{f_{mc} * h_{ef}} * d^{\frac{3}{2}} = 22,38 * \sqrt{3,42 * 100} * 12^{1,5} * 10^{-3} = 17,20 \text{ kN}$$

- 4. Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου:
- Για συμπαγείς οπτοπλίνθους:

 $N_{RK,c}^{0} = 11.4 \; \beta_{b,net}^{0.5} \cdot h_{ef}' = 11.4 * 36.89^{0.5} * 100 * 10^{-3} = 6.92 \; kN$

ii. Για διάτρητες οπτοπλίνθους:

 $N_{RK,c}^{0} = 11.4 \ \beta_{h,net}^{0.5}$. $h'_{ef} = 11.4 * 8.4^{0.5} * (6.1 * 5 + 10.9) * 10^{-3} = 1.37 \ kN$

- 5. Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου:
- i. Τοιχοποιία με ισχυρό κονίαμα:

$$\begin{split} N_{RK,pb} &= 2^* l_{brick} * b_{brick} * (0.50^* f_{vko} + 0.40^* \sigma_d) + b_{brick} * h_{brick} * f_{vko} \\ &= \left((2*210*100*(0.5*0.30+0.4*0.20) + 100*50*0.30) \right) * 10^{-3} \\ &= 11.16 \text{ kN} \end{split}$$

ii. Τοιχοποιία με ασθενές κονίαμα:

$$\begin{split} N_{RK,pb} &= 2^* l_{brick} * (0.50^* f_{vko} + 0.40^* \sigma_d) + b_{brick} * h_{brick} * f_{vko} \\ &= \left((2 * 210 * 100 * (0.5 * 0.20 + 0.4 * 0.20) + 100 * 50 * 0.20) \right) * 10^{-3} \\ &= 8,56 \text{ kN} \end{split}$$

6. Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της:

$$N_{RK,sl} = \pi * d * h_{ef} * \min \begin{cases} 0,40 * \sqrt{f_{bc}} + 0,13 * f_{cb} * \left(\frac{b}{d} - 1\right) * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}} \\ 0,94 * \sqrt{f_{bc}} + 0,07 * f_{cb} * \left(\frac{b}{d} - 1\right) * \sqrt{\frac{d}{h_{ef}}} \end{cases}$$

$$N_{\text{RK,sl}} = \pi * 12 * 100 * \min \begin{cases} 0.4 * \sqrt{36.89} + 0.13 * 36.89 * \left(\frac{100}{12} - 1\right) * \sqrt{\frac{12}{100}} \\ 0.94 * \sqrt{36.89} + 0.07 * 36.89 * \left(\frac{100}{12} - 1\right) * \sqrt{\frac{12}{100}} \\ = \pi * 12 * 100 * \min \left\{\frac{14.61}{12.27} = 46.26 \text{ kN} \right\}$$

7. Συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική εξόλκευση της οπτοπλίνθου:

$$N_{RK,comb} = \tau * \pi * d * h_{ef} * \left(\frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0}\right) = 10 * \pi * 12 * 100 * 1 * 10^{-3} = 37,70 \text{ kN}$$

Στον Πίνακα 23 συγκεντρώθηκαν οι τιμές των φορτίων αστοχίας των παραπάνω υπολογισμών για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας του αγκυρίου:

Πίνακας 23 Αποτελέσματα για την εκτίμηση της συμπεριφοράς αγκυρίου σε εφελκυστικά φορτία	Πίνακας 23 Αποτελέσματα για τ	ην εκτίμηση της συμπε	ριφοράς αγκυρίου σε	ε εφελκυστικά φορτία
--	-------------------------------	-----------------------	---------------------	----------------------

Τύπο	ς αστοχίας	Φορτίο
		αστοχίας (kN)
1	Χαρακτηριστική δύναμη του χάλυβα	90,84
1	Διαρροή του χάλυβα	65,15
1	Αστοχία του χάλυβα	67,86
2	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου : για συμπαγείς οπτοπλίνθους	37,70
2	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου: για διάτρητες οπτοπλίνθους	49
3	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου: για συμπαγείς οπτοπλίνθους	43,98
3	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου: για διάτρητες οπτοπλίνθους	23.41
		50.10
3	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου: αγκύριο εγκατεστημένο σε	39,23
	αρμό (ισχυρό κονίαμα):	
3	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου: αγκύριο εγκατεστημένο σε	17,20
	αρμό (ασθενές κονίαμα):	
4	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου: για συμπαγείς οπτοπλίνθους	6,92
4	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου: για διάτρητες οπτοπλίνθους	1.37
5	Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου	11,16
		8,56
6	Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της	46,26
7	Συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου	
	κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική εξόλκευση της οπτοπλίνθου	37,70
	Προβλεπόμενη αστοχία:	
	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου: για συμπαγείς οπτοπλίνθους	6,92
	Αστοχία υποβάθρου τοιχοποιίας υπό μορφή κώνου: για διάτρητες οπτοπλίνθους	1.37

3.6.2 Αγκύρια υπό διατμητικά φορτία

Η διατμητική αντοχή του αγκυρίου υπολογίζεται σύμφωνα με της ακόλουθες σχέσεις:

1. Η αστοχία του αγκυρίου:

Επιφάνεια αγκυρίου:

$$A_{\rm S} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 12^2}{4} = 113,10 \text{ mm}^2$$

Επιφάνεια σπειρώματος αγκυρίου:

$$\begin{split} A_s &= \frac{\pi * 10,36^2}{4} = 84,30 \text{mm}^2 \\ \text{i.} & \text{H} \ \alpha \sigma \tau \text{ox}(\alpha \ \tau \text{ou} \ \chi \dot{\alpha} \lambda \text{u} \beta \alpha; \\ V_{\text{RK},\text{S}} &= 0.50 * \text{A}_{\text{s}} * f_{\text{uk}} = 0,50 * 113,10 * 800 * 10^{-3} = 45,24 \text{kN} \\ V_{\text{RK},\text{S}} &= 0.50 * \text{A}_{\text{s}} * f_{\text{uk}} = 0,50 * 84.30 * 800 * 10^{-3} = 33,72 \text{kN} \\ V_{\text{RK},\text{S}} &= \alpha_{\text{v}} * \text{A}_{\text{s}} * f_{\text{uk}} = 0,60 * 800 * 10^{-3} = 40.46 \text{kN} \end{split}$$

 Τοπική αστοχία υποβάθρου λόγω της θλιπτικής δύναμης που ασκεί το βλήτρο στην οπτόπλινθο στην κατεύθυνση του διατμητικού φορτίου και είναι ανάλογα με το είδος της οπτοπλίνθου ως εξής:

Τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους και με παχύ έλασμα (t_{fix} = 15mm \geq d=12mm):

$$M_{PL,S} = \frac{d_{ss}^{3} * f_{yk}}{6} = \frac{12^{3} * 640}{6} = 184320 \text{ Nmm}$$

$$f_{1} = \alpha_{local} * f_{bc} = 2 * 36.89 = 73,78 \text{ MPa}$$

Case C:

$$V_{0,Rk,b,C} = 0.75 * d_{nom} * f_1 * h_{ef} * (\sqrt{2 + \frac{4 * M_{P,S}}{d_{nom} * f_1 * h_{ef}^2}} - 1) = 0.75 * 14 * 73,78 * 100 * (\sqrt{2 + \frac{4 * 118606.4}{14 * 73,78 * 100^2}} - 1) = 34,03kN$$

$$M_{PL,H} = \alpha_h * M_{PL,S} = 1 * 184320 = 184320 N. mm$$
Case D:
$$V_{0,Rk,b,D} = 0.75^* \sqrt{2^* (M_{PL,S} + M_{PL,H})} * d_{nom} * f_1 = 0.75^* \sqrt{2 * (184320 + 184320) * 14 * 73.78}} = 20,70kN$$

Κατά (Σπυράκος 2004):

$$V_{Rk,s} = 1.30 * d_s^2 * \sqrt{f_{yk} * \beta_b} = 1,30 * 12^2 * \sqrt{640 * 36,89} * 10^{-3} = 28,76 \text{kN}$$

$$V_{Rk,s} = 1.30 * d_s^2 * \sqrt{f_{yk} * \beta_b} = 1,30 * 10,36^2 * \sqrt{640 * 36,89} * 10^{-3} = 21,44 \text{kN}$$

Κατά Ευρωκώδικα 3 [EC3-8]:

$$\begin{split} V_{Rk,s} &= 1.30*A_s \quad * \sqrt{f_{yk}*\beta_b} = 1,30*113,10 \quad * \sqrt{640*36,89}*10^{-3} = 22,59 \text{kN} \\ V_{Rk,s} &= 1.30*A_s \quad * \sqrt{f_{yk}*\beta_b} = 1,30*84,30 \quad * \sqrt{640*36,89}*10^{-3} = 16,84 \text{kN} \end{split}$$

- 3. Αστοχία υποβάθρου με την μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου
 - i. Τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους:

 $C_1 = 530mm > c_{min} = max (100mm; 6 * 12 = 72mm) = 100mm$

$$\begin{split} V_{RK,C} &= k * \sqrt{d_{nom}} * \left(\frac{h_{nom}}{d_{nom}}\right)^{0.20} * \sqrt{f_b} * \ C_1^{1.50} = 0.45 * \sqrt{14} * \left(\frac{100}{14}\right)^{0.20} * \sqrt{36.89} * \ 530^{1.5} \\ &= 184.89 \text{kN} \end{split}$$

- 4. Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου
 - i. Τοιχοποιία με ισχυρό κονίαμα:

 $V_{RK,pb} = 2*l_{brick}*b_{brick}*(0.50*f_{vko}+0.40*\sigma_d) = 2*210*100*(0.50*0.30+0.40*0.20)$ = 9,66 kN

ii. Τοιχοποιία με ασθενές κονίαμα:

 $V_{RK,pb} = 2*l_{brick}*b_{brick}*(0.50*f_{vko}+0.40*\sigma_d) = 2*210*100*(0.50*0.20+0.40*0.20)$ = 7.56 kN

Στον Πίνακα 24 συγκεντρώθηκαν οι τιμές των φορτίων αστοχίας των παραπάνω υπολογισμών για την εύρεση της φέρουσας ικανότητας του αγκυρίου:

Τύπο	ς αστοχίας	Φορτίο αστοχίας (kN)
1	Αστοχία του χάλυβα	45,24
		33,72
		40,46
2	Τοπική αστοχία υποβάθρου	
	Συμπαγείς οπτόπλινθοι:	
	Case C	34,03
	Case D	20,70
	Σπυράκος 2004	28 76
	Σπυράκος 2004	21.44
	Ευρωκώδικας 3	22,59
	Ευρωκώδικας 3	16,84
3	Αστοχία υποβάθρου με την μορφή απόσχισης ενός πλευρικού κώνου:	
	Για συμπαγείς οπτοπλίνθους	184,89
4	Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου:	
	Τοιχοποιία με ισχυρό κονίαμα	9,66
	Τοιχοποιία με ασθενές κονίαμα	7,56
	Προβλεπόμενη αστοχία για συμπαγή οπτόπλινθο:	
	Αν το αγκύριο είναι εγκατεστημένο στο εσωτερικό του τοίχου μακριά από το άκρο τότε η	
	αστοχία θα είναι τοπική στο υπόβαθρο	16,84
	Αν το ανκύριο είναι ενκατεστημένο κοντά στο άκρο του τοίχου - εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου	9.66/7.56

Πίνακας 24 Αποτελέσματα για την ε	κτίμηση της συμπεριφα	οράς αγκυρίου σε 🤅	διατμητικά φορτία
-----------------------------------	-----------------------	--------------------	-------------------

4 Πειραματικά αποτελέσματα

4.1 Εξόλκευση

Τα πειράματα εξόλκευσης περιλαμβάνουν δοκιμές είτε υπό μονοτονική φόρτιση ή υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με τα πρωτόκολλα δοκιμών (1, 2 και 3). Για την εύκολη κατανόηση και πιο γρήγορη ταξινόμηση των αποτελεσμάτων η ονοματολογία κάθε δοκιμής θα ακολουθεί το παρακάτω μοτίβο:

ABi- Test i-CD- Δ_w - σ_d -L_i (i)

όπου:

SWi: solid brick, weak mortar, συμπαγής οπτόπλινθος, ασθενές συνδετικό κονίαμα M5, i=1,2,3,....

SSi: solid brick, strong mortar, συμπαγής οπτόπλινθος, ισχυρό συνδετικό κονίαμα M20, i=1,2,3,....

ABi

PSi: perforated brick, strong mortar, Διάτρητη οπτόπλινθος, ισχυρό συνδετικό κονίαμα M20, i=1,2,3,....

SCWi: solid brick, weak mortar, precracked, συμπαγής οπτόπλινθος προρηγματωμένη, ασθενές συνδετικό κονίαμα M5, i=1,2,3,....

(i) : αριθμός επανάληψης φορτίου αναφοράς, i=1,2,3,....

PM: pullout monotonic protocol 1, μονοτονική φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1

PP: pullout protocol 2, ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2: [ETAG 049-2016:08] C1.1 και C1.2

PS: pullout (scientific) protocol 3, ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση CD σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3

SM: shear monotonic protocol 1, μονοτονική φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1

SP: shear protocol 2, ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2: [ETAG 049-2016:08] C1.1 και C1.2

SS: shear (scientific) protocol 3, ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3

- Δ_w : πρόσθετο πλάτος ρωγμής (mm)
- σ_d : ορθή θλιπτική τάση (MPa)
- : θέσεις εγκατάστασης των αγκυρίων
- L_i L_1 : στο κέντρο της αρηγμάτωτης οπτοπλίνθου
 - L₂: σε ρηγματωμένη οπτόπλινθο
 - L₄: σε ρηγματωμένο συνδετικό κονίαμα

Επίσης στις επόμενες σελίδες θα χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω συμβολισμοί:

- d : Η διάμετρος του αγκυρίου (mm)
- d_B : Η διάμετρος της οπής (mm)
- h_{ef} : Το ενεργό βάθος έμπηξης του αγκυρίου (mm)
- f_{bc} : Η θλιπτική αντοχή της οπτοπλίνθου (MPa)
- f_{mc} : Η θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος (MPa)

4.1.1 Συμπαγείς οπτόπλινθοι

4.1.1.1 Εγκατάσταση αγκυρίων σε οπτόπλινθο

SW1-Test 3-PM-0-0.20-L1 (1/5)





Εικόνα 86 Αγκύριο μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 87 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{cb} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	19,65	1,41
Συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείτα						ιό την αστοχία συνάφειας
лирики	μισμος	μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική εξόλκευση της				
αστοχιας οπτοπλίνθου						

Πίνακας 25 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-3



Εικόνα 88 Αγκύριο μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 89 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{cb}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	23,37	0,19
Χαραι	Χαρακτηρισμός					
ασ	αστοχίας Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου					

Πίνακας 26 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-4



(α) (β) (γ) Εικόνα 90 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 91 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{cb} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	11,14	0,42
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευα	η μίας οπι	τοπλίνθου		

Πίνακας 27 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-3



(α)



Εικόνα 92 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 93 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{cb} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	3,42	19,35	0,24		
Χαρακτ αστ	τηρισμός οχίας	Συνδυαστική μορφή αστοχίας που αποτελείται από την αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου και την μερική εξόλκευση της οπτοπλίνθου						



Εικόνα 94 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 95 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{cb} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	30,50	0,28
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία α	συνάφεια ς	μεταξύ του	έγχυτου κονιάματος κ	και του αγκυρίου



(α) (β) (γ) Εικόνα 96 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	26,52	2,34
Χαρακτ αστ	τηρισμός οχίας	Συνδυ του έγ οπτοπ	αστική μο _ι χυτου κον λίνθου	οφή αστοχ ιάματος κα	ίας που αποτελείται αι του υποβάθρου κα	από την αστοχία συνάφειας μεταξύ α την μερική εξόλκευση της

Πίνακας 30 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-2

SS2-Test 3-PM-0-0.20-L₁ (2/6)



Εικόνα 98 Αγκύριο μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 99 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	55,76	0,96
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχίο	ι υποβάθρα	ου τοιχοποι	ιίας υπό μορφή κώνου	

Πίνακας 31 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-3





(α) (β) Εικόνα 100 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 101 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	46,81	0,57
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχί	α υποβάθ _ι	οου τοιχοπ	τοιίας υπό μορφή κώ	ύνου

Πίνακας 32 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-4



(α)

(β)

(γ)

Εικόνα 102 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 103 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 33	Δεδομένα	και αποτελ	έσματα γ	πα το	SS3-3

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	21,95	2,49
Χαι	οακτηριο αστοχία	ιμός ς	Συνδυαστι μεταξύ το εξόλκευσr	κή μορφή υ έγχυτου κ ι της οπτοπ	αστοχίας που απ κονιάματος και τα λίνθου	οτελείται από την αστοχία συνάφειας ου υποβάθρου και την μερική

SS3-Test 4-PM-0-0.20-L₁ (5/6)



(y)

Εικόνα 104 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 105 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	19,67	0,55
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευ	ιση μίας οτ	τοπλίνθου		

Πίνακας 34 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-4



Εικόνα 106 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 107 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	32,06	0,37
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία	ι υποβάθρα			

Πίνακας 35 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-1

4.1.1.1.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 1





Εικόνα 108 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτιση

SW3-Test 2-PP-0 -0.20-L1 (1/3)



(α)

Εικόνα 109 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ETAG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- 1. Test3: W₁-PM-0-0.20-L₁ (1/5) (P_u= 19,65kN) και με τύπο αστοχίας: (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου)).
- 2. Test4: W₁-PM-0-0.20-L₁ (2/5) (P_u= 23,37N) και με τύπο αστοχίας (Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της).
- 3. Test4: W₂-PM-0-0.20-L₁ (4/5) (P_u= 24,71kN) και με τύπο αστοχίας (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου)) Ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um}= 22,58kN Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης: N_{eq}=0.50*N_{um}= 11,29kN, για 10 κύκλους N_i=0.75*N_{eq}= 8,47kN, για 30 κύκλους N_m=0.50*N_{eq}= 5,64kN, για 100 κύκλους

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.



(β)

Εικόνα 110 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{cb} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	25,12	0,24
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευσ	η μίας οπτ	οπλίνθου		

Πίνακας 36 Δεδομένα κα	ι αποτελέσματα	για το SW3-2
------------------------	----------------	--------------



(β) Εικόνα 111 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Test3: W₁-PM-0-0.20-L₁ (1/5) (P_u= 19,65kN) και με τύπο αστοχίας: (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου)).
- 2. Test4: W₁-PM-0-0.20-L₁ (2/5) (P_u= 23,37N) και με τύπο αστοχίας (Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της).
- Test4: W₂-PM-0-0.20-L₁ (4/5) (P_u= 24,71kN) και με τύπο αστοχίας (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου))
 Ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um}= 22,58kN
 Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

N_{eq}=0.50*N_{um}= 11,29kN, για 10 κύκλους N_i=0.75*N_{eq}= 8,47kN, για 30 κύκλους

N_m=0.50*N_{eq}= 5,64kN, για 100 κύκλους

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.



(β)

Εικόνα 112 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	3,42	27,07	`0,76		
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου						

Πίνακας 37 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW3-3



(β) (γ) Εικόνα 113 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Test3: W₁-PM-0-0.20-L₁ (1/5) (P_u= 19,65kN) και με τύπο αστοχίας: (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου)).
- 2. Test4: W₁-PM-0-0.20-L₁ (2/5) (P_u= 23,37N) και με τύπο αστοχίας (Μηχανισμός διάσπασης της οπτοπλίνθου παράλληλα στο ύψος της).

3. Test4: W_2 -PM-0-0.20-L₁ (4/5) (P_u= 24,71kN) και με τύπο αστοχίας (Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου)) Ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um}= 22,58kN Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης: N_{eq}=0.50*N_{um}= 11,29kN, για 10 κύκλους N_i=0.75*N_{eq}= 8,47kN, για 30 κύκλους N_m=0.50*N_{eq}= 5,64kN, για 100 κύκλους

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 114 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	22,33	0,69
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευσ	η μίας οπτα	οπλίνθου		



(α)

(y)

Εικόνα 115 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ETAG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί το φορτίο αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποίο είναι το εξής:

Test 2: S₁-PM-0-0.20-L₁ (1) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (Αστοχία συνάφειας μεταξύ του αγκυρίου και της οπτοπλίνθου και αστοχία της οπτοπλίνθου).

Ο μέσος όρος των τριών φορτίων είναι Num= 26,52kN

Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

Neq=0.50*Num= 13,26kN, για 10 κύκλους

N_i=0.75*N_{eq}= 9,95kN, για 30 κύκλους

N_m=0.50*N_{eq}= 6,63kN, για 100 κύκλους

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα διαγράμματα τελικά της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.







(β)

Εικόνα 116 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	25,69	0,319
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Εξόλκευσι	η μίας οπτο	πλίνθου	

Πίνακας 39 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-4



Εικόνα 117 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Test2: S₁-PM-0-0.20-L₁ (1/6) (P_u= 24.33kN) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου).
- Test3: S₃-PM-0-0.20-L₁ (4/6) (P_u= 21.95N) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου)
- Test4: S₃-PM-0-0.20-L₁ (5/6) (P_u= 19.67kN) και με τύπο αστοχίας: Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου.

Υπολογίστηκε ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um} = 21,98kN Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης: N_{eq} =0.50* N_{um} = 11kN, για 10 κύκλους N_i =0.75* N_{eq} = 8,24kN, για 30 κύκλους N_m =0.50* N_{eq} = 5,50kN, για 100 κύκλους

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης


(β)

Εικόνα 118 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	27,22	0,81
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία	συνάφεια	ς μεταξύ του	έγχυτου κονιάματος κα	α της οπτοπλίνθου

SS4-Test 3-PP-0-0.20-L₁ (3/4)



(α) (β) (γ) Εικόνα 119 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Test2: S₁-PM-0-0.20-L₁ (1/6) (P_u= 24.33kN) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου).
- Test3: S₃-PM-0-0.20-L₁ (4/6) (P_u= 21.95N) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου)
- Test4: S₃-PM-0-0.20-L₁ (5/6) (P_u= 19.67kN) και με τύπο αστοχίας: Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου.

Ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um} = 21,98kN Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης: N_{eq} =0.50* N_{um} = 11kN, για 10 κύκλους N_i =0.75* N_{eq} = 8,24kN, για 30 κύκλους N_m =0.50* N_{eq} = 5,50kN, για 100 κύκλους



Εικόνα 120 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	51,09	1,03
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία	συνάφεια	ς μεταξύ τ	ου έγχυτου κονιάματο	ς και του αγκυρίου

Πίνακας 41 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS4-3



(α) (β) (γ) Εικόνα 121 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- Test2: S₁-PM-0-0.20-L₁ (1/6) (P_u= 24.33kN) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και εξόλκευσης μισής οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου).
- Test3: S₃-PM-0-0.20-L₁ (4/6) (P_u= 21.95N) και με τύπο αστοχίας: Συνδυαστική μορφή αστοχίας (αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και αστοχία μισής οπτοπλίνθου)
- Test4: S₃-PM-0-0.20-L₁ (5/6) (P_u= 19.67kN) και με τύπο αστοχίας: Εξόλκευση μίας οπτοπλίνθου.

Ο μέσος όρος των τριών φορτίων N_{um} = 21,98kN Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης: N_{eq} =0.50* N_{um} = 11kN, για 10 κύκλους N_i =0.75* N_{eq} = 8,24kN, για 30 κύκλους N_m =0.50* N_{eq} = 5,50kN, για 100 κύκλους



(β)



Πίνακας 42 Δεδο	ρμένα και αποτελέ	έσματα για τ	o SS4-4
-----------------	-------------------	--------------	---------

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	40,05	0,96
Χαρακτ	τηρισμός	Συνδυαα	στική αστο)	(ία συνάφε	ειας μεταξύ του έγχυτο	υ κονιάματος και του αγκυρίου
αστ	οχίας	και αστα	οχία μισής (οπτοπλίνθα	ου υπό μορφή κώνου	

4.1.1.1.2 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 2





Εικόνα 123 Συγκεντρωτικά τελικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτιση

SW4-Test 3-PS-0-0.20-L1 (1/3)



Εικόνα 124 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 125 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	14,57	0,19
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Ξξόλκευση	μίας οπτο	πλίνθου	

Πίνακας 43 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-3

SW4-Test 4-PS-0-0.20-L1 (2/3)



Εικόνα 126 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 127 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	29,46	0,95
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Συνδυαστικ του έγχυτο οπτοπλίνθα	κή μορφή υ κονιάμα ου	αστοχίας τ τος και το	που αποτελείται από τη ου υποβάθρου και την μ	ν αστοχία συνάφειας μεταξύ ερική εξόλκευση της

Πίνακας 44 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-4



Εικόνα 128 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 129 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	13,90	0,90
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευση	μίας οπτο	οπλίνθου		

Πίνακας 45 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-5

SS5-Test 1-PS-0-0.20-L1 (1/3)





Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	48,54	0,60
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Συνδυαστιι του έγχυτο οπτοπλίνθα	κή μορφή ου κονιάμο ου	αστοχίας : ιτος και το	που αποτελείται από τr υ υποβάθρου και την μ	ιν αστοχία συνάφειας μεταξύ ιερική εξόλκευση της

Πίνακας 46 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS5-1

SS5-Test 2-PS-0-0.20-L1 (2/3)



Εικόνα 132 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης και μονοτονικής φόρτισης υπό ελεγχόμενο μετατόπιση.



Εικόνα 133 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp $_{max}(mm)$		
12	14	100	36,89	17,78	42,90	0,41		
Χαρακτηρ	οισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου						
αστοχί	ίας	τοιχοποιία	ς (συνδετι	κού κονιά	ματος)			

Πίνακας 47 Δεδ	ομένα και αποτελ	έσματα για το SS5-2
----------------	------------------	---------------------



Εικόνα 134 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	51,94	0,43
Χαραι ασ	κτηρισμός τοχίας	Aσ	τοχία υπο	βάθρου το	υχοποιίας υπό μορφή κ	ώνου
				-		

Πίνακας 48 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS5-3

4.1.1.1.3 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 3





Εικόνα 136 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτιση

4.1.1.2 Εγκατάσταση αγκυρίων σε αρμό

SW1-Test 1-PM-0-0.20-L₄ (1/1)









Εικόνα 137 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή



Εικόνα 138 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	18,36	1,06
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Εξόλκευα	ση μίας οπ	τοπλίνθου		

Πίνακας 49 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW1-1

SW1-Test 2-PM-0.23-0.20-L₄ (1/1)



Εικόνα 139 Αγκύριο μετά την δοκιμή



Εικόνα 140 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	19,45	3,96
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Εξόλκ	ευση μίας	οπτοπλίνθου	

Πίνακας 50 Δεδομένα	και αποτελέσματα για	το SW1-2
---------------------	----------------------	----------



(α) (β) . Εικόνα 141 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή



Εικόνα 142 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	31,94	1,95
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία α κονιάματ	συνάφειας μ ος	ιεταξύ του	έγχυτου κονιάματος	και του συνδετικού

Πίνακας 51 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-2



(α)

(β) (γ) Εικόνα 143 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή





d	d _B	h _{ef}	f _{cb}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο	Μετατόπιση στο μέγιστο
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	14.36	0.23
Χαρακτ	ηρισμός	Αστοχία	α συνάφειο	ας μεταξύ τ	ου έγχυτου κονιάματο	ς και του υποβάθρου
αστο	οχίας	τοιχοπο	οιίας (συνδ	δετικού κον	αίματος)	

Πίνακας 52 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-1



Εικόνα 145 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή





d	d _B	h _{ef}	f _{cb}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο	Μετατόπιση στο μέγιστο
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,42	12,87	2,64
Χαρακτηρισμός		Αστοχία	α συνάφειο	ας μεταξύ τ	ου έγχυτου κονιάματο	ς και του υποβάθρου
αστοχίας		τοιχοπο	οιίας (συνδ	δετικού κον	ιάματος)	

Πίνακας 53 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW2-2



Εικόνα 147 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 148 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	17,78	22,69	0,79		
Χαρακτηρισμός		Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου						
αστοχίας		τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						

Πίνακας 54 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-1





Εικόνα 149 Αγκύριο μετά την δοκιμή





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	47,84	0,91
Χαρακτηρισμός αστοχίας εξόλκ			στική μορά του έγχυτα ιση της οπτ	φή αστοχία ου κονιάμα εοπλίνθου	ς που αποτελείται απ τος και του υποβάθρα	ό την αστοχία συνάφειας ου και την μερική ή ολική

Πίνακας 55 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-1



Εικόνα 151 Αγκύριο (α) πριν (β) και (γ) μετά την δοκιμή
Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	24,72	2,038
Χαρακτ αστα	ηρισμός οχίας	Συνδυα του έγχ οπτοπλ	στική μορ υτου κονια ίνθου	φή αστοχία άματος και	ας που αποτελείται απ του υποβάθρου και τι	ό την αστοχία συνάφειας μεταξύ ην μερική ή ολική εξόλκευση της

Πίνακας 56 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS1-3



(α)

(β) Εικόνα 153 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής

φόρτισης





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	39,56	0,44
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία σ	υνάφειας μ	εταξύ του	έγχυτου κονιάματος	και του υποβάθρου

Πίνακας 57 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS2-1





(α) (β) Εικόνα 155 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή



Εικόνα 156 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	11,02	0,25
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Ασ	τοχία συνά	φειας μετα	ξύ του έγχυτου κονιά	ματος και του αγκυρίου

Πίνακας 58 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-1



Εικόνα 157 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή



Εικόνα 158 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	25,01	1,27
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία συ (συνδετικο	ννάφειας μ ύ κονιάμο	ιεταξύ τοι ιτος)	ι έγχυτου κονιάματος κ	αι του υποβάθρου

Πίνακας 59 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS3-2



Εικόνα 159 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή



Εικόνα 160	Καμπύλη	φορτίου	-μετατόπισης	αγκυρίου
------------	---------	---------	--------------	----------

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	17,78	35	6.10		
Χαρακτηρ	ισμός	ς Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου						
αστοχί	ίας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						

Πίνακας 60 Δε	εδομένα και	αποτελέσματα	για το	SS10-1
---------------	-------------	--------------	--------	--------

0 L

Μετατόπιση (mm) (α)

4.1.1.2.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο





Εικόνα 161 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό μονοτονική φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 1



ιε, Εικόνα 162 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- SW2-Test1-PM-0.50-0.20-L4 (1/3) (Pu= 14.36kN) και με τύπο αστοχίας: αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.
- SW2-Test2-PM-0.50-0.20-L4 (2/3) (Pu= 12.87kN) και με τύπο αστοχίας αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.
- 3. SW4-Test1-PM-0.50-0.20-L₄ (3/3) (Pu= 25.60kN) και με τύπο αστοχίας αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.
- SCW2-Test1- PS-0.50-0.20-L4 (1/4) (Pu=7.60kN) και με τύπο αστοχίας: Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος).
- 5. SCW2-Test 3-PS-0.50-0.20-L4 (3/4) (Pu=11kN) και με τύπο αστοχίας: Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)

Ο μέσος όρος των φορτίων N_{um}= 13,62kN

Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

N_{eq}=0.50*N_{um}= 6,81kN, για 10 κύκλους N_i=0.75*N_{eq}= 5,11kN, για 30 κύκλους N_m=0.50*N_{eq}= 3,41kN, για 100 κύκλους Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.



(β)

Εικόνα 163 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 61	Δεδομένα και	αποτελέσματα	για το SCW3-1
------------	--------------	--------------	---------------

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	3,61	11,95	0,80	
ΧαρακτηρισμόςΑστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρουαστοχίαςτοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)							



(α) (β) (γ) Εικόνα 164 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 165 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	3,42	13,51	0,49	
Χαρακτηρισμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου							
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)					

Πίνακας 62 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SW4-2



εικόνα 166 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 167 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	3,61	12,24	0,23		
Χαρακτηρ	ιρακτηρισμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου							
αστοχί	αστοχίας τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)							

Πίνακας 63 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW4-1



ιρη Εικόνα 168 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.1). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

- SS3-Test1-PM-0.50-0.20-L4 (1/3) (Pu= 19.09kN) και με τύπο αστοχίας: αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου.
- SS3-Test2-PM-0.50-0.20-L4 (2/3) (Pu= 27,85kN) και με τύπο αστοχίας αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.
- SS10-Test1-PM-0.50-0.20-L₄ (3/3) (Pu= 35kN) και με τύπο αστοχίας αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου.

Ο μέσος όρος των τριών φορτίων Num= 27,31kN

Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

N_{eq}=0.50*N_{um}= 13,655kN, για 10 κύκλους

 N_i =0.75* N_{eq} = 10,24kN, για 30 κύκλους

N_m=0.50*N_{eq}= 6,80kN, για 100 κύκλους





d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp $_{max}(mm)$		
12	14	100	36,89	17,78	24,89	1,71		
Χαρακτηρ	Χαρακτηρισμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου							
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						



Εικόνα 170 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 171 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)		
12	14	100	36,89	17,78	26,29	1,83		
Χαρακτηρ	ισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου						
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						

Πίνακας 65 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS13-1



Εικόνα 172 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή



Εικόνα 173 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	23,05	0,50
Χαρακτηρ αστοχί	οισμός / ίας	Διάσπαση	της οπτοπ	λίνθου		

Πίνακας 66 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS14-2

4.1.1.2.2 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 2





Εικόνα 174 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 2



Εικόνα 175 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Σημειώνεται ότι η ανακυκλιζόμενη φόρτιση πραγματοποιήθηκε υπό συγκεκριμένες μετατοπίσεις οι οποίες είναι (0,10-0,20-0,4-1-2-4-10-15 mm) και για κάθε μετατόπιση έγιναν τρεις κύκλοι φόρτισης.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 176 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,61	7,60	0,99
Χαρακτηρισμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου αστοχίας τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						

Πίνακας 67 Δεδομέ	α και αποτελέσματα	για το SCW2-1
-------------------	--------------------	---------------


Εικόνα 177 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 178 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 68	Δεδομένα και	αποτελέσματα	για το SCW2-2
------------	--------------	--------------	---------------

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο	
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	3,61	22,47	3,03	
Χαρακτηρ	ισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου					
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)					



(α)



(y)

Εικόνα 179 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Σημειώνεται ότι η ανακυκλιζόμενη φόρτιση πραγματοποιήθηκε υπό συγκεκριμένες μετατοπίσεις οι οποίες είναι (0,10-0,20-1-2-3,50 mm) και για κάθε μετατόπιση έγιναν τρεις κύκλοι φόρτισης.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 180 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	3,61	11,01	0,40	
Χαρακτηρ	ισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου					
αστοχίας τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)							

Πίνακας 69 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SC	W2-3
--	------



(α) (γ) Εικόνα 181 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 182 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο	
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	17,78	8,47	1,82	
Χαρακτηρ	ισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου					
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)					

Πίνακας 70 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SCW5-1



Εικόνα 183 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.





d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο	
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	17,78	10,67	0,16	
Χαρακτηρ	ισμός	Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου					
αστοχί	ας	τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)					

Πίνακας 71 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS11-1



Εικόνα 185 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 186 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο	
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	17,78	18,91	0,95	
Χαρακτηρ	ακτηρισμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου						
αστοχί	αστοχίας τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)						

Πίνακας 72 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS11-2



Εικόνα 187 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της ανακυκλιζόμενης φόρτισης υπό ελεγχόμενη μετατόπιση.



Εικόνα 188 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 73 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS12-1

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο	
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο,Sp _{max} (mm)	
12	14	100	36,89	17,78	26,64	0,31	
Χαρακτηρ	ισμός	σμός Αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου					
αστοχί	ας	ις τοιχοποιίας (συνδετικού κονιάματος)					

4.1.1.2.3 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σύμφωνα με το Πρωτόκολλο 3





Εικόνα 189 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο 3

4.1.1 Διάτρητες οπτόπλινθοι

P1-Test 3-PM-0-0.20-L1 (1/2)







Εικόνα 191 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130	8.40	24,31	24,01	0,63
Χαρακτ αστο	τηρισμός οχίας	Αστοχία τοιχοπο	ι συνάφεια ιίας	ου έγχυτου κονιάματο	ς και του υποβάθρου	



Εικόνα 192 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης





Invaria / J Beoopeva kai anoieneopata yia to i Je e

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130		24,31	25,67	0,59
Χαρ	ακτηρισ αστοχίας	μός	Αστοχία συ τοιχοποιίας	νάφειας μι ;	εταξύ του έγχυτου κον	ιάματος και του υποβάθρου



(α) (β) (γ) **Εικόνα 194 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή** Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 195 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130	8.40	24,31	12,62	1,19
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Ασ τοι	τοχία συνό χοποιίας	ιφειας μετ	αξύ του έγχυτου κονιά	ματος και του υποβάθρου

Πίνακας 76 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-4



αγ Εικόνα 196 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 197 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130	8,40	24,31	17,94	0,86
Χαι	οακτηρισ αστοχία	γμός ς	Αστοχία σι τοιχοποιία	υνάφειας μ ις	ιεταξύ του έγχυτου κοι	νιάματος και του υποβάθρου

Πίνακας 77 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-4

P2-Test 1-PM-0.50-0.20-L2 (1/2)



(β)

(γ)



Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 199 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 78	Δεδομένα και	αποτελέσματα	για το PS2-1

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130	8,40	24,31	27,28	1,39
Χαρο α	ικτηρισμ στοχίας	ός Ασ τοι	τοχία συνά χοποιίας	φειας μεταξ	ύ του έγχυτου κονιάμα	ιτος και του υποβάθρου



Εικόνα 200 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 201 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130		24,31	20,24	1,24
Χαρ	οακτηρισ αστοχίαα	μός ς	Αστοχία σ τοιχοποιία	υνάφειας ις	μεταξύ του έγχυτου	κονιάματος και του υποβάθρου

Πίνακας 79 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS2-3

P1-Test 1-PM-0.37-0.20-L4 (1/1)



(α) (γ) **Εικόνα 202 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή**, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 203 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d	d _B	h _{ef}	f _{bc}	f _{mc}	Μέγιστο φορτίο,	Μετατόπιση στο μέγιστο		
(mm)	(mm)	(mm)	(MPa)	(MPa)	P _{max} (kN)	φορτίο, Sp _{max} (mm)		
12	18	130	8.4	24,31	25,23	1,36		
Χαρακτ	πρισμός	Συνδυα	Συνδυαστική μορφή αστοχίας (Αστοχία συνάφειας μεταξύ του αγκυρίου και της					
αστο	οχίας	οπτοπλί	οπτοπλίνθου και αστοχία οπτοπλίνθου υπό μορφή κώνου)					

Πίνακας 80 Δεδομένα και αποτελέσματα για το PS1-1



Εικόνα 204 Αγκύριο (α) πριν την δοκιμή, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης



Εικόνα 205 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

Πίνακας 81	Δεδομένα και	αποτελέσματα	για το PS1-2
------------	--------------	--------------	--------------

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο, Sp _{max} (mm)
12	18	130	8.40	24,31	38,70	0,71
Χαρακτηρισμός αστοχίας		Αστοχία	ι υποβάθρα	ου τοιχοπο	οιίας υπό μορφή κώνο	U

4.1.1.1.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σε διάτρητες οπτοπλίνθους (πρωτόκολλο 1)





Εικόνα 206 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων σε αγκύρια εγκατεστημένα σε διάτρητες οπτοπλίνθους

4.2 Διάτμηση

SCW1-Test 1-SM-0-0.20-L2 (1/1)



Εικόνα 207 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	3,61	34,58	5.97
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Aσ	τοχία του γ	(άλυβα	

nivaka, oz debopeva kat akotekeopata pla to sevi i
--

SS6-Test 1-SM-0-0.20-L1 (1/3)



(α) (β) Εικόνα 209 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 210 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	44,90	8.30
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Αστοχία	του χάλυβα	α	

Πίνακας 83 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-1









Εικόνα 212 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	44,21	4,43
Χαρακτηρισμός αστοχίας			Αστοχία τ	ου χάλυβα		

Πίνακας 84 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-3

SS6-Test 4-SM-0-0.20-L1_new (2/3)



Εικόνα 213 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 214 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	58,19	5.85
Χαρακτη	ρισμός ασ	τοχίας	Αστοχία το	ου χάλυβα		

Πίνακας 85 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-4





(α) (β) Εικόνα 215 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το τελικό διάγραμμα της μονοτονικής φόρτισης.





d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	42,39	2.76
Χαρα αι	ικτηρισμός στοχίας	Ad	στοχία του	ι χάλυβα κ	αι τοπική αστοχία του	υποβάθρου

Πίνακας 86 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS6-5

SS8-Test 2-SP-0-0.20-L1 (1/3)



Εικόνα 217 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή

Για τον υπολογισμό των απαιτούμενων φορτίων ανακυκλιζόμενης φόρτισης σύμφωνα με το [ΕΤΑG 049:2016-08] πρωτόκολλο 2 (C1.2). θα πρέπει να υπολογιστεί ο μέσος όρος του φορτίου αναφοράς που προέκυψε από προηγούμενα πειράματα μονοτονικής φόρτισης τα οποία είναι τα εξής:

SS₆-Test3-SM-0-0.20-L₁ (1/3) (V_u= 44.21kN)

SS₆-Test5-SM-0-0.20-L₁ (3/3) (V_u= 42.39kN)

SS₇-Test1-SS-0-0.20-L₁ (1/3) (V_u= 56.30kN)

SS₇-Test2-SS-0-0.20-L₁ (2/3) (V_u= 63.19kN)

SS₈-Test1-SS-0-0.20-L₁ (3/3) (V_u= 57.66kN)

Ο μέσος όρος των φορτίων V_{um}= 53,65kN

Τα τρία φορτία για τις σειρές δοκιμών της ανακυκλιζόμενης φόρτισης:

V_{eq}=0.5*V_{um}=26.82kN

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.





Εικόνα 218 Διαγράμματα καμπύλης φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου α) Η ιστορία φόρτισης σύμφωνα με το πρωτόκολλο 2 και η τελική καμπύλη μονοτονικής φόρτισης και β) Διάγραμμα μονοτονικής φόρτισης

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	62,80	8,06
Χαρακ	τηρισμός α	αστοχίας	Αστο	χία του χάλυ	βα	

Πίνακας 87 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS8-2





(β)

της

Εικόνα 219 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα



ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.

Εικόνα 220 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	56,99	8,18
Χαρακτη	ιρισμός αα	στοχίας	Αστοχία	του χάλυβ	α	

Πίνακας 88 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS9-1



Εικόνα 221 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης και της μονοτονικής φόρτισης.



Εικόνα 222 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	58,47	3.30
Χαρακτη	ρισμός ασ	τοχίας	Αστοχία τ	ου χάλυβα		

Πίνακας 89 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS9-2

SS6-Test 2-SS-0-0.20-L1 (2/3)



(α)

Εικόνα 223 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης.



Εικόνα 224 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	55,55	20,40
Χαρακτη	ιρισμός αα	στοχίας	Αστοχία	του χάλυβα	α	

Πίνακας 90 Δεδομένα και αποτελέσματα για το	SS6-2	2
---	-------	---



(α) (β) Εικόνα 225 Αγκύριο (α) πριν και (β) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης.



Εικόνα 226 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	56,29	4,02
Χαρακτη	ρισμός ασ	τοχίας	Αστοχία τ	ου χάλυβα		

Πίνακας 91 Δεδομένα και αποτελέσματα για το SS7-1





Εικόνα 227 Αγκύριο (α) πριν και (β) (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης.



Εικόνα 228 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	63,16	2,68
Χαρακτ	τηρισμός α	αστοχίας	Αστο	χία του χά	λυβα	

Πίνακας 92	Δεδομένα	και αποτελέσματα	για το	SS7-2



(α) (β) (γ) Εικόνα 229 Αγκύριο (α) πριν, (β) και (γ) μετά την δοκιμή Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα τελικά διαγράμματα της ανακυκλιζόμενης.



Εικόνα 230 Καμπύλη φορτίου-μετατόπισης αγκυρίου

d (mm)	d _B (mm)	h _{ef} (mm)	f _{bc} (MPa)	f _{mc} (MPa)	Μέγιστο φορτίο, P _{max} (kN)	Μετατόπιση στο μέγιστο φορτίο,Sp _{max} (mm)
12	14	100	36,89	17,78	57,66	4,02
Χαρακτη	ιρισμός αα	στοχίας	Αστοχία	του χάλυβ	α	

Πινακας 93 Δεδομενα και αποτελεσματα για το SS
--

4.2.1.1.1 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό διάτμηση



(β)

Displacement (mm)

15

10

Local failure

30

25

20

20

10



Εικόνα 231 Συγκεντρωτικά διαγράμματα πειραμάτων υπό: α) μονοτονική φόρτιση Πρωτόκολλο 1 β) ανακυκλιζόμενη Πρωτόκολλο 2 γ) ανακυκλιζόμενη φόρτιση υπό ελεγχόμενη μετατόπιση Πρωτόκολλο 3

5 Συμπεράσματα και προτάσεις

 Οι τιμές των φορτίων διαφέρουν από τις εκτιμώμενες για κάποιους λόγους όπως:

α) Δεν είναι γνωστή η αντοχή συνάφειας μεταξύ της ρητίνης που χρησιμοποιήθηκε για την εγκατάσταση των αγκυρίων και του αγκυρίου ή της οπτοπλίνθου.

β) Όταν γίνεται η διάνοιξη των οπών στις οπτοπλίνθους δεν είναι φανερό αν έγιναν ρωγμές στο περιβάλλον γύρω από την οπή. Οι ρωγμές αυτές συμβάλλουν στην μείωση της συνάφειας μεταξύ της οπτοπλίνθου και του αγκυρίου γενικά, με αποτέλεσμα την μείωση της φέρουσας ικανότητας του.

γ) Η θλιπτική αντοχή μεταξύ των οπτοπλίνθων είναι πιθανόν να διαφέρει.

δ) Οι συνθήκες στις οποίες διατηρήθηκαν οι οπτόπλινθοι πριν την αγορά
 τους.

- Παρατηρήθηκε ότι τα αγκύρια που ήταν εγκατεστημένα σε τοιχοποιία από συμπαγείς οπτοπλίνθους με την χρήση ισχυρού συνδετικού κονιάματος, ανέπτυξαν μέγιστα φορτία, μεγαλύτερα κατά 30%, από τα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν σε τοιχοποιία με την χρήση ασθενούς συνδετικού κονιάματος.
- Τα αγκύρια που εγκαταστάθηκαν σε ρηγματωμένο αρμό παρουσίασαν τις περισσότερες φορές παρόμοια αστοχία, πράγμα που δείχνει ότι η αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και του υποβάθρου τοιχοποιίας ήταν η επικρατέστερη.
- Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των πειραμάτων των εγκατεστημένων αγκυρίων της παρούσας εργασίας σε συμπαγείς οπτοπλίνθους, υπολογίστηκε η μέση αντοχή συνάφειας του έγχυτου κονιάματος από ρητίνη ίση με τ_{RK,1}= 7,71MPa και τ_{RK,2}= 8,17 MPa. Όπου η τ_{RK,1} είναι η χαρακτηριστική αντοχή συνάφειας μεταξύ της διεπιφάνειας του έγχυτου κονιάματος και του αγκυρίου και η τ_{RK,2} είναι η χαρακτηριστική αντοχή συνάφειας του έγχυτου κονιάματος και του διεπιφάνειας του έγχυτου.
- Όσον αφορά τα πειράματα των αγκυρίων σε διάτρητες οπτοπλίνθους δεν ήταν πολλά λόγω του ότι αυτά δεν έχουν ακόμη ολοκληρωθεί, ωστόσο η αστοχία των αγκυρίων που εγκαταστάθηκαν σε ρηγματωμένες οπτοπλίνθους ή μη εμφάνισαν μία αστοχία μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και της

οπτοπλίνθου με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί εξόλκευση ολόκληρου του αγκυρίου με το χιτώνιο μαζί με κάποια θραύσματα από την οπτόπλινθο.

- Η ανακυκλιζόμενη φόρτιση σύμφωνα με το πρωτόκολλο (2) επηρεάζει πολύ την συνάφεια μεταξύ της οπτοπλίνθου και του αγκυρίου με αποτέλεσμα στις περισσότερες περιπτώσεις να γίνει εξόλκευση της οπτοπλίνθου.
- Η αυξομείωση των φορτίων στο ίδιο πείραμα εξόλκευσης σε αρηγμάτωτη οπτόπλινθο, που χαρακτηρίζεται από αστοχία συνάφειας μεταξύ του έγχυτου κονιάματος και της οπτοπλίνθου, οφείλεται στο ότι σε πολλά πειράματα παρατηρήθηκε διάσπαση της οπτοπλίνθου κάθετα στο μήκος της το όποιο με την σειρά του οδήγησε και στην παρεμπόδιση του αγκυρίου.
- Στις δοκιμές διάτμησης των αγκυρίων αρχικά εμφανίστηκαν μικρορωγμές στην επιφάνεια της οπτοπλίνθου που ήταν εγκατεστημένο το αγκύριο στα αρχικά στάδια της δοκιμής και με την αύξηση της ρηγμάτωσης της οπτοπλίνθου αυξήθηκε και η μετατόπιση του αγκυρίου από τον αρχικό άξονα του, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί πλαστική άρθρωση κοντά στην επιφάνεια της οπτοπλίνθου και τέλος να αστοχήσει ο χάλυβας.

5.1 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

- Χρήση διαφορετικής διαμέτρου του αγκυρίου σε σταθερά και διαφορετικά βάθη έμπηξης.
- Εφαρμογή δοκιμών διάτμησης σε δοκίμια από διάτρητες οπτοπλίνθους.
- Εφαρμογή των δοκιμών και σε άλλα είδη συμπαγών και διάτρητων οπτοπλίνθων που υπάρχουν στην αγορά.

Βιβλιογραφία

- "Αποτίμηση της σεισμικής διακινδύνευσης και ενίσχυση κτιρίου από φέρουσα τοιχοποιία", Μ. Σουλιώτης, διπλωματική εργασία, Αθήνα 2013 Σ.:1-254.
- Ένίσχυση κτιρίων για σεισμικά φορτία", Κ. Σπυράκος, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα (2004) Σ.: 1-300.
- Έπισκευές και ενισχύσεις κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα", Σ. Δρίτσος, Γ. έκδοση, Πάτρα (2005) Σ.: 1-355.
- "Κατασκευές από τοιχοποιία (σχεδιασμός και επισκευές)", Φ. Καραντώνη, 2^η έκδοση, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Πάτρα (2012) Σ.: 1-530.
- "Behavior of Chemically Bonded Anchors", Ronald A Cook, ASCE, J. Structural Engineering vols. 119 (9) (1993): pg.:2744-2762.
- 6. "Behavior of post-installed adhesive anchors in natural stone", L. Contrafatto and R. Cosenza, Construction and Building Materials vols. 68 (2014) pg.: 355–369.
- "Bond Strength of Injection Anchors as Supplementary Reinforcement inside Historic Masonry", Birger Gigla, 13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam, Holland, (July 4th-7th/2004) pg.:1-10.
- "Building Code Requirements for Masonry Structures" (ACI 530-02/ASCE 5-02/TMS 402-02) Reported by the Masonry Standards Joint Committee (MSJC) pg.:1-10.
- "Construction techniques of Roman vaults and opus caementicium: The cases of Lupo and St. Gregory's bridges", Sinopoli A., Basili M., Esposito D., ARCH'10 – 6th International Conference on Arch Bridges, Fuzhu, China, (October 11th-13th/2010) pg.:1-8.
- "Cyclic Load Protocol for Anchored Nonstructural Components and Systems", Tara C. Hutchinso, Richard L. Wood, Earthquake Engineering Research Institute, Earthquake Spectra 29, No. 3 (2013); pg.: 817–842.
- "Design Guidelines and Specifications for Engineered Grouts", Ronald A. Cook, Jennifer L. Burtz, Marcus H. Ansley, final report University of Florida (2003) pg.:1-129.
- "Design of anchor reinforcement for seismic tension loads", Derek Petersen, Zhibin Lin, Jian Zhao, Engineering Structures vols.164 (2018) pg.:109–118.
- 13. "Design of bonded anchors", European Organisation for Technical Approvals: (EOTA), ETAG 029, Brussels edition (September 2010) pg.:1-37.

- "Design of masonry structures: General rules for building –Rules for reinforced and unreinforced masonry structures", EN 1996-1-1:2005 Eurocode 6-Part 1-1 (2005).
- 15. "Design of structures for earthquake resistance, General rules, seismic actions and rules for buildings", EN 1998-1:2005 Eurocode 8– Part 1 (2005).
- "Dynamic Behaviour Of Chemical Adhesive Anchors In Masonry", A. Braimah,
 E. Contestabile, and R. Guilbeault, 10th Canadian Masonry Symposium, Banff,
 Alberta,Canada, (June 8th-12th/2005) pg.:1-15.
- "Dynamic performance of concrete undercut anchors for Nuclear Power Plants", Chr. Mahrenholtz and R. Eligehausen, Nuclear Engineering and Design vols. 265 (2013) pg.:1091–1100.
- "Experimental behavior of masonry wall-to timber elements connections strengthened with injection anchors", Susana Moreira et al., Engineering Structures vols. 81 (2014) pg.:98-109.
- "Experimental Performance and Recommendations for Qualification of Postinstalled Anchors for Seismic Applications", Philipp Mahrenholtz, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Deutschland, (2012) pg.:1-345.
- "Experimental results on mechanical behavior of metal anchors in historic stone masonry", R. Muñoz, P. B. Lourenço, S. Moreira, Construction and Building Materials, vols.163 (2018) pg.:643–655.
- 21. "Experimental Study on the Injected Anchors Behaviour on Historical Masonry", Algeri C., Poverello E., Plizzari G., and Giuriani E., Advanced Materials Research, vols. 133-134 (2010) pg.: 423-428.
- 22. "Fixings for the retention of masonry façades", Construction fixings association (2004) pg.:1-8.
- "Guideline for European Technical Approval of Metal Injection Anchors for Use in Masonry", European Organisation for Technical Approvals: (EOTA), ETAG 029, Brussels edition (April 2013) pg.:1-37.
- 24. "Guideline for European Technical Approval of Metal Injections Anchors for Use in Masonry ", European Organisation for Technical Approvals (EOTA) ETAG 029-Annex C (April 2013) pg.:1-10.
- 25. "Injection Anchors for Use in Masonry Structures", A. Meyer and R. Eligehausen, 13th International Brick and Block Masonry Conference Amsterdam, (July 4th-7th/2004) pg.:1-10.

- 26. "Injected anchors for the seismic retrofit of historical masonry buildings: Experimental study on brick masonry", Silveri F., Riva P., Profeta G., Poverello E., Algeri C., 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions SAHC2014, Mexico City, Mexico, (October 14th-17th/2014), pg.:1-12.
- 27. "Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components", Applied Technology Council, FEMA 461(2007) pg.:1-138.
- 28. "New Design Approaches for Metal Injection Anchors in Masonry", Georg Welz, 3rd International Symposium on Connections between Steel and Concrete, Stuttgart, Germany, (September 27th -29th/2017) pg.:1-12.
- 29. "Observations from the 2010/2011 Canterbury Earthquakes and Subsequent, Experimental Pull-Out Test Program of Wall-to-Diaphragm Adhesive Connections", D. Dizhur, J. Campbell, A. Schultz, and J. Ingham, Research Fellow, Department of Environmental and Civil Engineering, 2013 NZSEE Conference, Auckland, Newsealand, (April 26th-28th/2013) pg.: 1-12.
- "Post-Installed fasteners in Concrete under Seismic Action", European Organisation for Technical Assessments: EOTA Technical Report 049, Brussels edition: (August 2016) pg.:1-44.
- "Prove Sperimentali di Estrzione di Ancoraggi Iniettati in Murature Storiche", Cristiano Algeri, Elena Poverello, Ezio Giuriani, Giovanni Plizzari, CIAS, Italy, (2015) pg.:1-23.
- 32. "Seismic Behaviour of Post-Installed Anchors: Non-Structural Components and Art Objects Fastening", Marco Abate, Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, University of Padua, Italy (2014) pg.:1-223.
- 33. "Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements", ASTM International, Designation: E488–96 (Reapproved 2003) pg.:18.
- 34. "Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements", ASTM International, Designation: E488/E488M–15, (2015) pg.:1-12.
- 35. "Static Behavior and Strength of Adhesively Bonded Anchors in Concrete and Masonry", Jiahui Chen, Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, Canada, (2004) pg.:1-269.
- 36. "Strain rate behavior of adhesive anchors in masonry", A. Braimah, R. Guilbeault and E. Contestabile, Engineering Structures vols.67 (2014) pg.:96–108.

- 37. "Strength of anchors in masonry", F. Arifovic and M. P. Nielsen, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark (October, 2004) pg.:1-213.
- 38. "Strengthening of Masonry Assemblages with FRP Rods and Laminates", D. Tinazzi, C. Modena and A. Nanni, International Meeting on Composite Materials, PLAST 2000, Proceedings, Advancing with Composites 2000, Ed. I. Crivelli-Visconti, Milan, Italy, (May 9th-11th/2000), pg.:411-418.
- 39. "Structural Design of Supplementary Injection Anchors Inside Masonry", Birger Gigla, 15th International Brick and Block Masonry Conference Florianópolis, Brazil (2012) pg.:1-10.
- 40. "Test of Post-installed fastening to concrete structures in Seismic Regions", R. Eligehausen and M. Hoehler, Research Gate Conference Paper (May 2003) pg.:1-13.
- 41. "Testing and design procedure for corner connections of masonry heritage buildings strengthened by metallic grouted anchors", S. Paganoni and D. D'Ayala, Engineering Structures vols.70 (2014) pg.:278–293.
- 42. "Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln unter Querund Schrägzugbelastung im Mauerwerk", Andrea Meyer, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart (2011) pg.:1-257.
- 43. "Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in Mauerwerk", Andrea Meyer, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Universität Stuttgart (2005) pg.:1-275.

Ιστοσελίδες

www.whc.unesco.org www.tonerarch.com www.diazoma.gr www.researchgate.com www.eclass.upatras.gr www.hilti.gr www.eclass.aspete.gr/modules/document/file.php www.agirosis.gr www.metalocus.es www.oikonomou-anakainiseis.gr www.papageorgioukilkis.blogspot.com www.allfasteners.com

www.xalkis-sa.com www.panagiotopoulos.gr