



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ
ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ
ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΔΟΜΩΝ

Αθανάσιος Μπατάλιας

Επιβλέπων: Χαράλαμπος Μουζάκης

Αν. Καθηγητής ΕΜΠ

[Αθήνα, Νοέμβριος 2022]

Ευχαριστίες

Με την κατάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών οφείλω πρωτίστως ένα ευχαριστώ από καρδιάς στον επιβλέποντα της εργασίας μου Χαράλαμπο Μουζάκη Αν. Καθηγητή ΕΜΠ, για την ανάθεση της εργασίας, την πολύτιμη καθοδήγηση, τον χρόνο που αφιέρωσε στη διόρθωση και στην αξιολόγησή της και γενικότερα για την άριστη συνεργασία και το πλήθος των γνώσεων που μου μετέδωσε. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την Δρ. Λουτσία Καράπιττα για την καταλυτική βοήθειά της σε όλη την έκταση της διπλωματικής.

Οφείλω ακόμη ένα ευχαριστώ στους Μιχαήλ Φραγκιαδάκη Αν. Καθηγητές ΕΜΠ και Παύλο Θανόπουλο Λέκτορας ΕΜΠ για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Λυδία Πανουτσοπούλου και Νικηφόρο Μεϊμάρογλου για συνδρομή τους στα εργαστηριακά πειράματα.

Τέλος, θα αποτελούσε παράλειψη να μην ευχαριστήσω όλους τους συμφοιτητές και φίλους που με στήριξαν σε αυτό το ταξίδι των φοιτητικών ετών μου, αλλά και την οικογένειά μου για την αγάπη και την υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής βάσει πειραματικών ελέγχων επί πρισματικών δοκιμίων (κατά το πρότυπο EN 1052-1). Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Στο πειραματικό μέρος κατασκευάστηκαν 24 δοκίμια τοιχοποιίας. Η κάθε μια τοιχοποιία αποτελείται από τα τοιχοσώματα και από το συνδετικό κονίαμα. Για τοιχοσώματα επιλέχθηκαν διάτρητοι οπτόπλινθοι 12 οπών όπου προσδιορίσθηκε πειραματικά η θλιπτική τους αντοχή (κατά το πρότυπο EN 772-1), και για το κονίαμα βάσει πειραματικών δοκιμών (κατά το πρότυπο EN 1015-11), υπολογίσθηκε η μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{mc} σε (MPa) από την οποία προκύπτει η ποιότητα του κονιάματος, καταλήγοντας έτσι στις εξής ποιότητες κονιαμάτων: M1, M2.5, M5, M10, M20 και M30. Ανάλογα των αναφερόμενων κατηγοριών ποιότητας κονιαμάτων, κατασκευάστηκαν τουλάχιστον τρία (3) δοκίμια τοιχοποιίας για κάθε μία από τις αντίστοιχες κατηγορίες (κατά EN 1052-1).

Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της χαρακτηριστικής πειραματικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας f_k με διάφορες ημιεμπειρικές σχέσεις που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία για τις προαναφερθείσες ποιότητες κονιαμάτων, καθώς ακόμα και ο προσδιορισμός των διαγραμμάτων μέγιστης θλιπτικής δύναμης (kN) μέχρι την αστοχία του κάθε δοκιμίου συνάρτησή του χρόνου, και των διαγραμμάτων παραμορφώσεων σε συνάρτηση με το χρονικό σημείο όπου η παραμόρφωση αυτή αντιστοιχεί στο ένα τρίτο (1/3) της μέγιστης θλιπτικής δύναμης. Επιπρόσθετα, προσδιορίσθηκε το θεωρητικό μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας χρησιμοποιώντας ημιεμπειρικές σχέσεις διαφόρων ερευνητών.

Συμπερασματικά, η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας αυξάνει καθώς αυξάνει η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Από τη σύγκριση των ημιεμπειρικών θλιπτικών αντοχών τοιχοποιίας σε σχέση με της πειραματικές δοκιμές προκύπτει ικανοποιητική προσέγγιση με τη βιβλιογραφία στις σχέσεις όπου ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι συνάρτηση της αντοχής τοιχοσωμάτων (οπτόπλινθων) και της αντοχής του κονιάματος. Αντίθετα, οι σχέσεις που προσδιορίζουν την θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μόνο μέσω της αντοχής των τοιχοσωμάτων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις πειραματικές αντοχές. Από την σύγκριση των διαγραμμάτων ημιεμπειρικών και πειραματικών αντοχών τοιχοποιίας διαπιστώνεται πως ο ευρωκώδικας 6 παρουσιάζει ικανοποιητική προσέγγιση με τα αποτελέσματα των πειραματικών αντοχών της παρούσας μελέτης, ενώ στις διάφορες αντίστοιχες ερευνητικές αναφορές που προσδιορίζονται στην βιβλιογραφία σε άλλοτε διαφορετικό βαθμό εμφανίζουν αποκλίσεις από την προσδιοριζόμενη πειραματική αντοχή.

Abstract

The aim of this thesis is to determine the compressive, based on experimental tests on prismatic specimens (according to EN 1052-1 standard), carried out in the Earthquake Technology Laboratory of the School of Civil Engineering NTUA.

In the experimental part, 24 masonry samples were constructed. Each masonry consists of the bricks and the binding mortar. For bricks, 12-hole perforated bricks were chosen, where their compressive strength was determined experimentally (according to the EN 772-1 standard), and for the mortar based on experimental tests according to the EN 1015-11 standard, the average compressive strength of mortar f_{mc} in (MPa) was calculated from which the quality of the mortar is derived, thus resulting in the following qualities of mortars: M1, M2.5, M5, M10, M20 and M30. Depending on the listed mortar quality categories, at least three (3) masonry samples were made for each of the respective categories, in (according to EN 1052-1).

Additionally, there was a comparison to the results of the characteristic experimental compressive strength of masonry f_k with various semi-empirical relations recorded in the bibliography regarding the above-mentioned mortar qualities. Also, the diagrams of maximum compressive force (kN) until failure of each specimen as a function of time were determined, and deformation diagrams as a function of the time where this deformation corresponds to one third (1/3) of the maximum compressive force. Finally, the theoretical modulus of elasticity of the masonry was determined using semi-empirical relationships of various researchers.

In conclusion, the compressive strength of masonry increases as the compressive strength of the mortar increases. From the comparison of the semi-empirical compressive strengths of masonry in relation to the experimental tests, a satisfactory approximation with the bibliography results in the relations where the determination of the compressive strength of the masonry is a function of the strength of the masonry (bricks) and the strength of the mortar. On the contrary, the relations that determine the compressive strength of the masonry only through the strength of the masonry show significant deviations from the experimental strengths. From the comparison of the diagrams of semi-empirical and experimental masonry strengths, it is found that the Eurocode 6 presents a satisfactory approximation with the results of the experimental strengths of the present study, while in the various corresponding research reports identified in the bibliography, to a different extent, they show deviations from the determined experimental strength.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	1
1.1 Αντικείμενο σκοπός.....	1
1.2 Δομή της εργασίας	2
2. Υλικά κατασκευής τοιχοδομών	3
2.1 Γενικά.....	3
2.2 Οπτόπλινθοι	3
2.2.1 Κατηγορίες τεχνητών τοιχοσωμάτων κατά EC 6	4
2.2.2 Παραγωγή οπτόπλινθων	6
2.2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπτόπλινθων	7
2.3 Οπτόπλινθοι για τις πειραματικές δοκιμές.....	8
2.4 Θλιπτική αντοχή διάτρητης οπτοπλίνθου πειραματικών δοκιμών.	9
2.5 Κονιάματα δόμησης	13
2.5.1 Γενικά.....	13
2.5.2 Θλιπτική αντοχή κονιάματος πειραματικών δοκιμών	15
3. Θεωρητική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας	19
3.1 Γενικά.....	19
3.2 Εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας	19
3.2.1 Προσδιορισμός συντελεστή δ της ανηγμένης θλιπτικής αντοχής τοιχοσώματος.	24
4. Πειραματικός προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας.....	25
5. Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών	30
5.1.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων πειραματικών δοκιμών	31
5.1.2 Σύγκριση πειραματικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας με τη θλιπτική αντοχής τοιχοποιίας κατά Ευρωκώδικα 6 καθώς και με ημιεμπειρικές σχέσεις ερευνητών	77
5.1.3 Προσδιορισμός θεωρητικού μέτρου ελαστικότητας τοιχοποιίας	85
6. Συμπεράσματα	87
Βιβλιογραφία	89

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2-1: Τυπικές διαστάσεις και πάχη εξωτερικών τοιχωμάτων 120πων οπτοπλίνθων.....	7
Πίνακας 2-2: Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος, ομάδας 2	11
Πίνακας 2-3: Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος, ομάδας 3	11
Πίνακας 2-4: Μέση θλιπτική αντοχή τούβλων ομάδας 2	12
Πίνακας 2-5: Μέση θλιπτική αντοχή τούβλων ομάδας 3	12
Πίνακας 2-6: Αναλογία κατ' όγκον υλικών κονιαμάτων κατά EN 998-2.....	14
Πίνακας 2-7: Αναλογία συνθέσεων μειγμάτων κονιαμάτων ποιότητας M5 & M10 ..	16
Πίνακας 2-8: Αποτελέσματα κονιάματος τοίχου T1.....	18
Πίνακας 2-9: Μ.Ο Αποτελεσμάτων κονιάματος τοίχου T1	18
Πίνακας 3-1: Τιμές του μειωτικού συντελεστή K	23
Πίνακας 3-2: Συντελεστής αναγωγής δ	24
Πίνακας 5-1: Ποιότητα κονιάματος Τοίχων.....	30
Πίνακας 5-2: Κατάταξη τοίχων	31
Πίνακας 5-3:Αποτελέσματα κατηγορίας M1: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	41
Πίνακας 5-4: : Αποτελέσματα κατηγορίας M2.5: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	48
Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα κατηγορίας M5: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	54
Πίνακας 5-6: Αποτελέσματα κατηγορίας M10: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	58
Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα κατηγορίας M20: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	64
Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα κατηγορίας M30: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.....	76
Πίνακας 5-9: Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή οπτόπλινθων πειραματικών δοκιμών	79

Πίνακας 5-10: Αποτελέσματα Χαρακτηριστικών Θλιπτικών αντοχών τοιχοποιίας ημιεμπειρικών σχέσεων & πειραματικών δοκιμών	79
Πίνακας 5-11: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας μέσω ημιεμπειρικών σχέσεων	86

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2-1: Διαστάσεις τούβλου που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα	7
Εικόνα 2-2: Μορφή 12-οπου οπτόπλινθου	8
Εικόνα 2-3: Πειραματικός προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τούβλου στη πρέσα της εταιρίας GALDABINI σε διεύθυνση κάθετα στις οπές.....	10
Εικόνα 2-4: Αστοχία δοκιμίων οπτόπλινθων υπό την εφαρμογή του θλιπτικού φορτίου.....	11
Εικόνα 2-5: Δοκίμιο κονιάματος δόμησης.....	16
Εικόνα 2-6: Κάμψη τριών σημείων σε δοκίμια κονιάματος δόμησης	17
Εικόνα 2-7: Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.....	17
Εικόνα 4-1: Πρέσα.....	27
Εικόνα 4-2:διάταξη οργάνων.....	28
Εικόνα 4-3: Αστοχία δοκιμίου.....	28
Εικόνα 4-4: Μήκος οργάνων σε mm.....	29
Εικόνα 5-1: Αστοχία τοίχου T13 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	33
Εικόνα 5-2: Αστοχία τοίχου T15 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	37
Εικόνα 5-3: Αστοχία τοίχου T16 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	39
Εικόνα 5-4: Αστοχία τοίχου T17 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	41
Εικόνα 5-5: Αστοχία τοίχου T18 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	43
Εικόνα 5-6: Αστοχία τοίχου T23 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	45
Εικόνα 5-7: Αστοχία τοίχου T24 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	47
Εικόνα 5-8: Αστοχία τοίχου T19 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου.....	50

Εικόνα 5-9: Αστοχία τοίχου T20 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	52
Εικόνα 5-10: Αστοχία τοίχου T22 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	54
Εικόνα 5-11: Αστοχία τοίχου T1 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	56
Εικόνα 5-12: Αστοχία τοίχου T2 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	58
Εικόνα 5-13: Αστοχία τοίχου T3 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	60
Εικόνα 5-14: Αστοχία τοίχου T4 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	61
Εικόνα 5-15: Αστοχία τοίχου T7 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	63
Εικόνα 5-16: Αστοχία τοίχου T5 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	66
Εικόνα 5-17: Αστοχία τοίχου T6 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	68
Εικόνα 5-18: Αστοχία τοίχου T8 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	70
Εικόνα 5-19: Αστοχία τοίχου T9 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	72
Εικόνα 5-20: Αστοχία τοίχου T10 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	74
Εικόνα 5-21: Αστοχία τοίχου T12 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο.....	76

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 5-1: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T13	32
Σχήμα 5-2: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T13.....	32
Σχήμα 5-3: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T13	33
Σχήμα 5-4: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T14	34
Σχήμα 5-5: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T14.....	34
Σχήμα 5-6: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T14	35
Σχήμα 5-7: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T15	36
Σχήμα 5-8: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T15.....	36
Σχήμα 5-9: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T15.	37
Σχήμα 5-10: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T16	38
Σχήμα 5-11: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T16.....	38
Σχήμα 5-12: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T17	39
Σχήμα 5-13: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T17.....	40
Σχήμα 5-14: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T17	40
Σχήμα 5-15: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T18	42
Σχήμα 5-16: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T18.....	42
Σχήμα 5-17: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T23	44
Σχήμα 5-18: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T23.....	44
Σχήμα 5-19: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T23	45

Σχήμα 5-20: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T24	46
Σχήμα 5-21: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T24.....	46
Σχήμα 5-22: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T24	47
Σχήμα 5-23: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T19	49
Σχήμα 5-24: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T19.....	49
Σχήμα 5-25: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T19	50
Σχήμα 5-26: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T20	51
Σχήμα 5-27: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T20.....	51
Σχήμα 5-28: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T20	52
Σχήμα 5-29: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T22	53
Σχήμα 5-30: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T22.....	53
Σχήμα 5-31: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T1	55
Σχήμα 5-32: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T1.....	55
Σχήμα 5-33: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T1	56
Σχήμα 5-34: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T2	57
Σχήμα 5-35: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T2.....	57
Σχήμα 5-36: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T3	59
Σχήμα 5-37: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T3.....	59
Σχήμα 5-38: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T4	60
Σχήμα 5-39: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T4.....	61
Σχήμα 5-40: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T7	62

Σχήμα 5-41: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T7.....	62
Σχήμα 5-42: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T7 .	63
Σχήμα 5-43: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T5	65
Σχήμα 5-44: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T5.....	65
Σχήμα 5-45: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T5 .	66
Σχήμα 5-46: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T6	67
Σχήμα 5-47: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T6.....	67
Σχήμα 5-48: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T6 .	68
Σχήμα 5-49: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T8	69
Σχήμα 5-50: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T8.....	69
Σχήμα 5-51: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T8 .	70
Σχήμα 5-52: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T9	71
Σχήμα 5-53: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T9.....	71
Σχήμα 5-54: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T9 .	72
Σχήμα 5-55: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T10	73
Σχήμα 5-56: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T10.....	73
Σχήμα 5-57: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T12	74
Σχήμα 5-58: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T12.....	75
Σχήμα 5-59: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T12	75
Σχήμα 5-60: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτικής αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & EC6 ανάλογα της αντοχής του κονιάματος	80
Σχήμα 5-61: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτικής αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Bennett et al. ανάλογα της αντοχής του κονιάματος	81
Σχήμα 5-62: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Dayaratnan ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	81

Σχήμα 5-63: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & MSJC ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	82
Σχήμα 5-64: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Kaushik et al. ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	82
Σχήμα 5-65: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Gumaste and Venkatarama Reddy ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	83
Σχήμα 5-66: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Hendry and Malek ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	83
Σχήμα 5-67: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ημιεμπειρικών σχέσεων & πειραματικής χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας ανάλογα της αντοχής του κονιάματος.....	84

1. Εισαγωγή

Η τοιχοποιία είναι το αρχαιότερο δομικό υλικό. Όμως η χρήση σύγχρονων υλικών από τα μεταπολεμικά χρόνια μέχρι και σήμερα έχει περιορίσει τη χρήση της κυρίως στην πλήρωση του σκελετού των οικοδομικών έργων. Τη δεκαετία του '70 αρχίζει έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον για την τοιχοποιία γενικότερα και ειδικότερα για τη φέρουσα, που συνεχίζεται ακόμα. Η έρευνα υπαγορεύθηκε κυρίως από τις ανάγκες συντήρησης των παλαιών κατασκευών που αποτελούν μνημεία της πολιτιστικής κληρονομιάς κάθε λαού, στη συνέχεια η έρευνα επεκτείνεται και στη μελέτη της συμπεριφοράς και της βελτίωσης σε σύγχρονες κατασκευές. Η γνώση που αποκτήθηκε από την έρευνα σε συνδυασμό με ανάπτυξη των μεθόδων παραγωγής των τεχνητών τοιχοσωμάτων ώστε να έχουν σταθερές και ελεγχόμενες ιδιότητες, είχε ως συνέπεια τη σύνταξη κανονισμών σε πολλά κράτη, όπως και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο Ευρωκώδικας 6 διέπει τα της μελέτης και κατασκευής οικοδομικών έργων από τοιχοποιία. Οι οπτοπλινθοδομές, όταν αποτελούνται από ψημένες (οπτές) πλίνθους, κοινώς τούβλα, τα οποία είναι από αργιλικό υλικό (πηλό). Κατασκευές από φέρουσα οπτοπλινθοδομή αποτελούν την πλειονότητα των κτιρίων σε πολλές περιοχές του κόσμου. Τοιχοποιίες από οπτοπλινθοδομή κατασκευάζονται σήμερα είτε ως φέρουσες είτε ως τοιχοπληρώσεις σε κατασκευές με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα ή χάλυβα. Στην Ελλάδα οι οπτόπλινθοι είναι σήμερα σχεδόν το αποκλειστικό υλικό πληρώσεως στα κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1.1 Αντικείμενο σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στον πειραματικό προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας και στη σύγκριση αυτής της θλιπτικής αντοχής με άλλες ημιεμπειρικές σχέσεις θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας που καταγράφει στη βιβλιογραφία από διάφορους ερευνητές. Καθώς ακόμα και στον προσδιορισμό του θεωρητικού μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας μέσα από ημιεμπειρικές σχέσεις, όπως και στον σχεδιασμό των διαγραμμάτων παραμορφώσεων συνάρτηση του χρόνου επιβολής του θλιπτικού φορτίου. Κύριο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η κατασκευή 24 δοκιμών τοιχοποιίας τα οποία υποβλήθηκαν σε μονοαξονική θλίψη μέχρι την αστοχία. Γίνεται διερεύνηση της συμπεριφοράς των δοκιμών κατά τη θλίψη σε συνάρτηση με την ποιότητα του κονιάματος και συγκρίνονται οι διαφορές στην τελική αντοχή της τοιχοποιίας.

1.2 Δομή της εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

1^ο Κεφάλαιο: Γίνεται εισαγωγή στο θέμα της εργασίας

2^ο Κεφάλαιο: Παρουσιάζεται συνοπτικά τα θεωρητικά και πειραματικά στοιχεία των επιμέρους υλικών που αποτελούν την τοιχοποιία.

3^ο Κεφάλαιο: Παρουσιάζεται η θεωρητική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας, όπως καταγράφεται στη βιβλιογραφία.

4^ο Κεφάλαιο: Περιγράφεται η πειραματική διαδικασία κατασκευής και θραύσης δοκιμίων τοιχοποιίας βάση της οποίας προκύπτει η πειραματική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας.

5^ο Κεφάλαιο: Περιγράφονται τα αποτελέσματα από την πειραματική διαδικασία και γίνεται η αξιολόγησή τους, και σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων με διάφορες ημιεμπειρικές σχέσεις ερευνητών.

6^ο Κεφάλαιο: Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

2. Υλικά κατασκευής τοιχοδομών

2.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, που πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο αντισεισμικής τεχνολογίας, για την διεξαγωγή των πειραματικών δοκιμών τα δοκίμια κατασκευαστήκαν από υλικά τα οποία αντιπροσωπεύουν κατασκευές φέρουσας τοιχοποιίας. Ειδικότερα, σκοπός των πειραμάτων ήταν η προσέγγιση της συμπεριφοράς κτηρίων από οπτοπλινθοδομή τα οποία κατασκευάστηκαν από κονιάματα υψηλής και χαμηλής αντοχής. Έτσι, η επιλογή των τούβλων και του τσιμεντοκονιάματος στο εργαστήριο έγινε έτσι ώστε να προσομοιάζεται η πλειονότητα των νέων κατασκευών από οπτοπλινθοδομή. Επιπροσθέτως, επιλέχθηκε το μέγεθος των οπτόπλινθων να είναι αυτό που ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται στην πράξη (12-οπη).

2.2 Οπτόπλινθοι

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 6 ως λιθόσωμα ορίζεται ένα στοιχείο το οποίο έχει διαμορφωθεί κατάλληλα για να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή τοιχοποιίας. Με βάση την προέλευσή τους τα λιθοσώματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- τα φυσικά τα οποία προέρχονται από φυσικούς λίθους και είναι από τα πρώτα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν
- τα τεχνητά τα οποία είναι προϊόντα βιομηχανίας

Τα τεχνητά λιθοσώματα που χρησιμοποιήθηκαν πρώτα ήταν οι ωμόπλινθοι (χωματόπλιθες). Η κατασκευή αυτών των λιθοσωμάτων γινόταν επί τόπου στο έργο, ωστόσο λόγω της πολύ μικρής αντοχής και της συγκράτησης υγρασίας έπαψαν να χρησιμοποιούνται. Με την πρόοδο της τεχνολογίας των δομικών υλικών διαμορφώθηκαν αρκετοί τύπου λιθοσωμάτων με ποικίλες ιδιότητες και πλεονεκτήματα και με βάση το πρότυπο EN 771 διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- αργιλικόι οπτόπλινθοι συμπεριλαμβανομένων των ελαφροβαρών αργιλικών (EN 771.01)
- πλίνθοι εκ πυριτικού ασβεστίου (EN 771.02)
- τσιμεντόλιθοι από κονίαμα ή ελαφροβαρή αδρανή (EN 771.03)
- αυτόκλεστοι κυψελωτοί τσιμεντόλιθοι (EN 771.04)

2.2.1 Κατηγορίες τεχνητών τοιχοσωμάτων κατά EC 6

Η μορφή των τοιχοσωμάτων και ιδιαίτερα το αν είναι συμπαγή ή διάτρητα καθώς και το ποσοστό των οπών και το πάχος των τοιχοσωμάτων τους, καθορίζουν σε ένα βαθμό την αντοχή της τοιοχοποιίας. Προκειμένου να ληφθούν υπόψη αυτοί οι παράγοντες, αρκετοί συντελεστές, που ορίζουν μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιοχοποιίας, εξαρτώνται από τα ανωτέρω χαρακτηριστικά των τοιχοσωμάτων. Για το λόγο αυτό, κατά τον EC 6 τα τοιχοσώματα ανάλογα του είδους τους (συμπαγή ή διάτρητα, μέγεθος και ποσοστό οπών κ.α.), χωρίζονται σε τέσσερις ομάδες.

Ομάδα 1

Στην ομάδα αυτή ανήκουν:

α.) τοιχοσώματα χωρίς οπές και χωρίς εγκοπές ή εσοχές στις επιφάνειες διάστρωσης (έδρες)

β.) τοιχοσώματα με οπές σε ποσοστό μικρότερο 25% κατ' όγκον, που συγχρόνως εκπληρούν την ακόλουθη συνθήκη:

- ο όγκος κάθε οπής δεν υπερβαίνει το 12.5% του μικτού όγκου του τοιχοσώματος.

Τα φυσικά τοιχοσώματα ως μη έχοντα οπές κατατάσσονται στην Ομάδα 1.

Ομάδα 2

Στην ομάδα αυτή ανήκουν τοιχοσώματα με κατακόρυφες οπές και αναλόγως του υλικού τους:

Για αργιλικές οπτόπλινθους ισχύουν τα εξής:

- το ποσοστό κενών κατ' όγκον είναι μεταξύ 25% και 55%
- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 1% του όγκου του τοιχοσώματος και εσοχές συνολικά μέχρι 12.5% κατ' όγκον
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 5 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 8 mm
- το άθροισμα του πάχους των τοιχοσωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχοσώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκαρσίως στο επίπεδο του τοίχου, δεν είναι πουθενά μικρότερο από 16% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος

Για ασβεστοπυριτικά τοιχοσώματα ισχύουν τα εξής:

- το ποσοστό των κενών κατ' όγκο είναι μεταξύ 25% και 55%
- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 15% του όγκου του τοιχοσώματος και εσοχές συνολικά μέχρι 30% κατ' όγκον

- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 5 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 10 mm
- το άθροισμα του πάχους των τοιχοσωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχοσώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκαρσίως στο επίπεδο του τοίχου, δεν είναι πουθένα μικρότερο από 20% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος

Για τιμεντόλιθους ισχύουν τα εξής:

- το ποσοστό κενών κατ' όγκον είναι μεταξύ 25% και 50%
- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 15% του όγκου του τοιχοσώματος και εσοχές συνολικά μέχρι 30% κατ' όγκον
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 15 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 20 mm
- το άθροισμα του πάχους των τοιχοσωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχοσώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκαρσίως στο επίπεδο του τοίχου, δεν είναι πουθένα μικρότερο από 20% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος

Ομάδα 3

Τοιχοσώματα με κατακόρυφες οπές αναλόγως του υλικού.

Για αργιλικές οπτόπλινθους ισχύουν τα εξής:

- το ποσοστό κενών κατ' όγκον είναι μεταξύ 55% και 70%
- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 1% του όγκου του τοιχοσώματος και εσοχές συνολικά μέχρι 12.5% κατ' όγκον
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 3 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 6 mm
- το άθροισμα του πάχους των τοιχοσωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχοσώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκαρσίως στο επίπεδο του τοίχου, δεν είναι πουθενά μικρότερο από 12% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος

Για τιμεντόπλινθους ισχύουν τα εξής:

- το ποσοστό κενών κατ' όγκον είναι μεταξύ 50% και 70%
- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 15% του όγκου του τοιχοσώματος και εσοχές συνολικά μέχρι 30% κατ' όγκον
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 15 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 15 mm
- το άθροισμα του πάχους των τοιχοσωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχοσώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκαρσίως στο επίπεδο του τοίχου, δεν είναι πουθενά μικρότερο από 15% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος

Ομάδα 4

Στην ομάδα αυτή ανήκουν τοιχοσώματα με οριζόντιες οπές σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% και μικρότερο από 70% κατ' όγκον και συγχρόνων εκπληρούνται οι κατωτέρω συνθήκες:

Για αργιλικά τοιχοσώματα ισχύουν τα εξής:

- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο μικρότερο από 8% του όγκου του τοιχοσώματος και αν υπάρχει μία οπή, έχει όγκο μικρότερο από 25% του όγκου του τοιχοσώματος
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 5 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 6 mm

Για τσιμεντόλιθους ισχύουν τα εξής:

- κάθε μεμονωμένη οπή έχει όγκο το πολύ 25% του όγκου του τοιχοσώματος
- το πάχος των τοιχοσωμάτων των οπών είναι τουλάχιστον 20 mm και του περιμετρικού τοιχοσώματος 20 mm

Σημειώνεται ότι σύμφωνα με το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής του Ευρωκώδικα 6 (1996) καθορίζεται ότι για άοπλη τοιχοποιία το πάχος του εξωτερικού τοιχοσώματος των χρησιμοποιούμενων τοιχοσωμάτων δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 10 mm ανεξαρτήτως ομάδας.

Οι απαιτήσεις ελάχιστης θλιπτικής αντοχής οπτοπλίνθων (κατά Ευρωκώδικα 6) είναι οι εξής:

- Θλιπτική κάθετη προς την πλευρά έδρασης: min 2.5 MPa.
- Θλιπτική αντοχή παράλληλα προς την πλευρά έδρασης: min 2.0 MPa.

2.2.2 Παραγωγή οπτόπλινθων

2.2.2.1 Πρώτες ύλες

- Κύριες: Αργιλοαμμώδες χώμα, νερό.
- Δευτερεύουσες: Διάφορα πρόσθετα.

2.2.2.2 Στάδια παραγωγής

Για την παραγωγή οπτόπλινθων ακολουθούνται τα εξής στάδια παραγωγής:

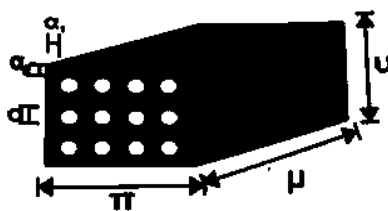
α.) Προετοιμασία της πρώτης ύλης (πηλός) με καθορισμένες αναλογίες αργίλου, άμμου και νερού.

β.) Καθορισμός σχήματος με τη βοήθεια κατάλληλων καλουπιών

- γ.) Ξήρανση του υλικού σε αέρα ή σε ειδικούς θαλάμους (ξηραντήρια)
- δ.) Όπτηση σε καμίνια και στερεοποίηση σε θερμοκρασία 1000°C
- ε.) Ψύξη

2.2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπτόπλινθων

Υπάρχει μεγάλη διακύμανση ως προς τις διαστάσεις των οπτόπλινθων που παράγονται βιομηχανικά. Το μήκος του τούβλου πρέπει να είναι διπλάσιο του πάχους συν το πάχος ενός αρμού πάχους 1.0 cm, ενώ το ύψος προκύπτει αν από το πλάτος αφαιρεθεί το πάχος ενός αρμού και η διαφορά διαιρεθεί δια 2. Από στοιχεία που συνελέγησαν από ελληνικές βιομηχανίες προέκυψε ότι η συνθήκη για το ύψος των τούβλων δεν τηρείται σχεδόν ποτέ, ενώ εκείνη για το μήκος τηρείται εν μέρη μόνο, όπως φαίνεται από το στοιχείο του Πίνακα 2-1. Στον εν λόγω πίνακα παρατίθενται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά διαφόρων 12-οπων οπτόπλινθων που κυκλοφορούν στο εμπόριο.



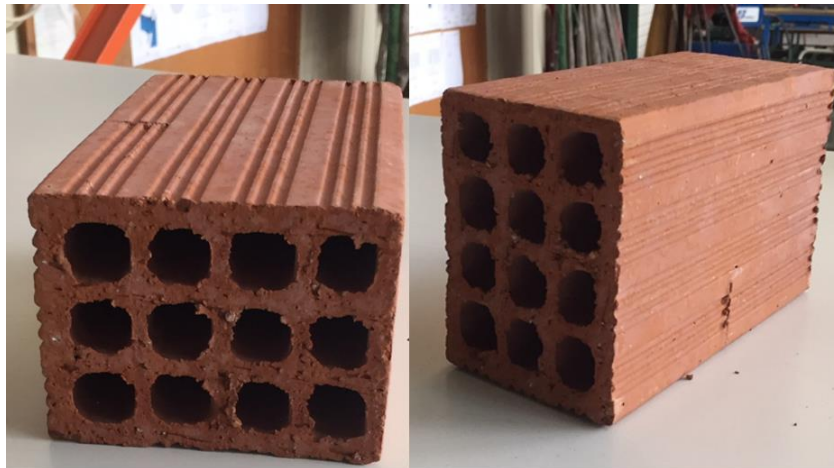
Εικόνα 2-1: Διαστάσεις τούβλου που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα

Πίνακας 2-1: Τυπικές διαστάσεις και πάχη εξωτερικών τοιχωμάτων 12οπων οπτοπλίνθων

M x Π x Υ (cmxcmxcm)	α_1 (cm)	α_2 (cm)	Ποσοστό οπών	Τεμ./m ² δρομικού	Τεμ./m ² μπατικού
33x18x14	1	1.1	46.0%	16/20	-
28x14x7	0.9	1.3	47.0%	23/44	84(υπερμπατικό)
19.1x11x8.5	1	1	22.7%	53	88
19x12x9	1	1.1	28.3%	50	77
19x12x9	0.9	0.9	39.0%	50	77
19x11.4x8.6	1.1	1	21.5%	53	84
19x11x8.6	1	1	22.4%	52	87
19x11x8.5	0.9	0.8	40.3%	53	88
19x11x8.4	1	1	23.0%	54	89
19x10x7.8	0.6	0.6	43.3%	57	104
18.9x10.9x8.5	1.1	1	22.9%	52	89
18.9x10.8x8.7	1	1	22.6%	52	88
18.8x11.3x8.4	0.8	1	32.2%	54	87
18.7x10.8x8	0.9	0.8	43.6%	57	95
18.6x10.7x8.1	0.6	0.9	31.4%	63	105
18.4x11x8.4	1	1	33.0%	55	89
18.2x11x8.5	1.5	1.2	27.2%	55	88
18x11x8.5	1.1	1	28.9%	56	88
18x11x8.2	1	1	23.5%	58	91

2.3 Οπτόπλινθοι για τις πειραματικές δοκιμές

Οι πειραματικές δοκιμές έγιναν με τεχνητά τοιχοσώματα και ειδικότερα με αργλικές οπτόπλινθους (κατά EN 771.01) οι οποίοι προέρχονται τοπικό παραγωγό από την Χαλκίδα. Τα αργλικά τοιχοσώματα (οπτόπλινθοι ή κοινώς τούβλα) είναι αυτά που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον στην Ελλάδα και η διάκριση τους γίνεται με βάση των αριθμό των οπών τους. Για τις ανάγκες των πειραμάτων έγινε χρήση 12-οπων οπτόπλινθών. Στην Εικόνα 2-2 φαίνεται αργλική οπτόπλινθος, σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου με 12 οριζόντιες οπές κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής διατεταγμένες συνήθως σε σειρές και στήλες με στόχο την μείωση του βάρους, την αύξηση της θερμομόνωσης και της ηχομόνωσης.



Εικόνα 2-2: Μορφή 12-οπου οπτόπλινθου

Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οπτόπλινθοι με διαστάσεις 19 x 12 x 9 με 12 οριζόντιες οπές κυκλικής διατομής. Οι οπτόπλινθοι κατατάσσονται στην ομάδα 1 του Ευρωκώδικα 6 διότι:

- Το ποσοστό κατ' όγκον των οπών υπολογίστηκε και είναι 22% μικρότερο του 25% κατ' όγκον.
- Όγκος κάθε οπής δεν υπερβαίνει το 12.5% του μικτού όγκου του τοιχοσώματος.

2.4 Θλιπτική αντοχή διάτρητης οπτοπλίνθου πειραματικών δοκιμών.

Η θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας εξαρτάται και από τις αντίστοιχες αντοχές των τοιχοσωμάτων και του κονιάματος, επομένως για να έχουμε μια σαφή εικόνα της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας, θα πρέπει να προσδιορισθούν και οι αντίστοιχες θλιπτικές αντοχές τόσο των τούβλων όσο και των κονιαμάτων. Για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής των τούβλων, πραγματοποιήθηκαν πειραματικές δοκιμές θλιπτικής αντοχής οπτοπλίνθου κατά το πρότυπο EN 772-1 σε διεύθυνση φόρτισης κάθετα στις οπές, που έγιναν σε μία πρέσα 600 KN της εταιρίας GALDABINI στο εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας. Διεξήχθησαν τρεις ομάδες πειραμάτων με δοκίμια (τούβλα), όπου για κάθε ομάδα τούβλων προσδιορίστηκε η μέση θλιπτική αντοχή οπτόπλινου από τον έλεγχο 12 δοκιμών (τούβλων) τα οποία επιλέχθηκαν τυχαία από το σύνολο των τούβλων σε διάφορες σειρές της παλέτας που είχαμε προμηθευτεί από τοπικό παραγωγό της Χαλκίδας. Σε όλες τις ομάδες τούβλων έγινε διαβροχή σε κάθε ένα τούβλο και καπέλωμα (εφαρμογή λεπτής στρώσης τσιμεντοκονιάματος στην πλευρά έδρασης και στην πλευρά επιβολής του φορτίου)

Οι ομάδες δοκιμών (με τούβλα) χωρίζονται ως εξής:

- ομάδα 1: το καπέλωμα έγινε με τσιμεντοκονίαμα για αναλογίες κατ' όγκων υλικών ποιότητας M2.5, όπου μαζί με τη θραύση των δοκιμών του τούβλου πραγματοποιήθηκε και θραύση των δοκιμών του κονιάματος για τον προσδιορισμό και της θλιπτικής αντοχής του.
- ομάδα 2: το καπέλωμα έγινε με τσιμεντοκονίαμα για αναλογίες κατ' όγκων υλικών ποιότητας M5, όπου μαζί με τη θραύση των δοκιμών του τούβλου πραγματοποιήθηκε και θραύση των δοκιμών του κονιάματος για τον προσδιορισμό και της θλιπτικής αντοχής του.
- ομάδα 3: το καπέλωμα έγινε με έτοιμο βιομηχανικό ενισχυμένο τσιμεντοκονίαμα D-31 ποιότητας M20 της εταιρίας DUROSTICK, όπου απαιτείται η ανάμιξη με νερό (για αναλογίες νερού που αναγράφονται στο προϊόν) ώστε να προκύψει ο τσιμεντοπολτός, ομοίως πραγματοποιήθηκε η θραύση των δοκιμών του τούβλου και κονιάματος.

Παρακάτω παρατίθεται τα αποτελέσματα της μέσης θλιπτικής αντοχής f_{bc} από τις ομάδες δοκιμών (με τούβλα).

Ομάδα 1:

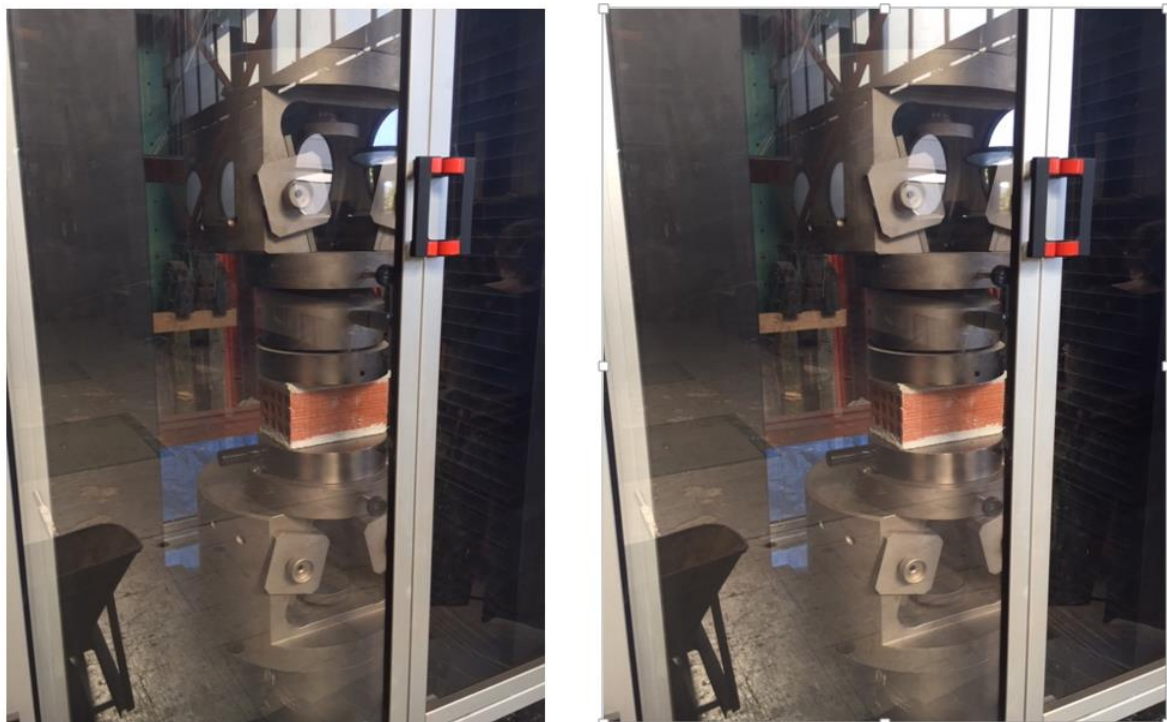
Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος $f_{mc} = 2.5$ MPa, μέσης θλιπτικής αντοχής τούβλων $f_{bc} = 3.76$ MPa

Ομάδα 2:

Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος $f_{mc} = 5.01$ MPa (Πίνακας 2-2), μέσης θλιπτικής αντοχής τούβλων $f_{bc} = 5.27$ MPa (Πίνακας 2-4)

Ομάδα 3:

Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος $f_{mc} = 17.71$ MPa (Πίνακας 2-3) μέσης θλιπτικής αντοχής τούβλων $f_{bc} = 6.78$ MPa (Πίνακας 2-5)



Εικόνα 2-3: Πειραματικός προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τούβλου στη πρέσα της εταιρίας GALDABINI σε διεύθυνση κάθετα στις οπές



Εικόνα 2-4: Αστοχία δοκιμών οπτόπλινθων υπό την εφαρμογή του θλιπτικού φορτίου

Πίνακας 2-2: Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος, ομάδας 2

Αριθμός δοκιμών (40x40) mm ²	f _{mc} (MPa)	F _{max} (N)
220922-1a	5,76	9217,5
220922-1b	5,04	8070
220922-2a	4,96	7938,8
220922-2b	4,85	7762,5
220922-3a	4,9	7837,5
220922-3b	4,55	7282,5
M.O.	5,01	8018,13

Πίνακας 2-3: Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος, ομάδας 3

Αριθμός δοκιμών (40x40) mm ²	f _{mc} (MPa)	F _{max} (N)
290822-1a	17,3	27678,8
290822-1b	17,21	27528,8
290822-2a	18,57	29718,8
290822-2b	17,77	28432,5
290822-3a	16,99	27180
290822-3b	18,4	29437,5
M.O.	17,71	28329,40

Πίνακας 2-4: Μέση θλιπτική αντοχή τούβλων ομάδας 2

Αριθμός δοκιμίων (187.5x112.5) mm ²	f_{bc} (MPa)	F_{max} (N)
1	6,02	126997,5
2	5,86	123630
3	5,54	116925
4	5,76	121537,5
5	5,39	113737,5
6	4,99	105206,3
7	5,56	117273,8
8	5,04	106365
9	4,82	101700
10	4,93	104002,5
11	4,38	92467,5
12	4,92	103830
M.O.	5,27	111139,38

Πίνακας 2-5: Μέση θλιπτική αντοχή τούβλων ομάδας 3

Αριθμός δοκιμίων (187.5x112.5) mm ²	f_{bc} (MPa)	F_{max} (N)
1	6,99	147465
2	6,31	133143,8
3	6	126510
4	5,95	125430
5	7,8	164448,8
6	5,78	121965
7	8,05	169852,5
8	7,24	152778,8
9	5,96	125741,3
10	7,89	166485
11	6,14	129412,5
12	7,22	152257,5
M.O.	6,78	142957,52

Από τις παραπάνω πειραματικές δοκιμές θλιπτικής αντοχής οπτόπλινθων καταλήξαμε ότι για μέση θλιπτική αντοχή οπτόπλινθων που θα χρησιμοποιήσουμε σε παρακάτω κεφάλαιο στις σχέσεις για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι αυτή της Ομάδας 1:

- Μέση θλιπτικής αντοχής οπτόπλινθων $f_{bc} = 3.76$ MPa, με μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος $f_{mc} = 2.5$ MPa.

2.5 Κονιάματα δόμησης

2.5.1 Γενικά

Η τοιχοποιία εκτός από τα τοιχοσώματα αποτελείται και από το συνδετικό κονίαμα που έχει ως σκοπό να ενώνει τα τοιχοσώματα ώστε να προκύψει ένας τοίχος αφενός ικανός να μεταφέρει με ασφάλεια τα φορτία για τα οποία προορίζεται και αφετέρου ανθεκτικός στη διάρκεια του χρόνου. Στην οπλισμένη τοιχοποιία το κονίαμα είναι εκείνο που περιβάλλει τον οπλισμό και εξασφαλίζει τη συνεργασία του τοίχου ως συνόλου. Είναι λοιπόν προφανές ότι οι μηχανικές ιδιότητες θα επηρεάζουν και προσδιορίζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας.

Τα παλιά κονιάματα ήταν μείγματα ασβέστου, χώματος και σε ορισμένες περιπτώσεις και κεραμικών θραυσμάτων ή ηφαιστειακής τέφρας, όπως στο ρωμαϊκό κονίαμα. Με την πάροδο των χρόνων, το χώμα αντικαταστάθηκε από άμμο, αργότερα προστέθηκε στο μίγμα και τσιμέντο που έχει ως συνέπεια την αύξηση της αντοχής του. Η άσβεστος εξασφαλίζει το εργάσιμο και η άμμος είναι ένα φθινό συμπληρωματικό υλικό (filler). Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται σήμερα για την κατασκευή φερόντων τοίχων πρέπει να είναι τσιμεντοκονιάματα ή ασβεστοκονιάματα.

Το κονίαμα ανάλογα της μορφής και της φάσης εφαρμογής τους χαρακτηρίζεται ως εξής:

- Ξηρό κονίαμα, είναι το πλήρες ομοιογενές μίγμα όλων των υλικών του κονιάματος εκτός του νερού.
- Νωπό κονίαμα, είναι το πλήρως αναμιγμένο μίγμα αποτελούμενο από τα ξηρά υλικά και το νερό, έτοιμο προς χρήση σε τοιχοποιία
- Σκληρυμένο κονίαμα, είναι το κονίαμα όπου με την πάροδο του χρόνου από νωπό κονίαμα, που είναι ακόμα ρευστό περνάει σε στερεή μορφή, εφόσον αναπτύσσονται οι αντιδράσεις ενυδάτωσης και σκλήρυνσης της πάστας των συνδετικών υλικών.

Κατά τον Ευρωκώδικα 6 τα κονιάματα διακρίνονται ως εξής:

- Κονιάματα γενικής χρήσης: Για αρμούς πάχους μεγαλύτερου από 3 mm, με πυκνότητα περίπου στα 1900-2100 kg/m³.
- Κονιάματα λεπτής στρώσης: Για αρμούς πάχους από 1 mm έως 3 mm.
- Ελαφροβαρή κονιάματα δόμησης: Με φαινόμενη πυκνότητα σκληρυμένου κονιάματος 1500 kg/m³.

Ανάλογα με τον τρόπο προσδιορισμού της σύνθεσής τους διακρίνονται σε εκείνα που:

- η σύνθεσή τους σχεδιάζεται
- η σύνθεσή τους προδιαγράφεται

Ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής διακρίνονται σε:

- βιομηχανικά (με έτοιμη αναλογία ή ανάμειξη)
- ημί-έτοιμα βιομηχανικά
- εργοταξιακά
- έτοιμα

Η ποιότητα ενός κονιάματος χαρακτηρίζεται από το γράμμα M (από το mortar = κονίαμα) ακολουθούμενο από τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του και εκείνα με προδιαγραφόμενη σύνθεση εκτός από το γράμμα M πρέπει να χαρακτηρίζονται από την αναλογία των υλικών τους κατ' όγκο. Η σύνθεση του κονιάματος αναφέρεται ως κατ' όγκο αναλογία των συστατικών στο μείγμα. Στους κανονισμούς η κυρίαρχη τάση είναι να αναφέρεται η σύνθεση του μείγματος θεωρώντας ως μονάδα αναφοράς τον 1 όγκο τσιμέντο, π.χ. ασβεστοτσιμεντοκονίαμα 1:2:3 είναι κονίαμα με 1 μέρος τσιμέντο, 2 μέρη άσβεστο και 3 μέρη άμμο.

Στον Πίνακα 2-6 παρουσιάζονται οι συνιστώμενες κατ' όγκον αναλογίες των συστατικών υλικών για την επίτευξη της αντίστοιχης ποιότητας κονιάματος κατά το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 998-2. Για φέρουσες τοιχοποιίες το χρησιμοποιούμενο κονίαμα πρέπει να είναι τουλάχιστον M2.5 κατά το Εθνικό Κείμενο Εφαρμογής του Ευρωκώδικα 6 και για σπλισμένες M10, η αντοχή του όμως είναι καλό να μην υπερβαίνει την αντοχή των τοιχοσωμάτων για την αποφυγή ψαθυρής αστοχίας με θραύση των λιθοσωμάτων.

Πίνακας 2-6: Αναλογία κατ' όγκον υλικών κονιαμάτων κατά EN 998-2

Ποιότητα Κονιάματος	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή (MPa)	Κατ' όγκον αναλογία		
		Τσιμέντο	Άσβεστος	Άμμος
M2.5	2.5	1	3	9
M5	5	1	2	6
M10	10	1	0.5	5
M20	20	1	-	3

Η αναγκαία ποσότητα νερού στο μείγμα είναι τόση ώστε να η ανάμειξη των υλικών και να εξασφαλιστεί ένα κονίαμα να μην έχει μεγάλη κάθιση, ώστε κατά τη διάστρωση να μη φεύγει πλάγια. Η μειωμένη ποσότητα νερού ή η απορρόφησή του από τα τοιχοσώματα (ειδικά τα αργιλικά) έχει ως συνέπεια τη μη εξάπλωση του κονιάματος και την επακόλουθη κακή επαφή τους. Για το λόγο αυτό συνίσταται τα τούβλα να διαβρέχονται πριν τη χρήση τους.

Η αύξηση του τσιμέντου στο κονίαμα το καθιστά ανθεκτικότερο, πυκνότερο και περισσότερο αδιαπέρατο, εξασφαλίζει καλύτερη συνοχή με τα τούβλα υπό κανονικές συνθήκες και ακόμα, γρηγορότερη σκλήρυνση υπό κανονική θερμοκρασία. Όμως αυξάνεται η συστολή ξήρανσης και προκαλούνται ρηγματώσεις στα τοιχοσώματα όταν είναι μικρής αντοχής. Η μείωση τσιμέντου στο μείγμα έχει ως συνέπεια λιγότερο ανθεκτικό αλλά περισσότερο πλαστικό κονίαμα με μικρότερη συνίζηση και ταιριάζει

καλύτερα με τοιχοσώματα μικρής αντοχής, μειώνει όμως τη συνοχή και την τελική αντοχή του τοίχου.

Η άμμος που αποτελείται από καλοδιαβαθμισμένους αιχμηρούς κόκκους προσδίδει στο κονίαμα πολύ υψηλότερη αντοχή αλλά μικρό εργάσιμο σε σχέση με άμμο λεπτής και με λείους κόκκους, η οποία επιπλέον μειώνει και τη συνοχή του κονιάματος.

Η χρήση της ασβέστου προσδίδει πλαστικότητα και στις οπτοπλινθοδομές εξασφαλίζει την κατακράτηση του νερού στο κονίαμα για την ενυδάτωση του τσιμεντού, που σε αντίθετη περίπτωση θα απορροφάται από τα τούβλα και μειώνει τη συστολή ξήρανσης. Τα ασβεστοτσιμεντοκονιάματα όμως έχουν κακή συμπεριφορά υπό συνθήκες παγετού πριν σκληρυνθούν, αλλά είναι ανθεκτικά μετά την σκλήρυνσή τους.

2.5.2 Θλιπτική αντοχή κονιάματος πειραματικών δοκιμών

Η μέτρηση της αντοχής κονιαμάτων f_m γίνεται αφενός βάσει πειραμάτων κάμψης 3-σημείων σε πρισματικά δοκίμια, αφετέρου βάσει πειραμάτων θλίψης στα τεμάχια που προκύπτουν από τη θραύση των παραπάνω δοκιμών. Για την παραπάνω δοκιμή κατασκευάστηκαν δοκίμια από το κονίαμα διαστάσεων 40 x 40 x 160 mm (Εικόνα 2-5) με τη χρήση μεταλλικών μητρών. Τα δοκίμια αυτά συντηρήθηκαν σε παρόμοιες συνθήκες με αυτές της τοιχοποιίας.

Για τη δοκιμή κάμψης 3-σημείων (Εικόνα 2-6) τα δοκίμια φορτίζονται στο μέσο του ανοίγματος με συγκεντρωμένο φορτίο η μέγιστη τιμή του οποίου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εφελκυστικής αντοχής από κάμψη (η τιμή αυτή καταγράφεται τη στιγμή της θραύσης των πρισμάτων στο μέσον). Χρησιμοποιούνται τρία δοκίμια για τη μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής από κάμψη και άρα προκύπτουν έξι για τη μέτρηση της θλιπτικής αντοχής κατά το πρότυπο EN 1015-11. Η δοκιμή θλιπτικής αντοχής πραγματοποιήθηκε σε υδραυλική μηχανή θλίψης διαστάσεων 40 x 40 mm πλευρά έδρασης και πλευρά επιβολής φορτίου (Εικόνα 2-7). Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας διεξήχθησαν οι παραπάνω εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό της ποιότητας του τσιμεντοκονιάματος που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των πρότυπων δοκιμών τοιχοποιίας. Έτσι επιλέχθηκαν οι εξής κατηγορίες κονιαμάτων δόμησης κατά EN 998-2:

- M1
- M2.5
- M5
- M10
- M20
- M30

Όπου για τις κατηγορίες M1, M2.5, M5 και M10 επιλέχθηκε εργοταξιακό ασβεστοτσιμεντοκονίαμα, μικρής ποσότητας έτσι ώστε να δημιουργηθούν 3

πρότυπα δοκίμια για κάθε μία κατηγορία κονιάματος διαστάσεων 40x40x160 mm. Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά στον Πίνακα 2-7 οι κατ' όγκον αναλογίες των συστατικών στο μείγμα των συνθέσεων M5 και M10 αντίστοιχα. Για την παρασκευή του κονιάματος τα συστατικά του μείγματος που χρησιμοποιήθηκαν είναι τσιμέντο τύπου CEM II/B-M 32.5 N (Πόρτλαν-σύνθετο) του εμπορίου (επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τύπος για το γράμμα N σημαίνει κανονική πρώιμη αντοχή), ξηρή άσβεστος και άμμο ποταμίσια. Ενώ για την κατηγορία M20 και M30 επιλέχθηκε έτοιμο βιομηχανικό ενισχυμένο τσιμεντοκονίαμα D-31 της εταιρίας DUROSTICK, όπου απαιτείται η ανάμιξη με νερό.

Πίνακας 2-7: Αναλογία συνθέσεων μειγμάτων κονιαμάτων ποιότητας M5 & M10

Ποιότητα Κονιάματος	Κατ' όγκον αναλογία			
	Τσιμέντο (kg)	Άσβεστος (kg)	Άμμος (kg)	Νερό (kg)
M5	0.908	0.920	7.56	1.54
M10	1.155	0.325	6.825	1.30



Εικόνα 2-5: Δοκίμιο κονιάματος δόμησης



Εικόνα 2-6: Κάμψη τριών σημείων σε δοκίμια κονιάματος δόμησης



Εικόνα 2-7: Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμών κονιαμάτων από δοκιμή σε κάμψη τριών σημείων και μονοαξονικής θλίψης (κατά EN 1015-11) βάση της οποίας προκύπτει η μέση θλιπτική αντοχή όπου προκύπτει η ποιότητα του κονιάματος που είναι M10, και αντιστοιχεί στο συνδεδειγμένο κονίαμα του τοίχου T1 (που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο).

Πίνακας 2-8: Αποτελέσματα κονιάματος τοίχου T1

Nr	Evaluation	ID	Shape	F _m kN	No.	σ _B N/mm ²	σ _C N/mm ²
1	3-Point flexure test		Prism 16	1,34	1	3,14	-
2	Compression tests		Prism 16	18,64	2	-	11,65
3	Compression tests		Prism 16	17,56	3	-	10,97
4	3-Point flexure test		Prism 16	1,37	4	3,21	-
5	Compression tests		Prism 16	18,33	5	-	11,46
6	Compression tests		Prism 16	18,08	6	-	11,30
7	3-Point flexure test		Prism 16	1,19	7	2,79	-
8	Compression tests		Prism 16	18,15	8	-	11,34
9	Compression tests		Prism 16	18,66	9	-	11,66

Πίνακας 2-9: Μ.Ο Αποτελεσμάτων κονιάματος τοίχου T1

Series	σ _B	σ _C
n = 9	N/mm ²	N/mm ²
x	3,05	11,40
s	0,23	0,26
v	7,41	2,25
n	3	6

Για μέση θλιπτική αντοχή $f_m = 11.40 \text{ MPa}$ κατατάσσεται σε ποιότητα κονιάματος M10.

3. Θεωρητική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

3.1 Γενικά

Επειδή ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων της τοιχοποιίας είναι δυσχερές, διότι αφενός δεν είναι ομογενές και ισότροπο υλικό και αφετέρου δεν πρόκειται για ένα βιομηχανικό προϊόν με ελεγχόμενη και σταθερή ποιότητα. Οι κατασκευές από τοιχοποιία υπό τα συνήθη φορτία (δηλαδή απουσία φορτίων λόγω σεισμού) υπόκεινται κυρίως σε θλίψη. Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι συνάρτηση της αντοχής των τοιχοσωμάτων και του είδους και της αντοχής του κονιάματος, δηλαδή των δύο συστατικών που την αποτελούν, όπου έχει απασχολήσει περισσότερο τους ερευνητές, οι οποίοι έχουν προτείνει ένα μεγάλο αριθμό σχέσεων για τον υπολογισμό της. Σχετικές είναι οι έρευνες των Hendry και Malek (1996), του Kirtching (1985), του Haseltine (1987), Grimm (1975) και του Τάσιου (1986).

Παρά το μεγάλο αριθμό των εμπειρικών σχέσεων, κοινή είναι η διαπίστωση ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θλιπτική αντοχή εξαρτώνται από:

- Την αντοχή και γεωμετρία των λιθοσωμάτων
- Την αντοχή του κονιάματος
- Τις παραμορφώσεις των λιθοσωμάτων και του κονιάματος
- Το σχετικό πάχος του κονιάματος σε σχέση με το λιθόσωμα και τη σχετική παραμόρφωση των δύο υλικών
- Την υδροαπορροφητικότητα των λιθοσωμάτων και κονιάματος
- Το σύστημα δομήσεως και την ποιότητα κατασκευής

3.2 Εμπειρικές σχέσεις προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας

Από τυποποιημένες δοκιμές της τοιχοποιίας σε θλίψη παρατηρήθηκε ότι:

- Η τοιχοποιία υπό ομοιόμορφη θλίψη αστοχεί είτε από εφελκυστικές ρωγμές παράλληλες στο επιβαλλόμενο φορτίο είτε από ένα είδος διατμητικής αστοχίας

- Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wc} συνδέεται με τη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος f_{bc} και τη θλιπτική αντοχή του κονιάματος f_{mc} με τις εμπειρικές σχέσεις που ακολουθούν.

Hendry (1981)

$$f_{wc} = \sqrt{f_{bc}} \text{ [MPa]}$$

$$f_{wc} = \sqrt[3]{f_{mc}} \text{ [MPa]}$$

$$f_{wc} = \sqrt[4]{f_{mc}} \text{ [MPa]}$$

Mann (1982)

$$f_{wc} = f_{bc}^{0.66} * f_{mc}^{0.18} \text{ [MPa]}$$

(ισχύει για λιθοδομή πολύ καλής δόμησης)

Τάσιος (1986)

$$f_{wc} = \frac{2}{3} \sqrt{f_{bc}} - a + \beta f_{mc} \text{ [MPa]}$$

όπου α: μειωτικός συντελεστής για τοιχοποιία από φυσικούς λίθους

α=0 για τεχνητούς λίθους

α=0,5 για λαξευμένες πέτρες

α=2,5 για κροκάλες

β: συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την συνεισφορά του κονιάματος στην αντοχή

β=0,5 για λιθοδομή

β=0,1 για οπτοπλινθοδομή

Στις περιπτώσεις που το ποσοστό κονιάματος είναι σημαντικό, τότε υπολογίζεται μία μειωμένη θλιπτική αντοχή που υπολογίζεται από:

$$f'_{wc} \approx \xi f_{wc}$$

$$\text{με } \xi \approx \frac{1}{1+3,5(K-K_0)}$$

όπου:

K είναι το ποσοστό κατ' όγκων του κονιάματος στην τοιχοποιία

K_0 είναι το μέγιστο ποσοστό κονιάματος που θεωρείται ότι δεν προκαλεί μείωση στην αντοχή του τοίχου και φυσικά εξαρτάται από το είδος της τοιχοποιίας.

$K_0 = 0,3$ για οπτοπλινθοδομή και αργολιθοδομή

$K_0 = 0,2$ για ημιλαξευμένη λιθοδομή

$K_0 = 0,1$ για λαξευμένη λιθοδομή

Ευρωκώδικας 6

$$f_{wc,k} = K f_b^{0.7} f_m^{0.3} \text{ [MPa]}$$

Εάν χρησιμοποιείται κονίαμα λεπτής στρώσης

$$f_{wc,k} = K f_b^{0.85} \text{ [MPa]}$$

όπου:

f_b είναι η ανηγμένη αντοχή των τοιχοσωμάτων

f_m η μέση θλιπτική αντοχή του συνδετικού κονιάματος

K είναι συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο των τοιχοσωμάτων και του κονιάματος. Τιμές του δίνονται στον παρακάτω (Πίνακα 3-1)

Οι ανώτερες σχέσεις ισχύουν υπό τις κάτωθι προϋποθέσεις:

- Η f_b δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 75 MPa όταν χρησιμοποιείται κονίαμα γενικής χρήσεις
- Η f_b δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 50 MPa όταν χρησιμοποιείται κονίαμα λεπτής στρώσης
- Η f_m δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 20 MPa ούτε μεγαλύτερη από $2f_b$ για κονίαμα γενικής χρήσεις
- Η f_m δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 10 MPa για κονίαμα λεπτής στρώσης
- Η f_m δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 5 MPa για ελαφροβαρές κονίαμα.
- Η τοιχοποιία κατασκευάζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κανονισμού
- Οι αρμοί ικανοποιούν τις απαιτήσεις για να θεωρούνται πληρωμένοι.
- Το πάχος της τοιχοποιίας σχηματίζεται έτσι ώστε να μην υπάρχει πουθενά κατακόρυφος αρμός.

Στην περίπτωση που υπάρχει κατακόρυφος αρμός κατά το πάχος της τοιχοποιίας οι τιμές του συντελεστή K που λαμβάνονται από τον Πίνακα 3-1 πρέπει να πολλαπλασιάζονται με 0.80.

Για τον ορθό προσδιορισμό της ανώτερο σχέσης είναι απαραίτητη η παράθεση των κάτωθι ορισμών και παραμέτρων όπως ορίζονται στον EC6.

Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wc} είναι η αντοχή της τοιχοποιίας υπό θλιπτικό φορτίο χωρίς τον υπολογισμό της επίδρασης της εκκεντρότητας της φόρτισης, της λυγνότητας του δοκιμίου και των συνθηκών παρεμπόδισης της παραμόρφωσης που επιφέρει η συσκευή ελέγχου.

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_{wk} είναι η τιμή της θλιπτικής αντοχής που έχει πιθανότητα 5% να υποσκελισθεί.

Θλιπτική αντοχή τοιχοσωμάτων f_{bc} είναι η μέση θλιπτική αντοχή ορισμένου αριθμού τοιχοσωμάτων.

Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή τοιχοσωμάτων f_b είναι η θλιπτική αντοχή των τοιχοσωμάτων μετατρεπόμενη σε ισοδύναμο τοιχόσωμα διαστάσεων 100mm πλάτος και 100mm ύψος.

Θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{mc} είναι η μέση θλιπτική αντοχή 28 ημερών ορισμένου αριθμού δοκιμίων από κονίαμα.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή αναφέρεται μόνο στην τοιχοποιία, ενώ στο κονίαμα και τα τοιχοσώματα αναφέρεται μόνο η μέση θλιπτική αντοχή. Για τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής αντοχής από μικρό αριθμό δοκιμίων (ελάχιστο τρία) έχει προταθεί ως χαρακτηριστική αντοχή να λαμβάνεται η μικρότερη τιμή από:

- τη μικρότερη τιμή της θλιπτικής αντοχής και
- τη μέση τιμή των δοκιμίων διαιρούμενη με το 1.2 επομένως για τρία δοκίμια θα είναι η κάτωθι σχέση:

$$f_{wk} = \min \left\{ \min(f_{wc1}, f_{wc2}, f_{wc3}), \frac{f_{wc1} + f_{wc2} + f_{wc3}}{3 \cdot 1.2} \right\}$$

Η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος f_b δίδεται από την εξής σχέση:

$$f_b = \delta f_{bc}$$

όπου:

f_{bc} είναι η μέση θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος και

δ συντελεστής αναγωγής συναρτήσεως του ύψους και της ελάχιστης από τις άλλες δύο διαστάσεις του, ο οποίος προκύπτει από τον Πίνακα 3-2.

Πίνακας 3-1: Τιμές του μειωτικού συντελεστή K

Τοιχόσωμα		Κονίαμα γενικής χρήσης	Κονίαμα λεπτής στρώσης	Ελαφροβαρές κονίαμα πυκνότητας	
				600ρ≤700 kg/m ³	700$\rho$$\rho$1500 kg/m ³
Αργιλικό	Ομάδα 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Ομάδα 2	0,45	0,55	0,30	0,40
	Ομάδα 3	0,35	0,25	0,20	0,25
	Ομάδα 4	0,35	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Πυριτικού ασβεστίου	Ομάδα 1	0,50	0,80	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
	Ομάδα 2	0,45	0,55	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Από σκυρόδεμα	Ομάδα 1	0,50	0,80	0,45	Δεν χρησιμοποιείται
	Ομάδα 2	0,50	0,80	0,45	Δεν χρησιμοποιείται
	Ομάδα 3	0,50	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
	Ομάδα 4	0,30	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	Ομάδα 1	0,50	0,85	0,45	Δεν χρησιμοποιείται
Βιομηχανική Πέτρα	Ομάδα 1	0,50	0,85	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Λαξεμένη φυσική πέτρα	Ομάδα 1		0,75	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται

Πίνακας 3-2: Συντελεστής αναγωγής δ

Ύψος Τοιχοσώματος [mm]	Ελάχιστη οριζόντια διάσταση [mm]				
	50	100	150	200	≥ 250
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥ 250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

3.2.1 Προσδιορισμός συντελεστή δ της ανηγμένης θλιπτικής αντοχής τοιχοσώματος

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν οπτόπλινθοι με διαστάσεις 19 x 12 x 9 από τοπικό παραγωγό της Χαλκίδας.

Ο συντελεστής αναγωγής δ προκύπτει συναρτήσει του ύψους και της ελάχιστης από τις άλλες δύο διαστάσεις από τον Πίνακα 3-2. Επομένως για ύψος τοιχοσώματος 90 mm και πλάτος 120 mm, κάνοντας γραμμικές παραβολές στις τιμές που τον περικλείουν εξάγουμε τελικά συντελεστή $\delta = 0.91714$.

Άρα η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος $f_b = \delta f_{bc}$ για τις ομάδες τοίχων που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2.3 θα είναι η εξής:

Ομάδα 1:

- $f_b = \delta f_{bc} = 0.91714 \times 3.76 = 3.45 \text{ MPa}$

Ομάδα 2:

- $f_b = \delta f_{bc} = 0.91714 \times 5.27 = 4.83 \text{ MPa}$

Ομάδα 3:

- $f_b = \delta f_{bc} = 0.91714 \times 6.78 = 6.22 \text{ MPa}$

Επομένως η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό των ημιεμπειρικών σχέσεων που θα παρουσιαστούν στο κεφ. 5 είναι της ομάδας 1 $f_b = 3.45 \text{ MPa}$, μικρότερη από τις άλλες δύο, και μεγαλύτερη από 3 MPa όπως ορίζει στα τεχνικά χαρακτηριστικά ο παραγωγός.

4. Πειραματικός προσδιορισμός θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας

Για των ακριβέστερο προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι αναγκαίο να διεξαχθούν πειραματικές δοκιμές διότι στις εμπειρικές σχέσεις παρατηρούνται μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Επομένως για τον λόγο αυτό κατασκευάστηκαν 24 πρότυπα δοκίμια μικρών τοίχων κατά το πρότυπο (EN 1052-1). Οι διαστάσεις καθενός δοκιμίου ήταν πέντε (5) οπτόπλινθοι σε ύψος και δύο (2) οπτόπλινθοι σε μήκος.

Κατά το πρότυπο EN 1052-1 απαιτούνται τρία (3) τουλάχιστον δοκίμια για να υπολογισθεί η μέση θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας f_c για φόρτιση κάθετα στους οριζόντιους αρμούς, όπου σύμφωνα με το πρότυπο απαιτείται ο προσδιορισμός της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής f_k η οποία λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή από:

- τη μικρότερη τιμή της θλιπτικής αντοχής
- τη μέση τιμή των δοκιμών διαιρούμενη με το 1.2 για τρία δοκίμια

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f_c}{1.2} \right\}$$

όπου: $f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i}$, A_i : εμβαδόν επιφάνεια στη πλευρά επιβολής του φορτίου.

Στις περιπτώσεις που υπάρχουν αποκλίσεις της μέση θλιπτικής αντοχής του κονιάματος ή και της μέση ανηγμένης θλιπτικής αντοχής του οπτόπλινθου από τις αντίστοιχες κατηγορίες που ανήκουν, τότε η θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας μετατρέπεται από την ακόλουθη εξίσωση (κατά EN 1052-1):

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25}$$

όπου: f_m είναι η μέση θλιπτικής αντοχής του κονιάματος του στο χρόνο δοκιμής του πειράματος, και f_b αντίστοιχα η μέση ανηγμένης θλιπτικής αντοχής του οπτόπλινθου.

Σκοπός της κατασκευής των είκοσι τεσσάρων (24) πρότυπων δοκιμών μικρών τοίχων ήταν να χωρισθούν σε διάφορες κατηγορίες των τριών (3) τουλάχιστον δοκιμών σύμφωνα με την ποιότητα του κονιάματος (M). Επομένως τελικά οι κατηγορίες κονιαμάτων που προέκυψαν για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας είναι οι ακόλουθες:

- **M1:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T13, T14, T15, T16 και T17
- **M2.5:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T18, T23, T24
- **M5:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T19, T20, T21, T22
- **M10:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T1, T2
- **M20:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T3, T4, T7
- **M30:** σε αυτή την κατηγορία, κατατάσσονται τα δοκίμια τοιχίσκων: T5, T6, T8, T9, T10, T11, T12

Για τις χαμηλές αντοχές τσιμεντοκονιάματος από την ποιότητα κονιάματος M1 μέχρι και την M10, επιλέχθηκε εργοταξιακό κονίαμα όπως περιγράφεται στο (κεφ. 2.5), όπου πραγματοποιήθηκαν συνθέσεις (κατά EN 998-2). Παράδειγμα για τις συνθέσεις των κονιαμάτων ποιότητας M5 και M10 ισχύουν τα εξής:

M5 με κατ' όγκον αναλογία να αποτελείται από ένα (1) μέρος τσιμέντου, δύο (2) μέρη άσβεστο, και έξι (6) μέρη άμμο (1:2:6).

M10 με την η κατ' όγκον αναλογία να αποτελείται από ένα (1) μέρος τσιμέντου, μισό (0.5) μέρος άσβεστο, και πέντε (5) μέρη άμμο (1:0.5:5).

Αντίστοιχα για υψηλές αντοχές τσιμεντοκονιάματος ποιότητας M20 και M30 επιλέχθηκε έτοιμο βιομηχανικό ενισχυμένο τσιμεντοκονίαμα D-31 της εταιρίας DUROSTICK, όπου απαιτείται η ανάμιξη με νερό (για αναλογίες νερού που αναγράφονται στο προϊόν).

Για όλες τις προαναφερθείσες ποιότητες τσιμεντοκονιάματος, έγιναν σειρές πειραματικών δοκιμών κατά το πρότυπο EN 1015-11 (όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο). Κατά τις δοκιμές αυτές για κάθε κατηγορία γινόταν θραύση των δοκιμίων στη μία ημέρα από την κατασκευή του έως την εικοστή όγδοη (28) για να έχουμε μία γενική εικόνα της αντοχής.

Κάθε δοκίμιο τοιχίσκου κατασκευάστηκε πάνω επίπεδη χαλύβδινη βάση και στη συνέχεια τοποθετήθηκε σε πρέσα (Εικόνα 4-1), όπου στις όψεις του τοιχίσκου τοποθετήθηκαν τα αντίστοιχα βελόμετρα D1, D2, D3, D4 που μετράνε τις μετατοπίσεις (Εικόνα 4-2) σύμφωνα με τη διάταξη που προβλέπει ο EN 1052-1 (οι αποστάσεις των βάσεων κάθε οργάνου είναι στο 1/3 του συνολικού ύψους του τοίχου). Για τις ανάγκες της δοκιμής και για την αποφυγή συγκεντρώσεως τάσεων στη πλευρά επιβολής του φορτίου έγινε επιπέδωση της επιφάνειας με ένα λεπτό

στρώμα γύψου. Εφαρμόστηκε κατακόρυφο φορτίο με ομοιόμορφο ρυθμό φόρτισης αυξανόμενο σταθερά με το χρόνο μέχρι να επέλθει η αστοχία του τοιχίσκου (Εικόνα 4-3)

Ταυτόχρονα με την πειραματική δοκιμή προσδιορισμού θλιπτικής αντοχής (θραύση) κάθε ενός τοιχίσκου, γινόταν και έλεγχος αντίστοιχα και της θλιπτικής αντοχής του κονιάματος (όπως προβλέπει ο EN 1015-11) ώστε να καταταχθεί ο τοίχος στις κατηγορίες που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 4-1: Πρέσα



Εικόνα 4-2:διάταξη οργάνων

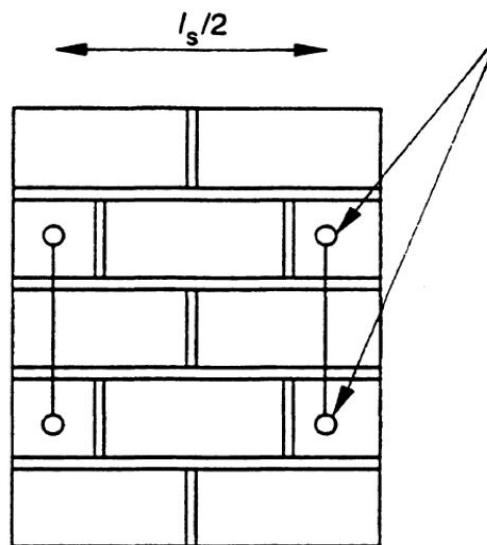


Εικόνα 4-3: Αστοχία δοκιμίου

Σκοπός αυτών των πρότυπων πειραματικών δοκιμών ήταν εξαχθούν η θλιπτική αντοχή (μέγιστη τάση αστοχίας) της τοιχοποιίας σε διεύθυνση κάθετα στους οριζόντιους αρμούς και στις οπές των τούβλων, οι παραμορφώσεις $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ όπου προκύπτουν από τον υπολογισμό (κατά το πρότυπο 1052-1) τη χρονική στιγμή που το μέγιστο θλιπτικό φορτίο γίνεται $\frac{F_{max}}{3}$, καθώς και το μέτρο ελαστικότητας E_i κάθε μεμονωμένου δοκιμίου τοιχοποιίας βάση του τύπου (κατά 1052-1).

Σχέσεις υπολογισμού κατά EN 1052-1:

- Θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας $f_i = \frac{F_{imax}}{A_i}$ [MPa], A_i : εμβαδόν επιφάνεια στη πλευρά επιβολής του φορτίου.
- Μέση παραμόρφωση $\varepsilon_i = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}$, όπου: $\varepsilon_1 = \frac{D_1}{l_{c1}}$, $\varepsilon_2 = \frac{D_2}{l_{c2}}$, $\varepsilon_3 = \frac{D_3}{l_{c3}}$, $\varepsilon_4 = \frac{D_4}{l_{c4}}$ για l_{ci} $i=1-4$: Μήκος οργάνου σε mm (Εικόνα 4-4: Μήκος οργάνων σε mm.)
- $E_i = \frac{F_{imax}}{3 \times \varepsilon_i \times A_i}$ [GPa]



Εικόνα 4-4: Μήκος οργάνων σε mm.

Μετά τον υπολογισμό των προαναφερθέντων σχέσεων για κάθε ένα δοκίμιο τοιχοποιίας σχεδιάστικαν τα εξής διαγράμματα:

- Μέγιστη θλιπτική δύναμη (αστοχίας) σε συναρτήση με το χρόνο t.
- Μέγιστη θλιπτική δύναμη (αστοχίας) και μέγιστη θλιπτική δύναμη στο ένα τρίτο $\frac{F_{max}}{3}$ σε συνάρτηση με το χρόνο t.
- Παραμορφώσεων $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4$ μέχρι το ένα τρίτο της μέγιστης θλιπτικής δύναμης $(\frac{F_{max}}{3})$ σε συνάρτηση με το χρόνο t.

5. Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας, και την εξαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων των πειραματικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν βάσει του πρότυπου EN 1052-1 χωρίστηκαν τα δοκίμια τοιχοποιίας σε ομάδες ανάλογα με την κατάταξη της ποιότητας του κονιάματος (μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_m). Παρακάτω δίδονται οι τελικοί πίνακες κατάταξης της τοιχοποιίας (Πίνακας 5-2).

Πίνακας 5-1: Ποιότητα κονιάματος Τοίχων

Τοίχος Ti	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος (MPa)	Ποιότητα κονιάματος
T1	11.40	M10
T2	11.40	M10
T3	25.85	M20
T4	29.69	M20
T5	32.95	M30
T6	32.57	M30
T7	26.26	M20
T8	30.95	M30
T9	31.93	M30
T10	35.98	M30
T11	38.23	M30
T12	36.40	M30
T13	0.95	M1
T14	0.95	M1
T15	0.95	M1
T16	1.97	M1
T17	1.97	M1
T18	2.52	M2.5
T19	5.12	M5
T20	5.12	M5
T21	5.70	M5
T22	6.80	M5
T23	4.90	M2.5
T24	4.90	M2.5

Πίνακας 5-2: Κατάταξη τοίχων

Ποιότητα κονιάματος	Τοίχος Ti
M1	T13, T14, T15, T16, T17
M2.5	T18, T23, T24
M5	T19, T20, T21, T22
M10	T1, T2
M20	T3, T4, T7
M30	T5, T6, T8, T9, T10, T11, T12

Ακόμα πρέπει να αναφερθεί ότι από τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας των πειραματικών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν κάποιες από αυτές απορρίφθηκαν διότι υπήρχε μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες θλιπτικές αντοχές τοιχοποιίας της ίδιας κατηγορίας. Επίσης και κατά τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας υπήρχαν και εδώ μεγάλες αποκλίσεις για το λόγο αυτό δεν θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα αυτά στην παρούσα διπλωματική εργασία διότι χρήζει περαιτέρω διερεύνηση, επομένως το μέτρο ελαστικότητας θα προσδιορισθεί παρακάτω μέσα από ημιεμειρικές σχέσεις ερευνητών χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα που εξήχθησαν.

5.1.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων πειραματικών δοκιμών

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M1:

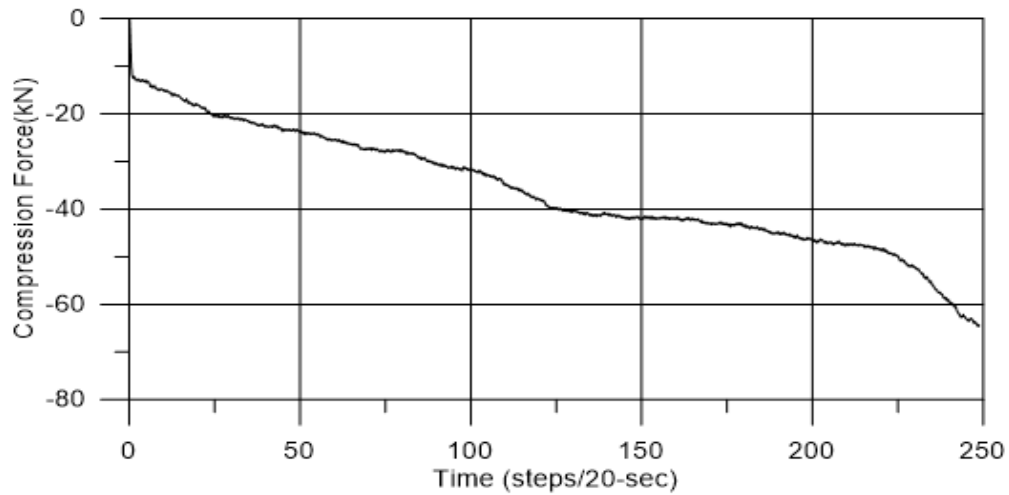
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T13, T14, T15, T16, T17

T13:

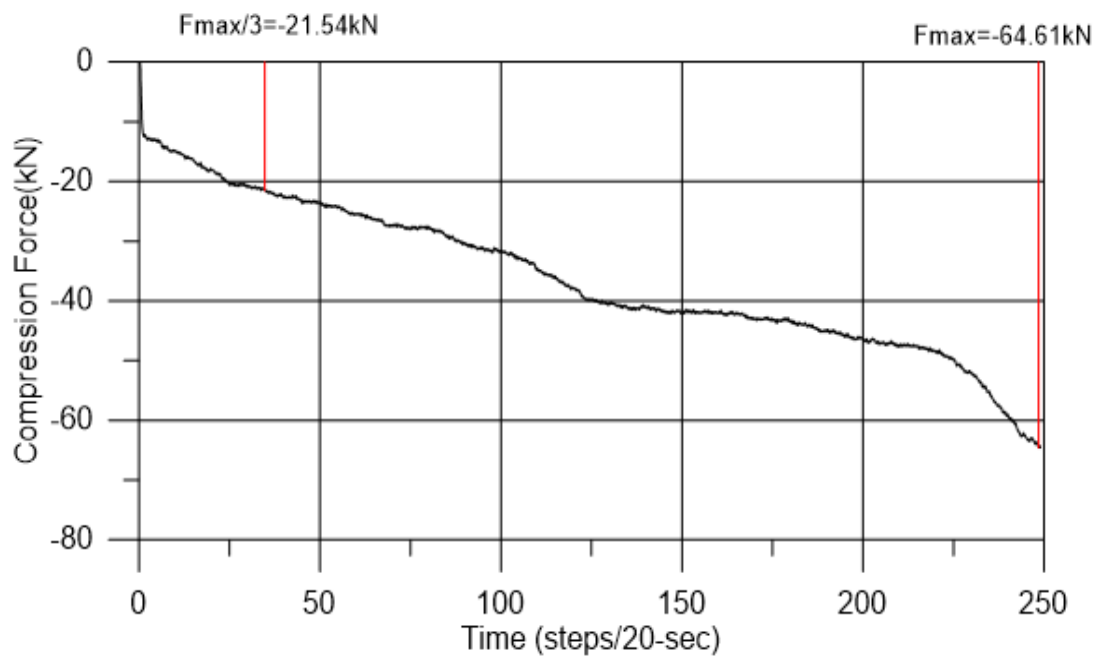
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.387 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.504 \text{ m}, A = 0.04257 \text{ m}^2$$

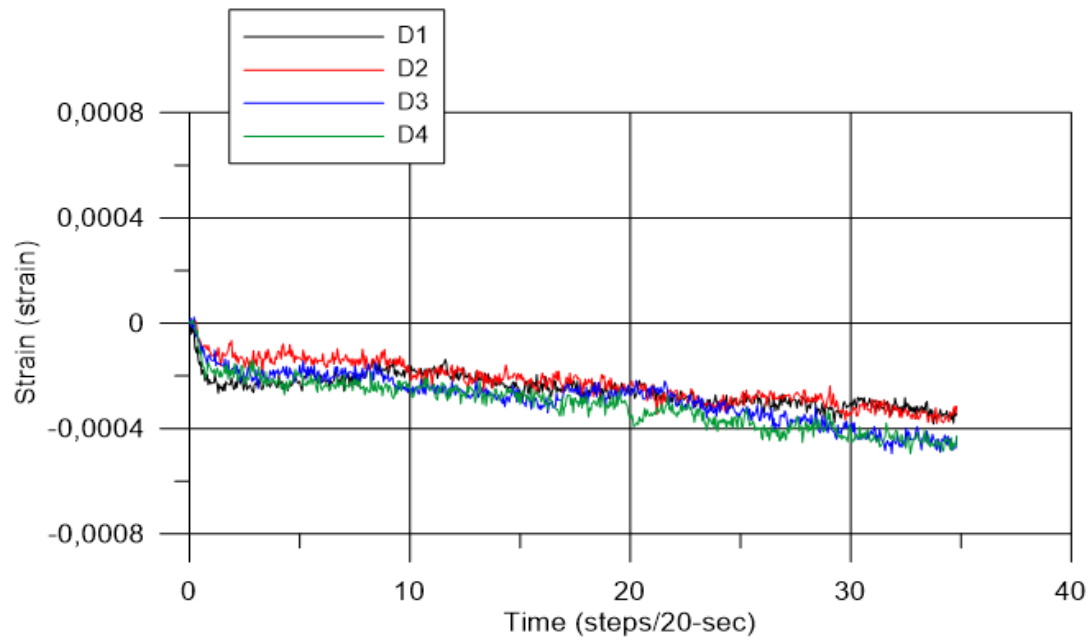
$$h_1 = 180 \text{ mm}, h_2 = 177 \text{ mm}, h_3 = 170 \text{ mm}, h_4 = 185 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-1: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T13



Σχήμα 5-2: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T13



Σχήμα 5-3: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T13



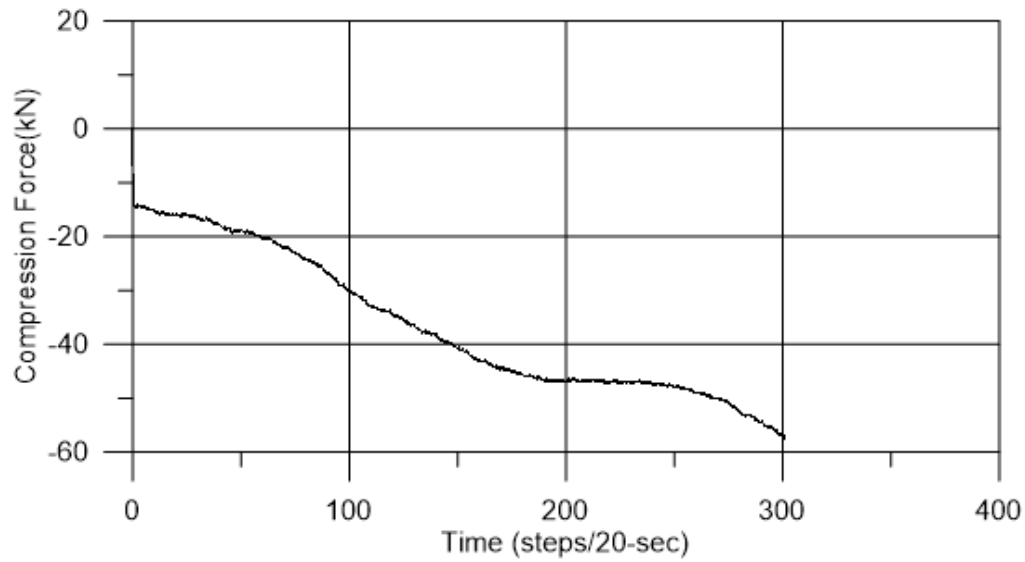
Εικόνα 5-1: Αστοχία τοίχου T13 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T14:

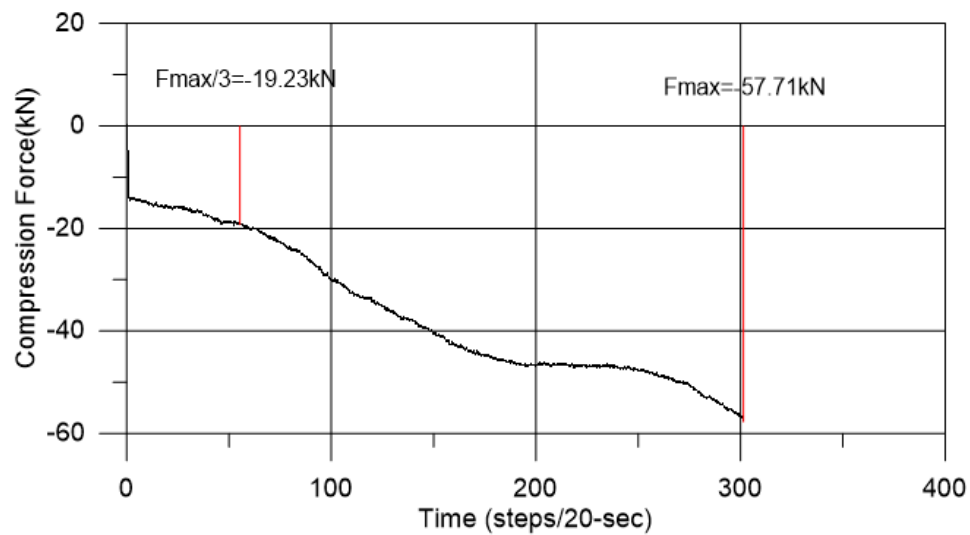
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.504 \text{ m}, A = 0.04235 \text{ m}^2$$

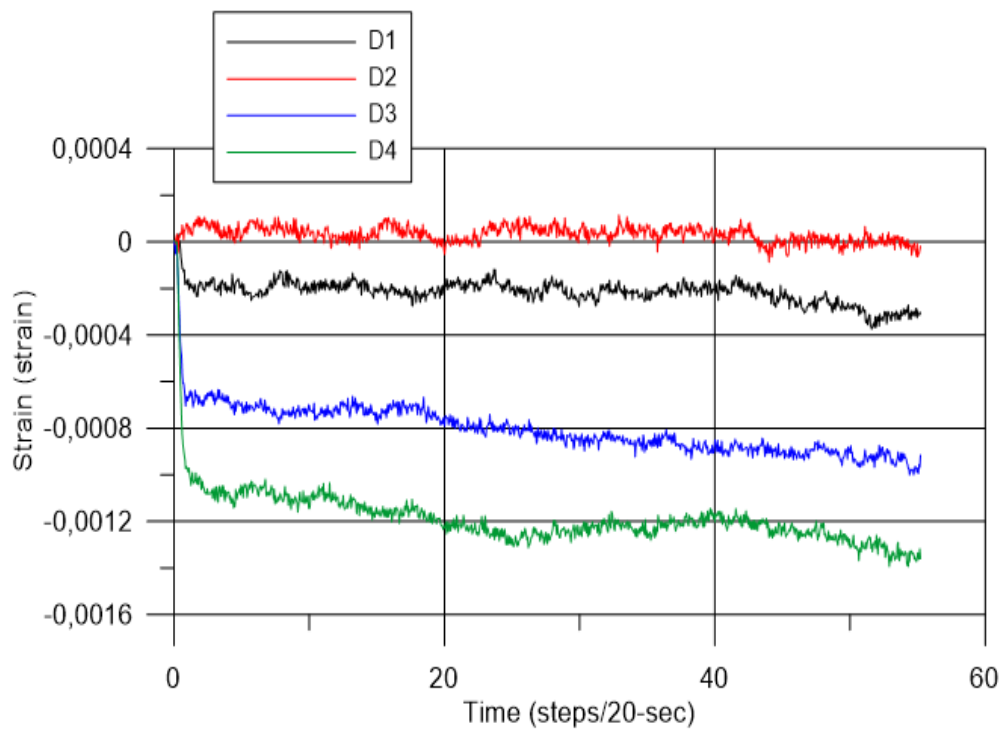
$$h_1 = 170 \text{ mm}, h_2 = 166 \text{ mm}, h_3 = 170 \text{ mm}, h_4 = 175 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-4: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T14



Σχήμα 5-5: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T14



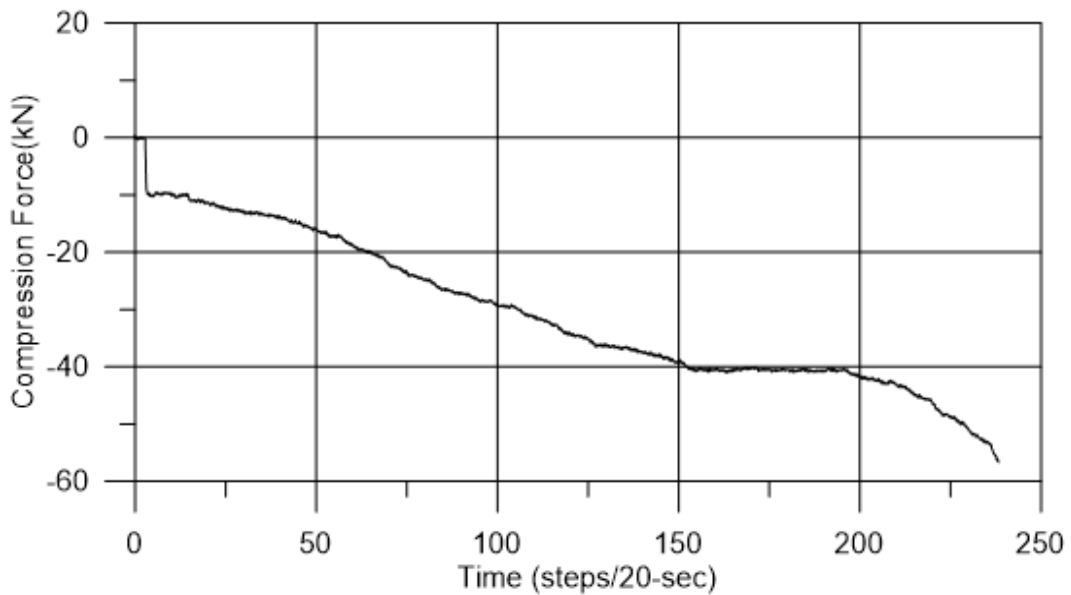
Σχήμα 5-6: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T14

T15:

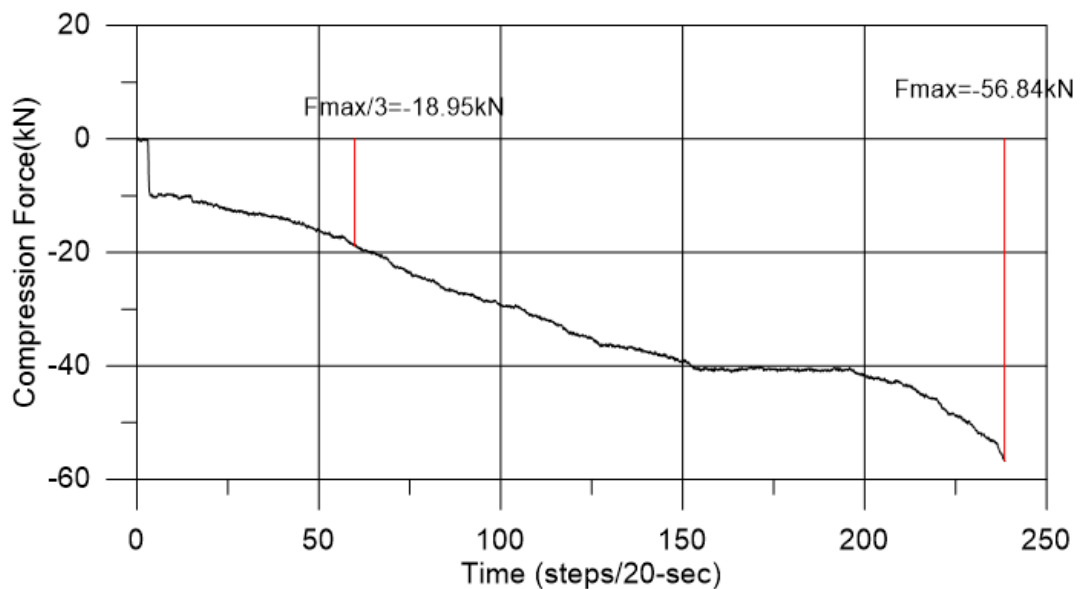
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.390 \text{ m} , t_w = 0.111 \text{ m} , h_w = 0.505 \text{ m} , A = 0.04329 \text{ m}^2$$

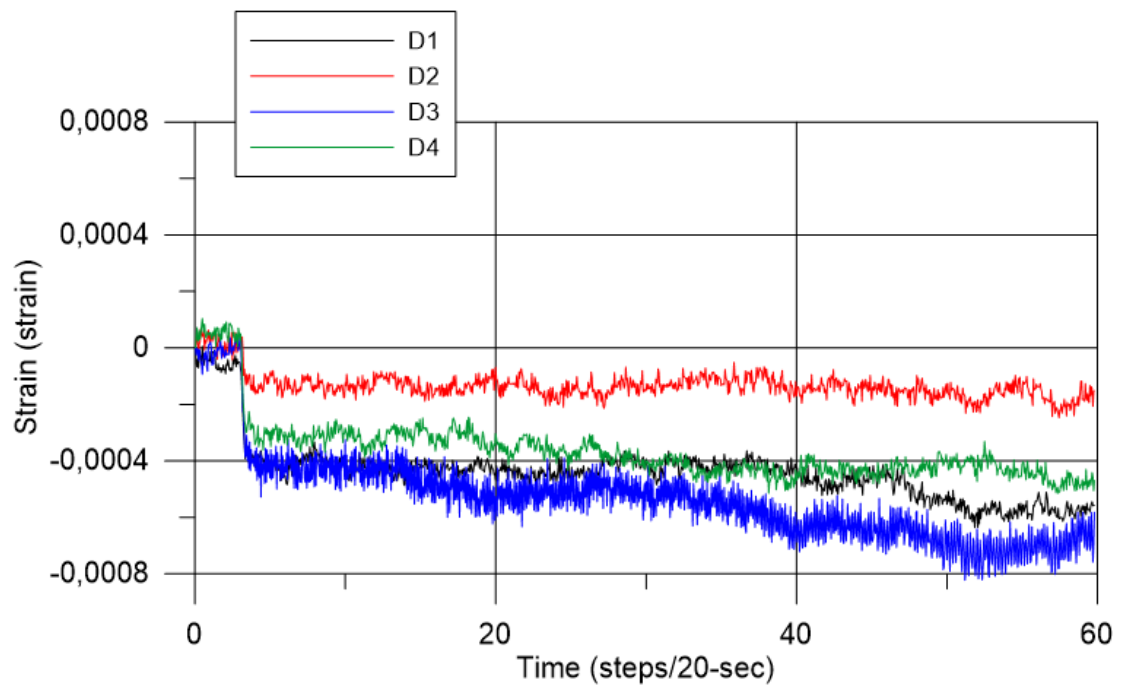
$$h_1 = 161 \text{ mm} , h_2 = 158 \text{ mm} , h_3 = 165 \text{ mm} , h_4 = 165 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-7: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T15



Σχήμα 5-8: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T15



Σχήμα 5-9: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T15



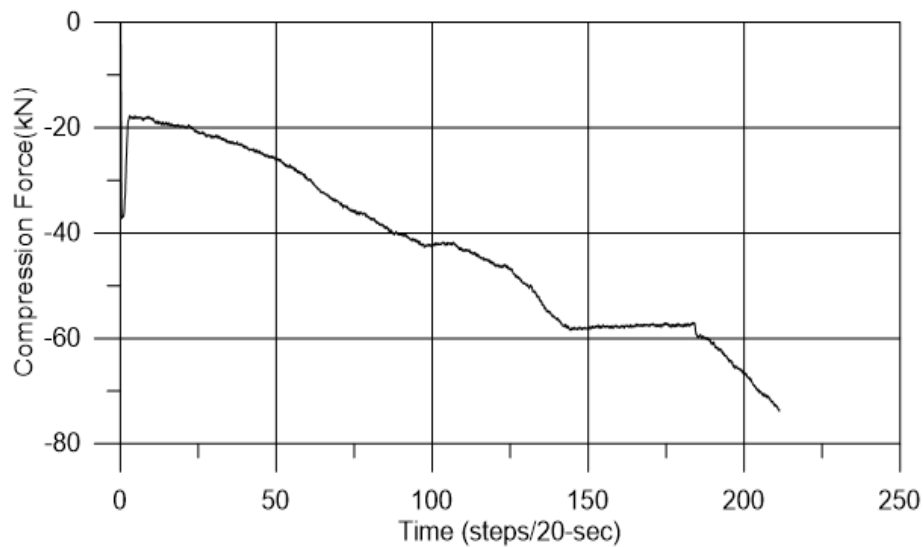
Εικόνα 5-2: Αστοχία τοίχου T15 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T16:

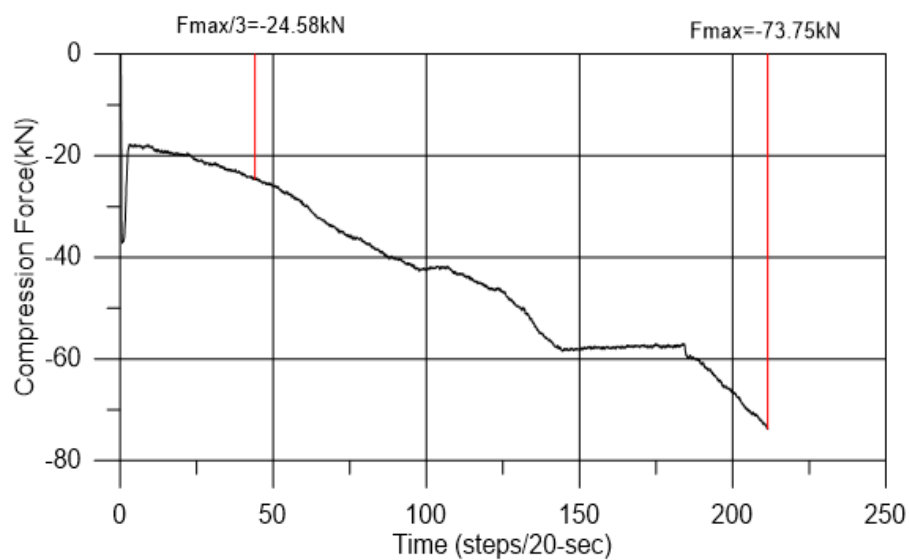
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.388 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.509 \text{ m}, A = 0.04268 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 166 \text{ mm}, h_2 = 163 \text{ mm}, h_3 = 172 \text{ mm}, h_4 = 162 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-10: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T16



Σχήμα 5-11: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T16

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων τοίχου T16 απορρίπτεται επειδή δεν υπάρχει θλίψη παντού, τα δύο από τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό.



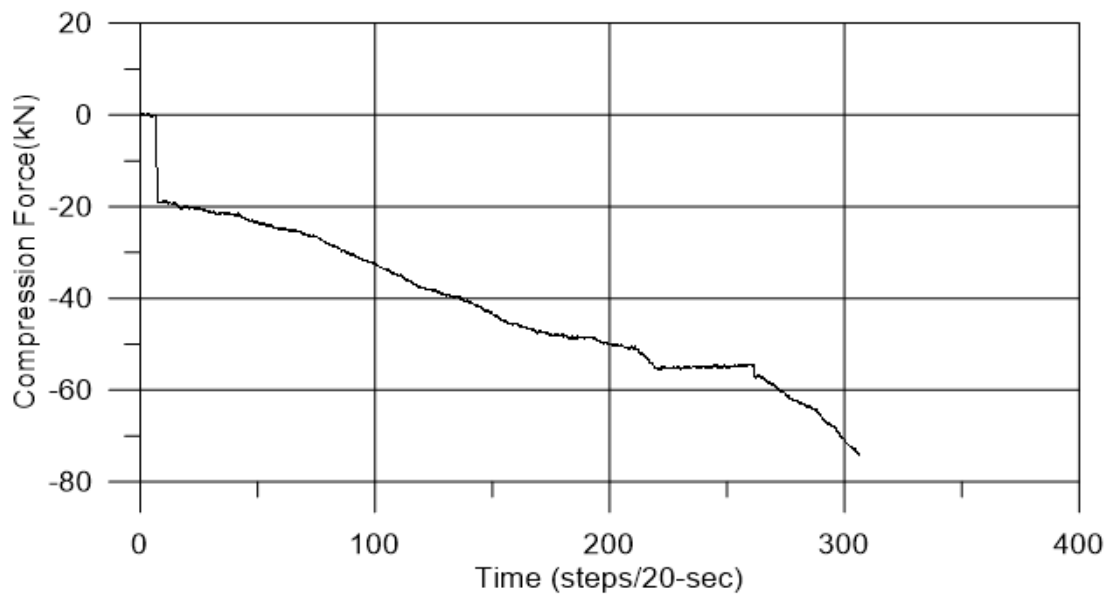
Εικόνα 5-3: Αστοχία τοίχου T16 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T17:

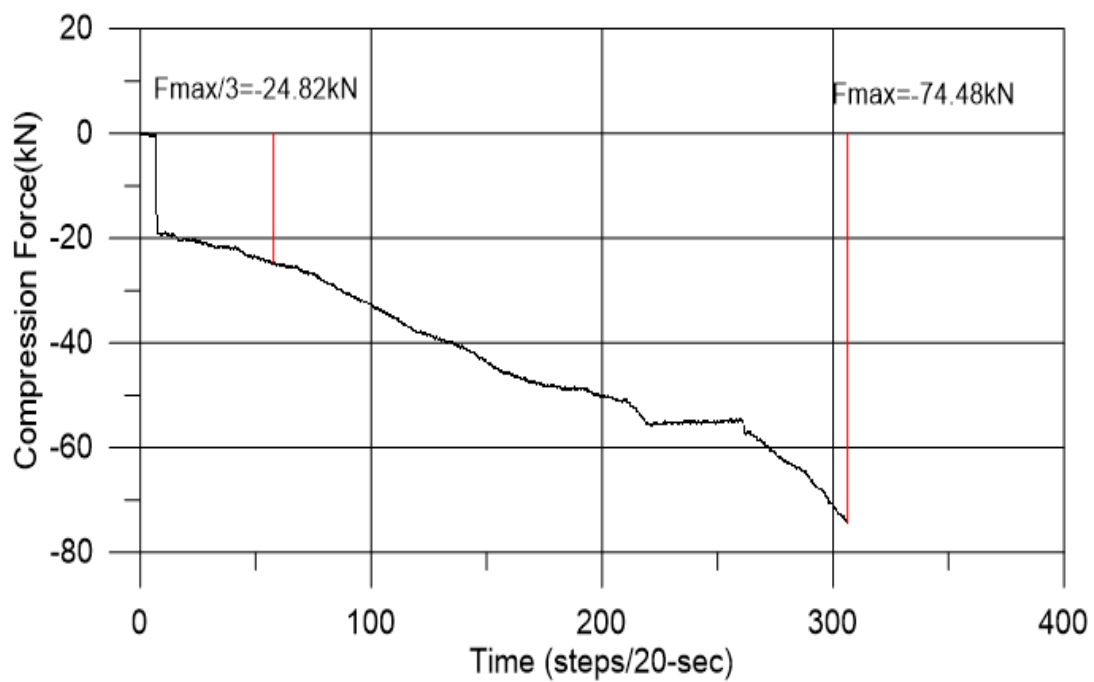
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.387 \text{ m}, t_w = 0.111 \text{ m}, h_w = 0.514 \text{ m}, A = 0.042957 \text{ m}^2$$

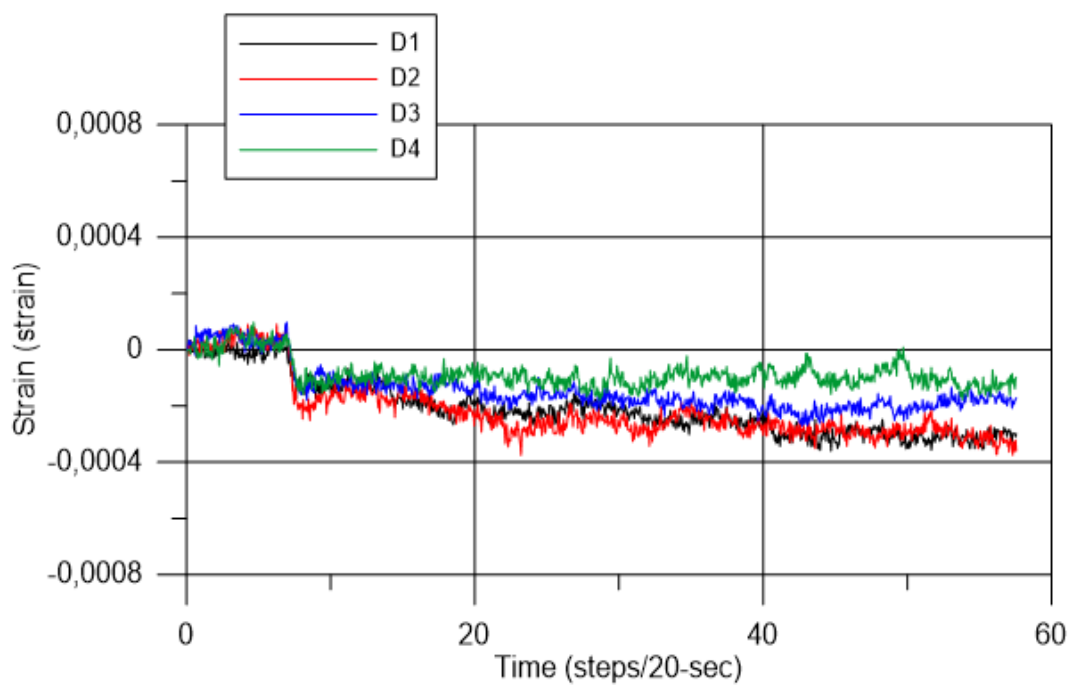
$$h_1 = 170 \text{ mm}, h_2 = 167 \text{ mm}, h_3 = 173 \text{ mm}, h_4 = 162 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-12: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T17



Σχήμα 5-13: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T17



Σχήμα 5-14: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T17



Εικόνα 5-4: Αστοχία τοίχου T17 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα κατηγορίας M1: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκιμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (kN)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)- mortar
13	M1	1	0,95	42570	64,61	1,52	1,54
14	M1	1	0,95	42350	57,71	1,36	1,38
15	M1	1	0,95	43290	56,84	1,31	1,33
16	M1	1	1,97	42680	73,75	1,73	1,46
17	M1	1	1,97	42957	74,48	1,73	1,46
Μέση θλιπτική αντοχή f (Mpa)						1,53	1,43
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (Mpa)						1,28	1,19

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M1:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1,2} \right\} = \min \left\{ \min(1,52, 1,31, 1,36, 1,73, 1,73), \frac{1,53}{1,2} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow f_k = 1,28 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b} \right)^{0,65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m} \right)^{0,25} \rightarrow$$

$$\rightarrow f_{13d} = 1,52 \times \left(\frac{3,45}{3,45} \right)^{0,65} \times \left(\frac{1}{0,95} \right)^{0,25} = 1,54 \text{ [MPa]}$$

Άρα η διορθωμένη θα είναι $f_{kd} = 1,19 \text{ [MPa]}$

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M2.5:

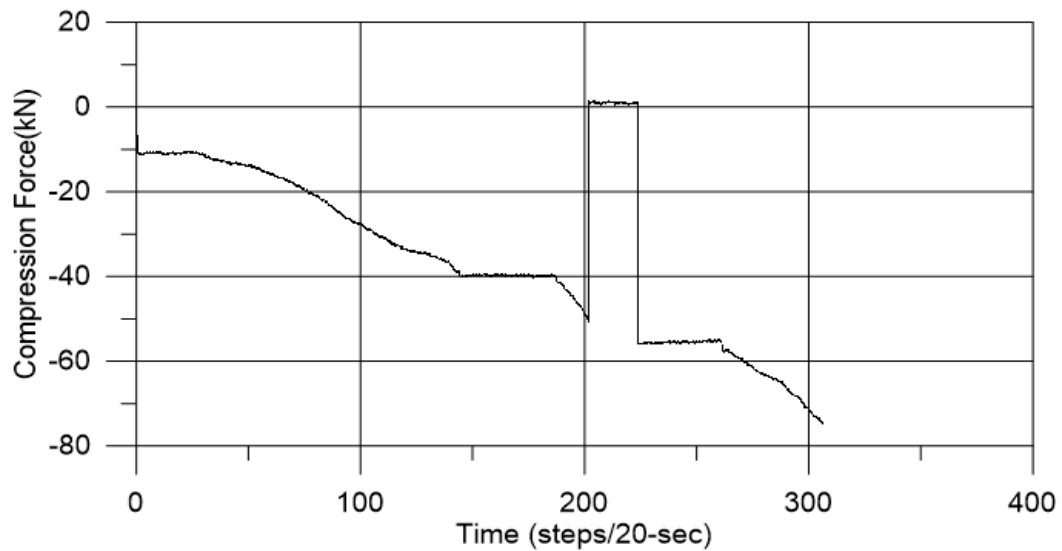
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T18, T23, T24

T18:

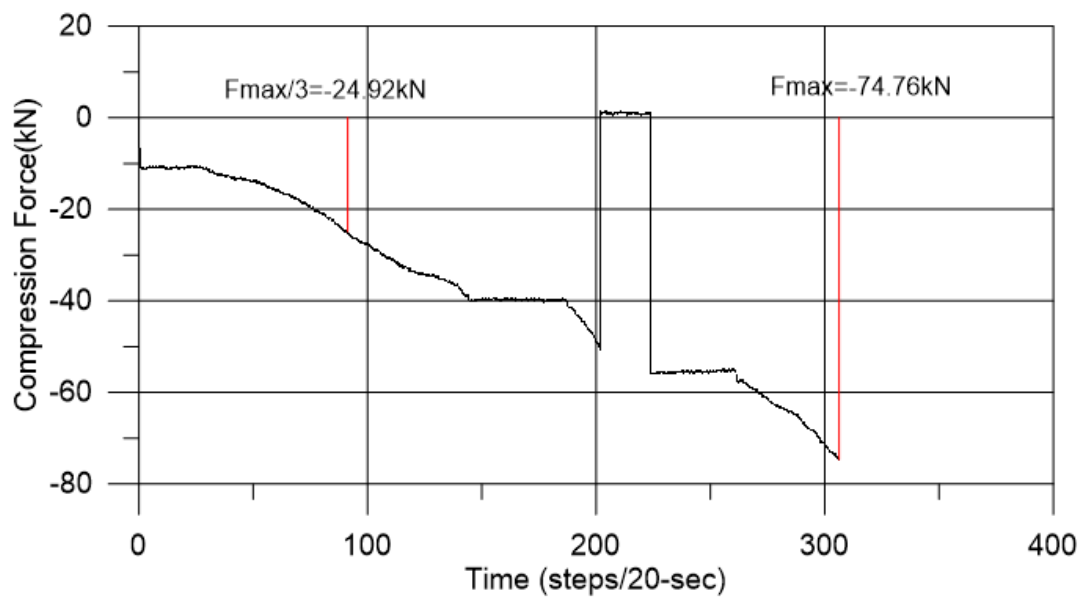
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.390 \text{ m}, t_w = 0.111 \text{ m}, h_w = 0.515 \text{ m}, A = 0.04329 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 176 \text{ mm}, h_2 = 172 \text{ mm}, h_3 = 173 \text{ mm}, h_4 = 176 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-15: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T18



Σχήμα 5-16: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T18

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων τοίχου T18 απορρίπτεται επειδή δεν υπάρχει θλίψη παντού, τα δύο από τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό.



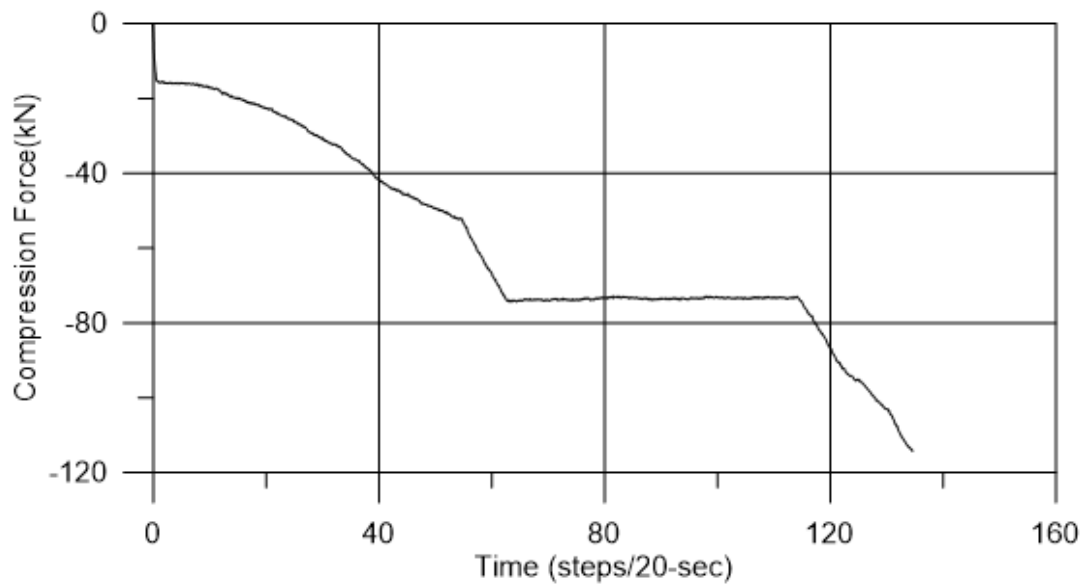
Εικόνα 5-5: Αστοχία τοίχου T18 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

T23:

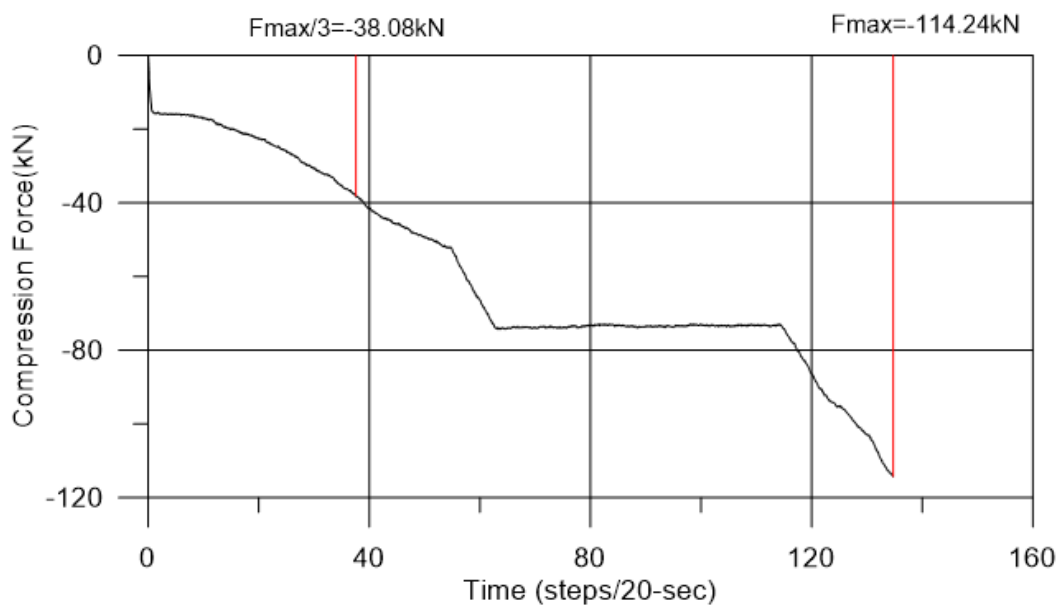
Διαστάσεις τοίχου:

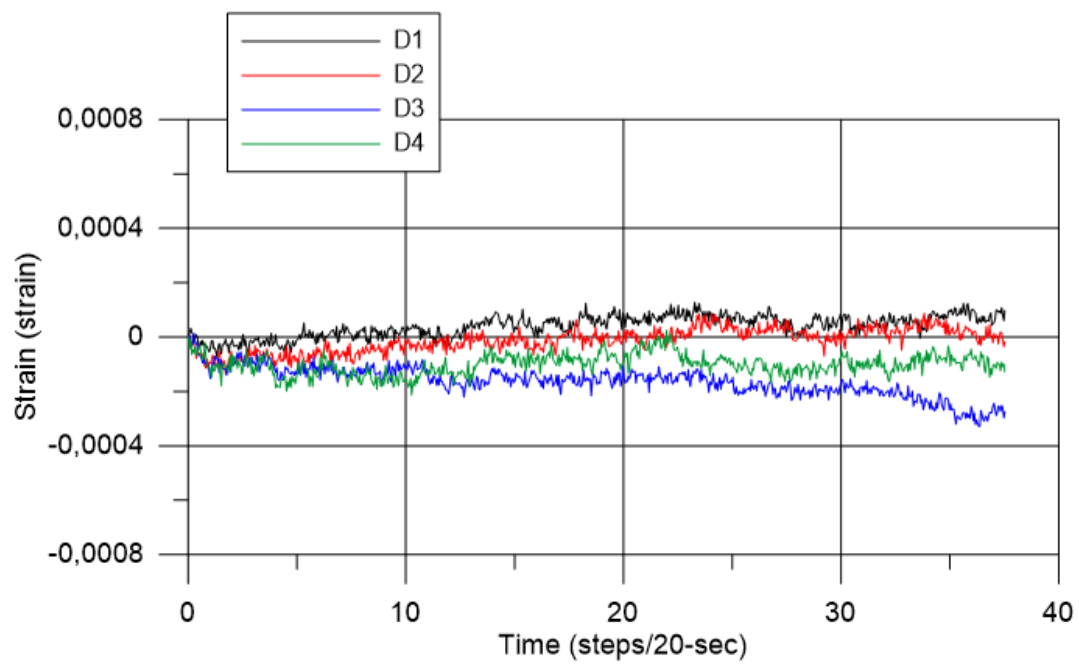
$$l_w = 0.390 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.502 \text{ m}, A = 0.0429 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 167 \text{ mm}, h_2 = 171 \text{ mm}, h_3 = 167 \text{ mm}, h_4 = 162 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-17: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T23

Σχήμα 5-18: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T23



Σχήμα 5-19: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T23



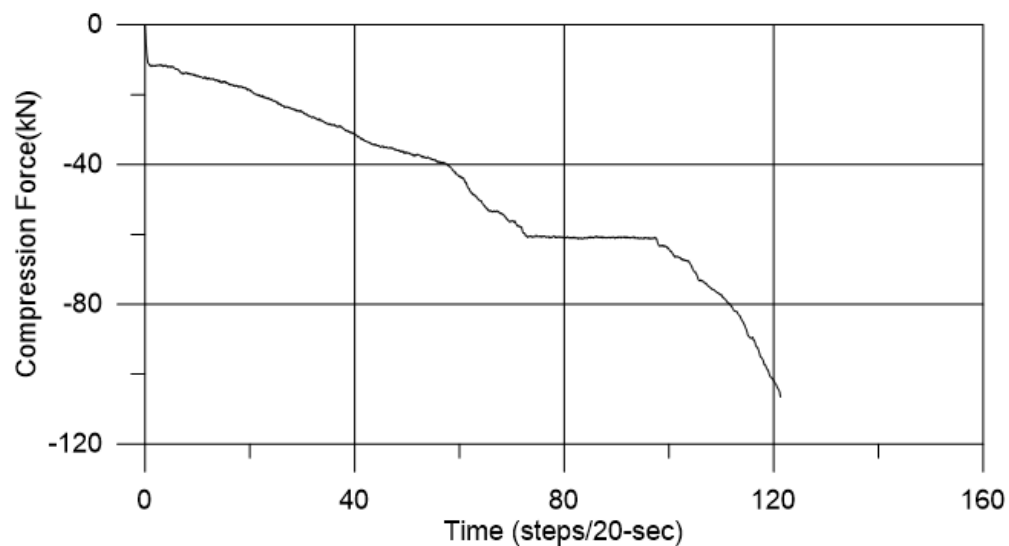
Εικόνα 5-6: Αστοχία τοίχου T23 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T24:

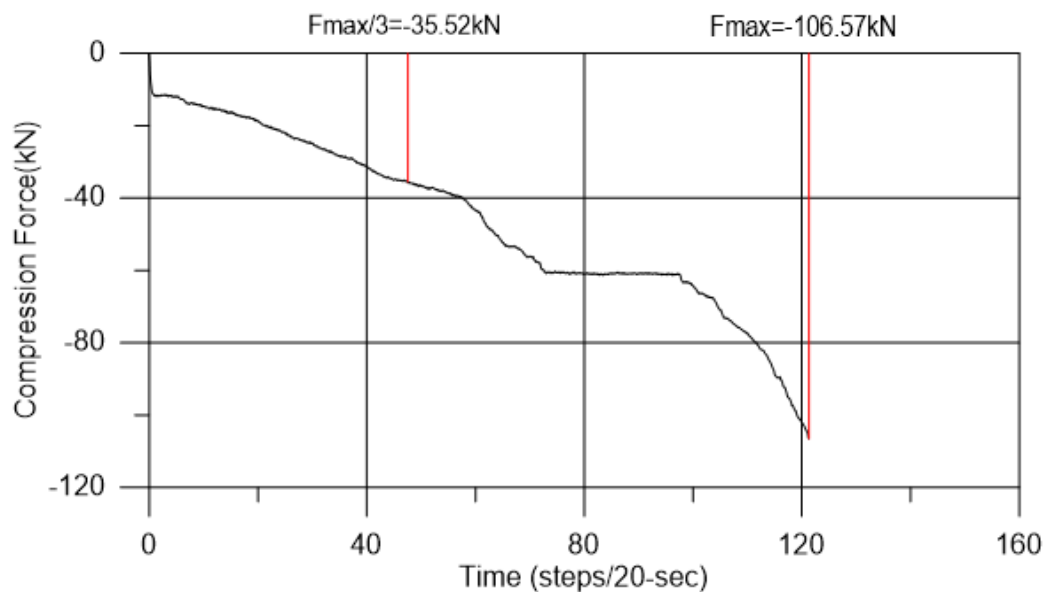
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.389m, t_w = 0.110m, h_w = 0.522m, A = 0.04279m^2$$

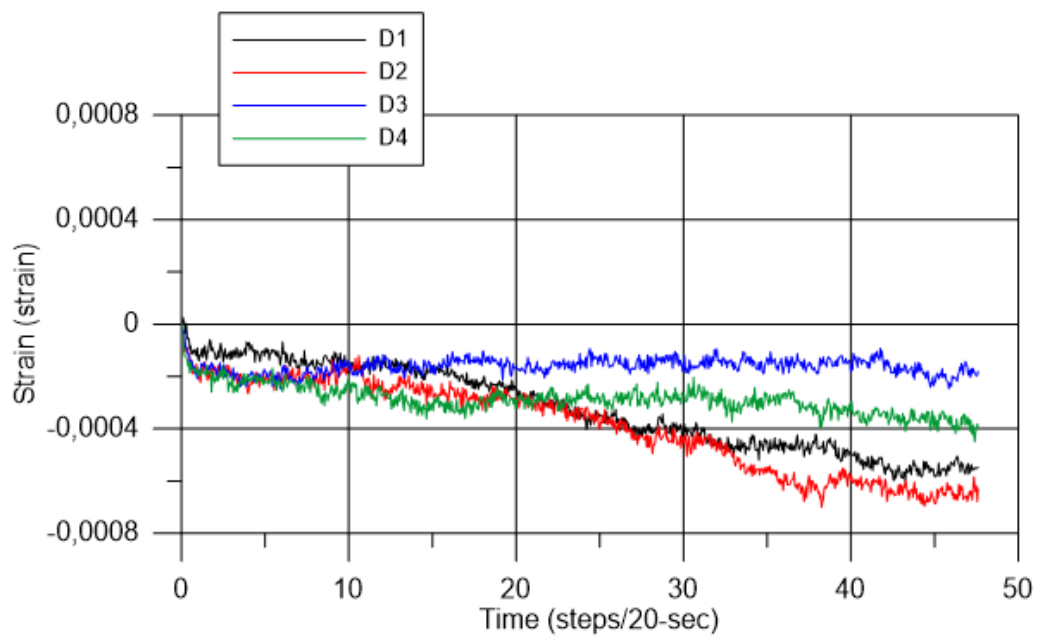
$$h_1 = 180mm, h_2 = 176mm, h_3 = 183mm, h_4 = 178mm$$



Σχήμα 5-20: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T24



Σχήμα 5-21: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων Fmax & Fmax/3 συνάρτηση του χρόνου T24



Σχήμα 5-22: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T24



Εικόνα 5-7: Αστοχία τοίχου T24 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

Πίνακας 5-4: : Αποτελέσματα κατηγορίας M2.5: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (kN)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)
18	M2,5	2,5	2,52	43512	74,76	1,72	1,71
23	M2,5	2,5	4,9	42900	114,24	2,66	2,25
24	M2,5	2,5	4,9	42790	106,57	2,49	2,10
Μέση θλιπτική αντοχή f (Mpa)						2,29	2,02
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (Mpa)						1,72	1,69

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M2.5:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1.2} \right\} \rightarrow f_k = 1.72 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25} \rightarrow$$

$$\rightarrow f_{18d} = 1.72 \times \left(\frac{3.45}{3.45}\right)^{0.65} \times \left(\frac{2.5}{2.52}\right)^{0.25} = 1.71 \text{ [MPa]}$$

Άρα η διορθωμένη θα είναι $f_{kd} = 1.69 \text{ [MPa]}$

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M5:

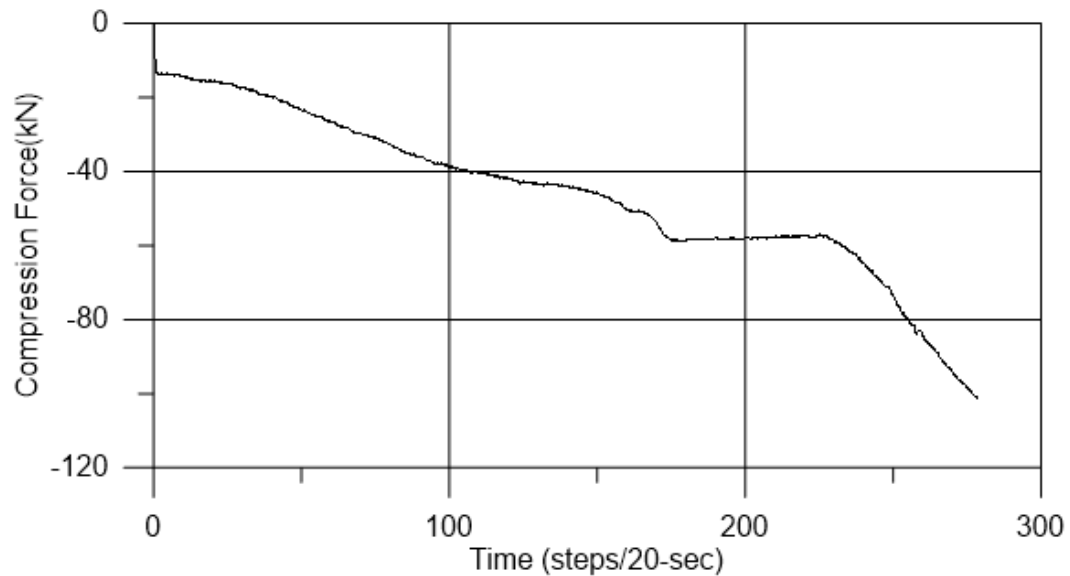
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T19, T20, T22

T19:

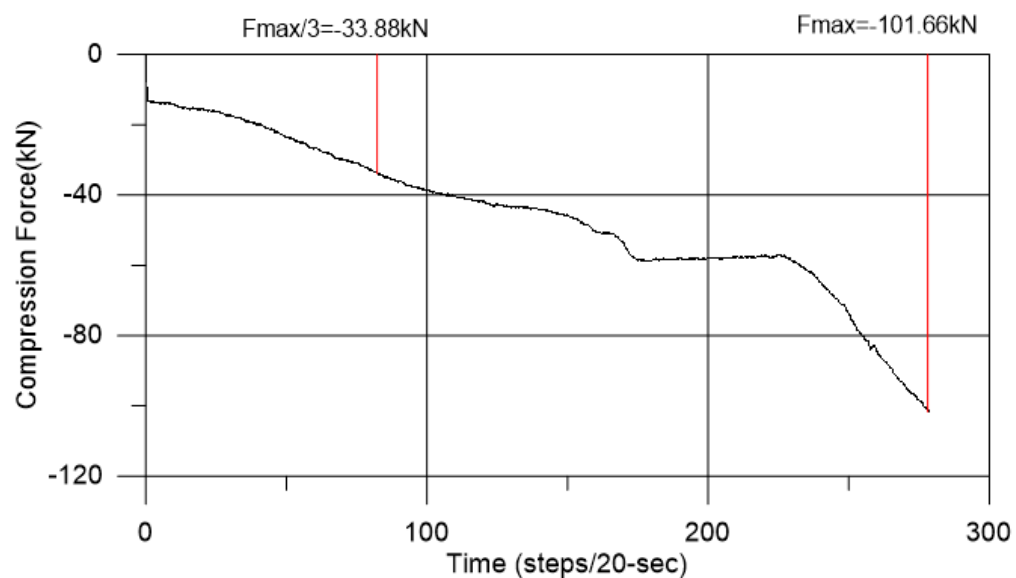
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.392 \text{ m} , t_w = 0.110 \text{ m} , h_w = 0.516 \text{ m} , A = 0.04312 \text{ m}^2$$

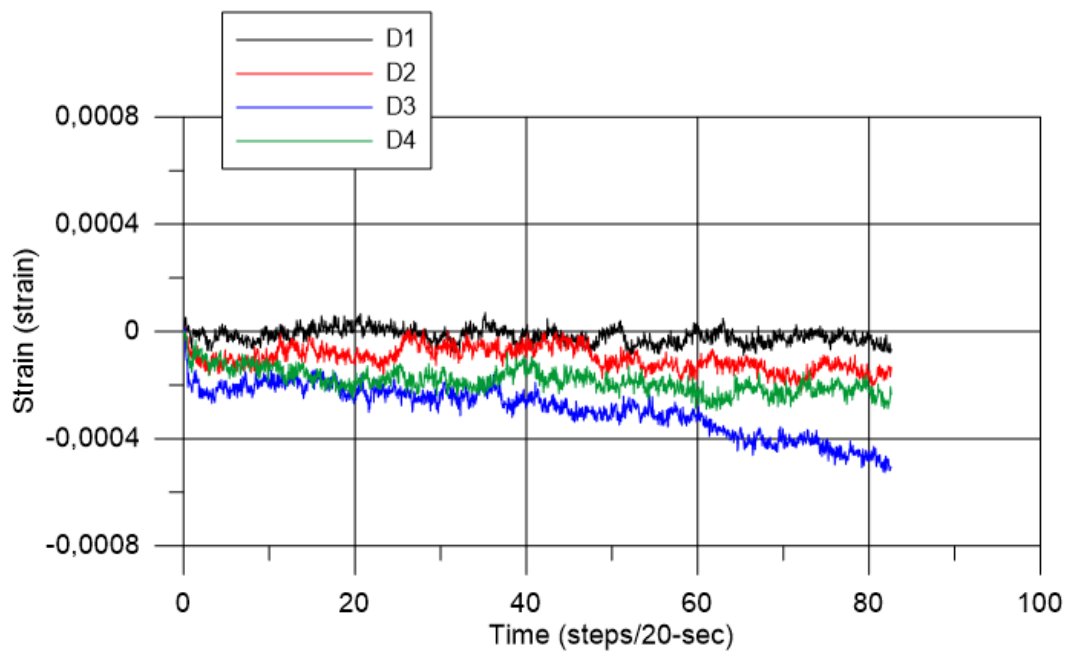
$$h_1 = 180 \text{ mm} , h_2 = 178 \text{ mm} , h_3 = 168 \text{ mm} , h_4 = 171 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-23: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T19



Σχήμα 5-24: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T19



Σχήμα 5-25: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T19



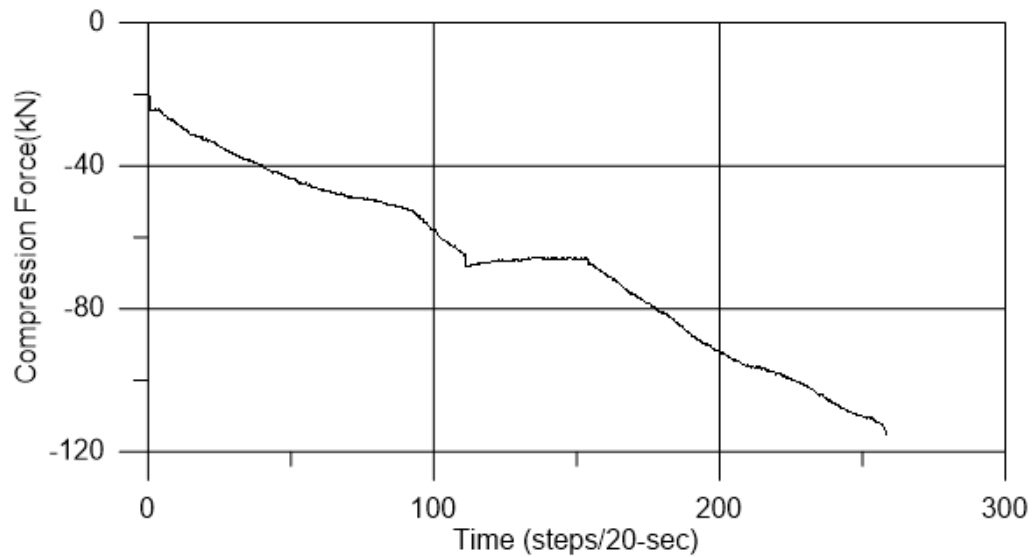
Εικόνα 5-8: Αστοχία τοίχου T19 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

T20:

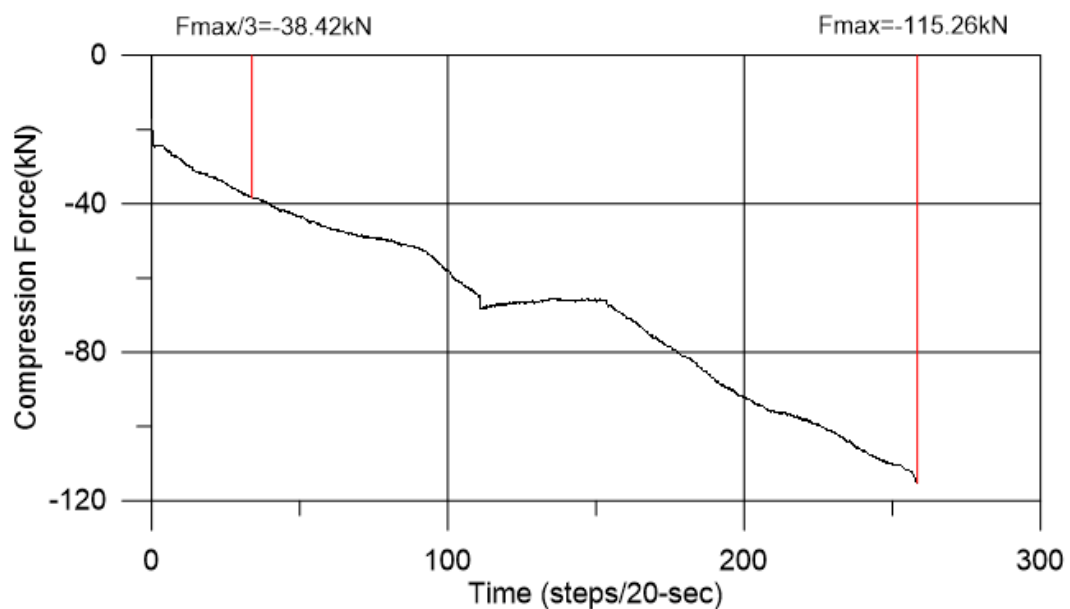
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.392 \text{ m} , t_w = 0.110 \text{ m} , h_w = 0.516 \text{ m} , A = 0.04312 \text{ m}^2$$

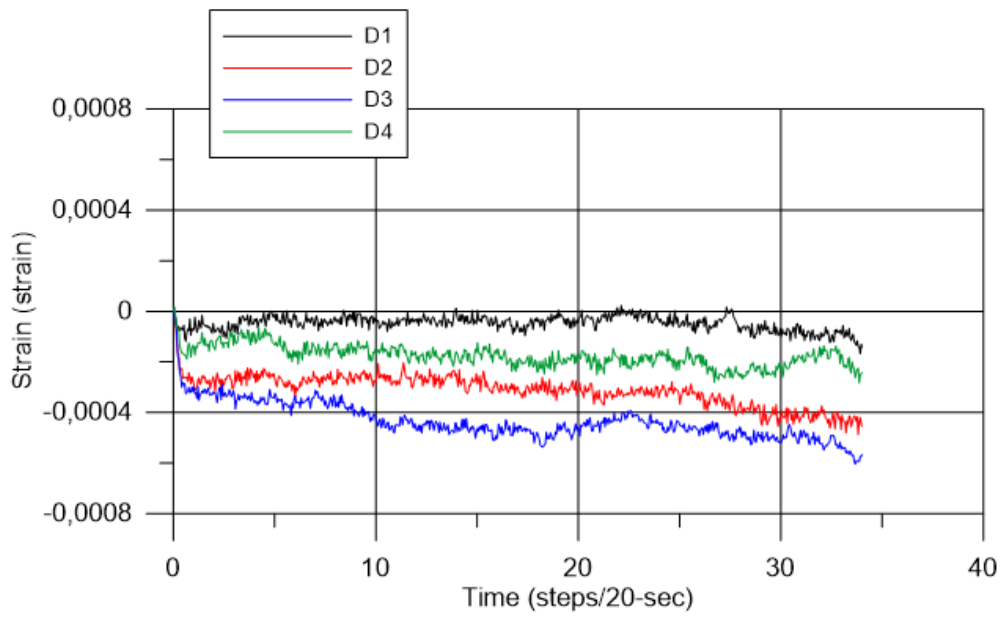
$$h_1 = 175 \text{ mm} , h_2 = 176 \text{ mm} , h_3 = 175 \text{ mm} , h_4 = 174 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-26: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T20



Σχήμα 5-27: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T20



Σχήμα 5-28: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T20



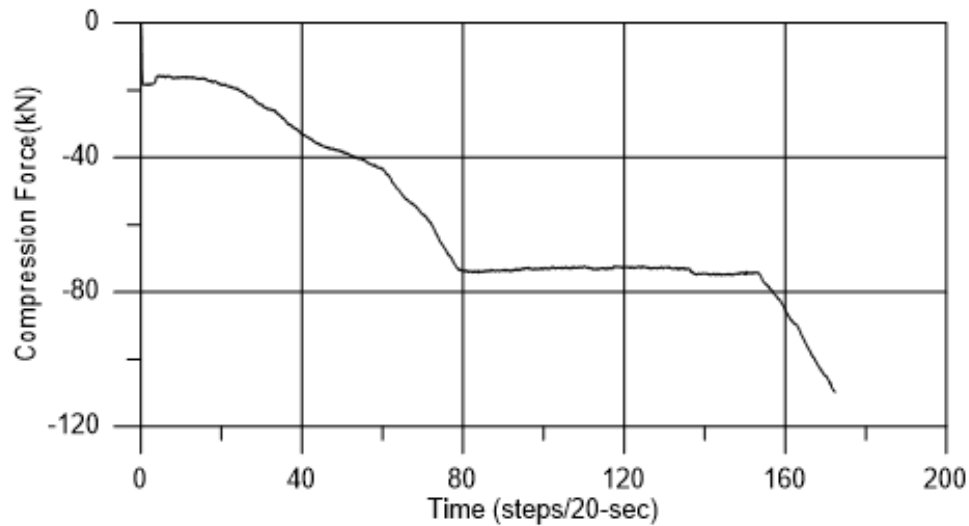
Εικόνα 5-9: Αστοχία τοίχου T20 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T22:

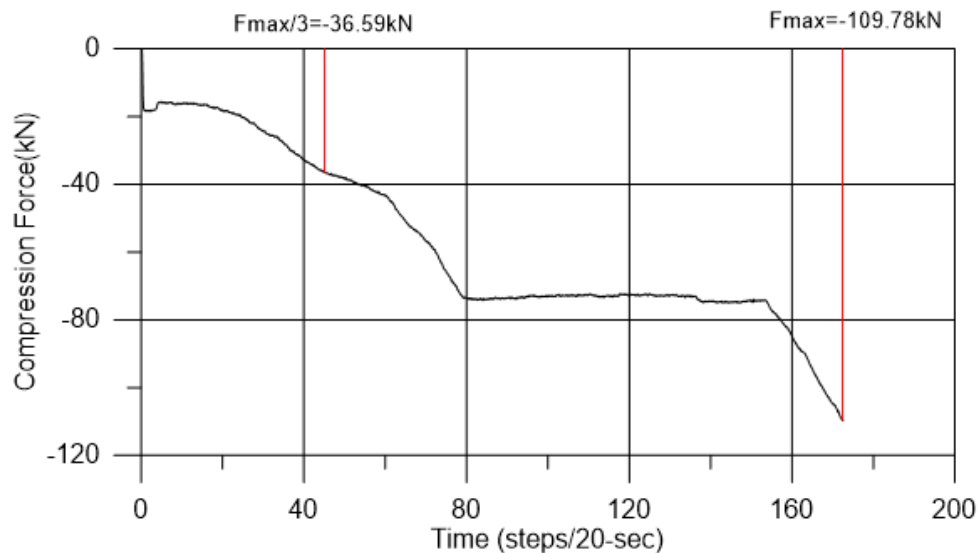
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.391 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.502 \text{ m}, A = 0.04301 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 175 \text{ mm}, h_2 = 176 \text{ mm}, h_3 = 172 \text{ mm}, h_4 = 172 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-29: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T22



Σχήμα 5-30: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων Fmax & Fmax/3 συνάρτηση του χρόνου T22

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων τοίχου T22 απορρίπτεται επειδή δεν υπάρχει θλίψη παντού, τα δύο από τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό.



Εικόνα 5-10: Αστοχία τοίχου T22 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

Πίνακας 5-5: Αποτελέσματα κατηγορίας M5: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκιμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (N)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)
19	M5	5	5,12	43120	101,66	2,36	2,34
20	M5	5	5,12	43120	115,26	2,67	2,66
21	M5	5	5,70	42350	44,52	1,05	1,02
22	M5	5	6,80	43010	109,78	2,55	2,36
Μέση θλιπτική αντοχή f (Mpa)						2,53	2,45
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k (Mpa)						2,11	2,05

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M5:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1,2} \right\} \rightarrow f_k = 2.11 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25} \rightarrow f_{19d} = 2.36 \times \left(\frac{3.45}{3.45}\right)^{0.65} \times \left(\frac{5}{5.12}\right)^{0.25} = 2.34 \text{ [MPa]}$$

Άρα η διορθωμένη θα είναι $f_{kd} = 2.05 \text{ [MPa]}$

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M10:

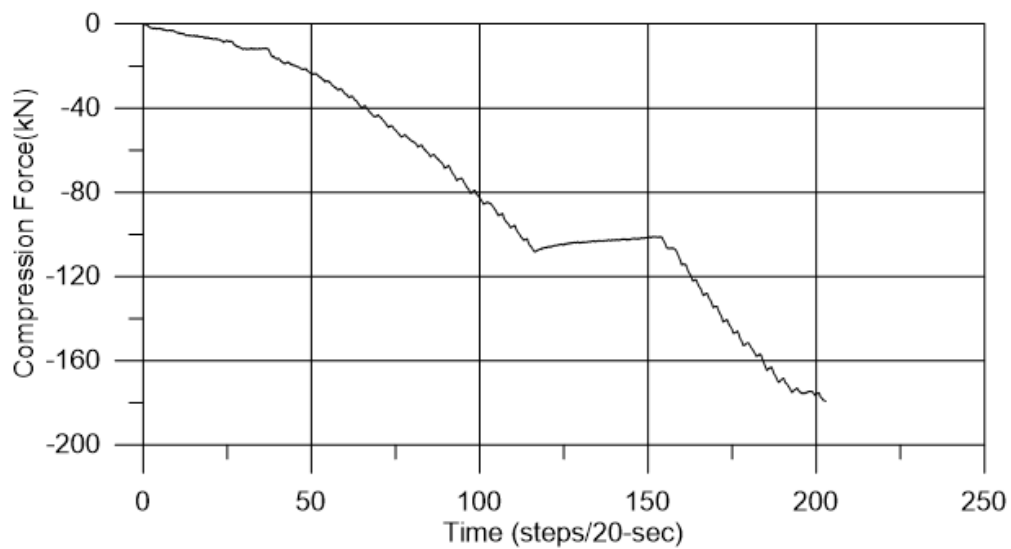
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T1, T2

T1:

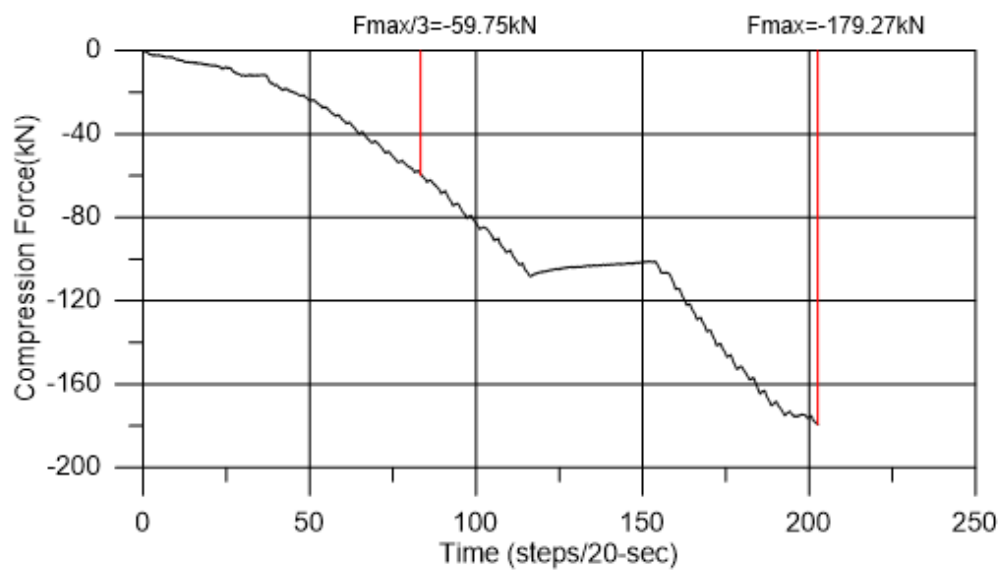
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m} , t_w = 0.113 \text{ m} , h_w = 0.481 \text{ m} , A = 0.04351 \text{ m}^2$$

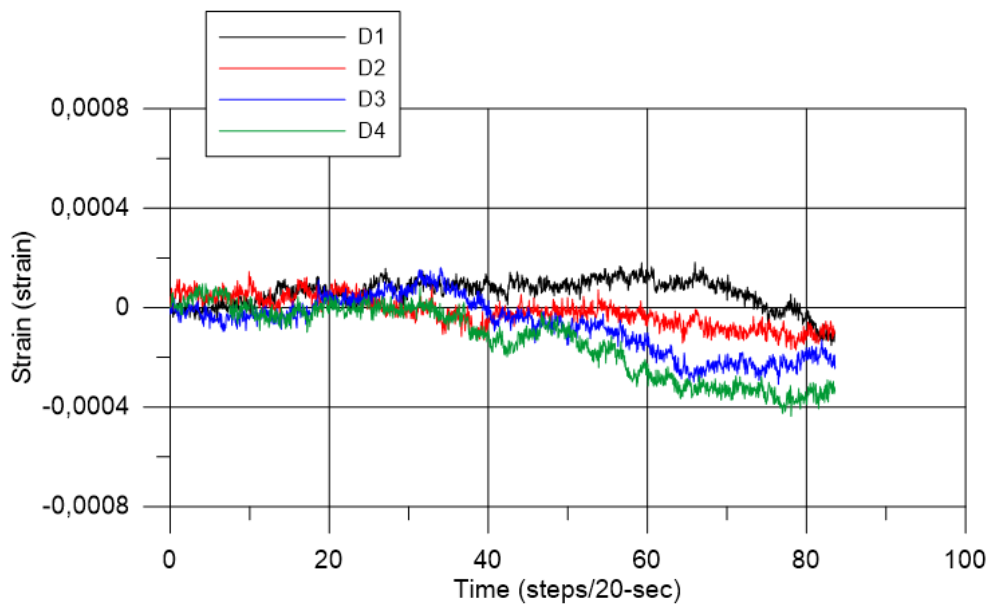
$$h_1 = 164 \text{ mm} , h_2 = 161 \text{ mm} , h_3 = 165 \text{ mm} , h_4 = 169 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-31: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T1



Σχήμα 5-32: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T1



Σχήμα 5-33: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T1

Δεν λαμβάνεται υπόψη ούτε αυτό το διάγραμμα παραμορφώσεων του τοίχου T1 γιατί όπως φαίνεται στην αρχή και τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό, ενώ το D1 είναι μονίμως σε εφελκυσμό.



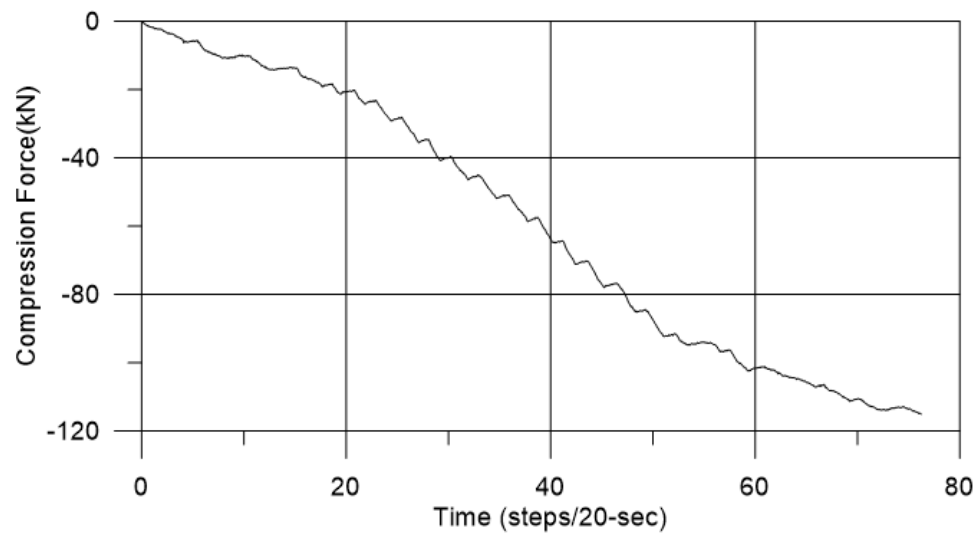
Εικόνα 5-11: Αστοχία τοίχου T1 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T2:

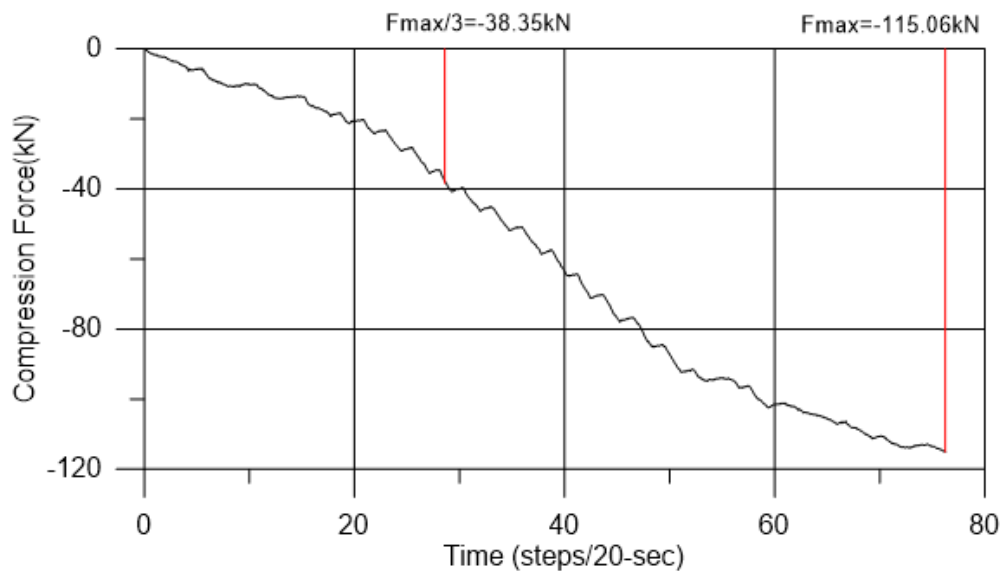
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.494 \text{ m}, A = 0.04235 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 170 \text{ mm}, h_2 = 165 \text{ mm}, h_3 = 167 \text{ mm}, h_4 = 175 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-34: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T2



Σχήμα 5-35: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T2

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων τοίχου T2 απορρίπτεται επειδή δεν υπάρχει θλίψη παντού, τα δύο από τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό.



Εικόνα 5-12: Αστοχία τοίχου T2 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

Πίνακας 5-6: Αποτελέσματα κατηγορίας M10: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκιμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (N)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)
1	M10	10	11,4	43505	179,27	4,12	3,99
2	M10	10	11,4	43505	115,06	2,64	2,56
Μέση θλιπτική αντοχή f (Mpa)						3,38	3,27
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή fk (Mpa)						2,64	2,56

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M10:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1.2} \right\} \rightarrow f_k = 2.64 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25} \rightarrow f_{1d} = 4.12 \times \left(\frac{3.45}{3.45}\right)^{0.65} \times \left(\frac{10}{11.4}\right)^{0.25} = 3.99 \text{ [MPa]}$$

Άρα η διορθωμένη θα είναι $f_{kd} = 2.56 \text{ [MPa]}$

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M20:

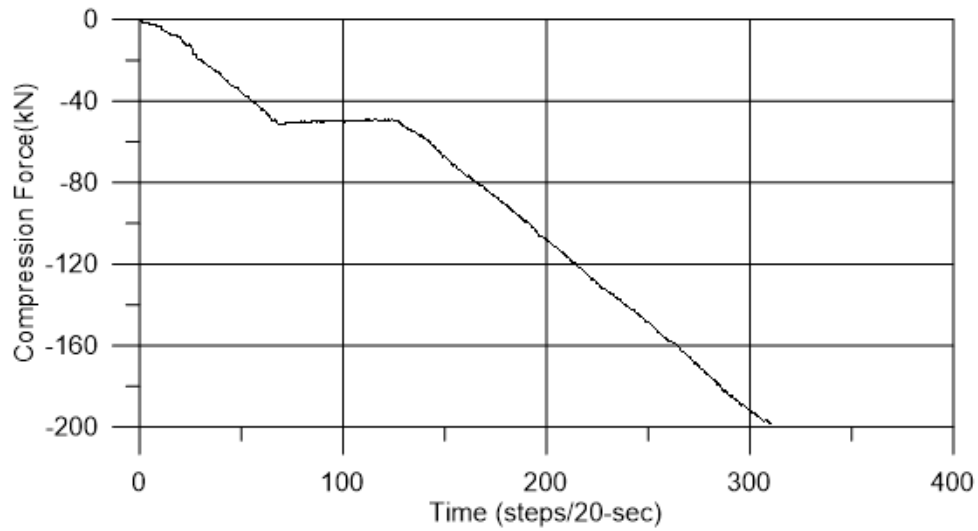
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T3, T4, T7

T3:

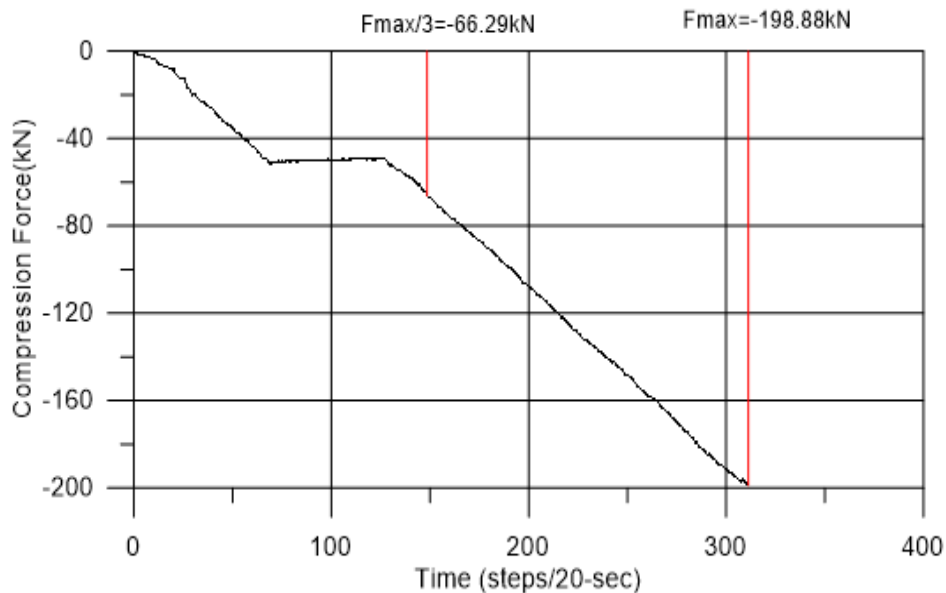
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.492 \text{ m}, A = 0.04235 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 155 \text{ mm}, h_2 = 160 \text{ mm}, h_3 = 170 \text{ mm}, h_4 = 171 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-36: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T3



Σχήμα 5-37: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων Fmax & Fmax/3 συνάρτηση του χρόνου T3

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων απορρίπτεται λόγω σφάλματος των οργάνων (βελόμετρα) κατά τη διάρκεια της πειραματικής δοκιμής του τοίχου T3.



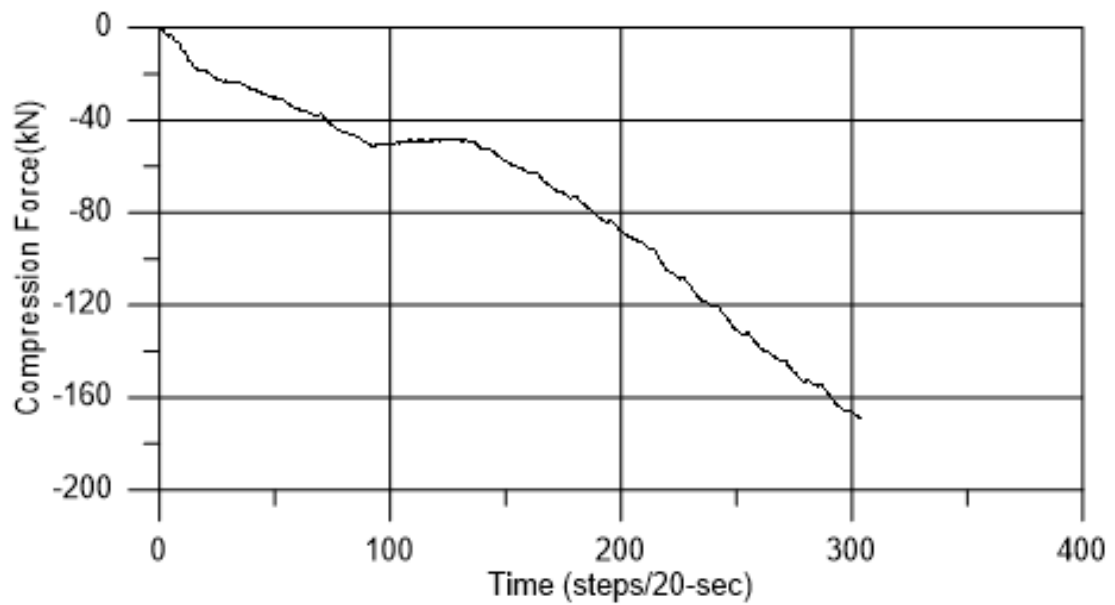
Εικόνα 5-13: Αστοχία τοίχου T3 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T4:

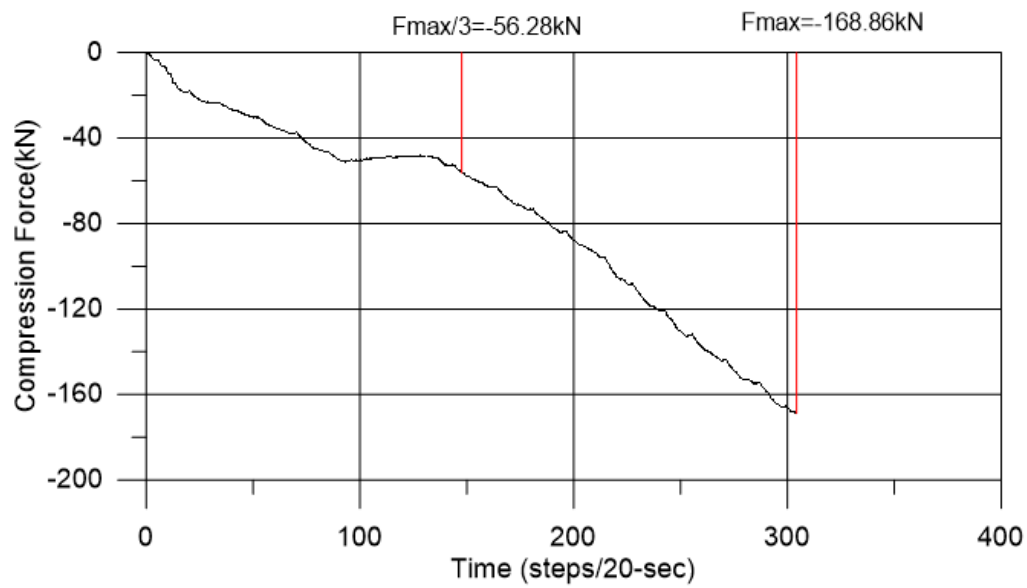
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.493 \text{ m}, A = 0.04235 \text{ m}^2$$

$$h_1 = 164 \text{ mm}, h_2 = 164 \text{ mm}, h_3 = 170 \text{ mm}, h_4 = 157 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-38: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T4



Σχήμα 5-39: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T4

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων απορρίπτεται λόγω σφάλματος των οργάνων (βελόμετρα) κατά τη διάρκεια της πειραματικής δοκιμής του τοίχου T4.



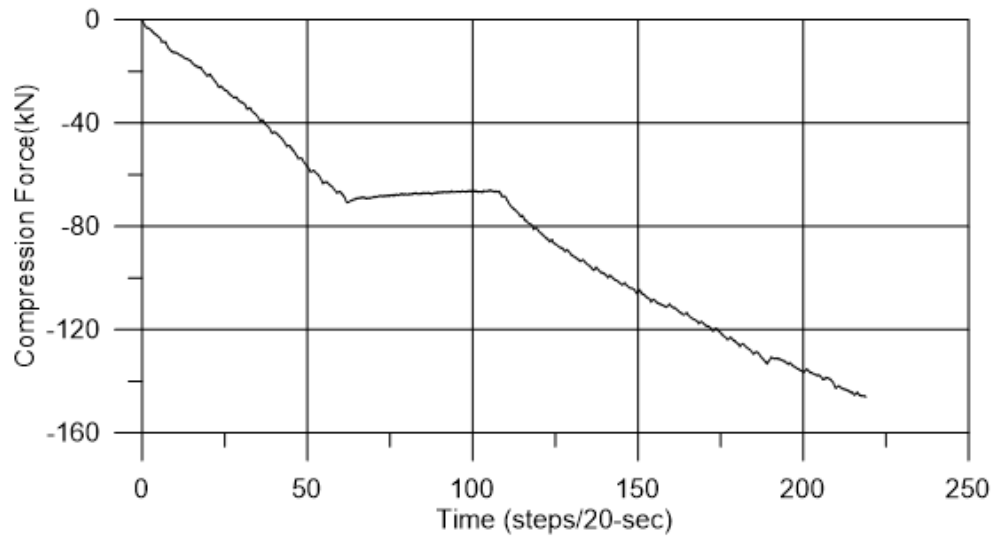
Εικόνα 5-14: Αστοχία τοίχου T4 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T7:

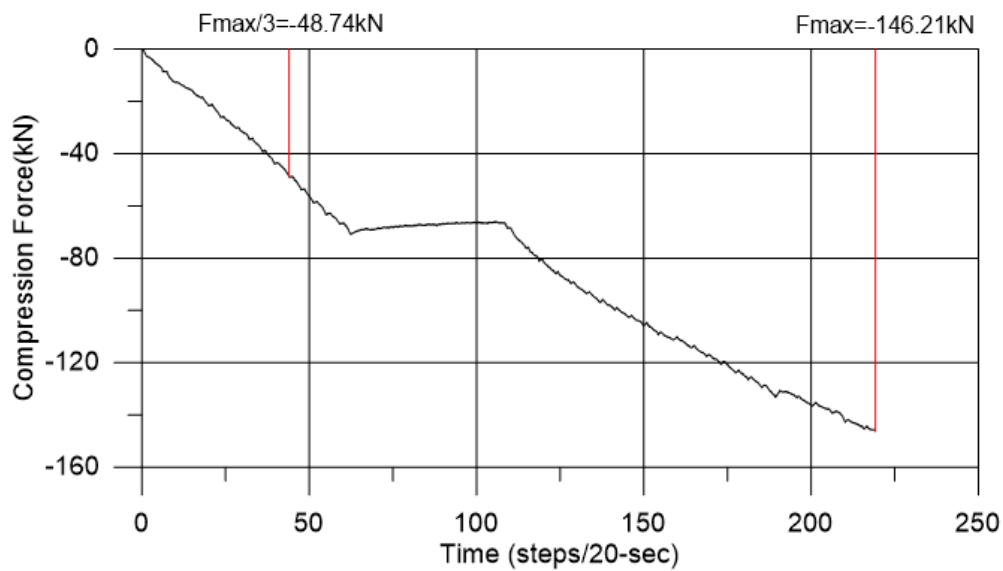
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.390 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.491 \text{ m}, A = 0.0429 \text{ m}^2$$

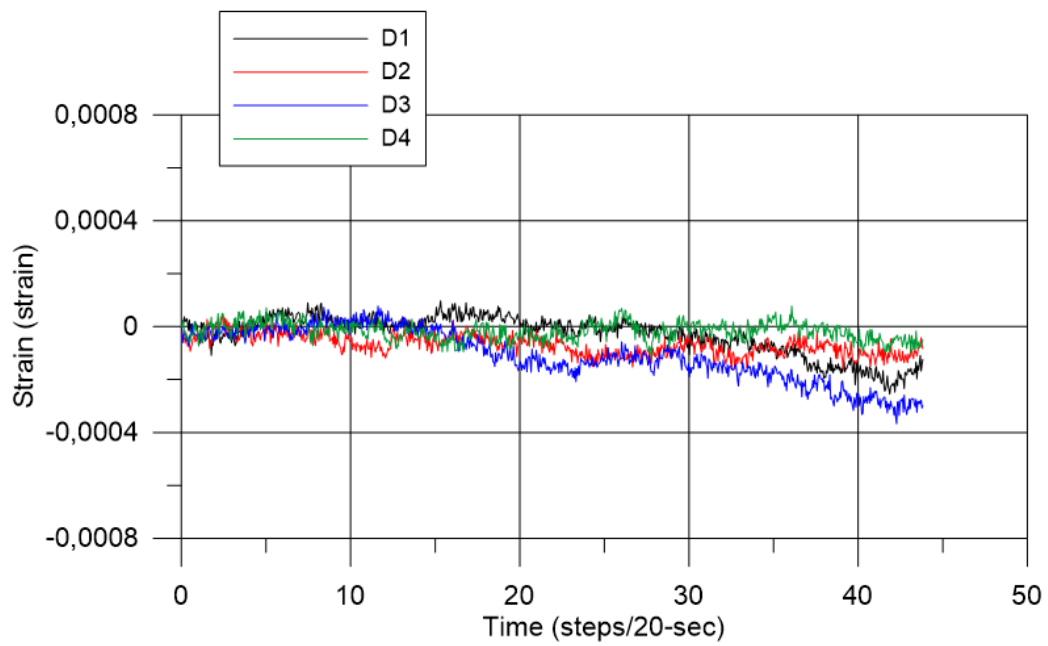
$$h_1 = 158 \text{ mm}, h_2 = 162 \text{ mm}, h_3 = 160 \text{ mm}, h_4 = 161 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-40: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T7



Σχήμα 5-41: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max/3}$ συνάρτηση του χρόνου T7



Σχήμα 5-42: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T7



Εικόνα 5-15: Αστοχία τοίχου T7 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα κατηγορίας M20: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκιμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (N)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)
3	M20	20	25,85	42350	198,88	4,70	4,40
4	M20	20	29,69	42350	168,86	3,99	3,61
7	M20	20	26,26	42900	146,21	3,41	3,18
Μέση θλιπτική αντοχή f (MPa)						4,03	3,73
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή fk (MPa)						3,36	3,11

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M20:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1.2} \right\} \rightarrow f_k = 3.36 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25} \rightarrow f_{3d} = 4.70 \times \left(\frac{3.45}{3.45}\right)^{0.65} \times \left(\frac{20}{25.85}\right)^{0.25} = 4.40 \text{ [MPa]}$$

Άρα η διορθωμένη θα είναι $f_{kd} = 3.11$ [MPa]

Αποτελέσματα κατηγορίας κονιάματος M30:

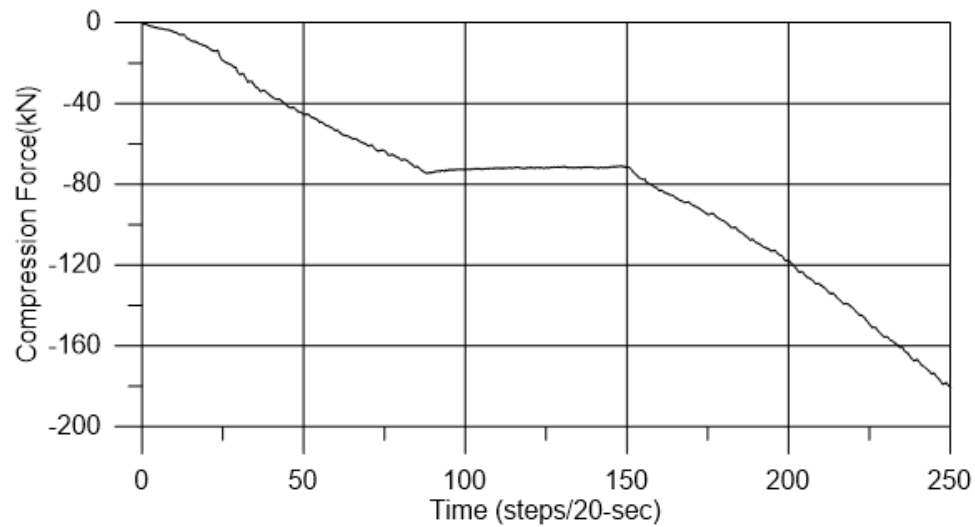
Οι τελικοί τοίχοι προς αξιολόγηση είναι οι: T5, T6, T8, T9, T10, T12

T5:

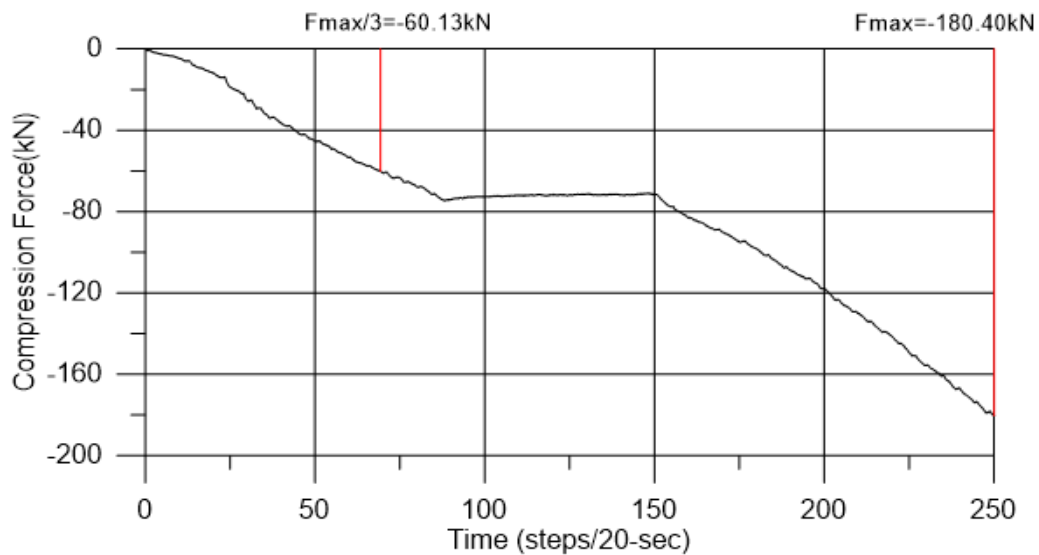
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.385 \text{ m} , t_w = 0.110 \text{ m} , h_w = 0.494 \text{ m} , A = 0.04235 \text{ m}^2$$

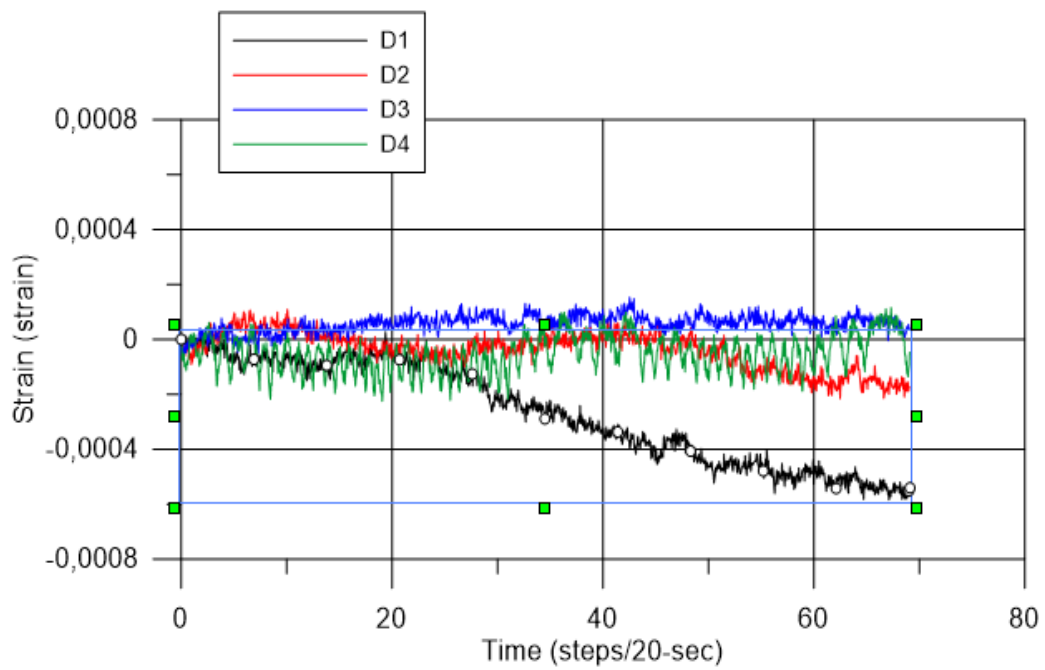
$$h_1 = 164 \text{ mm} , h_2 = 164 \text{ mm} , h_3 = 170 \text{ mm} , h_4 = 157 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-43: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T5



Σχήμα 5-44: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων Fmax & Fmax/3 συνάρτηση του χρόνου T5



Σχήμα 5-45: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T5



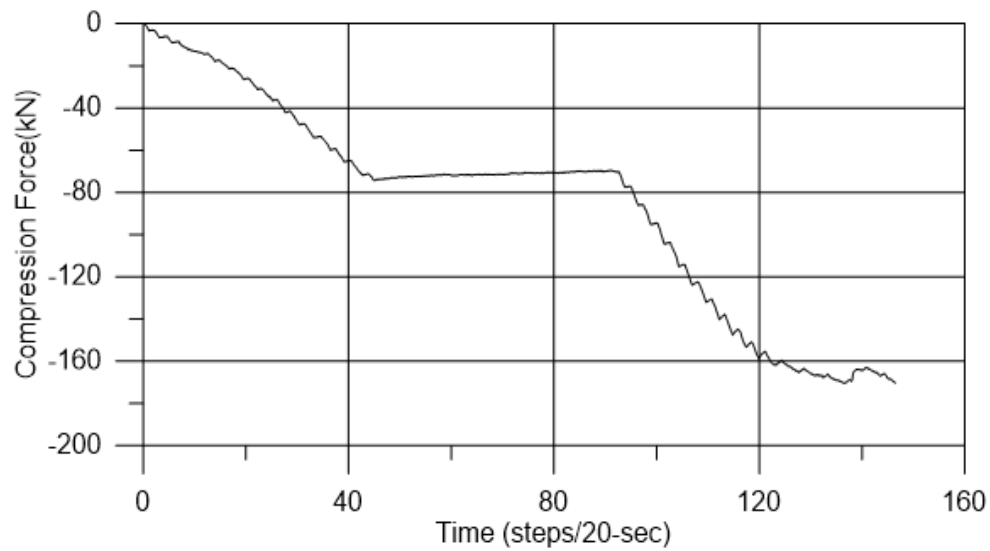
Εικόνα 5-16: Αστοχία τοίχου T5 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T6:

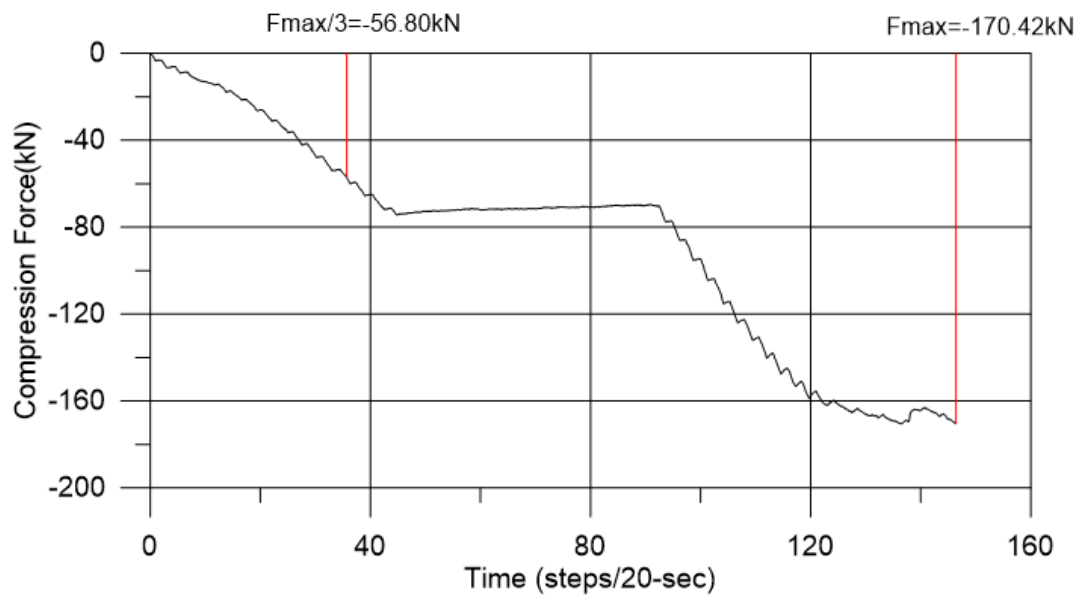
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.390 \text{ m}, t_w = 0.110 \text{ m}, h_w = 0.496 \text{ m}, A = 0.0429 \text{ m}^2$$

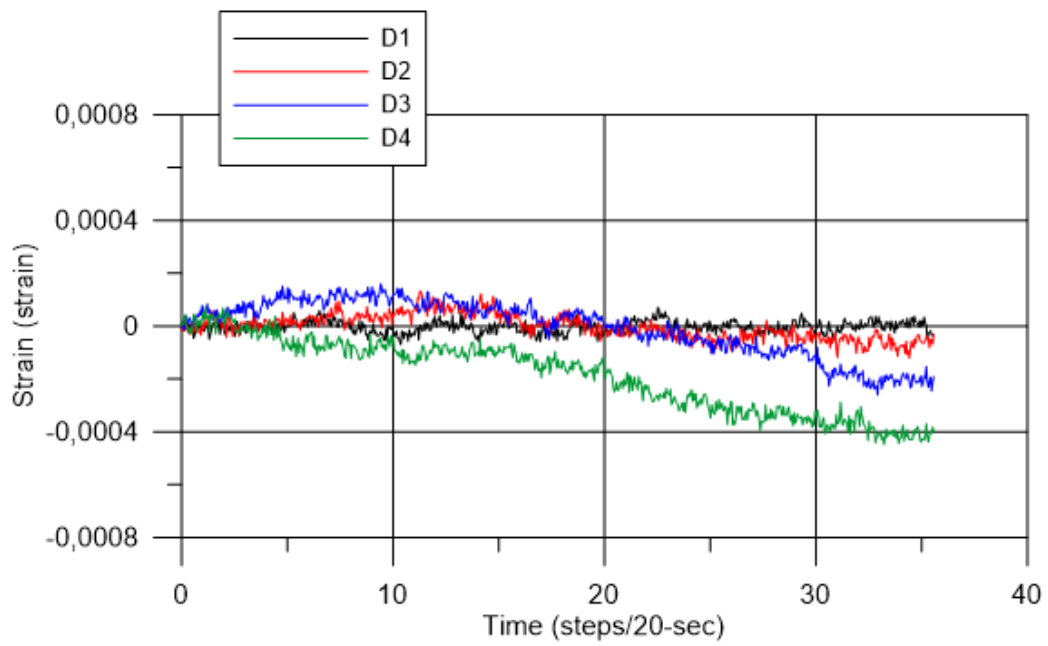
$$h_1 = 173 \text{ mm}, h_2 = 172 \text{ mm}, h_3 = 162 \text{ mm}, h_4 = 164 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-46: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T6



Σχήμα 5-47: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T6



Σχήμα 5-48: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T6



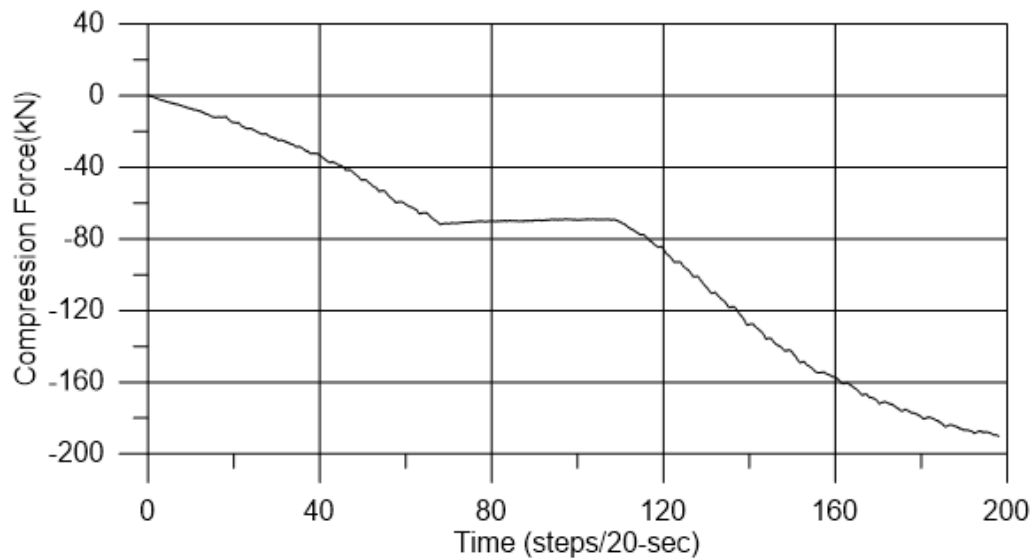
Εικόνα 5-17: Αστοχία τοίχου T6 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T8:

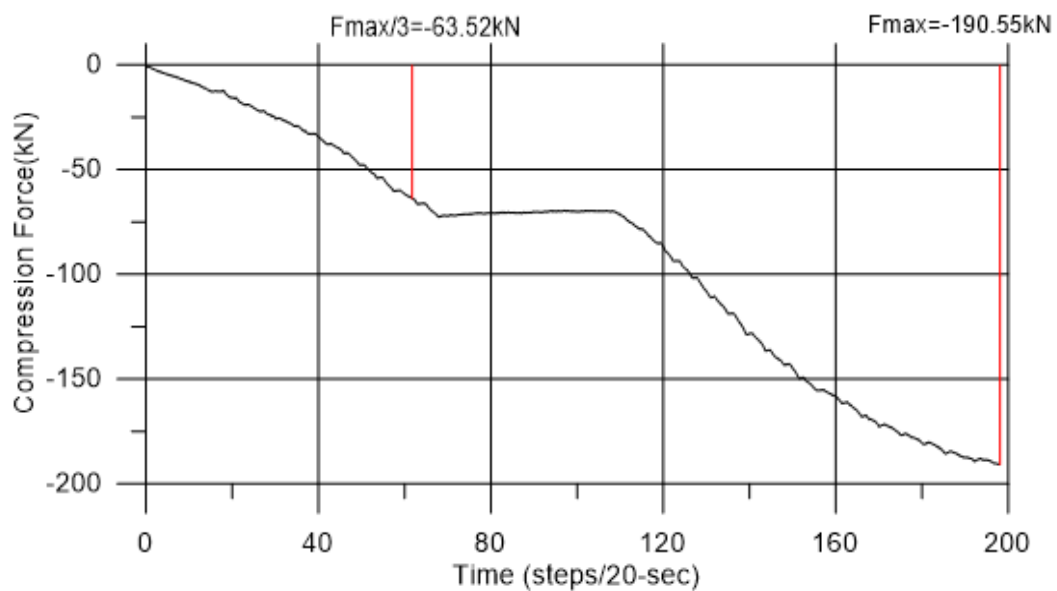
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.383 \text{ m}, t_w = 0.111 \text{ m}, h_w = 0.491 \text{ m}, A = 0.04251 \text{ m}^2$$

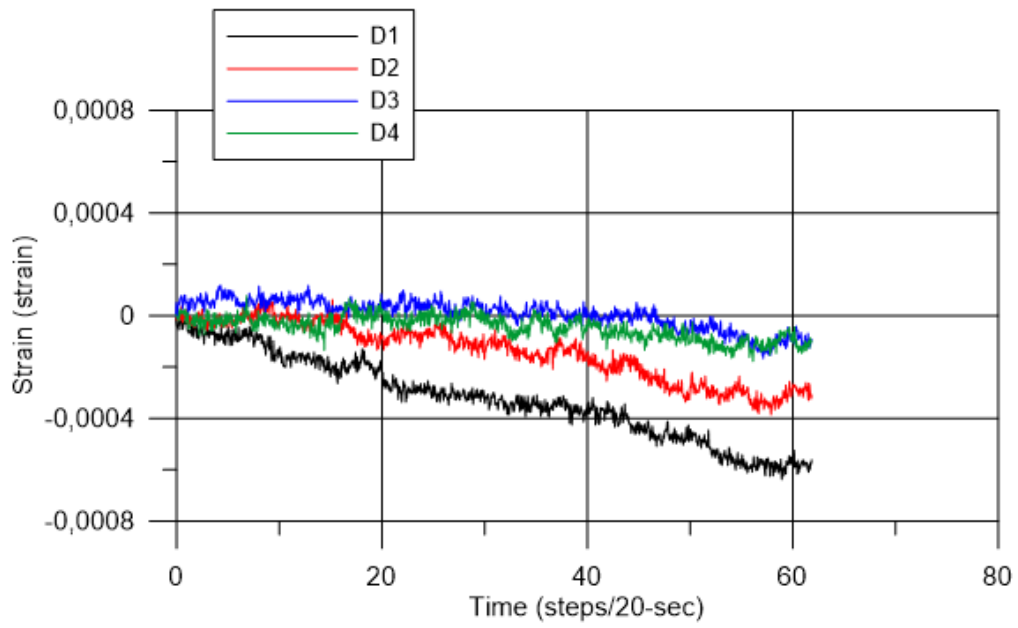
$$h_1 = 165 \text{ mm}, h_2 = 171 \text{ mm}, h_3 = 170 \text{ mm}, h_4 = 173 \text{ mm}$$



Σχήμα 5-49: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T8



Σχήμα 5-50: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων Fmax & Fmax/3 συνάρτηση του χρόνου T8



Σχήμα 5-51: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T8



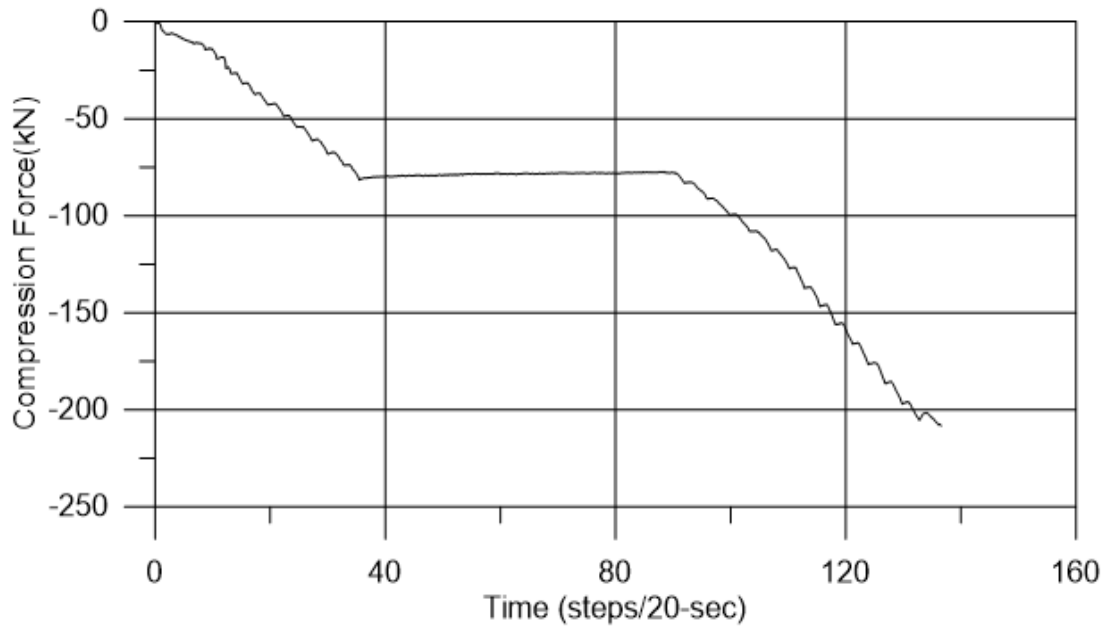
Εικόνα 5-18: Αστοχία τοίχου T8 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

T9:

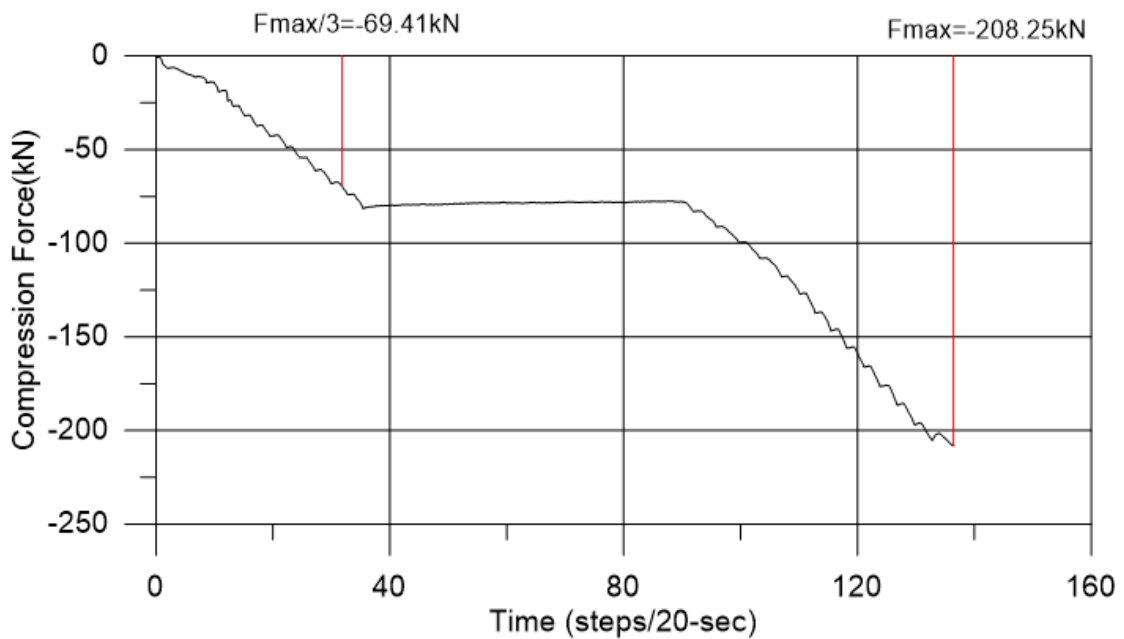
Διαστάσεις τοίχου:

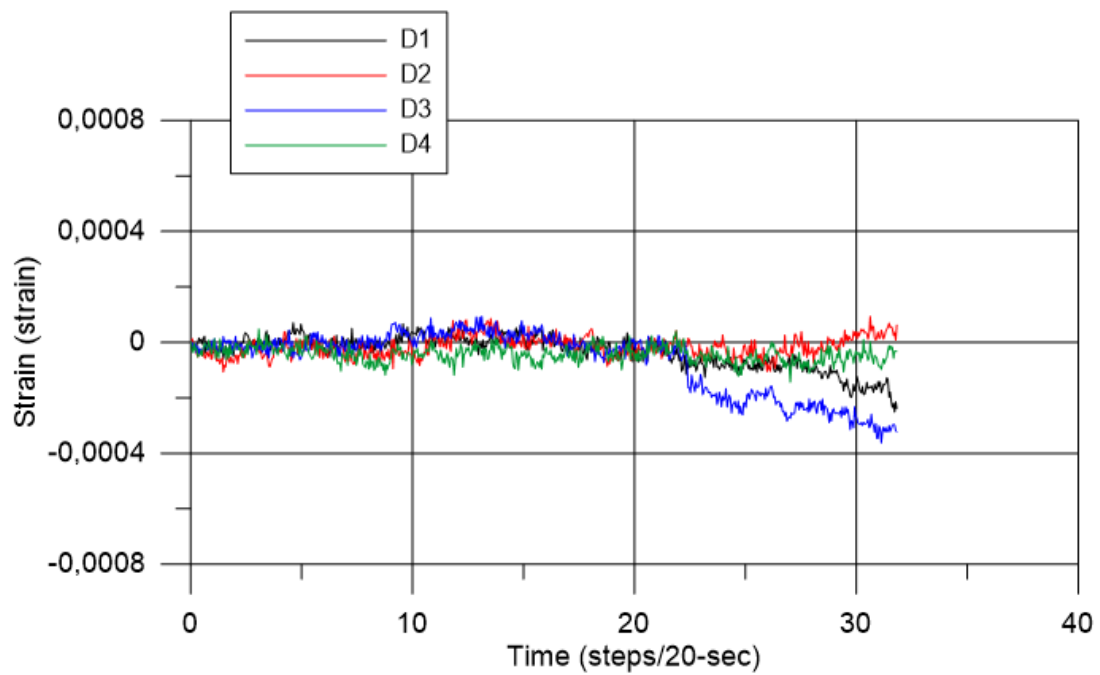
$$l_w = 0.385m, t_w = 0.110m, h_w = 0.487m, A = 0.04235m^2$$

$$h_1 = 160mm, h_2 = 152mm, h_3 = 160mm, h_4 = 160mm$$



Σχήμα 5-52: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T9

Σχήμα 5-53: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T9



Σχήμα 5-54: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T9



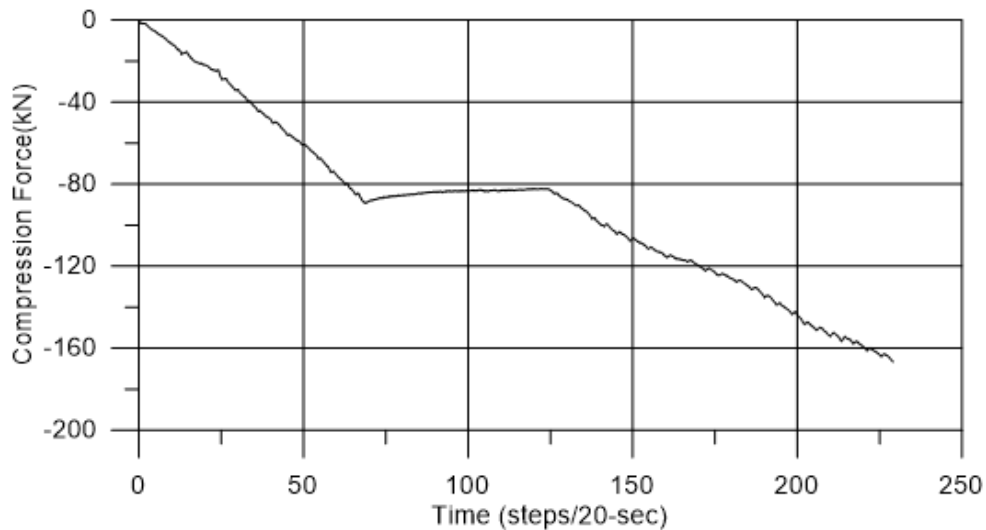
Εικόνα 5-19: Αστοχία τοίχου T9 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίο

T10:

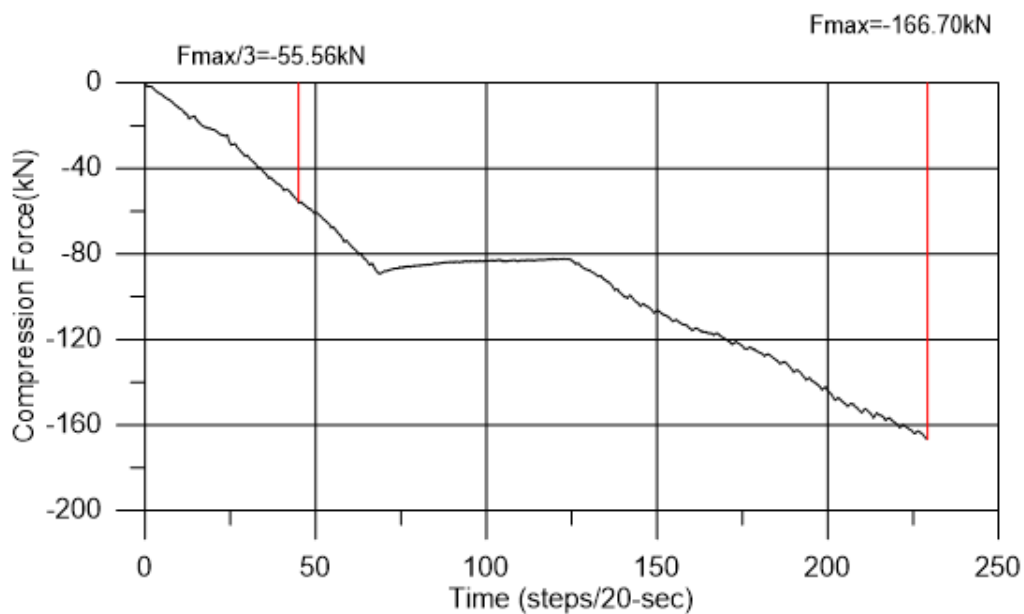
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.387m, t_w = 0.113m, h_w = 0.490m, A = 0.04373m^2$$

$$h_1 = 174mm, h_2 = 168mm, h_3 = 168mm, h_4 = 172mm$$



Σχήμα 5-55: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T10



Σχήμα 5-56: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T10

Το διάγραμμα των παραμορφώσεων τοίχου T10 απορρίπτεται επειδή δεν υπάρχει θλίψη παντού, τα δύο από τα τέσσερα βελόμετρα βρίσκονται σε εφελκυσμό.



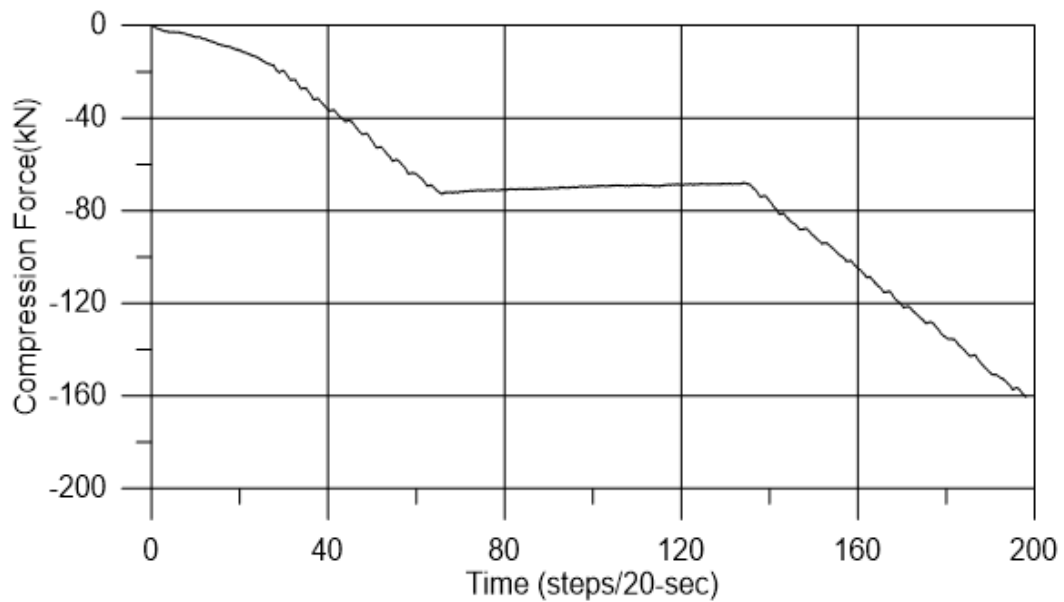
Εικόνα 5-20: Αστοχία τοίχου T10 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

T12:

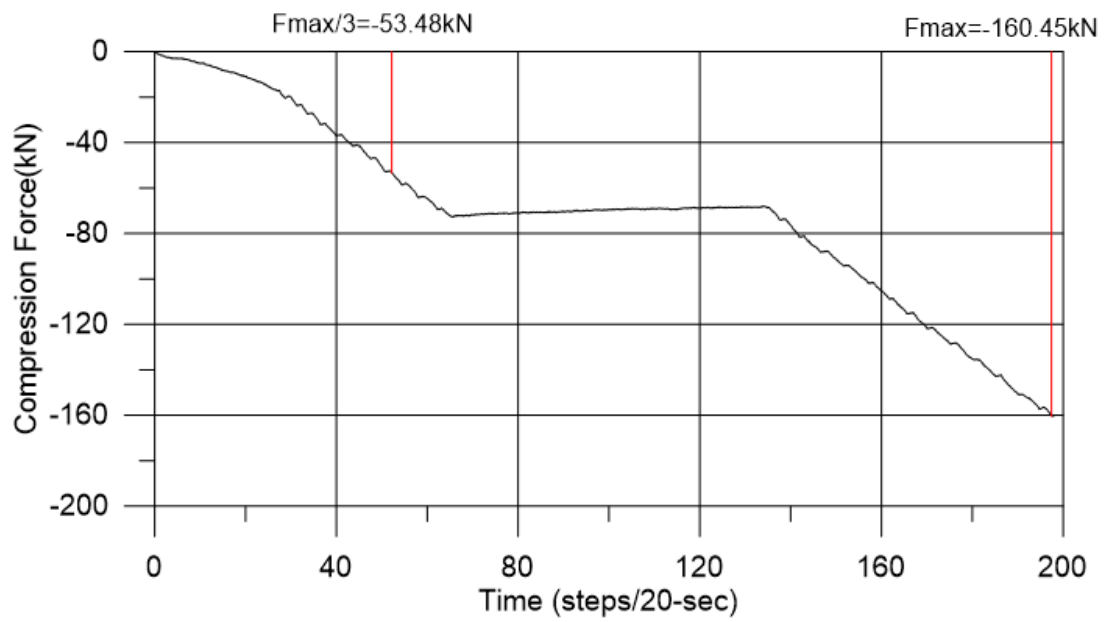
Διαστάσεις τοίχου:

$$l_w = 0.384m, t_w = 0.111m, h_w = 0.491m, A = 0.0426m^2$$

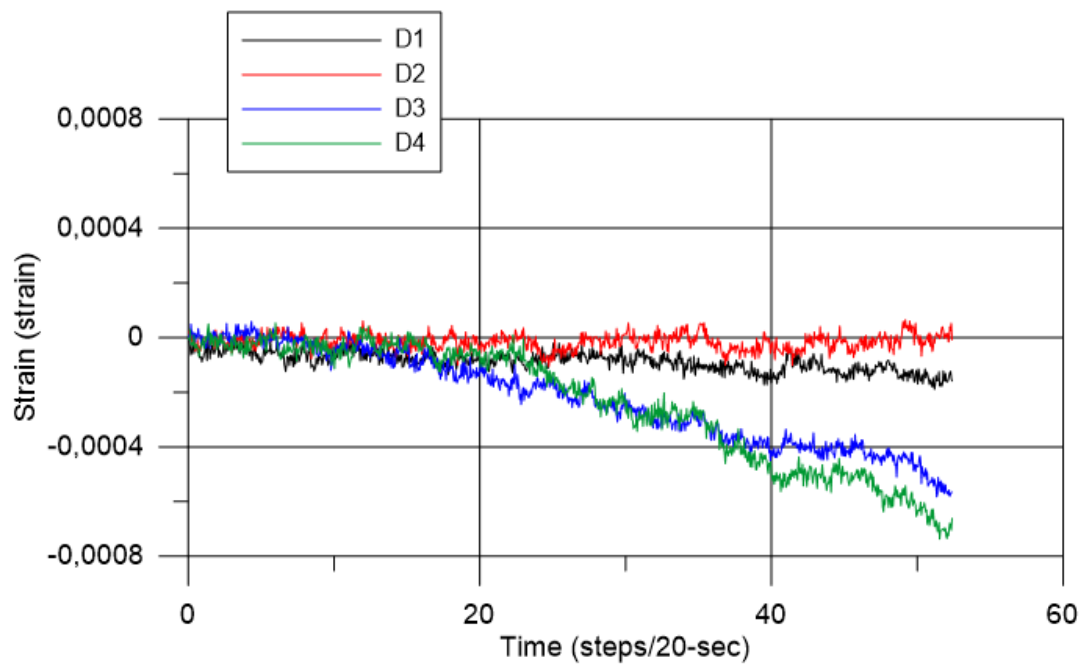
$$h_1 = 163mm, h_2 = 166mm, h_3 = 163mm, h_4 = 158mm$$



Σχήμα 5-57: Διάγραμμα θλιπτικής δύναμης συνάρτηση του χρόνου T12



Σχήμα 5-58: Διάγραμμα θλιπτικών δυνάμεων F_{max} & $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T12



Σχήμα 5-59: Διάγραμμα Παραμορφώσεων στο $F_{max}/3$ συνάρτηση του χρόνου T12



Εικόνα 5-21: Αστοχία τοίχου T12 κατά τον προσδιορισμό του μέγιστου θλιπτικού φορτίου

Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα κατηγορίας M30: Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας

i-Δοκιμή	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής f_m (N/mm ²)	Εμβαδό A (mm ²)	Μέγιστο θλιπτικό φορτίο $F_{i,max}$ (N)	f_i (N/mm ²)	$f_{i,d}$ (N/mm ²)
5	M30	30	32,95	42350	180,4	4,26	4,16
6	M30	30	32,57	42900	170,42	3,97	3,89
8	M30	30	30,95	42900	190,55	4,44	4,41
9	M30	30	31,93	42350	208,25	4,92	4,84
10	M30	30	35,98	43731	166,7	3,81	3,64
11	M30	30	38,23	42350	125,97	2,97	2,80
12	M30	30	36,40	42624	160,45	3,76	3,59
Μέση θλιπτική αντοχή f (Mpa)						4,02	3,90
Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή fk (Mpa)						3,35	3,25

Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας κατηγορίας M30:

$$f_k = \min \left\{ \min(f_{i,min}), \frac{f}{1.2} \right\} \rightarrow f_k = 3.35 \text{ [MPa]}$$

Διορθωμένη Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας:

$$f_{id} = f_i \times \left(\frac{f_{bd}}{f_b}\right)^{0.65} \times \left(\frac{f_{md}}{f_m}\right)^{0.25} \rightarrow \text{Β Άρα η διορθωμένη θα είναι } f_{kd} = 3.25 \text{ [MPa]}$$

5.1.2 Σύγκριση πειραματικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας με τη θλιπτική αντοχής τοιχοποιίας κατά Ευρωκώδικα 6 καθώς και με ημιεμπειρικές σχέσεις ερευνητών

Από τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών αντοχής τόσο του τσιμεντοκονιάματος όσο και των τοιχοσωμάτων (τούβλων) συλλέχθηκαν τα στοιχεία της μέσης θλιπτικής αντοχής κονιάματος και της ανηγμένης θλιπτικής αντοχής τοιχοσωμάτων όπου χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των παρακάτω ημιεμπειρικών σχέσεων που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία από διάφορους ερευνητές. Σκοπός αυτών των υπολογισμών των ημιεμπειρικών θλιπτικών αντοχών τοιχοποιίας είναι η σύγκριση τους με τις θλιπτικές αντοχές τοιχοποιίας των πειραματικών δοκιμών που διεξήχθησαν. Για το λόγο αυτό παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα της ημιεμπειρικής θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας σε σχέση με την πειραματική θλιπτική αντοχή για να μας δώσουν μια σαφή εικόνα κατά πόσο οι ημιεμπειρικές σχέσεις αντοχής προσεγγίζουν την πειραματική αντοχή.

Ημιεμπειρικές σχέσεις

- Η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f'_m συνδέεται με την ανηγμένη θλιπτική αντοχή του λιθοσώματος f_b και τη μέση θλιπτική αντοχή του κονιάματος f_j με τις ημιεμπειρικές σχέσεις που ακολουθούν.

Bennett et al.

$$f'_m = 0.3f_b \text{ [MPa]}$$

Dayaratnam

$$f'_m = 0.275f_b^{0.5}f_j^{0.5} \text{ [MPa]}$$

MSJC

$$f'_m = (400 + 0.25 f_b)/145 \text{ [MPa]}$$

Kaushik et al.

$$f'_m = 0.63f_b^{0.49}f_j^{0.32} \text{ [MPa]}$$

Gumaste and Venkatarama Reddy

$$f'_m = 0.317f_b^{0.866}f_j^{0.134} \text{ [MPa]}$$

Hendry and Malek

$$f'_m = 0.317 f_b^{0.531} f_j^{0.208} \text{ [MPa]}$$

Ευρωκώδικας 6

$$f'_m = K f_b^{0.7} f_j^{0.3} \text{ [MPa]}$$

όπου:

K είναι συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο των οπτόπλινθων και του κονιάματος. Τιμές του δίνονται στο κεφάλαιο 3 (Πίνακας 3-1) . Όπου για τους οπτόπλινθους που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία (όπως αναφέρεται και στο κεφ. 2) είναι διαστάσεων 19 x 12 x 9 με 12 οριζόντιες οπές κυκλικής διατομής. Για τον υπολογισμό του συντελεστή K κατά τον Ευρωκώδικα 6 πρέπει να γίνει η κατάταξη των τοιχοσώματων στην αντίστοιχη ομάδα.

Σύμφωνα με τα παρακάτω οι οπτόπλινθοι κατατάσσονται στην ομάδα 1:

- Το ποσοστό κατ' όγκον των οπών υπολογίστηκε και είναι 22% μικρότερο του 25% κατ' όγκον.
- Όγκος κάθε οπής δεν υπερβαίνει το 12.5% του μικτού όγκου του τοιχοσώματος.

Επομένως ο συντελεστής προκύπτει $K = 0.55$ (κατά Ευρωκώδικα 6).

f_b : ανηγμένη θλιπτική αντοχή του οπτόπλινθου

$$f_b = \delta f_{bc}$$

δ : συντελεστής αναγωγής υπολογίστηκε στο (3.2.1) και είναι:

$$\delta = 0.91714$$

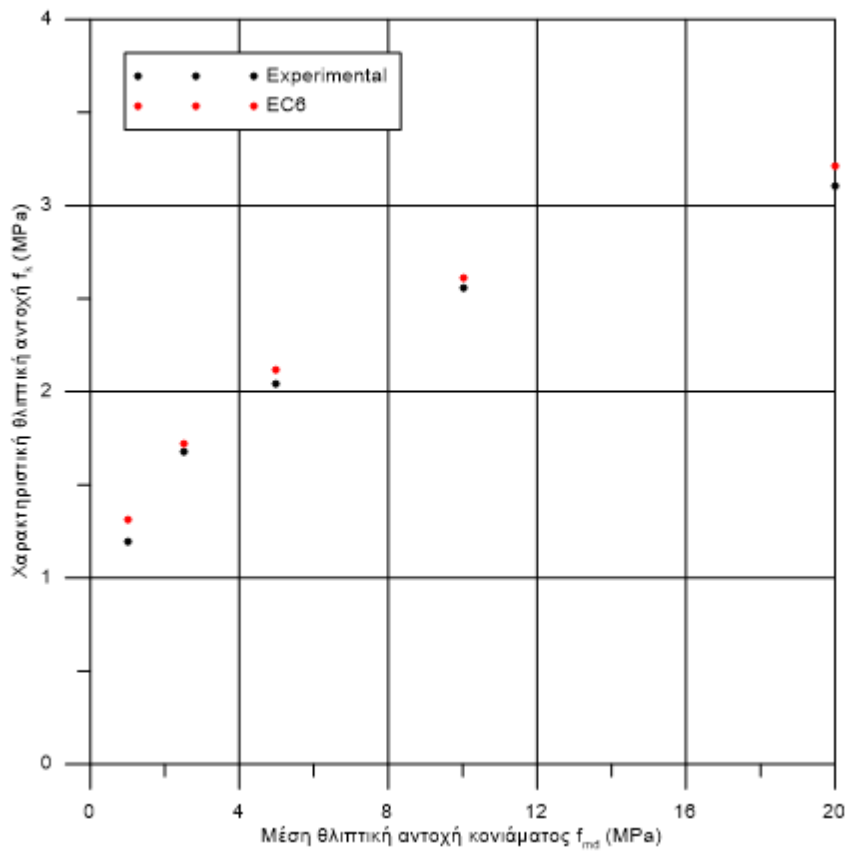
Πίνακας 5-9: Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή οπτόπλινθων πειραματικών δοκιμών

Μέση αντοχή κονιάματος καπελώματος (N/mm ²)	Μέση αντοχή λιθοσώματος ανάλογα με την θλιπτική αντοχή του καπελώματος (N/mm ²)	Ανηγγμένη θλιπτική αντοχή λιθοσώματος (N/mm ²)
2,5	3,76	3,45
5,01	5,27	4,83
17,71	6,78	6,22

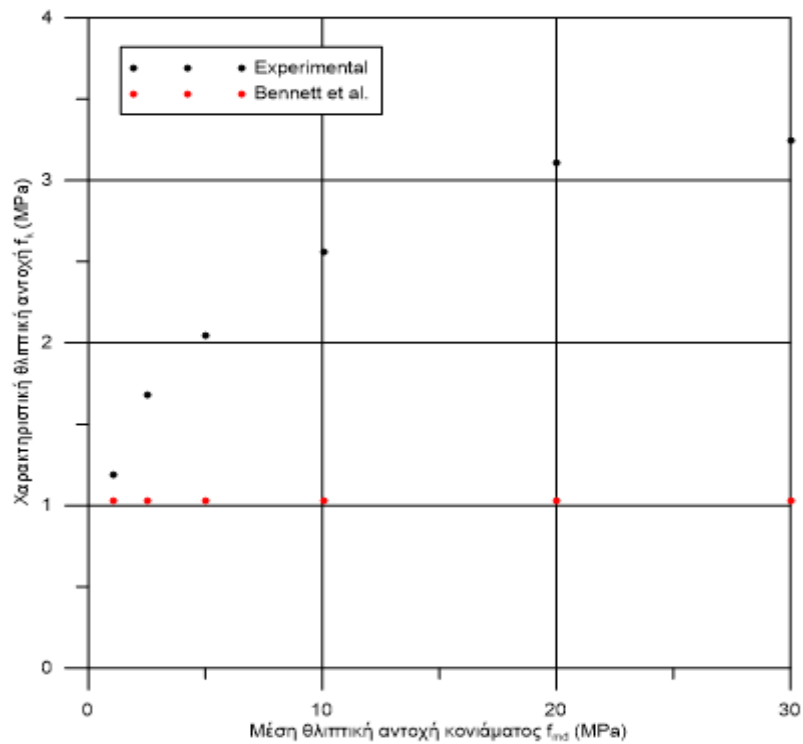
Η ανηγμένη θλιπτική αντοχή οπτόπλινθου που επιλέχθηκε για τον υπολογισμό των παραπάνω ημιεμπειρικών σχέσεων είναι $f_b = 3.45$ MPa

Πίνακας 5-10: Αποτελέσματα Χαρακτηριστικών θλιπτικών αντοχών τοιχοποιίας ημιεμπειρικών σχέσεων & πειραματικών δοκιμών

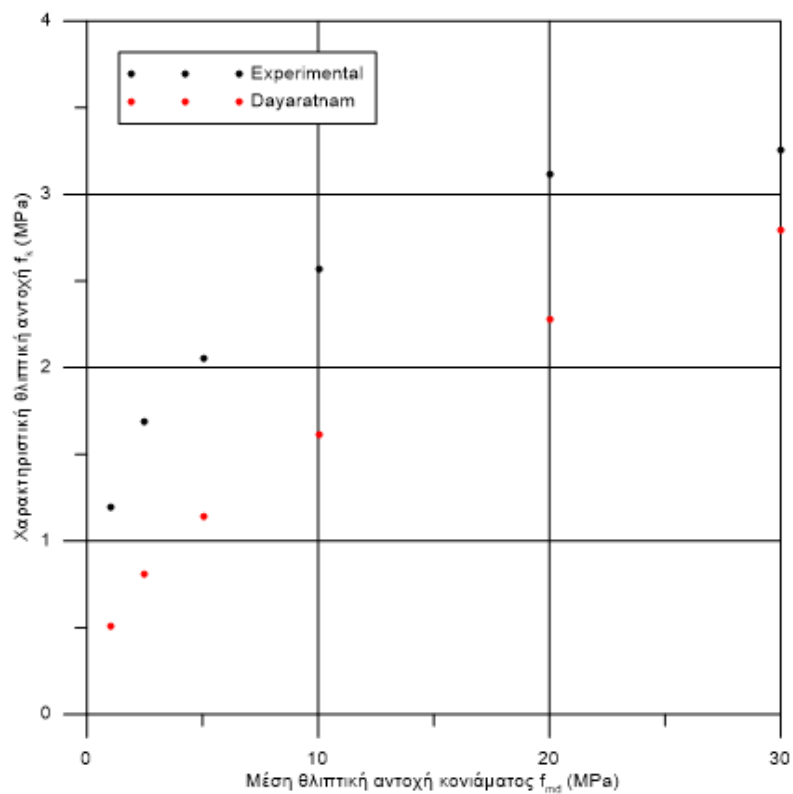
Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_{md} (N/mm ²)	Χαρακτηριστική πειραματική τιμή ως προς αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής(MPa)	Eurocode 6 (MPa)	Bennett et al. (MPa)	Dayaratnam (MPa)	MSJC (MPa)	Kaushik et al. (MPa)	Gumaste and Venkatarama Reddy (MPa)	Hendry and Malek (MPa)
1,0	1,19	1,31	1,04	0,51	2,76	1,16	0,93	0,61
2,5	1,69	1,72	1,04	0,81	2,76	1,55	1,05	0,74
5,0	2,05	2,12	1,04	1,14	2,76	1,93	1,15	0,86
10,0	2,56	2,61	1,04	1,62	2,76	2,41	1,26	0,99
20,0	3,11	3,21	1,04	2,28	2,76	3,01	1,38	1,14
30,0	3,25	3,63	1,04	2,80	2,76	3,43	1,46	1,24

Διαγράμματα Θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας Πειραματικής – Ημιεμπειρικής:

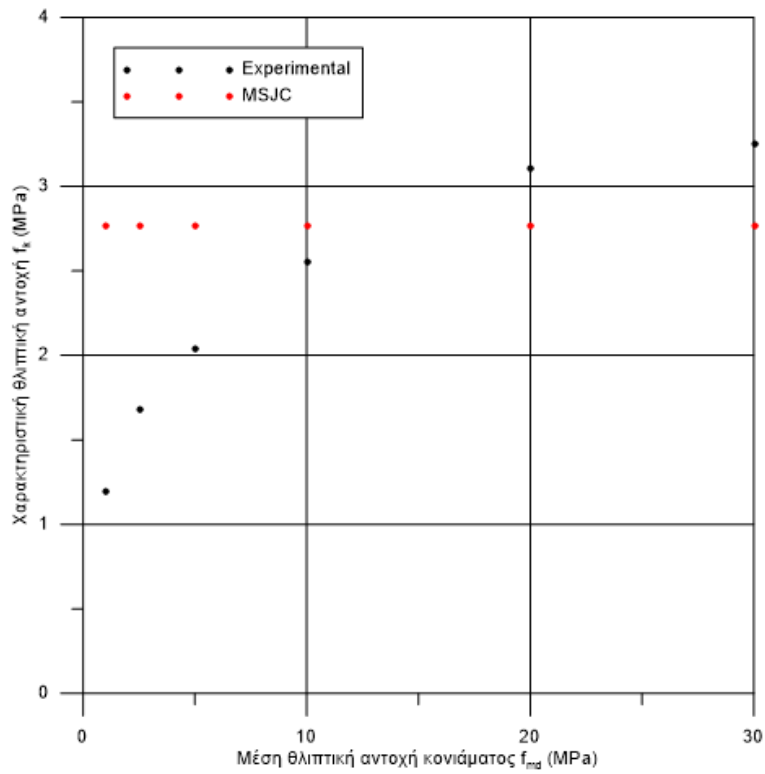
Σχήμα 5-60: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτικής αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & EC6 ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



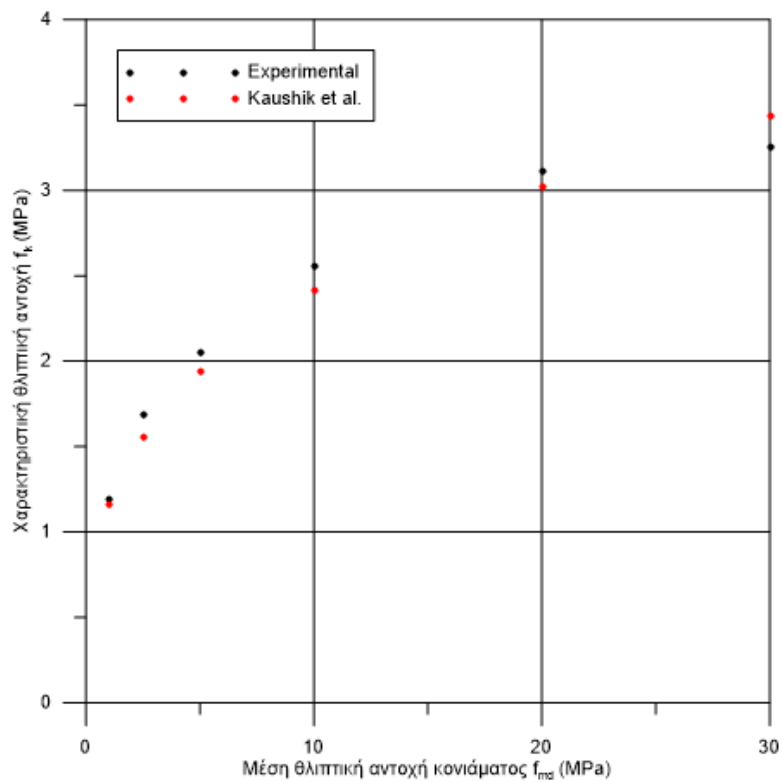
Σχήμα 5-61: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Bennett et al. ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



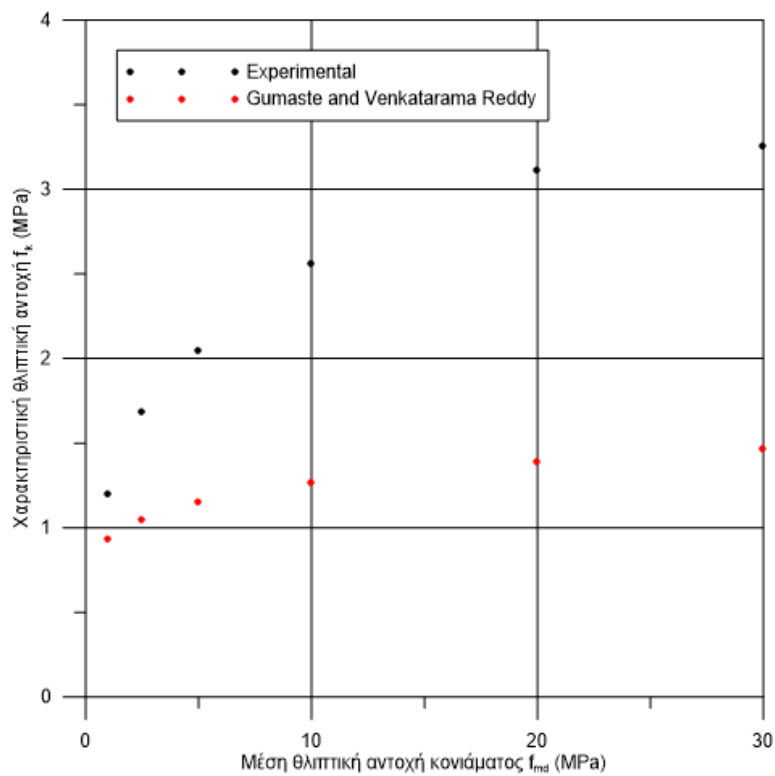
Σχήμα 5-62: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Dayaratnam ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



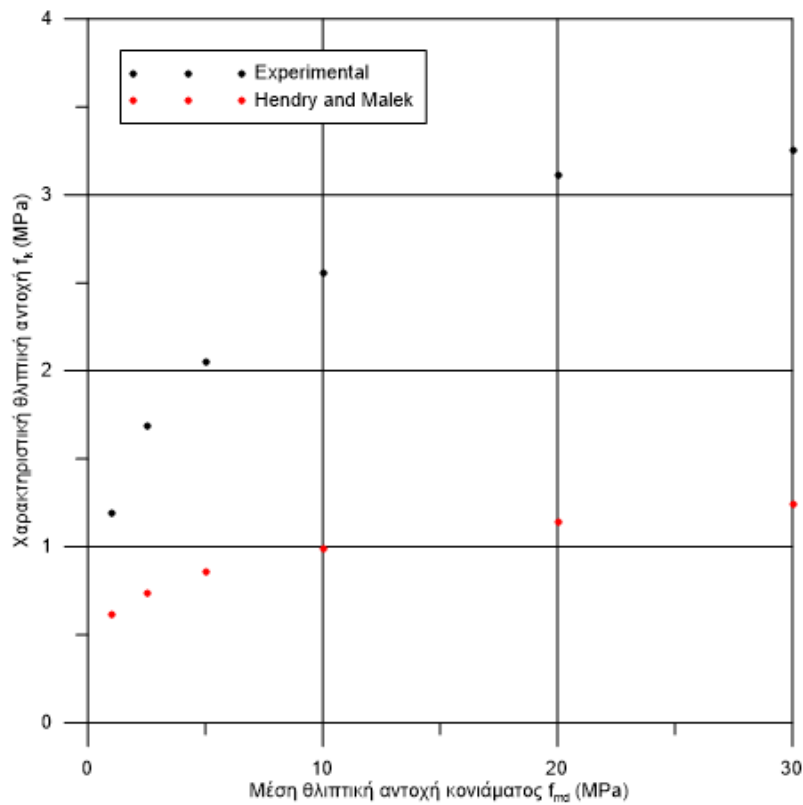
Σχήμα 5-63: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & MSJC ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



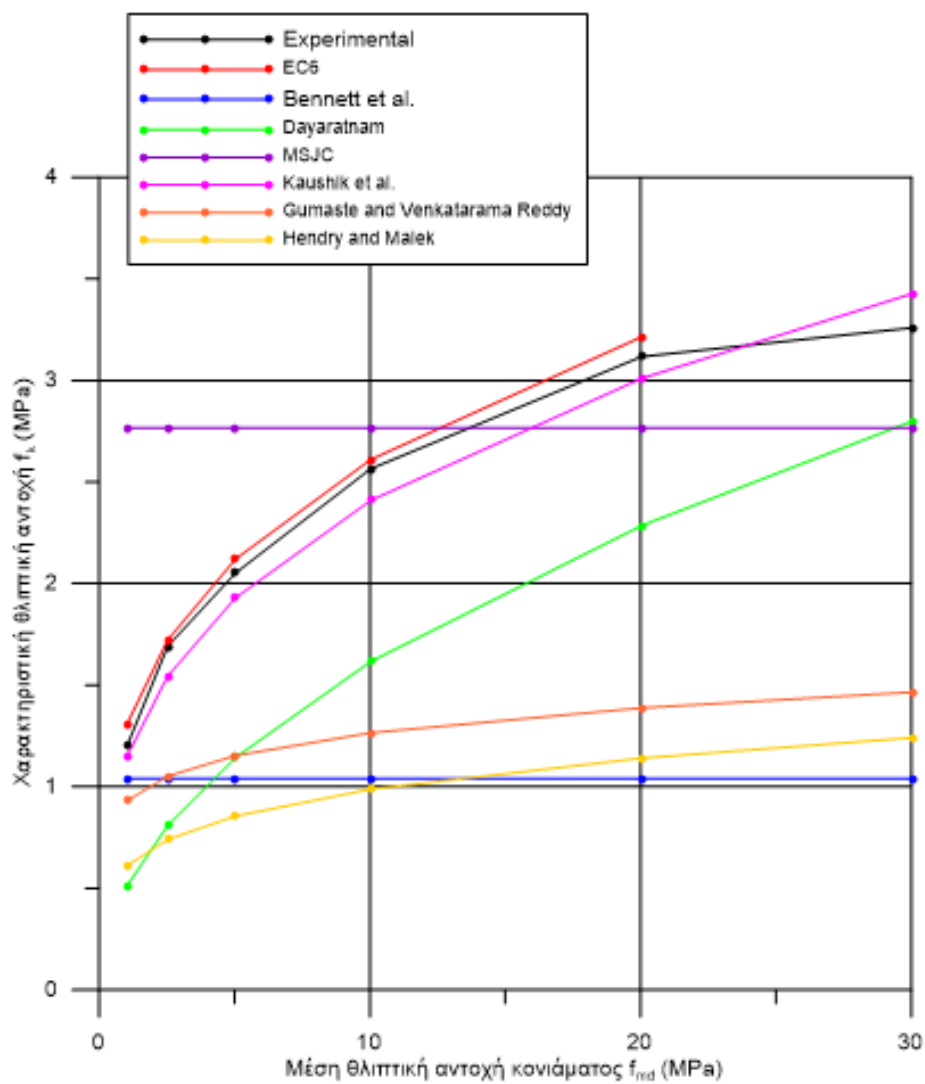
Σχήμα 5-64: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Kaushik et al. ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



Σχήμα 5-65: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Gumaste and Venkatarama Reddy ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



Σχήμα 5-66: Διάγραμμα χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας πειραματική & Hendry and Malek ανάλογα της αντοχής του κονιάματος



Σχήμα 5-67: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ημιεμπειρικών σχέσεων & πειραματικής χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας ανάλογα της αντοχής του κονιάματος

5.1.3 Προσδιορισμός θεωρητικού μέτρου ελαστικότητας τοιχοποιίας

Για το θεωρητικό προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας έχουν προταθεί διάφορες ημιεμπειρικές σχέσεις με επικρατούσες αυτές που το ορίζουν ως πολλαπλάσιο της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας. Από τις ακόλουθες ημιεμπειρικές σχέσεις γίνεται ο προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας όπου για την χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που εξήχθησαν από τις πειραματικές δοκιμές.

Ημιεμπειρικές σχέσεις μέτρου ελαστικότητας:

Ευρωκώδικας 6

$$E = 1000 f_k \quad [\text{GPa}]$$

FEMA

$$E = 550 f_k \quad [\text{GPa}]$$

Canada

$$E = 850 f_k \quad [\text{GPa}]$$

MSJC

$$E = 700 f_k \quad [\text{GPa}]$$

Bennett et al.

$$E = 0.68 f_k + 1.5 f_b \quad [\text{GPa}]$$

Gumaste and Venkatarama Reddy

$$E_j = 200 f_j \quad [\text{GPa}]$$

όπου:

f_k : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

f_b : ανηγμένη θλιπτική αντοχή λιθοσώματος $\rightarrow f_b = 3.45 \text{ MPa}$ (Τελική τιμή για τους υπολογισμούς.)

f_j : μέση θλιπτική αντοχή του κονιάματος

Πίνακας 5-11: Προσδιορισμός του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας μέσω ημιεμπειρικών σχέσεων

Μέση θλιπτική αντοχή κονιάματος f_j (N/mm ²)	Χαρακτηριστική πειραματική τιμή ως προς αντοχή κονιάματος στον χρόνο δοκιμής(MPa)	Eurocode 6 (GPa)	Bennett et al. (GPa)	FEMA (GPa)	MSJC (GPa)	Canada (GPa)	Gumaste and Venkatarama Reddy (GPa)
1,0	1,19	1,19	0,0060	0,66	0,84	1,02	0,20
2,5	1,69	1,69	0,0063	0,93	1,18	1,43	0,50
5,0	2,05	2,05	0,0066	1,13	1,43	1,74	1,00
10,0	2,56	2,56	0,0069	1,41	1,79	2,18	2,00
20,0	3,11	3,11	0,0073	1,71	2,18	2,64	4,00
30,0	3,25	3,25	0,0074	1,79	2,28	2,77	6,00

6. Συμπεράσματα

Παρατηρώντας των σύνολο των πειραματικών δοκιμών και των αποτελεσμάτων αυτών συμπεραίνουμε ότι η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας αυξάνει καθώς αυξάνει η θλιπτική αντοχής του κονιάματος.

Από τη σύγκριση των ημιεμπειρικών θλιπτικών αντοχών τοιχοποιίας με τις θλιπτικές αντοχές τοιχοποιίας πειραματικών δοκιμών οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ικανοποιητική προσέγγιση των σχέσεων της βιβλιογραφίας δίνουν οι σχέσεις όπου ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας είναι συνάρτηση της αντοχής τοιχοσωμάτων (οπτόπλινθων) και της αντοχής του κονιάματος, δηλαδή των δύο συστατικών που την αποτελούν. Αντίθετα οι σχέσεις που προσδιορίζουν τη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας μόνο μέσω της αντοχής των τοιχοσωμάτων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τις πειραματικές αντοχές.

Από τη σύγκριση των διαγραμμάτων ημιεμπειρικών και πειραματικών αντοχών τοιχοποιίας συμπεραίνονται τα εξής:

- Ο ευρωκώδικας 6 παρουσιάζει ικανοποιητική προσέγγιση των πειραματικών αντοχών.
- Ο Kaushik et al. παρουσιάζει ικανοποιητική προσέγγιση των πειραματικών αντοχών.
- Ο Gumaste and Venkatarama Reddy παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση δίνοντας υποεκτίμηση των αντοχών σε σχέση με των πειραματικών αντοχών.
- Ο Dayaratnam παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση δίνοντας υποεκτίμηση των αντοχών σε σχέση με των πειραματικών αντοχών.
- Ο MSJC παρουσιάζει υπερεκτίμηση των αντοχών σε σχέση με των πειραματικών αντοχών.
- Ο Hendry and Malek παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση δίνοντας υποεκτίμηση των αντοχών σε σχέση με των πειραματικών αντοχών.
- Ο Bennett et al. παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση δίνοντας υποεκτίμηση των αντοχών σε σχέση με των πειραματικών αντοχών.

Κατά τον θεωρητικό προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας από τις τιμές του (Πίνακα 5-11) φαίνεται η αβεβαιότητα των ημιεμπειρικών σχέσεων. Παρόλα αυτά οι σχέσεις αυτές μπορούν να μας δώσουν μια γενική εικόνα για το που κυμαίνεται το μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας.

Περαιτέρω προτάσεις

Σχετικά με τον πειραματικό προσδιορισμό του μέτρου ελαστικότητας της τοιχοποιίας χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση και επεξεργασία.

Επίσης, προτείνεται η επανάληψη των πειραματικών δοκιμών με την ένταξη στη μελέτη και διαφορετικών τύπων λιθοσωμάτων, πχ. συμπαγή, κάθετων οπών, 8οπών.

Τέλος, θα ήταν ενδιαφέρον στην πειραματική μελέτη να συμπεριληφθούν και παράμετροι διαφορετικού τρόπου κτισίματος, παραδείγματος χάριν μπατική τοιχοποιία ή τοποθέτηση των λιθοσωμάτων κατά το ύψος τους.

Βιβλιογραφία

Φυλλίτσα Β. Καραντώνη (2004) 2021. « Κατασκευές από τοιχοποιία, σχεδιασμός και επισκευές». Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Αθ. Χ. Τριανταφύλλου (2013). «Δομικά υλικά». Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Κ. Χατζηαντωνίου, Β. Κορδούλη, Αθ. Κυργιακή (2000). « Διερεύνηση εμπειρικών σχέσεων προσδιορισμού θλιπτικής αντοχής τοιχοποιίας». Πρόγραμμα Διατμηματικών μεταπτυχιακών σπουδών εξειδίκευσης, ΕΜΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών.

Κ. Σφακιανάκης (2021). «Σύνθεση και μελέτη ιδιοτήτων και θερμικών χαρακτηριστικών κονιαμάτων με υλικά αλλαγής φάσης». Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών.

MSJC (2002). MSJC ,Masonry Standards Joint Committee, Building code requirements for masonry structures,” ACI530-02/ASCE5-02/TMS402-02, American Concrete Institute, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, The Masonry Society, Detroit.

EN1996 - 1and 2: 2005, Eurocode6 – Design of masonry structures (2006). Part1-1:- General rules for buildings - reinforced and unreinforced masonry, Design of masonry structures. Design Considerations, Selection of Materials and Execution of Masonry. European Committee for Standardisation CEN,Brussels, International Masonry Society (2009), Eurocode for masonry, EN 1996-1-1 and EN 1996-2: Guidance and Worked Examples, International Masonry Society, Stoke-on-Trent

R. Bennett, K.Boyd, R.Flanagan (1997). Compressive properties of structural claytile prisms, J.Struct.Eng123 (7) (1997) 920–926.

P. Dayaratnam (1987). Brick and Reinforced Brick Structures, Oxford & IBH.

H.B. Kaushik, D.C.Rai, S.K.Jain (2007). Stress-strain characteristics of clay brick masonry under uniaxial compression, J.Mater. Civ. Eng 19 (9) (2007) 728–739.

K.S. Gumaste , K.S.N. Rao, B.V.V. Reddy, K.S.Jagadish (2007). Strength and elasticity of brick masonry prisms and wallettes under compression, Mater.Struct.40 (2) (2007) 241–253.

A.W.Hendry, M.Malek (1986). Characteristic compressive strength of brick work from collected test results, Mason.Int.7 (1986) 15–24.