

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

ΔΠΜΣ "Προστασία Μνημείων"

Α' Κατεύθυνση: Συντήρηση και Αποκατάσταση Ιστορικών Κτιρίων και Συνόλων

Σεισμική & θερμική συμπεριφορά κτιρίων από ωμόπλινθους στην περιοχή των Πρεσπών

Αναλυτική & πειραματική διερεύνηση



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σπουδαστής:

Προδρόμου Μιχάλης

Επιβλέποντες καθηγητές:

Ε. Τσακανίκα, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Χ. Μουζάκης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Σύμβουλος καθηγήτρια:

Ε. Αλεξάνδρου, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα καταρχήν να ευχαριστήσω την κα. Ελ. Τσακανίκα, Λέκτορα Ε.Μ.Π., και τον κ. Χ. Μουζάκη, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. που επέβλεψαν αυτή την εργασία, όπως και την κα. Ελ. Αλεξάνδρου, Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π. για τον ρόλο της ως συμβούλου. Οι γνώσεις τους και η καθοδήγηση που μου παρείχαν ήταν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Ευχαριστώ, ακόμα, τον δρα Φ. Σαργέντη (Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών Αρχιτεκτονικής Σχολής Ε.Μ.Π.) και τον δρα Ι. Μανδηλαρά (Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων & Συστημάτων Καύσης Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π.) για την υποστήριξη τους στην εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών, όπως και την δρα Λ. Καραπίπτα (Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π) για την υποστήριξη με τη λειτουργία του λογισμικού Abaqus.

Η βοήθεια που μου παρείχαν απόφοιτοι και συμφοιτητές του Μεταπτυχιακού Προγράμματος ήταν πολύ σημαντική. Ευχαριστώ, γι' αυτό, τον Νικηφόρο, την Μαριλένα, τον Φώτη, την Ιωάννα και την Λιάνα.

Είμαι ευγνώμων σε όσους μου παραχώρησαν γενναιόδωρα υλικό για την εργασία μου και μου επέτρεψαν να το αξιοποιήσω. Τον Σπύρο Νάνη για τα σχέδια αποτύπωσης κτιρίου στον Μηλιώνα, την κα. Ελ. Γραμματικού για τα ευρήματα παλαιότερης εργασίας της στον Μηλιώνα και την κα. Ε. Εφesiού, Καθηγήτρια Αρχιτεκτονικής Σχολής Ε.Μ.Π. για το αρχαιακό φωτογραφικό υλικό.

Ευχαριστώ, επίσης, τους κατοίκους των Πρεσπών για τις πληροφορίες που μου παρείχαν και, ειδικότερα, τον κ. Θανάση Τριανταφυλλίδη.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες προς την Εταιρία Προστασίας Πρεσπών για την φιλοξενία τις ημέρες παραμονής μου στις Πρέσπες αλλά και την άμεση ανταπόκριση στην αναζήτηση πληροφοριών και δεδομένων για την περιοχή.

Ευχαριστώ την Αγγέλα Γεωργαντά η οποία, με τη διπλή της ιδιότητα ως αρχιτέκτονα μηχανικού και μόνιμου κατοίκου Μηλιώνα, με βοήθησε σημαντικά. Η αγάπη της για τα ιστορικά κτίρια της περιοχής, οι γνώσεις της και η παρέα τις ώρες αποτύπωσης των κτιρίων ήταν καταλυτικά για τη διεκπεραίωση των εργασιών στο πεδίο.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ πηγαίνει στην οικογένεια μου για την υποστήριξη και ενθάρρυνση να παρακολουθήσω το μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών Προστασίας Μνημείων. Ιδιαίτερα στη μητέρα μου, που στάθηκε στήριγμα σε όλες τις φάσεις εκπόνησης της εργασίας μου. Πηγή έμπνευσης για την επιλογή του θέματος ήταν ο παππούς μου, Αντώνης, και η γιαγιά μου, Κωνσταντίνα.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περιεχόμενα	2
Περίληψη / Abstract	5

Α' ΜΕΡΟΣ – Θεωρητική Τεκμηρίωση

1. Γενικά στοιχεία για την περιοχή	7
1.1. Γεωγραφικά δεδομένα	7
1.2. Κλιματολογικά δεδομένα	7
1.3. Γεωλογικά δεδομένα	8
1.4. Σεισμικά δεδομένα	9
1.5. Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή των Πρεσπών	11
1.5.1. Σύνομη ιστορική αναδρομή	11
1.5.2. Στοιχεία για τον οικισμό Μηλιώνα	13
1.6. Τα κτίρια της περιοχής	14
1.7. Καθεστώς προστασίας της περιοχής	15
2. Κύριες ιδιότητες των ωμόπλινθων	16
2.1. Ιστορικά και γεωγραφικά στοιχεία χρήσης των ωμόπλινθων	16
2.2. Αντοχή σε θλίψη	18
2.2.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη	18
2.2.2. Πειραματικά δεδομένα	18
2.2.3. Σταθεροποίηση ωμόπλινθων	19
2.2.4. Απαιτήσεις κανονισμών και κατευθυντήριων κειμένων	19
2.3. Θερμική συμπεριφορά	20
2.3.1. Γενικά	20
2.3.2. Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική αγωγιμότητα	21
2.4. Η επίδραση του νερού	25
2.4.1. Συνοχή στοιχείων ωμής γης	25
2.4.2. Μετακίνηση του νερού μέσα σε στοιχεία ωμής γης	25
2.4.3. Έκθεση στοιχείων ωμής γης στη βροχή	27
3. Παρατηρήσεις για την παθολογία και τις επεμβάσεις στα κτίρια από ωμόπλινθους	29
3.1. Παθολογία κτιρίων από ωμόπλινθους	29
3.1.1. Διάβρωση λόγω παρουσίας υγρασίας	29
3.1.2. Ρηγματώσεις και καταρρεύσεις	29
3.2. Μέτρα επέμβασης και προστασίας σε κτίρια από ωμόπλινθους	32
3.2.1. Αντιμετώπιση της υγρασίας	32
3.2.2. Αντιμετώπιση επιφανειακών φθορών	32
3.2.3. Αποκατάσταση επιχρισμάτων	32
3.2.4. Ρωγμές και κενά στην τοιχοποιία	33
3.2.5. Χρήση ενεμάτων στις ωμοπλινθοδομές	34
3.2.6. Κατασκευή αντηρίδων	35
3.2.7. Ενίσχυση της κιβωτιοειδούς λειτουργίας της ωμοπλινθοδομής	36

Β' ΜΕΡΟΣ – Δεδομένα από το πεδίο

4. Οικοδομική των κτιρίων μελέτης	41
4.1. Γενικά	41
4.2. Τοποθέτηση και προσανατολισμός	42
4.3. Περιγραφή γεωμετρίας και χρήσεων	43
4.4. Δομικά στοιχεία	46
4.4.1. Θεμέλια	46
4.4.2. Κατακόρυφα στοιχεία	46
4.4.3. Οριζόντια στοιχεία	49
4.4.4. Διερεύνηση ύπαρξης ξύλινων ενισχύσεων	52
5. Παθολογία και επεμβάσεις στα κτίρια της ευρύτερης περιοχής μελέτης	54
5.1. Γενικές παρατηρήσεις για την παθολογία	54
5.2. Μακροσκοπική παρατήρηση της εξέλιξης φθοράς των κτιρίων μελέτης	56
5.3. Επεμβάσεις στα κτίρια της περιοχής	61

Γ' Μέρος – Πειραματική και αναλυτική διερεύνηση

6. Εργαστηριακές δοκιμές ωμόπλινθων	65
6.1. Γενικά	65
6.2. Κοκκομετρική ανάλυση	65
6.3. Αντοχή σε θλίψη	69
6.3.1. Γενικά για τη διαδικασία της δοκιμής σε θλίψη	69
6.3.2. Προετοιμασία δοκιμίων	72
6.3.3. Αποτελέσματα	73
6.4. Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας	75
6.4.1. Διάταξη μέτρησης	75
6.4.2. Προετοιμασία δοκιμίου	75
6.4.3. Αποτελέσματα μετρήσεων	76
6.4.4. Εκτίμηση σφαλμάτων	77
6.4.5. Θερμική αγωγιμότητα ξηρού δοκιμίου	78
6.5. Εκτίμησης της επίδρασης του νερού	80
7. Σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς Α	82
7.1. Δεδομένα και παραδοχές της ανάλυσης	82
7.2. Αποτελέσματα	88
7.2.1. Μοντέλο 1	88
7.2.2. Μοντέλο 2	97
7.2.3. Μοντέλο 3	100
7.3. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	107
7.4. Προτάσεις επέμβασης	108
7.4.1. Το γενικό πλαίσιο των επεμβάσεων	108
7.4.2. Αρχές των επεμβάσεων	110
7.4.3. Αντιμετώπιση της υγρασίας	110
7.4.4. Εργασίες στις τοιχοποιίες	111
7.4.5. Διαφραγματοποίηση	112
8. Συμπεράσματα	115
9. Βιβλιογραφία	117

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς και των κύριων χαρακτηριστικών των κτιρίων από ωμόπλινθους με τελικό σκοπό τη διαμόρφωση προτάσεων αποκατάστασης τους. Ως μελέτη περίπτωσης έχει επιλεγεί η περιοχή των Πρέσπων.

Η εργασία διαρθρώνεται σε τρία διακριτά μέρη. Στο πρώτο παρατίθενται τα συμπεράσματα από την επισκόπηση της βιβλιογραφίας, σχετικά με τις ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης, τα κύρια γνωρίσματα των ωμόπλινθων, τις αιτίες παθολογίας των αντίστοιχων κτιρίων και τις διεθνείς πρακτικές επέμβασης σε αυτά. Ιδιαίτερα διερευνάται η αντοχή σε θλίψη των ωμόπλινθων, η θερμική τους συμπεριφορά και η επίδραση του νερού σε αυτές. Για αυτές τις ιδιότητες, παρατίθενται τα δημοσιευμένα πειραματικά δεδομένα αλλά και οι σχετικές κατευθύνσεις που παρέχουν οι κανονισμοί δόμησης με ωμή γη.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το πεδίο. Εξετάζονται οι οικοδομικές λεπτομέρειες των κτιρίων μελέτης, η παθολογία και οι συχνότερα εμφανιζόμενες βλάβες τους και, τέλος, οι επεμβάσεις που έχουν γίνει σε αυτά.

Μετά την θεωρητική τεκμηρίωση και την επί τόπου συλλογή στοιχείων, το τρίτο μέρος αφορά τις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν σε ωμόπλινθους από τις Πρέσπες και τη σύγκρισή τους με τα δεδομένα από τη βιβλιογραφία. Χρησιμοποιώντας λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων, προσομοιώνεται η σεισμική ανταπόκριση των κτιρίων σε τρεις χρονοϊστορίες εδαφικών επιταχύνσεων που αντιπροσωπεύουν σεισμικά γεγονότα κλιμακούμενης έντασης, και αντιπαραβάλλεται με την υφιστάμενη, πραγματική τους κατάσταση.

Βάσει των στοιχείων που προέκυψαν από τα τρία αυτά μέρη γίνονται, τέλος, προτάσεις για την αποκατάσταση των κτιρίων που θα ανταποκρίνονται στις συνθήκες της περιοχής, χωρίς να βλάπτουν τη φυσιογνωμία τους.

Abstract

The objective of the present Thesis is to investigate the properties and behavior of adobe buildings aiming, ultimately, at suggesting appropriate retrofit measures. As case study buildings for this purpose, adobe buildings of the Prespes area in northern Greece have been selected.

The Thesis is structured in three parts. The first part is a theoretical approach to the problem and presents the literature research findings concerning the particularities of the Prespes area, the main properties of earth as a building material, the most common causes of adobe buildings' failures and the respective repair and strengthening techniques. Special attention is given to the compressive strength of adobes, their thermal conductivity and the effects of water. For these aspects, experimental data are presented as well as guidelines provided by norms and regulations.

The second part deals with the findings from the investigation carried out in the field. Structural details, common failure mechanisms and current repair techniques are presented.

The last part of the Thesis includes both an experimental and an analytical investigation of the Prespes' adobes buildings. The findings of this process are compared to the data provided by literature and the conclusions drawn from the field investigation.

Based on the above, an intervention proposal for the buildings is presented, that deals with the anticipated failure mechanisms and at the same time respects their inherent characteristics.

ΜΕΡΟΣ Α΄

Θεωρητική τεκμηρίωση

1. Γενικά στοιχεία για την περιοχή

1.1 Γεωγραφικά δεδομένα

Η περιοχή μελέτης, οι Πρέσπες, βρίσκονται στην τομή των συνόρων Αλβανίας, Ελλάδας και ΠΓΔΜ, σε μέσο υψόμετρο περ. 850-1100m. Κυρίαρχο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος είναι οι λίμνες Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα, συνολικής έκτασης 47,4km² και 259km² αντίστοιχα, οι οποίες χωρίζονται από μια λωρίδα αμμώδους γης πλάτους 200-1.000m και μήκους 4km περίπου [1].

Η πεδιάδα των λιμνών περιβάλλεται από ψηλά βουνά και διάσελα. Ο Βαρνούντας ανατολικά, το Τρικλάριο (Σφήκα) νότια, το Ξεροβούνι και η Γκαλιτσιτσα βόρεια οριοθετούν την λεκάνη.

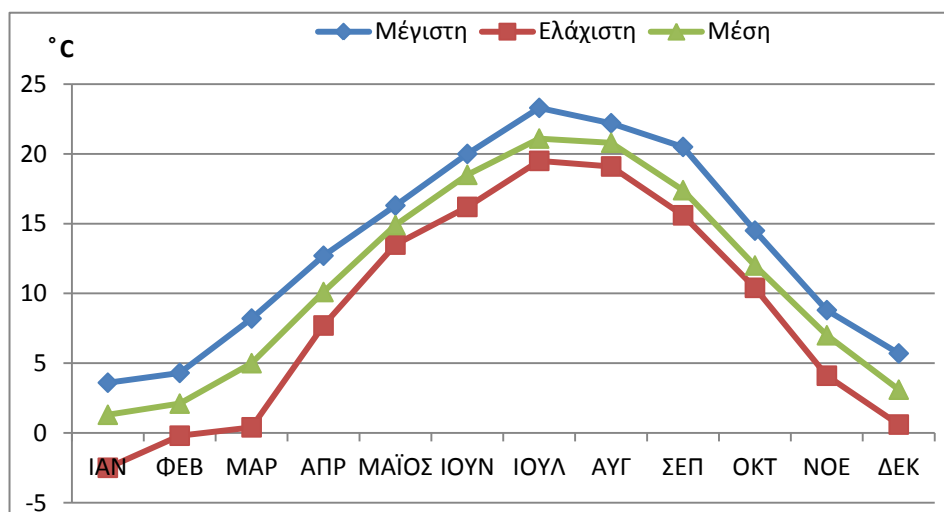
Διοικητικά, ο Δήμος Πρεσπών περιλαμβάνει 16 τοπικές κοινότητες, οι 6 εκ των οποίων βρίσκονται εκτός της λεκάνης των λιμνών. Ο Δήμος ανήκει στο Νομό Φλώρινας, με έδρα την Φλώρινα που βρίσκεται σε απόσταση 45km. Η σύνδεση μεταξύ Πρεσπών και Φλώρινας είναι δύσκολη ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες. Οι κάτοικοι των Πρεσπών εξυπηρετούνται και από την πόλη της Καστοριάς (46km).

Όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, η έρευνα στα πλαίσια της εργασίας επεκτάθηκε και σε ορισμένους οικισμούς των Κορεστίων (κοινότητες Γάβρου, Κρανιώννα και Χαλάρας) που βρίσκονται λίγα χιλιόμετρα νοτιότερα των Πρεσπών, με κατεύθυνση προς την Καστοριά.

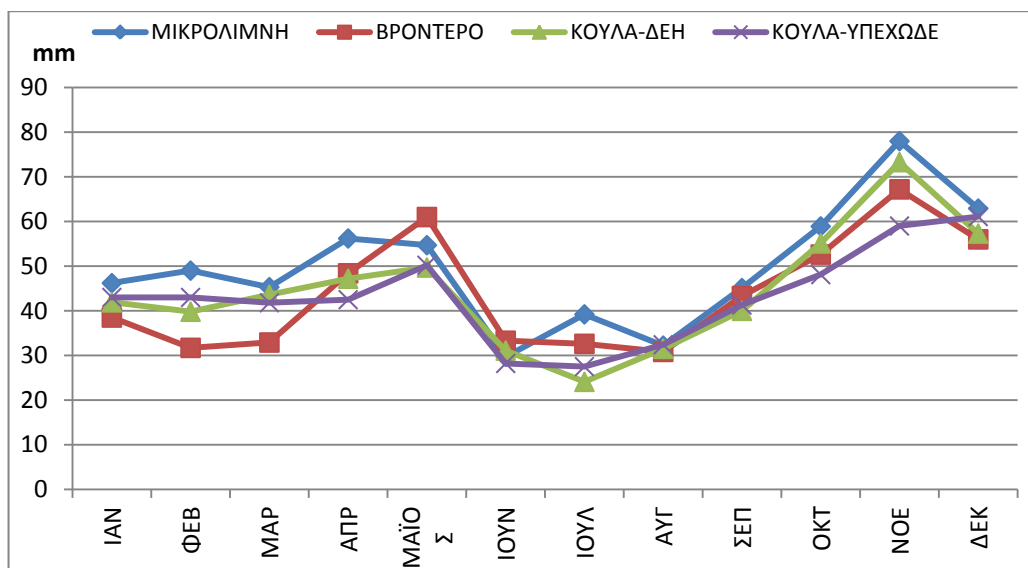
1.2 Κλιματολογικά δεδομένα

Το κλίμα της περιοχής είναι ηπειρωτικό-μεσοευρωπαϊκό με βασικά χαρακτηριστικά του την εναλλαγή μιας θερμής περιόδου με μια πολύ ψυχρή-υγρή περίοδο. Μεγάλη επίδραση στις κλιματικές συνθήκες έχουν οι δύο λίμνες και η έκθεση της περιοχής σε βόρειους ανέμους.

Ακολουθούν ορισμένα δεδομένα για τη διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, τις βροχοπτώσεις και το αιολικό δυναμικό της περιοχής [2].



Διάγραμμα 1.1. Διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για την περίοδο 1982-1996 (Σταθμός Κούλας του ΥΠΕΧΩΔΕ) [2]



Διάγραμμα 1.2. Μέσες μηνιαίες κατακρημνίσεις στην περιοχή της λεκάνης των Πρεσπών για την περίοδο 1965-2002 [2]

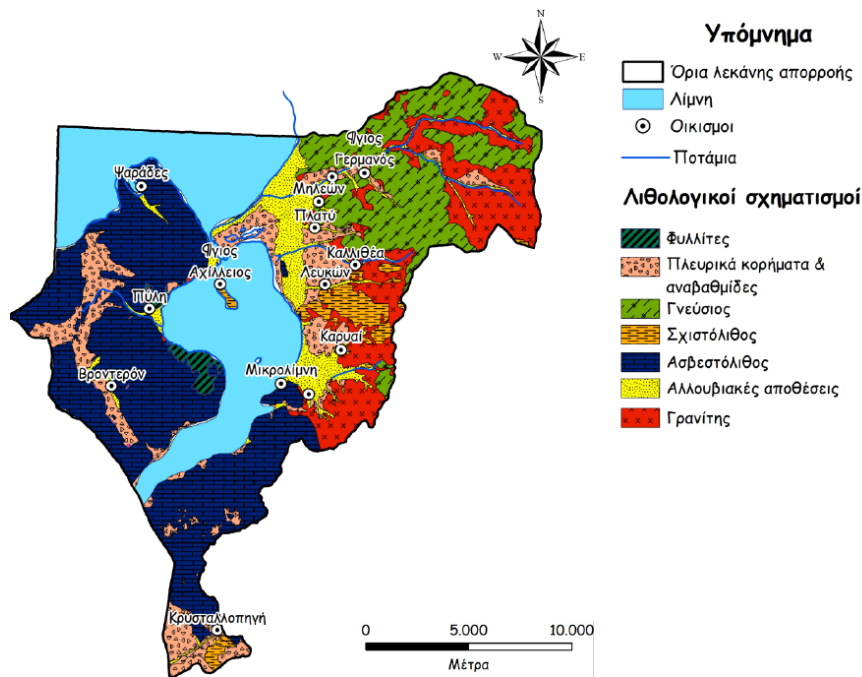
Πίνακας 1.1. Μέση ετήσια συχνότητα διευθύνσεων και εντάσεων ανέμων (%) για την περίοδο 1978-1984 (Σταθμός Κούλας της ΔΕΗ) [2]

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΒΔ	Άπνοια
Περιπτώσεις	433	71	-	18	290	404	-	50	1261
Συχνότητα / %	17,1	2,8	-	0,70	11,5	15,9	-	1,9	50,10
Σφοδροί	-	-	-	-	-	0,12	-	0,08	
Ισχυροί / %	0,85	0,43	-	0,08	0,16	4,16	-	0,16	
Μέτριοι / %	7,63	1,23	-	0,20	2,66	6,93	-	0,87	
Ασθενείς / %	8,62	1,14	-	0,42	8,68	4,69	-	0,79	

1.3 Γεωλογικά δεδομένα

Στο δυτικό τμήμα της λεκάνης το υπόβαθρο αποτελείται από ασβεστόλιθο και τα εδάφη είναι αδιαπέραστα αργιλώδη, ενώ ανατολικά το υπόβαθρο αποτελείται από πυριτικούς σχηματισμούς (γρανίτες και μεταμορφωμένους γνευσιο-σχιστόλιθους) με εύθρυπτα, διαπερατά εδάφη.

Αλλουβιακές αποθέσεις εντοπίζονται στις παρυφές των λόφων, ιδιαίτερα στα βόρεια και ανατολικά της λίμνης Μικρή Πρέσπα. Οι φερτές αυτές ύλες παρήχθησαν από τη διαδικασία διάβρωσης των γύρω βουνών και μεταφέρθηκαν στις χαμηλές, υψομετρικά περιοχές, από τα ρέματα. Οι αλλουβιακές αποθέσεις ποικίλουν από μεγάλους ογκόλιθους και χαλίκια στα χωριά Λαιμός, Πλατύ, Μηλιώνα, Καλλιθέα και Λευκώνα έως λεπτότερα υλικά που αποτίθενται σε χαμηλότερες θέσεις [1].



Εικόνα 1.1. Γεωλογικός χάρτης λεκάνης Πρεσπών [115]

1.4 Σεισμικά δεδομένα

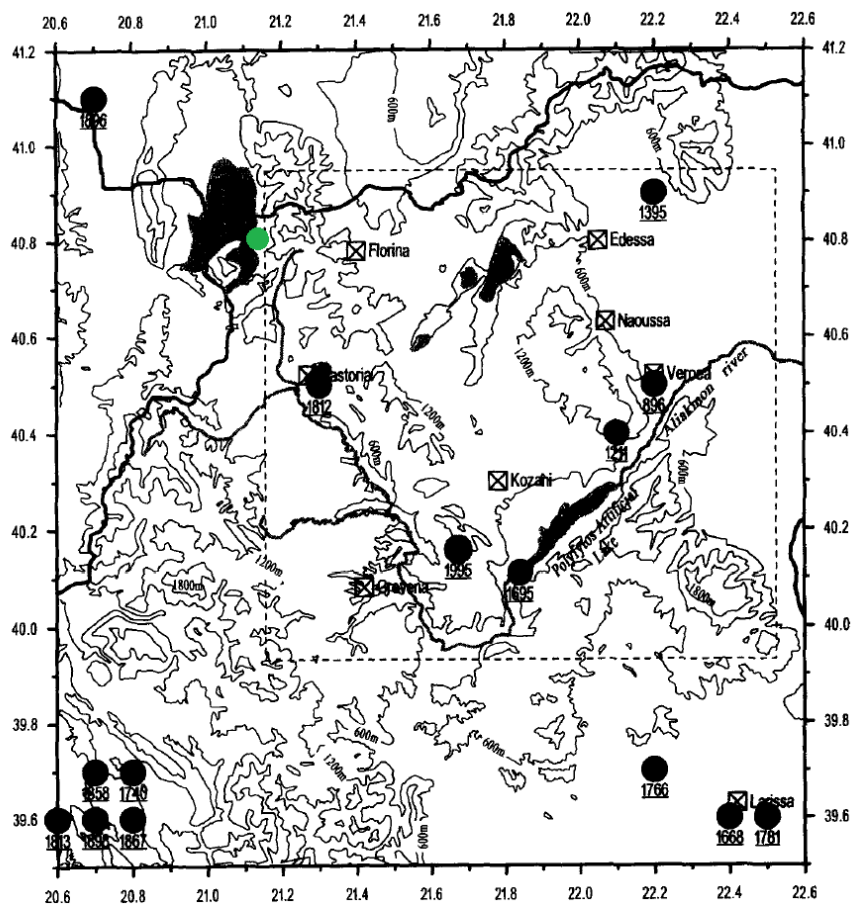
Η δυτική Μακεδονία θεωρούνταν μια ήσυχη ως και ανενεργή, σεισμικά, περιοχή για παραπάνω από έναν αιώνα, γεγονός το οποίο συνέβαλε στην τρωτότητα των κτιρίων της. Και αυτό παρά τις ενδείξεις τεκτονικής και σεισμικής δραστηριότητας, όπως ο σεισμός Κοζάνης-Γρεβενών του 1984 ($M = 5,6$) και της Έδεσσας το 1986 ($M=5,1$) και το 1990 ($M=5,5$)- σεισμοί οι οποίοι τελικά προξένησαν μικρό αριθμό βλαβών. Η προσέγγιση της χαμηλής σεισμικότητας που έχει υιοθετηθεί και στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, τόσο στον ισχύοντα όσο και στον προγενέστερο (σήμερα η Δ. Μακεδονία ανήκει στη ζώνη I με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού 0,16g) τέθηκε σε δοκιμασία κατά τον σεισμό Κοζάνης-Γρεβενών στις 13/5/1995, επιφανειακού μεγέθους $M_s = 6,5$ και σεισμικής ροπής $M_o = 7,6 \cdot 10^{18}$ Nm [3].

Η αρχαιολογική έρευνα έχει βοηθήσει στην καταγραφή τουλάχιστον 7 ισχυρών σεισμικών γεγονότων στη Δ. Μακεδονία τα τελευταία 2.000 χρόνια [3, 4]:

- Η πόλη της Βέροιας, σε απόσταση περίπου 150 χιλιομέτρων από την περιοχή μελέτης, υπέστη μεγάλες ζημιές από σεισμό το 896 μ.Χ. ($M_s=6$) και το 1211 ($M_s=6,5$).
- Η Έδεσσα, σε απόσταση περίπου 100 χιλιομέτρων από την περιοχή μελέτης, έζησε έναν καταστροφικό σεισμό το 1395 (ή 1396 κατά άλλες πηγές), $M_s=6,7$
- Για τα Σέρβια, σε απόσταση περίπου 120 χιλιομέτρων από την περιοχή μελέτης, μεγάλος σεισμός αναφέρεται για το έτος 1695
- Η Καστοριά, σε απόσταση περίπου 50 χιλιομέτρων από την περιοχή μελέτης, έζησε μεγάλους σεισμούς το 1710 και το 1812 (ή το 1813), μεγέθους τουλάχιστον 6,5.
- Στην Κοζάνη, σεισμός αντίστοιχου του 1995, με παρόμοιο επίκεντρο, θεωρείται πως έλαβε χώρα το 1700 ($M=6,7-7$)

Ενδείξεις για παλαιότερα σεισμικά γεγονότα υπάρχουν για την Πέλλα (90 π.χ., $M>6,5$), την Αιανή (200 π.χ., $M>6$) και τη Βέροια (4-5^{ος} αι. μ. Χ, $M>6,5$).

Τα επίκεντρα των παραπάνω σεισμών σημειώνονται στην ακόλουθη εικόνα (1.2) [5]:



Εικόνα 1.2. Επίκεντρα ιστορικών σεισμών της ΒΔ Μακεδονίας και, με πράσινο, η περιοχή μελέτης

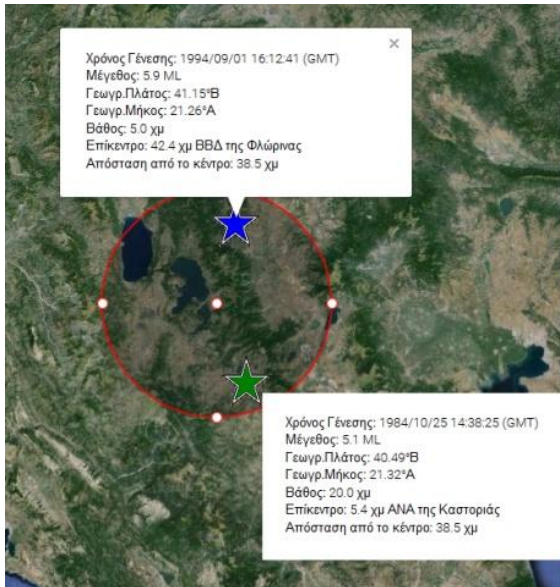
Για το πιο πρόσφατο ιστορικό σεισμικής δράσης στην περιοχή (1964-2016), το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο έχει καταγράψει δυο γεγονότα – με κριτήρια απόστασης ακτίνα 50 χιλιομέτρων από τον οικισμό Μηλεώνα (όπου βρίσκονται τα κτίρια αναφοράς της παρούσας εργασίας) και τοπικό μέγεθος $M_L > 5$. Αυτά παρουσιάζονται στην εικόνα 1.3 [6].

Καθώς η βιβλιογραφία η σχετική με την ιστορική και σύγχρονη σεισμικότητα της ΒΔ Μακεδονίας καταγράφει τα δεδομένα εντός του ελληνικού χώρου, ιδιαίτερα με επίκεντρο την Κοζάνη, είναι χρήσιμο στις παραπάνω αναφορές να προστεθούν και σημαντικά σεισμικά γεγονότα γειτονικών χωρών, όπως για παράδειγμα οι σεισμοί στο Πόγραδετς της Αλβανίας (απόσταση από τις Πρέσπες περ. 40 χιλιόμετρα), μεγέθους $M=6,7$ το 1911 και $M=6,5$ το 1960, και ο σεισμός $M_L=5,2$ στα Μπίτολα (Μοναστήρι) της ΠΓΔΜ, σε απόσταση 25 χιλ. από την περιοχή μελέτης, το 1994. Ο τελευταίος σεισμός είναι και αυτός που έχει καταγράψει το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο [7, 8].

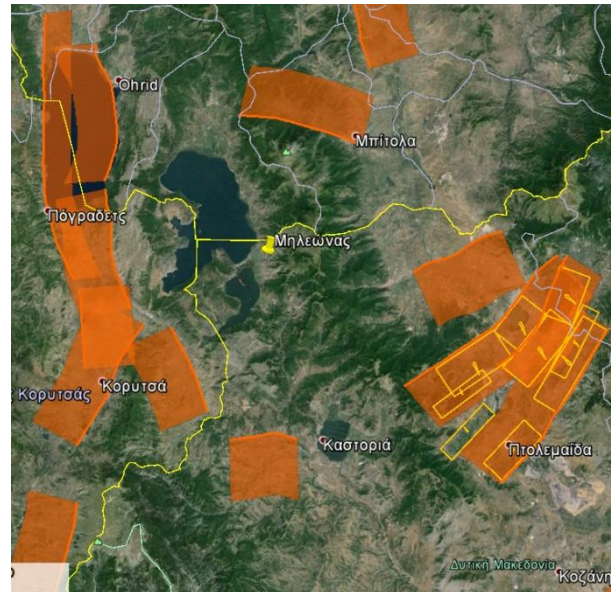
Τα όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα, σύμφωνα με σχετική έρευνα, πως σεισμοί αντίστοιχοι της Κοζάνης το 1995 είναι πιθανό να συμβαίνουν κάθε 250-300 έτη. Στα πλαίσια άλλης έρευνας εκτιμήθηκε η πιθανότητα εμφάνισης σεισμού στη Δ. Μακεδονία μεγέθους $M \geq 6$ για διάστημα 50 ετών – η περιοχή των Πρεσπών εμφανίζει πιθανότητα 10-14% και χαρακτηρίζεται ως σχετικά υψηλής σεισμικότητας [4, 5].

Ο Ν. Αμβράζης αναφέρει για την περιοχή πως καθώς δεν υπήρξε σημαντικό κέντρο, διοικητικό ή πολιτιστικό, οι όποιες ιστορικές αναφορές σε σεισμούς αντανακλούν τη βαρύτητά και σοβαρότητα τους. Ο σεισμός του 1995 αποτελεί, πρόσθετα, απόδειξη πως το βραχυχρόνιο σεισμικό παρελθόν μιας περιοχής μπορεί να μην είναι, τελικά, αντιπροσωπευτικό για τη μακρόχρονη σεισμική δραστηριότητα [3].

Τέλος, τα γειτονικά στην περιοχή μελέτης ρήγματα δίνονται από τη βάση δεδομένων GreDaSS και καταγράφονται στην εικόνα 1.4 [9].



Εικόνα 1.3. Τα 2 σημαντικά σεισμικά γεγονότα στην περιοχή μελέτης που έχει καταγράψει το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο για την περίοδο 1964-2016



Εικόνα 1.4. Τα ρήγματα στην περιοχή μελέτης

1.5 Ιστορικά στοιχεία για την περιοχή των Πρεσπών

1.5.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Οι λίμνες των Πρεσπών δημιουργήθηκαν πριν από εκατομμύρια χρόνια από τα ρέματα και ποτάμια των γειτονικών βουνών, ενώ ο σαφής διαχωρισμός σε Μικρή και Μεγάλη Πρέσπα έγινε πριν από μερικές δεκάδες χιλιάδες χρόνια, εξαιτίας φερτών υλικών από το ποτάμι που διασχίζει τον Άγιο Γερμανό [10]. Η Μεγάλη Πρέσπα ανήκει, σήμερα, στην Ελλάδα, την Αλβανία και την πΓΔΜ, ενώ η Μικρή Πρέσπα στην Ελλάδα και την Αλβανία.

Οι παλαιότερες ενδείξεις κατοίκησης είναι από την εποχή του Χαλκού και του Σιδήρου. Κατά τον 6^ο αι. π.Χ. η περιοχή κατοικείται από νομαδικούς λαούς, ενώ στις αρχές του 5^{ου} αι. π.Χ. ελέγχεται από τους Μακεδόνες βασιλείς, ούσα μια περιθωριακή επαρχία. Λιγοστά είναι τα ευρήματα της ελληνιστικής, πρωτοχριστιανικής, ρωμαϊκής και παλαιοχριστιανικής περιόδου-μερικές ενδείξεις κατοίκησης στον Λαιμό και στο νησάκι του Αγ. Αχιλλείου, τάφοι μεταξύ Λαιμού και Μηλιώνα, ένας βωμός στην Πύλη [10].

Από τα τέλη του 9^{ου} αι. η περιοχή περνάει υπό την εξουσία του βουλγαρικού κράτους του ηγεμόνα Συμεών. Τις επόμενες δεκαετίες οι Πρέσπες περιέρχονται με εναλλαγές στη δικαιοδοσία του Βυζαντίου και των Βουλγάρων. Έχοντας ως κέντρο του βασιλείου του την Πρέσπα και αργότερα την Οχρίδα ο τσάρος της Βουλγαρίας Σαμουήλ κατέλαβε μεγάλες περιοχές της βυζαντινής αυτοκρατορίας φτάνοντας στη Λάρισα, από όπου μετέφερε τα λείψανα του τοπικού Αγ. Αχιλλείου (980-985 μ.Χ.). Τα επόμενα χρόνια η περιοχή γνωρίζει αλλεπάλληλους κατακτητές. Πετσενέγοι, Βούλγαροι, Νορμανδοί και Αλαμάνοι (1060-1085), Φράγκοι, ο δεσπότης της Ηπείρου και ο σέρβος κράλης Δουσάν, Αρβανιτοβλάχοι εναλλάσσονται στην εξουσία έως ότου την περιοχή καταλάβουν οι Τούρκοι (περ. 1386) [10, 11].

Η γεωγραφική απομόνωση της περιοχής συμβάλει στη διατήρηση μιας σχετικής ανεξαρτησίας από την κεντρική εξουσία και η περιοχή ελέγχεται από τοπικούς άρχοντες όπως οι Δραγάσηδες. Τα στοιχεία αυτά, και η ιδιαίτερη ομορφιά του τοπίου, συνέβαλαν στην ανάπτυξη

έντονης μοναστικής ζωής όπως μαρτυρούν τα ασκητήρια, οι εκκλησίες και τα κοινόβια. Τα χρόνια της οθωμανικής αυτοκρατορίας, οι Πρέσπες ανήκουν στο βιλαέτι του Μοναστηριού (σήμερα Μπίτολα), που από τον 18^ο αι αναπτύσσεται ως αστικό και εμπορικό κέντρο της περιοχής. Τον 17^ο αι., σύμφωνα με τον Ε. Τσελεμπί, οι Πρέσπες έχουν 40 χωριά, που σύμφωνα με τον Πουκεβίλ έχουν γίνει 46 στις αρχές του 19^{ου} αι [12]. Τα κτίρια αυτής της εποχής δείχνουν πως εκείνη την περίοδο πρέπει να υπήρχε ένας σχετικός πλούτος στην περιοχή- πολλά από αυτά ανήκαν πιθανώς σε τούρκους τσιφλικάδες.

Στα μέσα του 19^{ου} αι. η περιοχή γνωρίζει αρκετές εξεγέρσεις, ενώ αυτή τη χρονική περίοδο καταγράφεται η απαρχή των εθνικών διεκδικήσεων στην περιοχή, κυρίως ανάμεσα σε Βούλγαρους και Έλληνες. Το 1878, σε μια περίοδο όπου η δυτική και βόρεια Μακεδονία παίζουν ενεργό ρόλο στις εξεγέρσεις, ένοπλοι αντάρτες συγκεντρώνονται στα γειτονικά Κορέστια, και ανάμεσα τους βρίσκονται αρκετοί οπλαρχηγοί από τις Πρέσπες. Τα Κορέστια θα αποτελέσουν ένα από τα επίκεντρα και του Μακεδονικού αγώνα, στον οποίο μετέχουν Πρεσπιώτες από την Οξυά, τη Σφήκα, τις Καρυές, την Καλλιθέα, τον Άγιο Γερμανό [10].

Την περίοδο αυτή παρατηρείται ένα έντονο ρεύμα μετανάστευσης των κατοίκων της περιοχής στη Ρουμανία, την Αυστροουγγαρία, την Αμερική και τον Καναδά - οι πρώτοι που έφτασαν στον Καναδά ήταν από το Ανταρτικό (1903) και το Τρίγωνο (1904) - ως αποτέλεσμα και της δραματικής κατάστασης που προέκυψε μετά την εξέγερση του Ίλιντεν [13]. Για τα γεγονότα που ακολούθησαν την εξέγερση του Ίλιντεν ενδεικτικά είναι τα λόγια κρητικού οπλαρχηγού που έλαβε μέρος στις μάχες (1903): *«Πήγαμε στην εκκλησία του χωριού (βλ. Πράσινο), μαζέψαμε τους χωρικούς, μαζέψαμε και όλα τα βουλγαρικά βιβλία της εκκλησίας και τα κάψαμε. Η εκκλησία είχε και ελληνικά και βουλγαρικά βιβλία. Την άλλη μέρα το βράδι κατεβήκαμε στο Μπούκοβικ (βλ. Οξυά) της Πρέσπας, όπου κάναμε το ίδιο με τα βουλγαρικά βιβλία της εκκλησίας»* [14].

Σημειώνεται πως οι κάτοικοι των 17 χωριών της Πρέσπας ήταν στην πλειοψηφία τους σλαβόφωνοι και αρβανιτόφωνοι [10]. Ωστόσο, είναι εξαιρετικά δύσκολο να κατατάξει κανείς τον πληθυσμό της περιοχής σε σαφείς κατηγορίες, καθώς τα ιστορικά στοιχεία προέρχονται από αντικρουόμενες καταγραφές με χρήση διαφορετικών κριτηρίων, από τις οθωμανικές, ελληνικές, βουλγαρικές και σερβικές αρχές.¹ Ενδεικτικά, ο χριστιανικός πληθυσμός στις Πρέσπες και την Αχρίδα το 1903 είναι περ. 35.000 άτομα, από τους οποίους 8.875 βλαχόφωνοι και αρβανιτόφωνοι, 11.380 σλαβόφωνοι, 10.345 εξαρχικοί και 4.365 λοιποί χριστιανοί [14].

Το σημερινό ελληνικό τμήμα των Πρεσπών περνάει στο ελληνικό κράτος το 1913 με τη Συνθήκη του Βουκουρεστίου, που έδωσε τέλος στον Β' Βαλκανικό πόλεμο.

Έντονες μετακινήσεις πληθυσμών σημειώνονται ξανά, τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αι. Μετά την μικρασιατική καταστροφή, 88 προσφυγικές οικογένειες εγκαθίστανται στον Λευκώνα, τον Λαιμό, τον Αγ. Γερμανό και την Πύλη. Ταυτόχρονα, πολλοί νέοι και παλιοί κάτοικοι της Πρέσπας φεύγουν προς την Αμερική και την Αυστραλία για περιόδους λίγων ετών. Με την επιστροφή τους, φροντίζουν να αγοράσουν αγροτική γη, ή καταστήματα, και έτσι παρατηρείται σημαντική ανοικοδόμησης της περιοχής.

Είναι χαρακτηριστικά όσα αναφέρει ο Μητροπολίτης Φλωρίνης Χρυσόστομος το 1931, *«είναι γνωστό ότι εις τον νομόν Φλωρίνης δεν υπάρχει βιοτεχνία ή βιομηχανία αξία λόγου, το δε έδαφος δεν καθίσταται επαρκές να διαθρέψη τον πληθυσμόν της υπαίθρου ίδια. Λόγω οικονομικής δυσπραγίας των χωρικών αναγκάζονται ούτοι να μεταναστεύωσι εις ξένα κράτη και ίδια εις τας Ηνωμένας Πολιτείας και τον Καναδά, προς καλλιτέρευσιν της οικονομικής των καταστάσεως, λόγω της νομισματικής διαφοράς»* [15].

Η έναρξη του Β' Παγκοσμίου Πολέμου βρίσκει την περιοχή Φλώρινας και Πρεσπών στη δικαιοδοσία των Ιταλών. Τα 6.880 άτομα που κατοικούν στις Πρέσπες βρίσκονται σε 16

¹ Οι οθωμανικές και ελληνικές αρχές καταγράφουν ως «Τούρκους» όλους τους μουσουλμάνους, ως «Έλληνες» τους ορθόδοξους πατριαρχικούς κι ως «Βούλγαρους» τους ορθόδοξους εξαρχικούς. Από την άλλη, οι σερβικές και βουλγαρικές αρχές ταξινομούν τον πληθυσμό βάσει της γλώσσας του.

χωριά, καθώς ο οικισμός Οπάγια είχε εγκαταλειφθεί εξαιτίας της ελονοσίας. Ιδιαίτερα δραματικά γεγονότα θα ζήσει η περιοχή κατά τη διάρκεια του εμφυλίου πολέμου. Στην ελεγχόμενη από τους αντάρτες περιοχή βρισκόταν το αρχηγείο (σπηλιά Ζαχαριάδη) και το νοσοκομείο τους. Με το τέλος των μαχών σε Γράμμο και Βίτσι τα περισσότερα χωριά ερημώνουν καθώς οι κάτοικοι τους επιλέγουν να καταφύγουν στην Σοβιετική Ένωση, την Πολωνία, την Ουγγαρία και την Τσεχοσλοβακία. Ορισμένοι θα επιστρέψουν στα έρημα χωριά τους έπειτα από μερικά χρόνια, άλλοι όχι. Τη δεκαετία του 1950, σε μια προσπάθεια τόνωσης της περιοχής, οι ελληνικές αρχές εγκαθιστούν περίπου 1700 νομάδες Βλάχους από την Ήπειρο, τη Θεσσαλία και τα Γιαννιτσα [10].

1.5.2 Στοιχεία για τον οικισμό Μηλιώνα

Στον οικισμό Μηλιώνα βρίσκονται τα κτίρια που μελετήθηκαν αναλυτικότερα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Η αρχική ονομασία Μέδουβο ενδεχομένως σχετίζεται με τη μεσαιωνολατινική λέξη *umida-va* που σημαίνει υγρό και επίπεδο τόπο [10]. Κατά την τουρκοκρατία το χωριό είναι γνωστό ως *Medono* (мед σημαίνει μέλι στα βουλγάρικα), και στη συνέχεια μετονομάζεται σε Μέδοβον με Βασιλικό Διάταγμα του 1918 (ΦΕΚ 259/1918) και σε Μηλιώνα το 1926 (ΦΕΚ 346/1926).

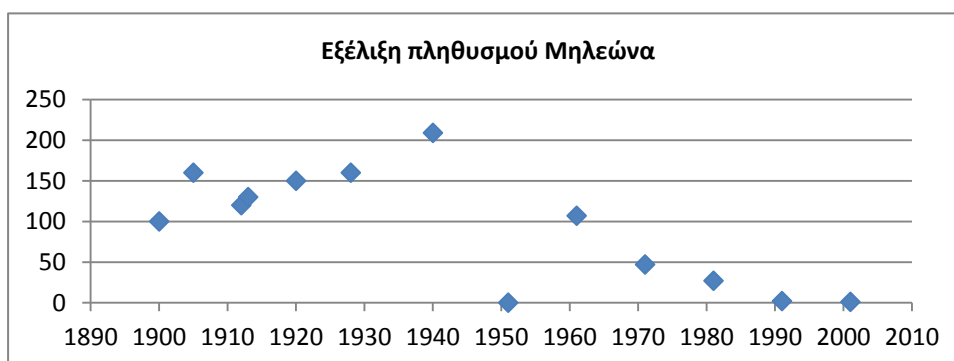
Ο ερευνητής του Μακεδονικού ζητήματος Δ. Λιθοξόου αναφέρει πως το χωριό ήταν εξαρχικό και είχε και πατριαρχική εκκλησία [16]. Από άλλες πηγές μαθαίνουμε πως ο Μηλιώνας στέγαζε από το 1934 τη Συνεταιριστική αποθήκη των Πρεσπών για τη συγκέντρωση σιταριού [17].

Θεμελιώδες στοιχείο της κοινωνικής οργάνωσης σε όλη την περιοχή ήταν η πολυεστιακή οικογένεια (*zadruga*), ένας πυρήνας δηλαδή από περισσότερους του ενός συγγενικούς κλάδους, τα μέλη του οποίου κατοικούν στην ίδια κατοικία και απασχολούνται στο ίδιο, ή συναφές, αντικείμενο. Στο κολλεκτιβιστικό αυτό σχήμα η κινητή ιδιοκτησία ήταν κοινή για όλα τα μέλη της πατριάς, δημιουργώντας τελικά μια αυτόνομη οντότητα, οικονομικά και κοινωνικά. Οι πυρήνες αυτοί φαίνεται πως διατηρήθηκαν έως τη δεκαετία του 1940 [17].

Η ζωή στα χωριά των Πρεσπών και η στενή σχέση των κατοίκων με τη φύση περιγράφεται γλαφυρά στο [10]:

«Η γη, το δάσος, η γεωργία, η κτηνοτροφία, η αλιεία, τους έδιναν ό,τι χρειαζόντουσαν, και οι άνθρωποι της Πρέσπας μέχρι πολύ πρόσφατα ήταν λίγο απ' όλα: γεωργοί, αλιείς, κτηνοτρόφοι, συλλέκτες, κυνηγοί. [...] Οι κάτοικοι όλων των χωριών της Πρέσπας χρησιμοποιούσαν το καλάμι για να σκεπάζουν τους στάβλους και τα μαντριά τους: τα χρήματα ήταν τότε περιορισμένα και τα κεραμίδια κόστιζαν, παρόλο που παράγονταν σε ορισμένα μέρη, όπως η Οξυά και ο Άγιος Γερμανός».

Στοιχεία σχετικά με την εξέλιξη του πληθυσμού παραθέτει ο Δ. Λιθοξόου [16]:²



Διάγραμμα 1.3. Εξέλιξη του πληθυσμού του οικισμού Μηλιώνα κατά τον 20^ο

² Για το έτος 1904 αναφέρει 59 ορθόδοξους χριστιανούς, το 1932 28 ξενόφωνες οικογένειες, και ερήμωση το 1951

Πρόσφατη εργασία [18] αναφέρει την εγκατάλειψη του οικισμού περίπου το 1950 και την επανακατοίκηση του από Καστοριανούς και Ηπειρώτες, και ελάχιστους ντόπιους. Οι περίπου 50 έποικοι μοιράστηκαν τις περιουσίες των παλαιών κατοίκων και στη συνέχεια τις πούλησαν για να επιστρέψουν πίσω στους τόπους τους. Σύμφωνα με προφορικές μαρτυρίες παλαιών κατοίκων του Μηλεώνα (που λήφθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας), γεννημένων το 1953, ο οικισμός εγκαταλείφθηκε οριστικά με το άνοιγμα των ελληνοαλβανικών συνόρων, στα τέλη της δεκαετίας του 1980.

Στην απογραφή του 2011 καταγράφηκαν 2 κάτοικοι³.

1.6 Τα κτίρια της περιοχής

Η αρχική μορφή της κατοικίας ήταν μια πλινθόκτιστη και μακρόστενη κατασκευή σκεπασμένη με καλάμια ή άχυρο, που χωριζόταν σε δύο μέρη, για τα ζώα και τους ανθρώπους. Αντί για τζάκι, η οικογένεια άναβε μια φωτιά στη μέση του σπιτιού, όπου υπήρχε άνοιγμα για να φεύγει ο καπνός. Εκεί κρεμούσαν και τον «λέβητα» για το μαγείρεμα [17]. Η εστία αργότερα μεταφέρθηκε πλάι στους στενούς τοίχους του σπιτιού και προστέθηκε κλαδόπλεχτη καπνοδόχος, η *μπάτζα* [12]. Στην πρώιμη μορφή τους τα σπίτια έχουν 2 ανοίγματα στην πρόσοψη, ενώ η είσοδος γίνεται από πόρτα κοινή για τα ζώα και τους ανθρώπους.

Στην επόμενη φάση εμφανίζονται τα *διώροφα μονόχρωρα* σπίτια στα οποία τα ζώα τοποθετούνται στο σκοτεινό δωμάτιο του ισογείου και η οικογένεια δραστηριοποιείται στον όροφο. Τα παράθυρα έχουν ξύλινα κανάτια και σπανιότερα τζαμωτή κατασκευή.

Τον 19^ο αι. επικρατεί το *διώροφο, δίχωρο πλατυμέτωπο με χαγιάτι*, το οποίο μάλλον εξυπηρετεί τις αυξημένες ανάγκες της πατριαρχικής οικογένειας παρά αποτελεί ένδειξη πλούτου. Μια παραλλαγή αυτού του τύπου είναι τα *πλατυμέτωπα με χαγιάτι σε σχήμα T*, όπου μεταξύ των δωματίων του ορόφου παρεμβάλλεται ημιυπαίθριος χώρος.

Λίγο αργότερα εμφανίζονται και οι σπάνιοι τύποι του *τρίχωρου και τετράχωρου πλατυμέτωπου με χαγιάτι, διώροφου* κτίσματος (τέλος 19^{ου} αι.). Αυτή την περίοδο κυριαρχεί το *τρίχωρο πλατυμέτωπο με εξώστη ή σαχνισί*, με αστικές επιρροές, ενώ κατά τον μεσοπόλεμο διαδίδεται ο τύπος του *τρίχωρου πλατυμέτωπου με χαγιάτι σε μια εξελιγμένη μορφή*, όπου το χαγιάτι μεταξύ των δωματίων του ορόφου μετατρέπεται σε σάλα, και οι εξώστες περιορίζονται σε μικρά μπαλκόνια [12].

Εκτός από τις κατοικίες, η περιοχή έχει αρκετά δείγματα βυζαντινής και μεταβυζαντινής ναοδομίας, με πλέον γνωστό τον Άγιο Αχίλλειο, κτίσμα του τέλους του 10^{ου} αι., στο ομώνυμο νησάκι της Μικρής Πρέσπας. Από τον 11^ο ως τον 14^ο αι. διατηρούνται απομεινάρια 4 ναών, και ενός ασκηταριού ενώ σώζονται και τοιχογραφίες με παραστάσεις της Θεοτόκου στα κάθετα βράχια στον κόλπο του χωριού Ψαράδες. Αρκετοί ναοί σώζονται από την περίοδο του 19^{ου} αι. και των αρχών του 20^{ου}.

Δυστυχώς, στα πλαίσια εκστρατειών εξαφάνισης του σλαβικού στοιχείου, ιδιαίτερα μετά το 1967, πολλές εκκλησίες και τοιχογραφίες καταστράφηκαν, επειδή είχαν σλάβικες ονομασίες ή γραφή: ο Άγ. Νικόλαος στο Πλατύ (799), ο Αγ. Αθανάσιος στην Καλλιθέα (900), η Αγ. Παρασκευή στην Οξυά (892) [14].

Σημαντικό στοιχείο του κτιριακού αποθέματος είναι, τέλος, οι νερόμυλοι, που χρονολογούνται από τον 19^ο αιώνα μέχρι τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου}. Ο αριθμός τους, εάν λάβει κανείς υπόψη την τριεθνή Πρέσπα, έφθανε στις αρχές του Β' Παγκοσμίου Πολέμου τα 92 κτίσματα μύλων. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας οι περισσότεροι ανήκαν στους Τούρκους ώστε να διατηρείται ο έλεγχος των σιτηρών από τις αρχές της αυτοκρατορίας. Σήμερα επαναλειτουργεί ένας εξ αυτών, στον Αγ. Γερμανό, με ευθύνη της Εταιρείας Προστασίας Πρεσπών [19].

³ <http://www.statistics.gr/el/2011-census-pop-hous>

Η σημερινή εικόνα των οικισμών της περιοχής φανερώνει πως η εγκατάλειψη και η γεωγραφική απομόνωση έχουν συντελέσει στη διατήρηση αρκετών αρχιτεκτονικών στοιχείων, αλλά και του φυσικού περιβάλλοντος, αλλά από την άλλη, η εγκατάλειψη αυτή συνοδεύεται και από την έλλειψη συντήρησης του κτιριακού πλούτου.

1.7 Καθεστώς προστασίας της περιοχής

Το Υπ. Περιβάλλοντος έχει χαρακτηρίσει τους Ψαράδες ως παραδοσιακό οικισμό από το 1978 και ένα κτίριο στον Αγ. Γερμανό ως διατηρητέο (1987)⁴. Τον Δεκέμβριο του 2015 εκδόθηκε Προεδρικό Διάταγμα για τον χαρακτηρισμό τμήματος του Αγ. Γερμανού ως παραδοσιακού. Το Υπουργείο Πολιτισμού έχει εντάξει σε καθεστώς προστασίας τμήματα της νήσου του Αγ Αχιλλείου, πλήθος ναών, το κτίριο του Άσουλου Ποίησης στην Καλλιθέα κ⁵.

Για την προστασία του φυσικού πλούτου της περιοχής⁶ έχει ιδρυθεί το πρώτο στα Βαλκάνια Διασυνοριακό Πάρκο (2000), ενώ σε εθνικό επίπεδο, στην Ελλάδα, η περιοχή προστατεύεται από πολλές εθνικές, ευρωπαϊκές και διεθνείς συμβάσεις και νομούς (Εθνικό Πάρκο Πρεσπών - NATURA 2000, Τοπίο Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους Υγρότοπος Διεθνούς Σημασίας- Συνθήκη Ραμσάρ κλπ) [20].



A POOR VILLAGE OF THE PLAINS. (NEAR OCHRIDA)

Εικόνα 1.5. Εικόνα ενός φτωχού χωριού κοντά στην Οχρίδα, στις αρχές του αιώνα [116]

⁴ <http://estia.minenv.gr/EXEC>

⁵ http://listedmonuments.culture.gr/result_declarations.php

⁶ Στην μικρή έκταση της περιοχής Πρεσπών φιλοξενούνται πάνω από τα μισά είδη πουλιών, αμφιβίων και θηλαστικών που απαντώνται σε ολόκληρη την Ελλάδα, ενώ τα 9 από τα 23 είδη ψαριών που ζουν στις λίμνες της και τα ποτάμια της είναι ενδημικά. Ανάμεσα στην ποικιλία των σπάνιων ειδών χλωρίδας και πανίδας ξεχωρίζουν η ενδημική πέστροφα των Πρεσπών, η ενδημική Κενταύρια της Πρέσπας και η σημύδα (*Betula pendula*) χαρακτηριστικό δέντρο των ψυχρότερων περιοχών της Βόρειας Ευρώπης. Ξεχωρίζουν επίσης τα σπάνια υδρόβια πουλιά που φωλιάζουν εδώ, δηλαδή τα δύο είδη πελεκάνων, ο αργυροπελεκάνος και ο ροδοπελεκάνος, οι λαγγόνες, τα 7 είδη ερωδιών, οι σταχτόχηνες και οι χαλκόκοτες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η Πρέσπα φιλοξενεί τη μεγαλύτερη αναπαραγωγική αποικία αργυροπελεκάνων στον κόσμο (1000-1200 ζευγάρια). Το οικοσύστημα συμπληρώνεται από τα δάση της βελανιδιάς και της οξιάς και τα αλπικά λιβάδια των βουνών [20]

2. Κύριες ιδιότητες των ωμόπλινθων

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας εξετάστηκαν πειραματικά 3 από τις ιδιότητες των ωμόπλινθων. Η θλιπτική τους αντοχή, η θερμική αγωγιμότητα και η αντίσταση στη διάβρωση του νερού. Η βιβλιογραφική επισκόπηση που ακολουθεί αφορά κυρίως αυτές τις τρεις ιδιότητες.

2.1 Ιστορικά και γεωγραφικά στοιχεία χρήσης των ωμόπλινθων

Η πρώτη εμφάνιση των ωμών πλίνθων (adobe) σε κατασκευές δεν έχει καθοριστεί, χρονικά και γεωγραφικά, με απόλυτη βεβαιότητα [21]. Η λέξη *adobe* προέρχεται από την αραβική *atob* που κυριολεκτικά σημαίνει πλίνθος ψημένη στον ήλιο [22].

Η χρήση του πηλού, ως επιχρίσματος ξύλινων καλυβών, παρατηρείται από την μεσολιθική περίοδο (10.000-7.500 π.Χ.). Η πρακτική αυτή εμφανίζεται και στον ελλαδικό χώρο μεταξύ της 7^{ης}-6^{ης} χιλιετίας π.Χ. [23].

Τοίχοι από συμπιεσμένους σβώλους πηλού χωρίς ξύλινο σκελετό εμφανίζονται την 9^η χιλιετία π.Χ. Αυτόν τον τρόπο δόμησης συναντάμε στην Ιερική, σε οχυρωματικό πύργο και σε κατοικία. Η εξέλιξη των συμπιεσμένων σβόλων ήταν ο συμπιεσμένος πηλός (rammed earth στα αγγλικά, *terial* στα ισπανικά, *pisé* στα γαλλικά).

Είναι γνωστό πως στην Μεσοποταμία το κατεξοχήν οικοδομικό υλικό που προσέφεραν οι ποταμοί ήταν η άργιλος, ιδιαίτερα κατά την άνοιξη, όταν και υπερχειλίζουν. Στο πρώτο στάδιο εμφάνισης αυτού του τύπου οικοδόμησης η λάσπη χρησιμοποιείται για το κτίσιμο σπιτιών, έπειτα χρησιμοποιείται σε κάστρα και караβάνσαράγια, ενώ στο τρίτο εξελικτικό στάδιο παρατηρείται η χρήση ψημένων πλακών για την επικάλυψη των ωμόπλινθων και προστασία τους από την υγρασία [21]. Εδώ καταγράφεται και η πρώτη χρήση ωμόπλινθων, κατασκευασμένων με καλούπια, ως υλικών ενίσχυσης της κατασκευής καθώς το κύριο δομικό υλικό παραμένει να είναι το πηλοκονίαμα [24]. Η παραγωγή ωμόπλινθων ταυτίζεται χρονικά με την εδραίωση της γεωργίας και της κτηνοτροφίας καθώς προϋποθέτει την επιλογή, μεταφορά και αποθήκευση των πρώτων υλών και την παραγωγή και διάθεση του τελικού προϊόντος.

Ωμόπλινθους συναντάμε περίπου την ίδια εποχή στην Κύπρο (*πλιθάρια*), στον νεολιθικό οικισμό Χοιροκοιλίας (7.000-6.000 π.Χ.), και στην Τουρκία (6.500-5.800 π.Χ.) στον οικισμό Çatalhöyük (νότια Ανατολία) [24].

Στην Ελλάδα, στον οικισμό Σέσκλο (κοντά στο σημερινό Βόλο) τα κτίρια της εποχής 5.550-4.400 π.Χ. είχαν ωμόπλινθους στους ορόφους, ενώ υπήρχε προστασία από την υγρασία με την κατασκευή λίθινων βάσεων. Καλουπωτές τοιχοποιίες (*cob*) ενδέχεται να έχουν χρησιμοποιηθεί στη μινωική Κρήτη, στον οικισμό Βασιλική. Στην αρχαία Λέρνα (Αργολικός κόλπος), οι τοίχοι διώροφου κτίσματος (*Οικία των Κεράμων*, 2.500 π.Χ.), επάνω σε λίθινη βάση, ήταν από ωμόπλινθους. Την περίοδο 2.000-1.500 π.Χ. κατασκευές από ωμές πλίνθους συναντούμε στις κατοικίες βοσκών στις Μυκήνες, την Τίρυνθα και την Πύλο, ενώ στον οικισμό Αρχοντικού Γιαννιτσών (2.100-1.900 π.Χ.) βρίσκουμε στοιβαχτό πηλό με οργανικά πρόσθετα (άχυρο και ξύλο). Άψητες πλίθρες έχουν βρεθεί στα δείγματα Μεσοκυκλαδικής αρχιτεκτονικής στη Θήρα (1.600-1.100 π.Χ.) και στο Λευκαντί της Εύβοιας σε οικοδόμημα εντός του νεκροταφείου, πιθανώς Ηρώο, διαστάσεων 47*10m² (1.000 π.Χ) [25, 26, 27].

Η τεχνική δόμησης με πλίθρες ήταν διαδεδομένη και στην υπόλοιπη Μεσόγειο. Στις περιοχές γύρω από το Δέλτα του Νείλου, τον 16^ο αι. π.Χ., μας πληροφορεί η Παλαιά Διαθήκη, οι Φαραώ υποχρέωναν τους Ισραηλίτες να μετέχουν στην κατασκευή των πλιθίων: «*και κατεδυνάστευον οί Αιγύπτιοι τούς υίους Ίσραήλ βία και κατωδύνων αύτων τήν ζωήν έν τοίς έργοις τοίς σκληροίς, τῷ πηλῷ και τῇ πλινθεία και πάσι τοίς έργοις τοίς έν τοίς πεδίοις*». Η προσθήκη άχυρου ήταν γνωστή από τότε, «*συνέταξε δε Φαραώ τοίς έργοδιώκταις τοῦ λαοῦ και τοίς γραμματεῦσι λέγων· ούκέτι προστεθήσεσθε διδόναι άχυρον τῷ λαῷ είς τήν πλινθουργίαν καθάπερ χθές και τρίτην ήμέραν· άλλ' αύτοί πορευέσθωσαν και συναγαγέτωσαν*

έαυτοῖς ἄχυρα». Οι διαστάσεις των αιγυπτιακών ωμόπλινθων ήταν $0,38*0,14*0,11\text{m}^3$, ενώ τοποθετούνταν στην κατασκευή ωμές, όχι ξηραμένες, και ανάμεσα τους παρεμβάλλονταν στρώση λάσπης ή άμμου.

Η διάδοση των ωμόπλινθων στη Ρώμη γίνεται μέσω των αποικιών των αρχαίων Ελλήνων στην Καμπανία, κι έτσι οι ξύλινες καλύβες δίνουν τη θέση τους σε ορθογωνικές κατασκευές άψητης γης. Τα πλιθιά με τον καιρό εξελίσσονται σε υλικό πλήρωσης ξύλινων πλαισίων και η χρήση τους διαδίδεται κατά τις ρωμαϊκές κατακτήσεις- ιδιαίτερα στη Γαλατία [25].

Στην Κεντρική και Νότια Αμερική η χρήση των ωμόπλινθων ήταν διαδεδομένη σε όλους τους πολιτισμούς πριν την άφιξη των ευρωπαίων, ενώ στην Αφρική σχεδόν όλα τα πρώιμα τεμένη είναι φτιαγμένα από άψητη γη. Κατά τον μεσαίωνα (13^{ος}-17^{ος} αι.) τα πλιθιά βρίσκουν ευρεία εφαρμογή ως υλικά πλήρωσης σε όλη την κεντρική Ευρώπη. Στη Γαλλία, τον 15^ο-19^ο αι., πολλά κτίρια κατασκευάζονται από καλουπωτό πηλό – μερικά από αυτά, ηλικίας πάνω από 300 έτη διατηρούνται ακόμα – ενώ στη Γερμανία το παλαιότερο διατηρημένο κτίριο ίδιας τεχνικής είναι κατασκευασμένο το 1795. Το 1828, πάλι στη Γερμανία, κτίστηκε το ψηλότερο κτίριο από ωμή γη στην Ευρώπη (εικόνα 2.1) [28].

Σήμερα, το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού υπολογίζεται πως διαβιεί σε κατοικίες από ωμή γη, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες το ποσοστό αυτό αυξάνεται σε 50%. Η μεγάλη τρωτότητα κτιρίων από ωμόπλινθους σε σεισμούς, εξαιτίας της χαμηλής αντοχής του υλικού σε εφελκυσμό και της ψαθυρής φύσης του αλλά και λόγω κατασκευαστικών ατελειών, έχει οδηγήσει σε τεράστιες απώλειες, ανθρώπινες, κοινωνικές και οικονομικές, σε χώρες όπως το Ελ Σαλβαδόρ, το Ιράν, το Περού, το Πακιστάν και η Κίνα [22].



Εικόνα 2.1. Κτίριο από καλουπωτό πηλό στο Βάιλμπουργκ της Γερμανίας. Θεωρείται το υψηλότερο στην Ευρώπη που έχει φτιαχτεί από ωμή γη (1828) [28]



Εικόνα 2.2. Το Arg-e Bam στο ΝΑ Ιράν θεωρείται αντιπροσωπευτικό δείγμα μεσαιωνικής οχυρωματικής αρχιτεκτονικής από ωμόπλινθους και καλουπωτή γη. Το 2003 υπέστη τεράστιες ζημιές από σεισμό. (Πηγή φωτογραφίας <http://whc.unesco.org/en/list/1208/gallery/>).

2.2 Αντοχή σε θλίψη

2.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή σε θλίψη

Η αντοχή σε θλίψη των στοιχείων δόμησης από ωμή γη μπορεί να λάβει τιμές στο εύρος 0,5-5MPa. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα είναι η ποιότητα και η ποσότητα της αργίλου, η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ιλύος, άμμου και χαλίκων, αλλά και η μέθοδος παρασκευής και συμπύκνωσης του υλικού [28].

Η αργή συμπύκνωση οδηγεί σε αύξηση της πυκνότητας του υλικού, και άρα σε βελτιωμένη μηχανική συμπεριφορά. Επίσης, όσο μεγαλύτερη η τάση συμπύκνωσης, τόσο μεγαλύτερη και η αντοχή σε θλίψη.

Για δεδομένη τάση συμπύκνωσης, η ξηρή πυκνότητα είναι αυτή η οποία καθορίζει τη θλιπτική αντοχή, αν και οι υψηλές τιμές πυκνότητας δεν εξασφαλίζουν απαραίτητα και σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή. Σε κάθε περίπτωση, η επίδραση της ξηρής πυκνότητας στις αντοχές πρέπει να εξετάζεται σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες παραμέτρους του προς εξέταση υλικού.

Ικανοποιητική περιεκτικότητα σε άργιλο θεωρείται η κατά βάρος περιεκτικότητα 12-16% [29]. Όσο αφορά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της αργίλου, η περιεκτικότητα σε καολίνη συνήθως συνεπάγεται χαμηλές τιμές αντοχών (έως 1MPa), σε αντίθεση με τον ιλλίτη (έως και 3MPa) και τον μοντμοριλονίτη (έως και 5MPa), η παρουσία των οποίων επιδρά θετικά. Αυξημένα ποσοστά χονδρόκοκκου υλικού, που αυξάνουν την εσωτερική γωνία τριβής, οδηγούν σε αυξημένες αντοχές [30].

Αντοχή σε εφελκυσμό

Τα υλικά από ωμή γη δεν πρέπει να υπόκεινται σε δυνάμεις εφελκυσμού, συνεπώς η ιδιότητα τους αυτή δεν θα εξεταστεί σε βάθος στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Ο Minke αναφέρει πως η αντοχή σε καθαρό εφελκυσμό ισοδυναμεί με περίπου 10% της αντοχής σε θλίψη, για πλίνθους, ενώ για κονιάματα η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ 11-13%.

Η *καμπτική εφελκυστική αντοχή* χρησιμοποιείται ως ποιοτικός δείκτης των πηλοκονιαμάτων. Εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άργιλο και την παρουσία ορυκτών- η παρουσία μοντμοριλονίτη αυξάνει την καμπτική εφελκυστική αντοχή σε σχέση με τον καολίνη, ώστε οι τιμές της αντοχής να κυμαίνονται από 0,16-21,8MPa [28].

2.2.2 Πειραματικά δεδομένα

Τα δεδομένα εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής σε αυθεντικά στοιχεία δόμησης ωμής γης, από υπάρχουσες δηλαδή κατασκευές, είναι περιορισμένα. Αυτό οφείλεται τόσο στη δυσκολία συλλογής υλικού, όσο και στη δυσκολία προετοιμασίας δοκιμών κατάλληλου μεγέθους και επιφανειών. Ακολούθως παρουσιάζονται όσα πειραματικά δεδομένα από υπάρχουσες κατασκευές εντοπίστηκαν κατά τη βιβλιογραφική μελέτη.

Δοκιμές σε υλικό ιστορικών κτιρίων του Aliano στη νότια Ιταλία, πυκνότητας περ. 1.800kg/m^3 έδωσαν ένα μεγάλο εύρος τιμών (0,5-1,5MPa) [31], ενώ δοκιμές στην περιοχή Lamezia Terme, στην Καλάμπρια της Ιταλίας, έδωσαν αρκετά χαμηλές τιμές (0,2-0,78MPa). Στην τελευταία οι ερευνητές απέδωσαν τις χαμηλές τιμές στη φθορά του υλικού εξαιτίας της πολύχρονης του έκθεσης στο εξωτερικό περιβάλλον αλλά και στις πιθανές ζημιές που προξενήθηκαν κατά την προσπάθεια δημιουργίας κυβικών δοκιμών. Για το λόγο αυτό, έφτιαξαν εκ νέου δοκίμια, από τα υπολείμματα των αυθεντικών ωμόπλινθων και κατέληξαν σε τιμές αντοχών 2-3 φορές μεγαλύτερες [32].

Ακόμα μεγαλύτερες δυσκολίες αντιμετώπισαν ερευνητές στον αρχαιολογικό χώρο Nisa Partica στο Τουρκμενιστάν. Οι δοκιμές στα ωμά πλιθιά, ηλικίας 2.000 ετών και πυκνότητας 1.750kg/m^3 , έγιναν επί τόπου με τη χρήση κυψελών φορτίου, και έδωσαν τιμές 1-1,32 MPa [33]. Η

μικρή διακύμανση των τιμών εξηγείται, σύμφωνα με τους μελετητές, από την παραμορφωσιμότητα του υλικού, ενώ η διάλυση των άχυρων και της κοπριάς που προϋπήρχαν στο αρχικό μείγμα μείωσε σημαντικά τις μετρούμενες μηχανικές αντοχές.

Σε δυο μελέτες των ιδιοτήτων αυθεντικού υλικού που πραγματοποιήθηκαν στο Aneigo της Πορτογαλίας, προτιμήθηκε η απόσπαση κυλινδρικών δοκιμών απευθείας από την τοιχοποιία (με χρήση 'καροτιέρας'), ώστε να μειωθεί η απαιτούμενη επεξεργασία στο εργαστήριο. Το εύρος των τιμών αντοχής σε θλίψη ήταν 0,66 – 2,15 MPa και 0,8-1,65 MPa, για την πρώτη και δεύτερη μελέτη αντίστοιχα [34].

2.2.3 Σταθεροποίηση ωμόπλινθων

Με τον όρο σταθεροποίηση νοείται η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους, με την προσθήκη πρόσθετων, όπως άσβεστος, τσιμέντο κλπ. Ειδικά για τα στοιχεία δόμησης από ωμό πηλό, συνήθως ο όρος αναφέρεται στην βελτίωση της συμπεριφοράς τους έναντι της διάβρωσης του νερού [30].

Πλήθος ερευνών έχουν μελετήσει την επίδραση πρόσθετων στη συμπεριφορά ωμόπλινθων. Ενδεικτικά, έχει βρεθεί πως

- Η θλιπτική αντοχή, για συγκεκριμένο εύρος μελέτης, αυξάνει γραμμικά με την αύξηση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο [35]
- Η προσθήκη γύψου και ασβέστη αυξάνει τη θλιπτική αντοχή [36], ωστόσο η καταλληλότητα του γύψου πρέπει να διερευνηθεί περισσότερο [30]
- Η σταθεροποίηση με φυσική υδραυλική άσβεστο και με σκωρία κάδων χαλυβουργίας επίσης αυξάνει τη θλιπτική αντοχή- περισσότερο, δε, με την υδραυλική άσβεστο [37]
- Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άχυρο μειώνει την αντοχή σε θλίψη [38]
- Η χρήση πλαστικών ινών, παραπροϊόντων της κλωστοϋφαντουργίας και της βιομηχανίας πλαστικού, αυξάνει τη θλιπτική αντοχή, σε σχέση με το άχυρο [39]
- Με την προσθήκη φυσικών πολυμερών από φύκια οι μηχανικές αντοχές μπορούν να φτάσουν αυτές των σταθεροποιημένων πλιθιών με τσιμέντο και ασβέστη [40]

Πρέπει να σημειωθεί πως ορισμένοι ερευνητές έχουν εκφράσει έντονες αντιρρήσεις στη χρήση σταθεροποιητών. Ο E. Crocker αναφέρει πως αν και η σταθεροποίηση αυξάνει τις αντοχές, εντούτοις, υπό σεισμική διέγερση το τελικό υλικό παραμένει εξίσου ψαθυρό. Η πιο ενδιαφέρουσα παρατήρηση αφορά μάλλον το ψευδές αίσθημα ασφάλειας που δημιουργεί η χρήση σταθεροποιητών και που οδηγεί, τελικά, σε πλημμελή συντήρηση της κατασκευής [41].

2.2.4 Απαιτήσεις κανονισμών και κατευθυντήριων κειμένων

Είναι γνωστό πως, διεθνώς, υπάρχουν πολύ λίγοι κανονισμοί δόμησης για στοιχεία από ωμή γη. Πολλοί μελετητές, μάλιστα, αμφισβητούν και την ικανότητα αυτών των κανονισμών να λάβουν υπόψη τους την πραγματική συμπεριφορά σχετικών κατασκευών [41, 28].

Στον πίνακα 2.1 έχει γίνει μια προσπάθεια συγκέντρωσης των απαιτήσεων όσων κανονισμών και κατευθυντήριων κειμένων ήταν προσβάσιμοι, αναφορικά με τη θλιπτική αντοχή ωμόπλινθων (έχουν συμπεριληφθεί γενικές αναφορές σε δόμηση με ωμή γη, αλλά έχουν παραβλεφθεί αναφορές σε τεχνικές εκτός της δόμησης με ωμόπλινθους π.χ. σε στοιχεία πατημένης γης, συμπιεσμένων ωμόπλινθων κλπ.).

Πίνακας 2.1. Απαιτήσεις θλιπτικής αντοχής κανονισμών και κατευθυντήριων κειμένων

Χώρα	Κείμενο	Τεχνική	Απαιτήση για θλιπτική αντοχή (MPa) ⁷
Γερμανία	DIN 18954	Δόμηση με ωμή γη	0,3 – 0,5 [28]
Η.Π.Α.	2009 NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE	Ωμόπλινθοι	2 [42]
Η.Π.Α.	Handbook for building homes of earth	Ωμόπλινθοι	1,7 [43]
Νέα Ζηλανδία	NZS 4298:1998	Ωμόπλινθοι	1,3 [44]
Περού	NORMA E.080. ADOBE	Ωμόπλινθοι	1,17 [45]
Αργεντινή	RECOMENDACIONES PARA LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE	Ωμόπλινθοι	1,2 [46]

2.3 Θερμική συμπεριφορά

2.3.1 Γενικά

Τα κύρια μεγέθη που περιγράφουν τη θερμική συμπεριφορά των υλικών είναι:

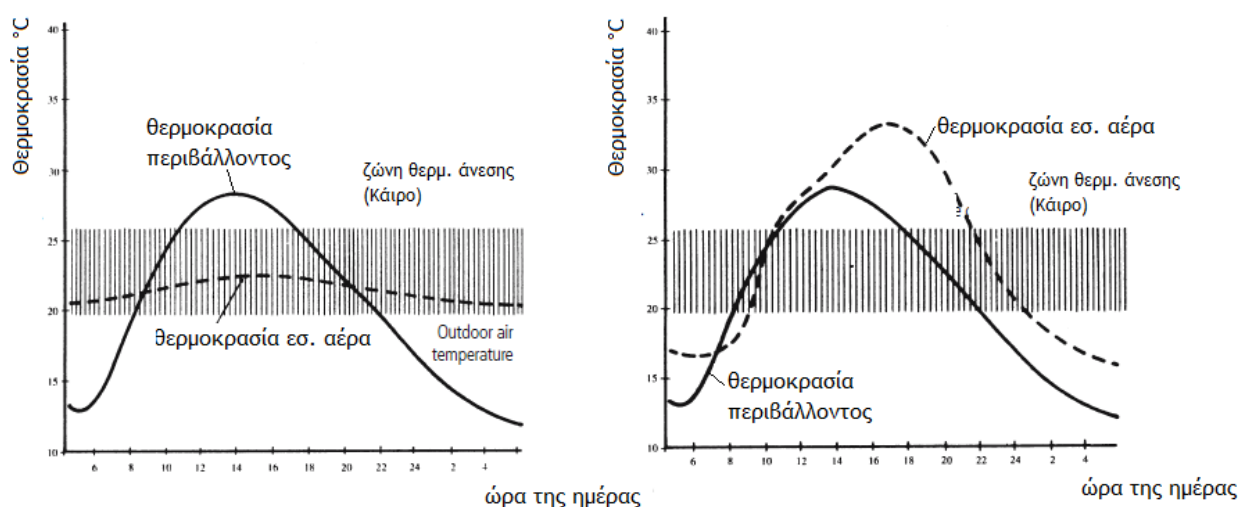
- Η ειδική θερμότητα (ή ειδική θερμοχωρητικότητα) c (J/kgK), που ισούται με την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας για να θερμανθεί μάζα υλικού 1kg κατά 1°C.
- Η θερμοχωρητικότητα S (J/m³K), που ισούται με το γινόμενο ειδικής θερμοχωρητικότητας επί την πυκνότητα του υλικού. Στοιχεία με μεγάλη θερμοχωρητικότητα αντιδρούν αργά στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στις πλευρές τους.
- Η θερμική αγωγιμότητα λ (W/mK), η οποία ισούται με την ποσότητα θερμότητας (w/m²) που διαπερνά υλικό πάχους 1m όταν στις 2 του πλευρές εφαρμοστεί διαφορά θερμοκρασίας 1°C. Υψηλές τιμές θερμικής αγωγιμότητας αντιστοιχούν σε υλικά όπου η θερμική ενέργεια μεταφέρεται εύκολα.
- Η θερμική διαχυτικότητα κ (m²/s), η οποία ισούται με το πηλίκο της αγωγιμότητας λ προς την ειδική θερμότητα επί την πυκνότητα του υλικού [$\kappa = \lambda / (\rho \cdot c)$]. Χαρακτηρίζει το ρυθμό μετάδοσης της θερμότητας μέσα στο υλικό- καθώς το υλικό δεν μεταδίδει απλά θερμότητα, αλλά θερμαίνεται και το ίδιο, η διαχυτικότητα εξαρτάται τόσο από την αγωγιμότητα όσο και από την ειδική θερμότητα.

Ο Minke αναφέρει πως η διαδεδομένη αντίληψη για τις πολύ καλές μονωτικές ιδιότητες της ωμής γης δεν έχει τεκμηριωθεί επαρκώς [28]. Σχετικές μετρήσεις έχουν δείξει πως ωμόπλινθοι με θερμική αγωγιμότητα περ. 0,9 W/mK δε μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του γαλλικού κανονισμού δόμησης, ακόμα και για πάχος τοιχοποιίας 0,4m [47]. Από την άλλη, είναι δυνατό, με κατάλληλους συνδυασμούς υλικών και αύξηση του πάχους της τοιχοποιίας να επιτευχθούν οι ελάχιστες απαιτήσεις θερμομόνωσης. Αυτό έδειξε έρευνα προσαρμοσμένη στα δεδομένα του Ηνωμένου Βασιλείου όπου τοιχοποιία από άχυρο και πηλό, χαμηλής πυκνότητας (440kg/m³) και θερμικής αγωγιμότητας (0,18W/mK), και επαρκώς μεγάλου πάχους (60cm) ικανοποίησε τις απαιτούμενες τιμές μονωτικής επάρκειας [48]. Για τα δεδομένα του ελληνικού κανονισμού ενεργειακής απόδοσης, ορισμένοι συνδυασμοί υλικών

⁷ Σημειώνεται η βέλτιστη απαίτηση. Ενδέχεται ορισμένοι κανονισμοί να επιτρέπουν αποκλίσεις από την σημειούμενη απαίτηση, ή να έχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με το εξεταζόμενο δοκίμιο (μέγεθος, περιεχόμενη υγρασία κλπ).

(πηλός με άχυρο, κίσηρη με πηλό) με καλές μονωτικές ιδιότητες ($\lambda < 0,25 \text{ W/mK}$), μπορούν να ικανοποιήσουν τις ελάχιστες απαιτήσεις θερμικής αντίστασης, ωστόσο οι κατασκευές με ωμόπλινθους ($\lambda = 0,7-0,8 \text{ W/mK}$) απαιτούν την τοποθέτηση επιπλέον θερμομονωτικού υλικού 3-8 εκ. [49].

Το πλεονέκτημα της δόμησης με πηλό, ωστόσο, όσο αφορά τις θερμικές του ιδιότητες, είναι η μεγάλη θερμική μάζα την οποία προσθέτει σε μια κατασκευή. Στην εικόνα 2.3 φαίνεται η μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας σε σχέση με τις διακυμάνσεις της εξωτερικής, σε 2 κτίρια στο Κάιρο χτισμένα το 1964. Στο πρώτο κτίριο, με τοίχους ωμής γης πάχους 50cm, η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας, για μεταβολή της εξωτερικής κατά 13°C , είναι 4°C , ενώ στο δεύτερο κτίριο με προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος πάχους 10cm, η εσωτερική θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά 16°C [28]. Το ιδανικό πάχος ενός τοίχου από ωμή γη, ώστε να επιτυγχάνεται η επαναπόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας με υστέρηση 10-12 ωρών (θερμική υστέρηση), για τις κλιματικές συνθήκες της Γαλλίας έχει βρεθεί πως είναι ίσο με περίπου 40cm [47].



Εικόνα 2.3. Σύγκριση εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας σε κτίριο με ωμόπλινθους (αριστερά) και σε κτίριο με προκατασκευασμένα στοιχεία σκυροδέματος (δεξιά).

2.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική αγωγιμότητα

Στην ενότητα αυτή εξετάζεται το εύρος τιμών που μπορεί να λάβει η τιμή της θερμικής αγωγιμότητας των ωμοπλίνθων, καθώς και οι σχετικοί παράγοντες που την επηρεάζουν. Είναι σαφές πως η συνολική θερμική απόδοση ενός κτιρίου από ωμόπλινθους εξαρτάται από ένα πλήθος άλλων παραγόντων, όπως ο τύπος στέγασης, η εσωτερική διαρρύθμιση, ο σχεδιασμός των ανοιγμάτων κλπ [50].

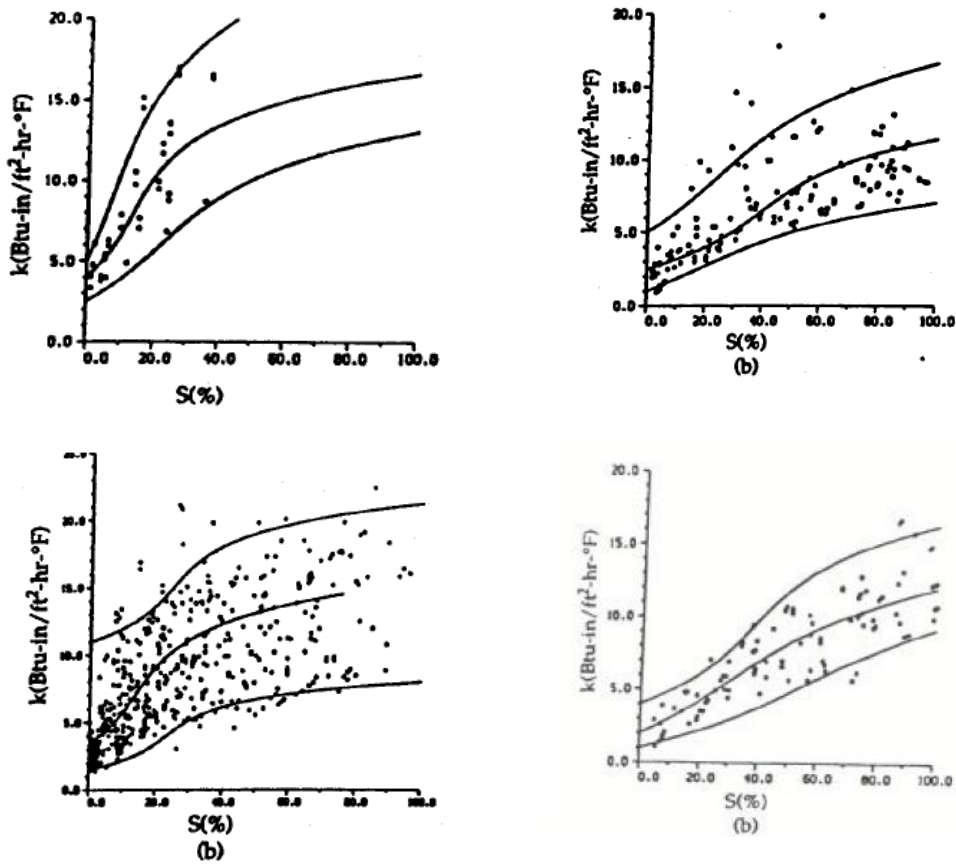
Η θερμική αγωγιμότητα μιας ωμόπλινθου καθορίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες της- πρέπει να σημειωθεί πως καθώς οι περισσότερες εξ αυτών αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, δεν ενδείκνυται η εξαγωγή συμπερασμάτων από την εξέταση μιας μόνο παραμέτρου:

- **Περιεχόμενη υγρασία**

Έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη θερμική συμπεριφορά στοιχείων από χώμα. Η αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται τη 'γεφύρωση' του κενού μεταξύ των σωματιδίων του χώματος, διευκολύνοντας τη μεταφορά θερμότητας. Μεγάλα ποσοστά υγρασίας οδηγούν σε υψηλές τιμές θερμικής αγωγιμότητας λ - το φαινόμενο αυτό διαρκεί έως ότου το υλικό κορεστεί, οπότε η τιμή λ παραμένει σταθερή.

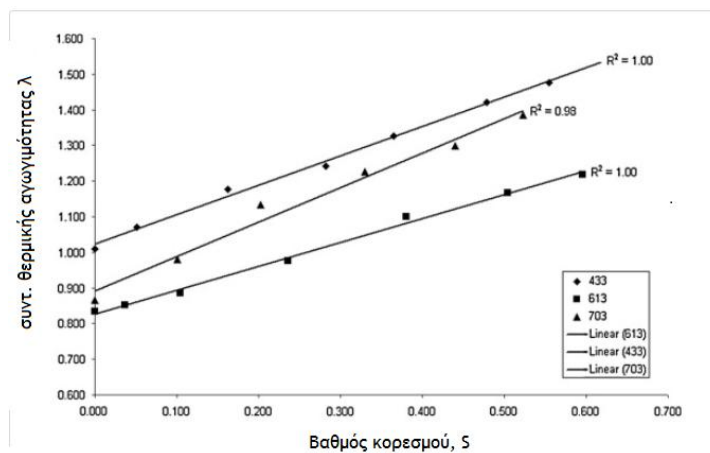
Στα πλαίσια έρευνας με αντικείμενο την αγωγιμότητα του εδάφους (όχι ως υλικού δόμησης αλλά για εφαρμογές όπως ο σχεδιασμός αντλιών θερμότητας, η λειτουργία υπόγειων πυρηνικών εγκαταστάσεων κλπ), μελετήθηκε η συμπεριφορά των

διαφορετικών κλασμάτων εδάφους σε σχέση με το βαθμό κορεσμού τους. Τα ακόλουθα διαγράμματα δείχνουν τη μεταβολή των τιμών θερμικής αγωγιμότητας για τους χάλικες, την άμμο, την ιλύ και την άργιλο- οι τρεις καμπύλες αναπαριστούν τις ακραίες και τη μέση τιμή [51].



Εικόνα 2.4. Θερμική αγωγιμότητα k χάλικων, άμμου, ιλύος και αργίλου σε σχέση με το βαθμό κορεσμού τους S (πάνω αριστερά, κάτω αριστερά, πάνω δεξιά και κάτω δεξιά αντίστοιχα).

Ερευνώντας την επίδραση του βαθμού κορεσμού σε σταθεροποιημένα με τσιμέντο στοιχεία πατημένης γης (rammed earth) οι Hall και Allinson κατέληξαν σε μια γραμμική σχέση αύξησης της αγωγιμότητας με την αύξηση της υγρασίας (εικόνα 2.5) [52].



Εικόνα 2.5. Σχέση μεταξύ βαθμού κορεσμού και θερμικής αγωγιμότητας στοιχείων πατημένης γης – οι τρεις ευθείες αντιπροσωπεύουν διαφορετικές τιμές πορώδους.

Την πολύ μεγάλη επίδραση της υγρασίας στη θερμική αγωγιμότητα των ωμόπλινθων έχουν επιβεβαιώσει και άλλοι μελετητές, οι οποίοι διαπίστωσαν τη σταδιακή πτώση της αγωγιμότητας κατά τη διάρκεια ξήρανσης του υλικού στους 70°C [53]. Δεν κατάφεραν ωστόσο να ποσοτικοποιήσουν επακριβώς τη σχέση μεταξύ των δύο καθώς η συνθετότητα του φαινομένου εξαρτάται από τον μηχανισμό διάχυσης της υγρασίας μέσα στο υλικό αλλά και από τη σχέση περιεχόμενης υγρασίας και εξωτερικών συνθηκών.

- *Ξηρή πυκνότητα*

Η αύξηση της πυκνότητας συνεπάγεται αύξηση της αγωγιμότητας, καθώς τα σημεία διεπαφής των μορίων χώματος είναι περισσότερα.

Εργαστηριακές μετρήσεις σε συμπιεσμένες ωμόπλινθους έχουν δείξει μια σχέση εκθετικής αύξησης της αγωγιμότητας σε σχέση με την πυκνότητα [54], ενώ άλλες μετρήσεις σε σταθεροποιημένες ωμές πλίνθους κατέληξαν σε μια μάλλον γραμμική σχέση [55]. Αντίστοιχες μετρήσεις σε ωμοπλίνθους, μεταβαλλόμενης πυκνότητας (με την προσθήκη διαφορετικών ποσοτήτων άχυρου) έδειξαν επίσης μια εκθετικού τύπου αυξητική σχέση πυκνότητας-αγωγιμότητας [56].

- *Θερμοκρασία*

Η επίδραση της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τη μεταβολή των ποσοστών υγρασίας, μελετήθηκε σε δοκίμια χονδρής άμμου (ξηράς πυκνότητας 1.680kg/m³), και σε δοκίμια λεπτής αργιλοπηλώδους κλάσης (ξηράς πυκνότητας 1.137 kg/m³). Σε πολύ χαμηλά ποσοστά υγρασίας η θερμική αγωγιμότητα αυξάνεται αργά με αντίστοιχη αύξηση της υγρασίας, στην επόμενη φάση, κατά την οποία τα κενά μεταξύ των σωματιδίων χώματος γεμίζουν πλήρως, η αγωγιμότητα αυξάνεται με πολύ ταχύτερο ρυθμό, ενώ πέρα από το σημείο κορεσμού το φαινόμενο επιβραδύνεται σημαντικά. Ταυτόχρονα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.6, οι μετρηθείσες τιμές αγωγιμότητας παρουσιάζουν μεταβολή σε σχέση με την διακύμανση της θερμοκρασίας: μικρή αύξηση για αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας στο εύρος 2°C -22°C και σημαντικά εντονότερη για θερμοκρασίες άνω των 40°C. Επίσης, όσο μεγαλύτερη η περιεκτικότητα σε νερό τόσο εντονότερη είναι η επίδραση της θερμοκρασίας (πράγμα που ισχύει έως το σημείο κορεσμού).

Ο ερευνητής επισημαίνει πως, ενδεχομένως, στις χαμηλές θερμοκρασίες η μεταφορά θερμότητας γίνεται κυρίως μέσω αγωγής μεταξύ των υγρών σωματιδίων του χώματος, ενώ στις υψηλές θερμοκρασίες τον κυρίαρχο ρόλο παίζει η μεταφορά θερμότητας μέσω της μετακίνησης των υδρατμών [57].

- *Ορυκτολογική σύσταση και πρόσθετα*

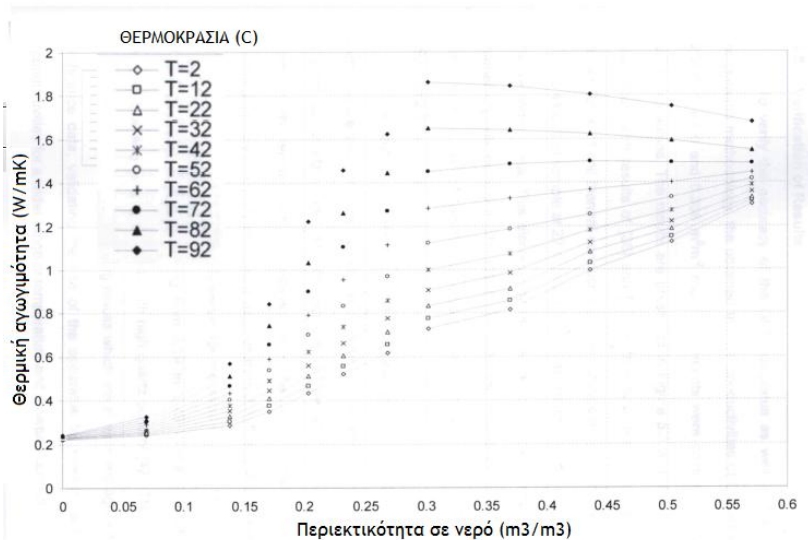
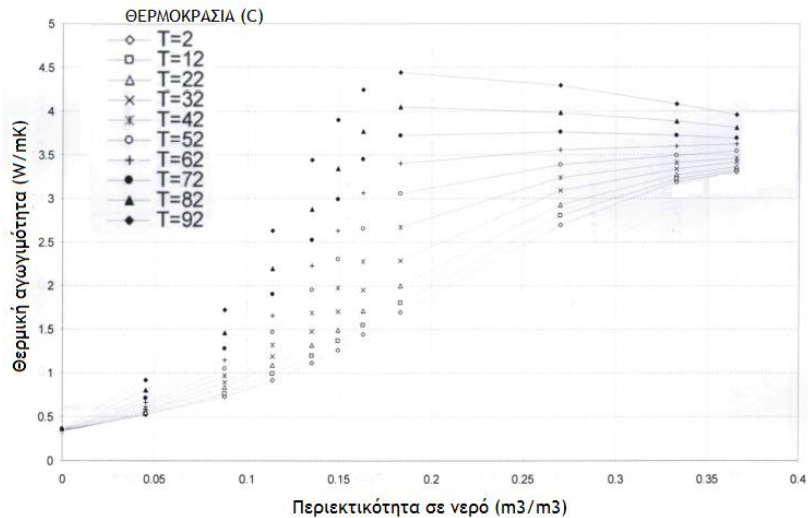
Η ορυκτολογική σύσταση της πρώτης ύλης (χώματος) αλλά και τα πρόσθετα συστατικά, μπορούν να επιδράσουν στη θερμική συμπεριφορά των ωμοπλίνθων. Για παράδειγμα, άμμος με υψηλή περιεκτικότητα σε χαλαζία έχει γενικά υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Η σταθεροποίηση με ασβέστη μειώνει τις τιμές θερμικής αγωγιμότητας, ενώ πρόσθετα όπως τσιμέντο Πόρτλαντ έχουν το αντίθετο αποτέλεσμα - πιθανώς λόγω αυξημένης πυκνότητας [58], [54], [59]. Η σταθεροποίηση με φυσικά υλικά όπως άχυρο σιταριού και κριθαριού μπορεί να μειώσει την αγωγιμότητα ωμών πλινθών έως και κατά το ήμισυ [60].

Η αλληλεπίδραση σύστασης εδάφους, χημικών αντιδράσεων εξαιτίας των σταθεροποιητών, μεγέθους των πόρων κλπ., δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά [55].

- **Κοκκομετρία**

Η κοκκομετρία επιδρά στην αγωγιμότητα της ωμής γης σε συνάρτηση με την περιεχόμενη υγρασία. Διαφορετική κοκκομετρία, δηλαδή διαφορετική κατανομή του μεγέθους των κόκκων, θα μεταβάλλει το δυναμικό του νερού που οφείλεται σε τριχοειδή φαινόμενα⁸, και άρα την αγωγιμότητα. Ο μηχανισμός αυτός πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω [52].

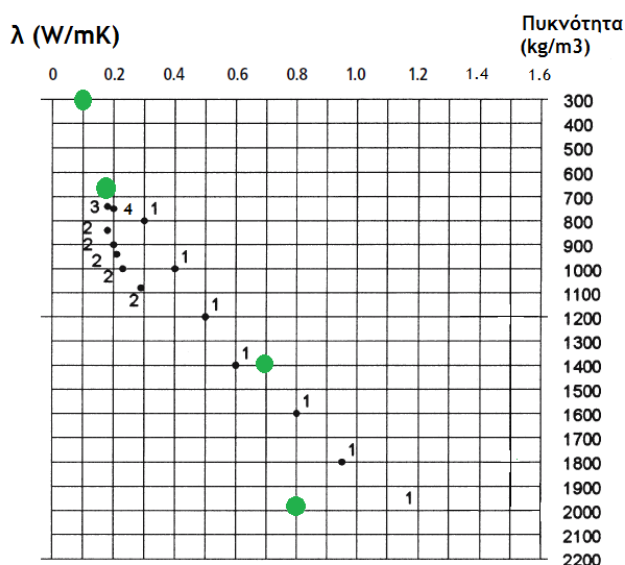
Πειραματικά δεδομένα έδειξαν, ωστόσο, πως χονδρόκοκκα υλικά έχουν μεγαλύτερη αγωγιμότητα κατά 1,5-2,6 φορές για διαφορετικές τιμές θερμοκρασίας, σε σχέση με λεπτόκοκκα [57].



Εικόνα 2.6. Μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας χονδρής άμμου (πάνω) και λεπτού αργιλοπηλώδους υλικού, σε σχέση με τη θερμοκρασία και την κατ' όγκο περιεχόμενη υγρασία

⁸ Ως δυναμικό του εδαφικού νερού ορίζεται η δυναμική του ενέργεια, ως προς ένα σύστημα αναφοράς, που προκαλεί και την κίνηση του νερού. Το τριχοειδές δυναμικό προκύπτει από τις δυνάμεις του τριχοειδούς

Στο διάγραμμα 2.1 συγκρίνονται οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας του πηλού, βάσει του προτύπου DIN 4108, των μετρήσεων του Guy Vanros (Κ.Υ. Leuven), του Ερευνητικού Εργαστηρίου Δόμησης του Παν/ου Kassel της Γερμανίας και του ελληνικού ΚΕΝΑΚ [28], [61]:



Διάγραμμα 2.1. Τιμές θερμικής αγωγιμότητας του πηλού, βάσει του προτύπου DIN 4108 (1), των μετρήσεων του Guy Vanros (2) (Κ.Υ. Leuven), του Ερευνητικού Εργαστηρίου Δόμησης του Παν/ου Kassel (3 και 4) της Γερμανίας και του ελληνικού ΚΕΝΑΚ (με πράσινο).

Συμπερασματικά, οι παράμετροι που επηρεάζουν την θερμική αγωγιμότητα των ωμόπλινθων είναι αρκετές και οι περισσότερες από αυτές έχουν συνεργιστική επίδραση. Από την βιβλιογραφική επισκόπηση προέκυψε πως α) δεν έχει μελετηθεί διεξοδικά η επίδραση ορισμένων εξ' αυτών (π.χ. κοκκομετρία), β) δεν υπάρχουν ακριβείς σχέσεις ποσοτικοποίησης της συνεργιστικής επίδρασης διαφορετικών παραμέτρων (π.χ. θερμοκρασία-υγρασία) και γ) η παράθεση των αποτελεσμάτων των πειραματικών δοκιμών σπάνια συνοδεύεται από πλήρη στοιχεία για τις συνθήκες μέτρησης και τα χαρακτηριστικά εκείνα του υλικού που ενδεχομένως καθορίζουν τα αποτελέσματα. Πρόσθετα, πολλά από τα δεδομένα, ειδικά αυτά που εξετάζουν την ταυτόχρονη επίδραση πολλών παραμέτρων, προέρχονται από μετρήσεις για άλλους σκοπούς από τη δόμηση με ωμή γη, ενώ δεδομένα από πλίνθους παρμένες από υπάρχον κτίριο δεν βρέθηκαν. Ο ελληνικός ΚΕΝΑΚ, τέλος, προτείνει τιμές με βάση μόνο μια από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν- την πυκνότητα. Οι τιμές αυτές είναι κοντά στα πειραματικά δεδομένα και τα σχετικά κατευθυντήρια κείμενα που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία.

2.4 Η επίδραση του νερού

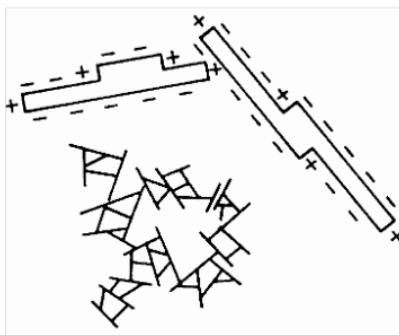
2.4.1 Συνοχή στοιχείων ωμής γης

Η παρουσία του νερού είναι απαραίτητη, εκτός από την επίτευξη ενός εργάσιμου υλικού, για τη συνοχή μεταξύ των αργιλικών κόκκων.

Η επιφάνεια των πεπλατυσμένων κόκκων της αργίλου (σε αντίθεση με τους σφαιρικούς κόκκους άμμων και χαλίκων) είναι ηλεκτρικά φορτισμένη, όπως δείχνει η εικόνα 2.7. Η ένταση των ηλεκτρικών δυνάμεων στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων, που είναι ανάλογες της επιφάνειας, είναι τέτοιας έντασης, ώστε να υπερτερούν σημαντικά των βαρυτικών δυνάμεων. Την ίδια στιγμή, τα μόρια του νερού παρουσιάζουν ιδιότητες ηλεκτρικού διπόλου με κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου που δεν ταυτίζονται. Η ιδιότητα αυτή των μορίων του νερού δημιουργεί δυνάμεις έλξης με τις ηλεκτρικά φορτισμένες επιφάνειες των αργιλικών πλακιδίων,

ώστε να προκύπτει ισχυρή σύνδεση μεταξύ τους, δημιουργώντας τελικά ένα ενιαίο σώμα. Οι ελκτικές δυνάμεις μεταξύ διπόλων νερού και αργίλου είναι πολύ μεγάλες κοντά στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και μειώνονται όσο απομακρυνόμαστε από αυτήν (η μείωση είναι ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης). Η ζώνη που δημιουργεί το προσροφημένο στην επιφάνεια του πλακιδίου νερό ονομάζεται διπλή στρώση καθώς εκτείνεται και στις δυο πλευρές του πλακιδίου και εντός αυτής το νερό παρουσιάζει ιδιότητες πολύ διαφορετικές από το ελεύθερο νερό.

Όσο μεγαλώνει η διπλή στρώση (με την προσθήκη νερού) και αυξάνεται το πάχος της, τόσο μειώνονται οι συνδετικές δυνάμεις μεταξύ των απομακρυσμένων μορίων του νερού και της διπλής στρώσης. Αντίστοιχα μειώνεται και η επαφή μεταξύ των διαφορετικών πλακιδίων της αργίλου, η οποία επιτυγχάνεται μέσω των απομακρυσμένων μορίων νερού. Συνεπώς, η αύξηση της ποσότητας νερού μετατρέπει την στερεή άργιλο σε υδαρής κατάστασης υλικό. Αντίθετα, η μείωση της υγρασίας, καθώς μειώνει το πάχος των διπλών στρώσεων, οδηγεί σε αύξηση των ηλεκτρικών δυνάμεων και της αλληλεπίδρασης μεταξύ των θετικά φορτισμένων περιοχών του ενός αργιλικού πλακιδίου και των αρνητικά φορτισμένων περιοχών γειτονικού αργιλικού πλακιδίου. Η θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες εξασφαλίζει ισχυρές ηλεκτρικές δράσεις και άρα μεγιστοποίηση της διατμητικής αντοχής του υλικού [62].



Εικόνα 2.7. Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων [62]

2.4.2 Μετακίνηση του νερού μέσα σε στοιχεία ωμής γης

Όλα τα υλικά με δομή ανοιχτού πορώδους, όπως το έδαφος, μπορούν να μεταφέρουν και να αποθηκεύουν νερό. Είναι, δηλαδή, διαπερατά. Ο βαθμός διαπερατότητας ποικίλει, και είναι μεγάλος για τα χαλίκια και τις χονδρόκοκκες άμμους και μικρός για την άργιλο [62]. Για την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του υλικού πρέπει σε κάθε περίπτωση να ληφθούν υπόψη, εκτός από την κοκκομετρία, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και η πυκνότητα του. Για παράδειγμα, σε δοκιμή για την εξακρίβωση της ικανότητας μετακίνησης του νερού μέσω των τριχοειδών σωληνίσκων σε συμπιεσμένες πλίνθους από αμμώδη άργιλο (πυκν. 1.840kg/m^3) και πηλούχα/ιλυώδη άργιλο (1.550kg/m^3) βρέθηκε πως η ταχύτητα μετακίνησης νερού στην πρώτη ήταν 10 φορές μεγαλύτερη από την δεύτερη [63].

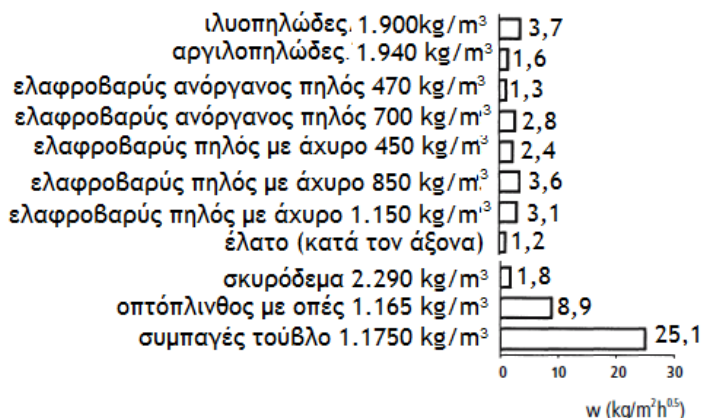
Η ποσότητα νερού W που μπορεί να απορροφήσει ένα υλικό δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W = w * t^{0.5} \text{ [kg/m}^2\text{]}, \text{ όπου } w \text{ ο συντελεστής απορρόφησης και } t \text{ ο χρόνος (ώρες).}$$

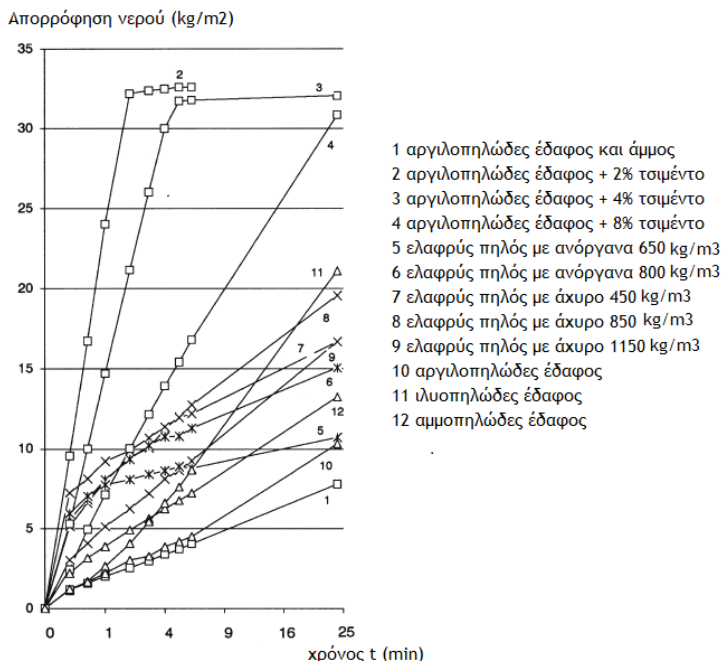
Στην εικόνα 2.8 συγκρίνονται οι τιμές που μπορεί να λάβει για τα εδαφικά υλικά ο συντελεστής w σε σχέση με ευρέως χρησιμοποιούμενα δομικά υλικά. Φαίνεται πως τα ιλυώδη εδάφη έχουν μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης σε σχέση με τα αργιλώδη, ενώ οι οπτόπλινθοι έχουν μεγαλύτερες τιμές έως και κατά 10 φορές.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η εικόνα 2.9, όπου φαίνεται η απορρόφηση νερού σε σχέση με τον χρόνο για κυβικά δοκίμια που βυθίζονται σε νερό βάθους 3mm (οι δοκιμές

πραγματοποιήθηκαν στο BRL⁹). Είναι εντυπωσιακή η επίδραση που έχει στην απορροφητικότητα η προσθήκη μικρών ποσοτήτων τσιμέντου [28].



Εικόνα 2.8. Τιμές του συντελεστή απορρόφησης ύδατος w [28]



Εικόνα 2.9. Η απορρόφηση νερού από κυβικά δοκίμια, συναρτήσει του χρόνου βύθισης τους σε νερό

Σημειώνεται, τέλος, πως η αντίδραση των ωμόπλινθων σε μεταβολές της σχετικής υγρασίας του περιβάλλοντος είναι τάχιστα – ενδεικτικά, έχει βρεθεί πως πλίνθοι που παρήχθησαν με εξέλαση έρχονται σε ισορροπία με την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος μέσα σε διάστημα 3-4 ημερών [64].

2.4.3 Έκθεση στοιχείων ωμής γης στη βροχή

Η ικανότητα των στοιχείων δόμησης από ωμή γη να απορροφούν εύκολα και γρήγορα νερό τα καθιστά ιδιαίτερα ευάλωτα στην έκθεση στη βροχή. Η ίδια ικανότητα τους αυτή, ωστόσο, τα βοηθά να στεγνώσουν, εφόσον η διαφυγή του νερού είναι δυνατή – πράγμα που δε συμβαίνει με την εφαρμογή στεγανών επιχρισμάτων [41]. Σε σχετική έρευνα του εργαστηρίου BRL, κατά την οποία έγινε προσομοίωση των εξωτερικών καιρικών μεταβολών, βρέθηκε πως τα

⁹ Building Research Laboratory, University of Kassel

αμμοπηλώδη εδάφη έχουν μικρή αντίσταση στη βροχή, αλλά συμπεριφέρονται καλά στον παγετό εφόσον δεν έχουν ρηγματωθεί. Υψηλή περιεκτικότητα του πηλού σε άργιλο συνεπάγεται εύκολη ρηγματώση και άρα κακή συμπεριφορά στον παγετό- πριν επέλθουν οι ρηγματώσεις, ωστόσο, ο πηλός παρουσιάζει εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση από βροχή. Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το πορώδες, και όσο μεγαλύτερο το μέγεθος των πόρων, τόσο καλύτερα συμπεριφέρεται το υλικό στον παγετό [28].

Όσα αναφέρθηκαν στα προηγούμενα λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τους οι σχετικοί κανονισμοί δόμησης με πηλό. Για παράδειγμα, ο Κανονισμός δόμησης με συμπιεσμένες ωμόπλινθους της πολιτείας New Mexico των ΗΠΑ απαιτεί την χρήση σταθεροποιημένων πλίνθων, χυτού σκυροδέματος ή υλικών και κονιαμάτων που δεν προσβάλλονται από την υγρασία, στις χαμηλές στρώσεις της τοιχοποιίας (4 ίντσες πάνω από την επιφάνεια του εδάφους), ενώ αντίστοιχες κατευθύνσεις δίνει και ο Νεοζηλανδικός Κανονισμός για τον σχεδιασμό κτιρίων από ωμή γη.

Δεν είναι τυχαίο, άλλωστε, ότι στα κτίρια της περιοχής μελέτης υπάρχει σαφής πρόνοια για προστασία των ωμοπλινθοδομών από τη βροχή. Είτε με παχύ επίχρισμα των πλιθιών, είτε με τοποθέτηση λίθων στις χαμηλότερες στάθμες των κατασκευών.

3. Παρατηρήσεις για την παθολογία και τις επεμβάσεις στα κτίρια από ωμόπλινθους

3.1 Παθολογία κτιρίων από ωμόπλινθους

3.1.1 Διάβρωση λόγω παρουσίας υγρασίας

Το νερό εισδύει στην κατασκευή μέσω διαφόρων οδών: τριχοειδής αναρρίχηση υγρασίας από το έδαφος, προσπίπτουσα βροχή, κακή απορροή υδάτων από την στέγη, διαρροές δικτύων ύδρευσης/αποχέτευσης, επεμβάσεις συντήρησης με χρήση μεγάλης ποσότητας νερού και λόγω καθημερινών χρήσεων εντός του κτιρίου. Τα φαινόμενα παθολογίας εκκινούν όταν η συσσωρευμένη υγρασία δε μπορεί να αποβληθεί από την κατασκευή.

Ο μηχανισμός της διάβρωσης των στοιχείων ωμής γης εξαιτίας του νερού παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην προηγούμενη ενότητα 2.4 *Η επίδραση του νερού*. Εκτός από την εκεί αναφερόμενη μείωση της συνοχής μεταξύ των αργιλικών μορίων, η παρουσία της υγρασίας μπορεί να οδηγήσει και στο σάπισμα των οργανικών υλικών που περιέχονται στις ωμές πλίνθους (*βιολογική επίδραση*), όπως για παράδειγμα το άχυρο το οποίο συμβάλλει στην αντοχή σε εφελκυσμό της πλίνθου. Άλλος μηχανισμός αφορά τους κύκλους ψύξης-απόψυξης μέσα στους πόρους του υλικού που οδηγούν σε αυξημένη πίεση πόρων και τελικά στην απώλεια συνοχής του υλικού (*φυσική επίδραση*). Η *χημική επίδραση* συνίσταται στην κρυστάλλωση αλάτων που μπορεί να προέρχονται από το έδαφος ή από ρύπους της ατμόσφαιρας. Η κρυστάλλωση των αλάτων θεωρείται μάλλον συμπληρωματικός μηχανισμός φθοράς που επιταχύνει άλλους διαβρωτικούς μηχανισμούς. Η αυξημένη υγρασία, τέλος, ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων, μυκήτων, φυτών κλπ.

Οι παραπάνω μηχανισμοί οδηγούν, τις περισσότερες φορές συνδυαστικά, στο ίδιο αποτέλεσμα, την απομείωση της διατομής της τοιχοποιίας και τη μείωση της ικανότητάς της στην παραλαβή φορτίων [65].

3.1.2 Ρηγματώσεις και καταρρεύσεις

Προκαλούνται από σεισμικές δράσεις και βλάβες που οφείλονται στο έδαφος. Στην πρώτη περίπτωση, η απουσία οριζόντιου διαφράγματος στο επίπεδο της στέγης και των πατωμάτων συνεπάγεται την ανεξάρτητη παραμόρφωση των τοίχων, ενώ η παρουσία ανοιγμάτων δημιουργεί τρωτές περιοχές. Παραδείγματα της δεύτερης περίπτωσης είναι οι καθιζήσεις λόγω θεμελίωσης σε διαφορετικές στάθμες, η ύπαρξη αργιλικών εδαφών στη θεμελίωση (με συχνές μεταβολές του όγκου τους), η υπερφόρτωση της κατασκευής λόγω εκ των υστέρων προσθήκης φορτίων κλπ.

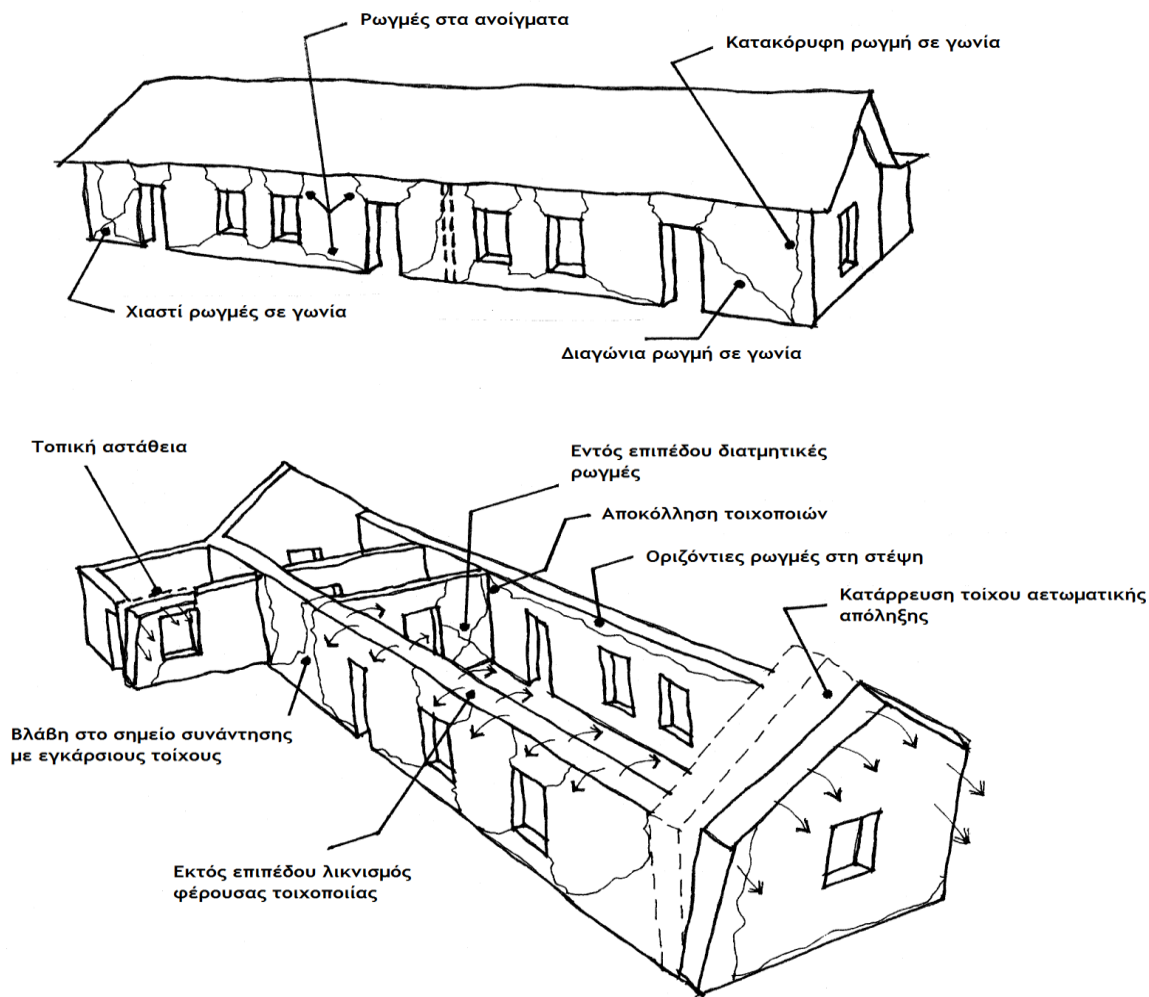
Η ικανότητα ενός κτιρίου να ανταποκριθεί στις σεισμικές διεγέρσεις εξαρτάται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ωμοπλινθοδομών, την τοποθεσία του, το σχεδιασμό του, αλλά και την ποιότητα κατασκευής και συντήρησης. Η ιδιαίτερη ευαισθησία της τοιχοποιίας στον σεισμό οφείλεται στο ότι πρόκειται για βαριά κατασκευή, μικρής εφελκυστικής αντοχής που καταρρέει δίχως προειδοποίηση, ψαθυρά.

Οι κυριότεροι τύποι βλαβών που προξενούνται από σεισμικές διεγέρσεις είναι οι ακόλουθοι (εικόνα 3.1) [66, 67]:

- Ρηγματώσεις λόγω εκτός επιπέδου κάμψης. Κατακόρυφες στην αρχή, στη θέση τομής με την εγκάρσια τοιχοποιία, εκτείνονται τόσο κατακόρυφα όσο και διαγώνια, κατά μήκος της βάσης της τοιχοποιίας. Ο τοίχος λικνίζεται εκτός επιπέδου και η κατάρρευση μπορεί να αποφευχθεί εάν υπάρχει κατάλληλη στήριξη από οριζόντια διαφράγματα. Τοίχοι αετωματικής απόληξης αποτελούν ιδιαίτερη περίπτωση καθώς συνηθίζεται να είναι λεπτοί, ψηλοί και χωρίς κατάλληλη πλευρική στήριξη.

- Αποκόλληση επιμηκών τοίχων από τους εγκάρσιους, αποτέλεσμα επίσης της εκτός επιπέδου κίνησης των τοίχων. Ο λικνισμός της επιμήκου τοιχοποιίας δημιουργεί εφελκυστικές τάσεις στη σύνδεση με την διασταυρούμενη τοιχοποιία που ξεπερνούν την αντοχή των ωμόπλινθων. Η περίπτωση ασύνδετων τοιχοποιιών, αρκετά κοινή, είναι ακόμα δυσμενέστερη.
- Οριζόντιες ρωγμές στη στέψη της επιμήκου τοιχοποιίας. Οφείλεται στην ασθενή δύναμη τριβής που αναπτύσσεται από το βάρος της στέγης στη στέψη του τοίχου. Μπορεί να προκληθεί και από ολίσθηση του ταβανώματος ενώ ενδέχεται να παρουσιαστεί ακόμα και στην περίπτωση διαζώματος από σκυρόδεμα, οπότε ολισθαίνει ο υποκείμενος του διαζώματος τοίχος.
- Οριζόντιες, καμπυλικές ρωγμές στο μέσο της τοιχοποιίας. Είναι σπάνιες και αφορούν την περίπτωση φέρουσας τοιχοποιίας, επιμήκου, μεγάλου ύψους και μικρού πάχους. Εμφανίζονται και στην περίπτωση τοιχοποιίας μεγάλου πάχους, με κακή σύνδεση μεταξύ των διακριτών φύλλων της. Η ζημιά που προξενείται δεν είναι μεγάλη, ωστόσο μπορεί συνδυαστικά να οδηγήσει σε μεγαλύτερη βλάβη.
- Διαγώνιες ρωγμές. Πρόκειται για εντός επιπέδου διαγώνιες και χιαστί ρωγμές λόγω εφελκυσμού στο επίπεδο του τοίχου. Μειώνουν την πλευρική ακαμψία του κτιρίου, ωστόσο δεν είναι ιδιαίτερα σοβαρές και η μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων προς το έδαφος πραγματοποιείται ομαλά.
- Ρωγμές στις γωνίες. Οι διαγώνιες ρωγμές που εμφανίζονται στις γωνίες αποτελούν μεγαλύτερο κίνδυνο σε σχέση με αυτές στο κυρίως σώμα της τοιχοποιίας καθώς δημιουργούν σφήνες που μπορούν να κινηθούν πλευρικά και καθοδικά καθώς σείεται η κατασκευή. Η ύπαρξη δύο κατακόρυφων ρωγμών σε γωνία, μια σε κάθε διασταυρούμενο τοίχο θα οδηγήσει στη δημιουργία κατακόρυφης στήλης πλιθιών με αυξημένο κίνδυνο πτώσης.
- Ρωγμές στα ανοίγματα. Πρόκειται για τις πλέον συνήθεις βλάβες, μπορεί να εμφανιστούν για τιμές εδαφικής επιτάχυνσης PGA μόλις 0,1-0,2g και είναι αποτέλεσμα τόσο εκτός επιπέδου κάμψης όσο και εντός επιπέδου διατμητικών δυνάμεων. Είναι χαμηλής επικινδυνότητας εκτός εάν οι μετακινήσεις κατά μήκος των ρωγμών είναι μεγάλες, στην οποία περίπτωση η τοιχοποιία άνωθεν του ανοίγματος κινδυνεύει με κατάρρευση.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις επιβεβαιώθηκαν σε έρευνα έπειτα από σεισμό στο Περού το 2007. Η πιο συχνή βλάβη, ιδιαίτερα στην περίπτωση λεπτών τοιχοποιιών, ήταν η ανατροπή της πρόσοψης και η κατάρρευση της εντός του δρόμου λόγω κακής σύνδεσης με τους εγκάρσιους τοίχους. Το εύρος της βλάβης συνδεόταν άμεσα με την έδραση της στέγης. Εάν εδραζόταν στην κύρια όψη, τότε κατέρρεε και η ίδια, ενώ στην περίπτωση που η στέγη εδραζόταν στους εγκάρσιους τοίχους η ζημιά ήταν πολύ μικρότερη (εικόνα 3.2). Παρατηρήθηκαν επίσης χιαστί ρωγμές λόγω εντός επιπέδου διατμητικής δράσης του σεισμού- οι ρωγμές εκκινούσαν από τις γωνίες των ανοιγμάτων λόγω της εκεί συγκέντρωσης των τάσεων (εικόνα 3.3). Εξαιρετικά σημαντική αποδείχτηκε, τέλος, η ποιότητα της κατασκευής καθώς η κατάρρευση της τοιχοποιίας φανέρωσε την κακή σύνδεση ωμόπλινθων και κονιάματος, πιθανά λόγω χαμηλής περιεκτικότητας σε άργιλο [68].



Εικόνα 3.1. Τυπικές βλάβες σε κτίρια από ωμόπλινθους λόγω σεισμικών δράσεων [67]



Εικόνα 3.2. Ανατροπή τοιχοποιίας της κύριας όψης. Καθώς η στέγη στηρίζεται στους εγκάρσιους τοίχους παρέμεινε στη θέση της, Πίσκο, Περού 2007 [68]



Εικόνα 3.3. Τυπική χιαστί ρωγή, λόγω εντός επιπέδου σεισμικής δράσης, Πίσκο, Περού 2007 [68]

3.2 Μέτρα επέμβασης και προστασίας σε κτίρια από ωμόπλινθους

3.2.1 Αντιμετώπιση της υγρασίας

Η προστασία της κατασκευής από προσβολή της υγρασίας στα θεμέλια της γίνεται με τρεις μεθόδους. Η πρώτη συνίσταται στην κοπή της τοιχοποιίας (πριόνι, καροτέζα) και τη δημιουργία οριζόντιου διαφράγματος, από αδιαπέραστο υλικό, ανθεκτικό σε μηχανικές φορτίσεις (αλουμίνιο, μόλυβδος κλπ), σε χαμηλή στάθμη της τοιχοποιίας. Η τεχνική αυτή ενέχει το ρίσκο ξήρανσης της υγρασίας πάνω από το διάφραγμα και κρυστάλλωσης αλάτων, φθοράς των πλίνθων και αποκόλλησης του επιχρίσματος. Κρυστάλλωση αλάτων μπορεί να προκύψει και στα υποδεέστερα του διαφράγματος μέρη της τοιχοποιίας, εξαιτίας του κορεσμού σε υγρασία. Επιπλέον, το υλικό του διαφράγματος, βρισκόμενο ανάμεσα σε ακραίες συνθήκες υγρασίας, διατρέχει τον κίνδυνο διάβρωσης [69].

Η δεύτερη μέθοδος συνίσταται στην έγχυση υδρόφοβων χημικών ουσιών, μη ή χωρίς πίεση, στην τοιχοποιία. Τα μειονεκτήματα της σχετίζονται με την ανθεκτικότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται και τη δυσκολία εμποτισμού του πλήρους πάχους της τοιχοποιίας. Τέλος, η προστασία της ωμοπλινθοδομής από την ανερχόμενη υγρασία μπορεί να επιτευχθεί με χαμήλωμα της στάθμης του εδάφους, ώστε η υγρασία να διαφεύγει προτού φτάσει στη στάθμη της ωμοπλινθοδομής. Και οι τρεις μέθοδοι απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή τους ώστε να αποφευχθούν τυχόν θέματα στατικότητας και διατάραξης της ομαλής μεταφοράς των φορτίων [65, 69].

3.2.2 Αντιμετώπιση επιφανειακών φθορών

Για μικρής έκτασης φθορές, μια ενδεδειγμένη τεχνική είναι η τοποθέτηση στα σημεία φθοράς αργιλικού μείγματος με άχυρο, στρωμένου σε διαδοχικές στρώσεις. Θραύσματα από σχιστόλιθο, γαλβανισμένα καρφιά ή συνδέσμοι/βύσματα από μη σιδηρούχα μέταλλα χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της συνοχής παλαιού-νέου υλικού [65].

Η μεταχείριση επιφανειών που έχουν υποστεί βιολογική φθορά (ανάπτυξη φυτών) απαιτεί την απόξεση της επιφάνειας ενώ, σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτό ακολουθείται από εφαρμογή ασβεστοχρώματος για την αποτροπή μελλοντικής βιολογικής προσβολής.

Εάν οι βλάβες είναι μεγάλης έκτασης, η συνιστώμενη επέμβαση είναι η τοπική καθαίρεση των ωμόπλινθων και η ανακατασκευή της βλαμμένης τοιχοποιίας. Η χρήση οπτόπλινθων πρέπει να αποφεύγεται, καθώς η μικροδομή και οι μηχανισμοί φθοράς των δυο υλικών παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις [70].

3.2.3 Αποκατάσταση επιχρισμάτων

Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για τα επιχρίσματα αποκατάστασης ποικίλουν ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, τη διαθεσιμότητα των υλικών και το απαιτούμενο επίπεδο προστασίας. Συνηθέστερα, πρόκειται για την ίδια πρώτη ύλη από την οποία παρασκευάστηκαν οι ωμόπλινθοι, με μεγαλύτερη αναλογία λεπτόκοκκων αδρανών. Η εφαρμογή γίνεται σε μια λεπτή στρώση (3-5mm) ή συνηθέστερα σε δύο στρώσεις (πάχους 10-20mm) [65].

Επιχρίσματα με βάση τον πηλό αποτελούνται από άμμο, λάσπη και άργιλο σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη αυτής που είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη δυνάμεων συνοχής (συνήθως 5-12%). Ωστόσο ο καθορισμός κατάλληλης αναλογίας για όλες τις περιπτώσεις κτιρίων είναι πολύ δύσκολος, καθώς εξαρτάται από την κοκκομετρία της άμμου, την ποσότητα νερού, τον τύπο πηλού κλπ. Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένα πηλοεπίχρισμα είναι τα ακόλουθα [71, 28]:

- υψηλή ταχύτητα σκλήρυνσης
- ικανοποιητική υδατοστεγανότητα

- χαμηλό ποσοστό μικρορρηγματώσεων κατά τη ξήρανση (επιτυγχάνεται συνήθως με προσθήκη ινών)
- αρκετά καλή συνάφεια με το υπόστρωμα
- μικρή αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών

Τα επιχρίσματα με βάση την άσβεστο (ασβέστης, άμμος και νερό) συνηθίζονται σε πιο υγρά κλίματα, καθώς οι πόροι που σχηματίζονται κατά την ξήρανσή του επιτρέπουν τη διάχυση των υδρατμών μέσα από την τοιχοποιία, προστατεύοντας ταυτόχρονα τις εξωτερικές επιφάνειες από τη βροχή. Πρόκειται για επιχρίσματα που δεν είναι εύπλαστα και ρηγματώνονται εύκολα [71].

Επιχρίσματα με βάση το τσιμέντο θα πρέπει να αποφεύγονται καθώς η συνάφεια τους με το υλικό του υποστρώματος είναι κακή, οδηγώντας τελικά σε θραύσεις.

Για την καλύτερη προσκόλληση του νέου επιχρίσματος τοποθετούνται στην επιφάνεια της ωμοπλινθοδομής ξύλινες σφήνες, θραυσμένα κεραμικά, φυσικές ίνες, καρφιά. Η χρήση κοτετσούρματος ενδέχεται να οδηγήσει σε αποκόλληση όλης της επιφάνειας του επιχρίσματος, και έτσι αποφεύγεται ως πρακτική σε ορισμένες χώρες (Κύπρος). Αλλά και η χρήση ινών μπορεί να αποβεί προβληματική, εφόσον αρχίσει η αποσύνθεση τους και προσελκύσουν έντομα. Άλλη εναλλακτική είναι η δημιουργία τραχιάς επιφάνειας στους αρμούς (με μυστρί) ή στους ωμόπλινθους, αφού προηγηθεί η διαβροχή τους [71, 65].



Εικόνα 3.4. Η επανεπίχριση των επιφανειών στο Μεγάλο Τζαμί της Djenne, Μάλι, δεν είναι απλά ένα μέτρο προστασίας από τη βροχή. Κάθε χρόνο όλοι οι κάτοικοι μετέχουν στο φεστιβάλ *Crepissage de la Grand Mosquée*, μεταφέροντας λάσπη από τις αλλούβιες αποθέσεις του ποταμού Νίγηρα. (Πηγή: <http://www.naturalhomes.org/great-mosque-djenne.htm>)

3.2.4 Ρωγμές και κενά στην τοιχοποιία

Σε περίπτωση έντονων ρηγματώσεων, η συρραφή αποτελεί μια ενδεδειγμένη πρακτική, κατά την οποία καθαιρούνται οι ραγισμένοι ωμόπλινθοι και αντικαθίστανται με νέους, μεγάλου μήκους ώστε να εξασφαλίζουν τη συνεργασία των κομματιών τοιχοποιίας εκατέρωθεν της ρωγμής [72].

Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε κατασκευές από καλουπωτή τοιχοποιία, σε περιοχές και χώρες της Ασίας (Θιβέτ, Μπουτάν κ.ά), όπου παραμένουν ζωντανές οι παραδοσιακές μέθοδοι επέμβασης (εικόνα 3.5) [73]. Καταρχήν, αφαιρείται υλικό από την τοιχοποιία ώστε να δημιουργηθεί εσοχή η οποία διαβρέχεται καθόλη τη διάρκεια της επέμβασης για την αποφυγή ρηγματώσεων. Η εσοχή/τομή καλύπτεται με εναλλασσόμενες στρώσεις υγρής βλάστησης ή ψάθας από κάνναβη και ωμόπλινθων. Στην κορυφή της τομής σφηνώνεται χαλαρό υλικό ίδιας προέλευσης με τους ωμόπλινθους, ώστε να συμπιέσει τις κατώτερες στρώσεις. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανά καθ' ύψος διαστήματα, επάνω στη ρωγμή, του μισού περίπου μέτρου.

Η συρραφή ρωγμών μπορεί να γίνει και με χαλύβδινους ιμάντες ή ξύλινες δοκούς, που τοποθετούνται στις δύο παρειές της τοιχοποιίας και συνδέονται με ηλώσεις ή σφήνες, και με

ριζοοπλισμό (ράβδοι από ανοξείδωτο χάλυβα) που τοποθετείται σε οπή μέσα σε κονίαμα [65, 72].

Ρωγμές που διατρέχουν όλη την επιφάνεια μιας τοιχοποιίας είναι προτιμότερο να αντιμετωπίζονται με κατεδάφιση της τοιχοποιίας εκατέρωθεν της ρωγμής και ανακατασκευή της.



Εικόνα 3.5. Δημιουργία τομής για τη συρραφή της ρωγμής και γέμισμα της, με τη μέθοδο *soft stitching*. Η διαδικασία θα επαναληφθεί σε πολλαπλά σημεία της ρωγμής (από την περιοχή Ladakh, στη βόρεια Ινδία) [73]

3.2.5 Χρήση ενεμάτων στις ωμοπλινθοδομές

Η χρήση ενεμάτων είναι παλαιά, ευρέως χρησιμοποιούμενη και μη-αντιστρεπτή τεχνική ενίσχυσης της τοιχοποιίας και πλήρωσης κενών της. Έπειτα από παράπλευρες, ανεπιθύμητες συνέπειες από την εφαρμογή μειγμάτων με βάση το τσιμέντο, σήμερα μελετώνται εναλλακτικά υλικά [74].

Η αποτελεσματικότητα των ενεμάτων με πρώτη ύλη το χώμα περιορίζεται από τη διόγκωση και συρρίκνωση που προκαλεί η παρουσία του νερού κατά τη διαδικασία της ενεμάτωσης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται πρόσθετα τα οποία μειώνουν τη συρρίκνωση, αυξάνουν τις μηχανικές αντοχές και, ενδεχομένως, συμβάλλουν στην αύξηση της συνοχής με το αυθεντικό υλικό. Ως σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται συνήθως ο μπεντονίτης και ο ασβέστης, η υδραυλική άσβεστος, ο ασβέστης και η ιπτάμενη τέφρα, και μια ιδιαίτερα λεπτόκοκκη άργιλος («mercula clay»). Τα υδραυλικά ενέματα, δηλαδή ενέματα από ανόργανα υλικά με κονία αδιάλυτη στο νερό (υδραυλική άσβεστος, θηραϊκή γη, πούδρα τούβλων κλπ), έχουν μηχανικά και φυσικά χαρακτηριστικά συμβατά με τις ωμόπλινθους [75]. Εξετάζοντας τα περισσότερα από αυτά, ορισμένοι ερευνητές συνιστούν τελικά τη χρήση ιπτάμενης τέφρας, ως πλέον κατάλληλης [76].

Σε κάθε περίπτωση τα χαρακτηριστικά των ενεμάτων πρέπει να είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό, η επαρκής θιξοτροπία¹⁰, το μικρό μέτρο συρρίκνωσης, η χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα και μηχανικές αντοχές παραπλήσιες με το αρχικό υλικό.

Ειδικά για τις ωμοπλινθοδομές, η εισπίεση του ενέματος πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Το μικρό πορώδες εμποδίζει την διείσδυση του ενέματος για πίεση 1atm, ενώ μεγαλύτερες πιέσεις μπορεί να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις [77]. Για να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο έχει προταθεί η χρήση συριγγών για μικρές ρωγμές ενώ για μεγαλύτερου εύρους ρωγμές προτείνονται συστήματα χαμηλής πίεσης [76].

Άλλο προβληματικό σημείο είναι η ανεπαρκής διερεύνηση της επιτυχούς ή όχι- σύνδεσης (συνοχής) νέου-παλαιού υλικού, που δεν έχει τεκμηριωθεί επαρκώς στη βιβλιογραφία παρά την ευρεία χρήση ενεμάτων στην πράξη. Όσο αφορά ωστόσο στην αποστολή τους να πληρώσουν τα κενά της τοιχοποιίας, εμποδίζοντας έτσι την διείσδυση νερού, αυτό φαίνεται πως επιτυγχάνεται με τις σημερινές μεθόδους [76].

Άλλες βιβλιογραφικές αναφορές δείχνουν πως η εφαρμογή ενεμάτων στις ωμοπλινθοδομές είναι αποτελεσματικό μέσο ενίσχυσης για *μετρίου μεγέθους* σεισμούς, ενώ στους μεγάλης έντασης μάλλον έχουν μικρή επίδραση στις προξενούμενες βλάβες [78]. Επιπλέον, όπως και με τις τοιχοποιίες από λιθοδομή, η ενεμάτωση μπορεί να δημιουργήσει περιοχές ασυνέχειας της δυσκαμψίας και άρα μη-επιθυμητή συγκέντρωση των τάσεων, σε σημείο μάλιστα που μελετητές αποκλείουν τη χρήση τους [79]. Τέλος, τα ενέματα μπορεί να συμβάλλουν στην μερική αύξηση της δυσκαμψίας του φορέα ωστόσο απαιτούνται επιπλέον ενισχυτικά μέτρα για τη σταθεροποίηση της κατασκευής έναντι σεισμού [80].

Παρά ταύτα, τα ενέματα με ιπτάμενη τέφρα μάλιστα δοκιμάστηκαν με επιτυχία στον σεισμό Northridge του 1994, στην Καλιφόρνια, στο κτίριο Pico Pico στο οποίο είχαν γίνει επεμβάσεις 3 χρόνια νωρίτερα [67].

3.2.6 Κατασκευή αντηρίδων

Πρόκειται ουσιαστικά για την προσθήκη στοιχείων μεγάλης μάζας για την πλευρική υποστήριξη της κατασκευής. Οι αντηρίδες μπορούν να παραλάβουν τις πλευρικές ωθήσεις και να αντισταθούν στις παραμορφώσεις χάρη στο μεγάλο ίδιο βάρος τους. Αντηρίδες που έχουν κατασκευαστεί μαζί με τον υπόλοιπο φορέα μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα αποτελεσματικές. Η εκ των υστέρων προσθήκη αντηρίδων, ωστόσο, οι οποίες μπορεί να είναι από διαφορετικό υλικό, να μην έχουν ικανοποιητική σύνδεση με την αρχική κατασκευή και να θεμελιώνονται σε διαφορετικά εδάφη έχουν μειωμένη αποτελεσματικότητα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτούνται μεγάλες παραμορφώσεις της κυρίως κατασκευής ώστε να ενεργοποιηθούν [81].

¹⁰ Ως θιξότροπο ονομάζεται ένα υλικό το οποίο σε επαφή με το νερό δημιουργεί αιώρημα το οποίο στη συνέχεια πήζει, ωστόσο με την εφαρμογή δύναμης ή την ανακίνηση του επανέρχεται σε ρευστή κατάσταση.

Η ενσωμάτωση αντηρίδων στην αρχική φάση της κατασκευής έχει αποδειχθεί επιτυχής σε χώρες της Κεντρικής και Νότιας Αμερικής [82], ενώ η διαφορετική συμπεριφορά τους σε σχέση με την υπόλοιπη κατασκευή έχει αποδειχθεί καταστροφική στον σεισμό του 2003 στο Μπαμ, ΝΑ Ιράν (εικόνα 3.6) [83].

Μια ενδιαφέρουσα περίπτωση κατασκευής αντηρίδων, τέλος, είναι αυτή που εφάρμοσαν ερευνητές σε μοναστήρια στο Τζατζικιστάν ως άμεσο, σωστικό μέτρο αντιστήριξης (εικόνα 3.7) [84].



Εικόνα 3.6. Τα ερείπια του καραβανσεράι στο Μπαμ του Ιράν φανερώνουν πως οι τρούλοι που στηρίζονταν σε αντηρίδες κατέρρευσαν, σε αντίθεση με τους υπόλοιπους που έμειναν στη θέση τους [83].



Εικόνα 3.7. Χρήση αντηρίδων ως σωστικών μέτρων, διακριτών από την αυθεντική κατασκευή (Τατζικιστάν) [84]

3.2.7 Ενίσχυση της κιβωτιοειδούς λειτουργίας της ωμοπλινθοδομής

Η κιβωτιοειδής λειτουργία ενός κτιρίου εξασφαλίζει την κατανομή των εξωτερικών φορτίσεων στα κατακόρυφα στοιχεία ανάλογα με τη δυσκαμψία τους, την αποτροπή αποκόλλησης εγκάρσια διασταυρούμενων τοιχοποιιών και κοινές, όσο είναι δυνατόν, παραμορφώσεις στη στέψη της τοιχοποιίας.

Στο παρελθόν, πολλές τεχνικές αποκατάστασης κτιρίων από ωμόπλινθους αποσκοπούσαν στην αύξηση των αντοχών τους με την ενσωμάτωση ενισχυμένων υλικών. Παράδειγμα αυτής της λογικής, στις ΗΠΑ, είναι η αντικατάσταση του πυρήνα της ωμοπλινθοδομής με οπλισμένο σκυρόδεμα, η εισαγωγή κλωβών σκυροδέματος, δοκών και υποστυλωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος κ.α. Οι επεμβάσεις αυτές, εκτός από ακριβές και σημαντικής έντασης, έχουν ως κύριο μειονέκτημα την ασυμβατότητα των υλικών επέμβασης και της αρχικής κατασκευής [78].

Σε χώρες της Νοτίου Αμερικής τις περασμένες δεκαετίες ήταν διαδεδομένη η ενίσχυση των παρειών της ωμοπλινθοδομής με χαλύβδινο πλέγμα και επικάλυψής του με τσιμεντοκονίαμα. Πειραματικές δοκιμές έδειξαν ωστόσο πως αυτή η πρακτική μπορεί να οδηγήσει σε ψαθυρές αστοχίες, λόγω της διαφοράς δυσκαμψίας μεταξύ των ενισχυτικών ζωνών και της υφιστάμενης τοιχοποιίας (εικόνα 3.8). Επιπλέον, η χημική, φυσική και μηχανική ασυμβατότητα τσιμέντου και ωμής γης οδηγεί, τελικά, σε αποδυνάμωση της ενίσχυσης λόγω διαφορετικής συμπεριφοράς σε θερμοκρασιακές μεταβολές, μεταφοράς υγρασίας κλπ [81]. Άλλοι ερευνητές ωστόσο προτείνουν, ακόμα, τη χρήση πλεγμάτων και επικάλυψής τους με τσιμεντοκονίαμα ως την ενδεδειγμένη λύση για αποτροπή καταρρεύσεων [82].

Άλλες μορφές ενίσχυσης της συνεργασίας των τοιχοποιιών αφορούν το 'δέσιμο' τους με χαλύβδινους ελκυστήρες, ξύλινα στοιχεία ή και διαζώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα ξύλινα στοιχεία έχουν μικρή επίδραση στην ελαστική συμπεριφορά των ωμόπλινθοδομών, ωστόσο μπορούν να έχουν ευνοϊκή επίδραση στην μετελαστική φάση, με την προϋπόθεση να έχουν αγκυρωθεί κατάλληλα. Από την άλλη, οι δοκοί σκυροδέματος, που συνιστώνται και από κανονισμούς δόμησης (π.χ. California State Historical Building Code 1999 [85]) ενδέχεται να είναι τέτοιας δυσκαμψίας (2 έως 3 φορές μεγαλύτερη από αυτή της τοιχοποιίας) ώστε η σύνδεση τους με την τοιχοποιία να αστοχήσει κατά τη διάρκεια μεσαίου μεγέθους σεισμών [65]. Σε κάθε περίπτωση, η τοποθέτηση διαζωμάτων στη στέψη της τοιχοποιίας συνιστά μια επέμβαση σχετικά μεγάλης έντασης καθώς απαιτεί την πλήρη αποκαθήλωση της στέγης.



Εικόνα 3.8. Ρηγματωμένο επίχρισμα που τοποθετήθηκε επί χαλύβδινου ενισχυτικού πλέγματος [81]



Εικόνα 3.9. Το καμπτόμενο περιμετρικό διάζωμα από οπλισμένο σκυρόδεμα κατέστρεψε τοιχοποιία από ωμόπλινθους πάχους 1.3μ. Καθεδρικός Tataraca, Χιλή 2005



Εικόνα 3.10. Τοποθέτηση οριζόντιων ξύλινων ελκυστήρων στην εξωτερική επιφάνεια της τοιχοποιίας. Ναός στο χωριό Νάκο, στο Κινάρ της Ινδίας [113]

Για την εξεύρεση μεθόδων αποκατάστασης οι οποίες θα λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ωμοπλινθοδομών, θα περιορίζουν τον κίνδυνο κατάρρευσης των κτιρίων και δε θα αλλοιώνουν τη μορφή ιστορικών κατασκευών, πραγματοποιήθηκε σειρά εργαστηριακών πειραμάτων στα πλαίσια του Getty Seismic Adobe Project (GSAP) σε μοντέλα κλίμακας 1:5 και 1:2 (εικόνα 3.11) [78]. Οι ενισχύσεις που ελέγχθηκαν ήταν οι ακόλουθες:

- συστήματα οριζόντιων ή/και κατακόρυφων νάιλον ιμάντων και συρματοσχοινοί που 'δένουν' μεμονωμένους τοίχους ή ολόκληρη την κατασκευή – το σύστημα αυτό αντιγράφει πρακτική που εφαρμόστηκε στη Γουατεμάλα έπειτα από σεισμό το 1976. Οι ιμάντες τοποθετήθηκαν και στις 2 παρειές της τοιχοποιίας και δέθηκαν μεταξύ τους με εγκάρσια νάιλον στοιχεία μέσω οπών στο πάχος του τοίχου. Τα εγκάρσια αυτά στοιχεία περιορίζουν τις εκτός επιπέδου μετακινήσεις.
- ράβδοι χάλυβα, διαμέτρου 0,3-0,48cm, κατακόρυφα τοποθετημένες απευθείας μέσα στις ωμοπλινθοδομές, για να λειτουργήσουν ως στοιχεία παραλαβής της διάτμησης, ανάμεσα σε ρηγματωμένα τμήματα της τοιχοποιίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι ράβδοι τοποθετήθηκαν μέσα σε εποξειδικό ένεμα.

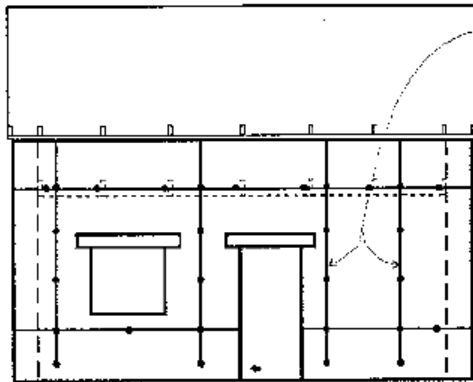
Τα δυο αυτά συστήματα ελέγχθηκαν μαζί ή χωρίς ξύλινα διαζώματα στη στέψη των τοίχων. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων κατά τη διάρκεια σεισμικής καταπόνησης στα μοντέλα έδειξαν πως το σύστημα ιμαντών, το οποίο απαιτεί ελάχιστες επεμβάσεις στον αρχικό φορέα και είναι, έως ενός σημείου, αντιστρέψιμο, περιορίζει τον κίνδυνο εκτός επιπέδου καταρρεύσεων, ωστόσο επιτρέπει την ανεμπόδιστη εξέλιξη των αρχικών ρηγματώσεων. Επιπλέον, αποτρέπει την εμφάνιση αστάθειας στους πεσσούς ανάμεσα στα ανοίγματα. Προϋπόθεση καλής λειτουργίας του συστήματος είναι η καλή σύνδεση με το διάζωμα στο ύψος της στέγης.

Η τοποθέτηση των χαλύβδινων ράβδων καθυστέρησε την αρχική φάση εμφάνισης ρωγμών, ενώ ρωγμές που εκκινούσαν από τις άκρες των ανοιγμάτων σταματούσαν στα σημεία τοποθέτησης τους. Το εποξειδικό ένεμα επιτέλεσε αποτελεσματικά το ρόλο του στη μεταφορά των διατμητικών τάσεων, έτσι οι οπλισμένοι τοίχοι έδρασαν ικανοποιητικά στις εκτός επιπέδου μετακινήσεις.

Οι παραπάνω προτεινόμενες παρεμβάσεις έχουν εφαρμοστεί και σε πραγματικές κατασκευές, στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ- βλ. εικόνες 3.12 και 3.13 [86].

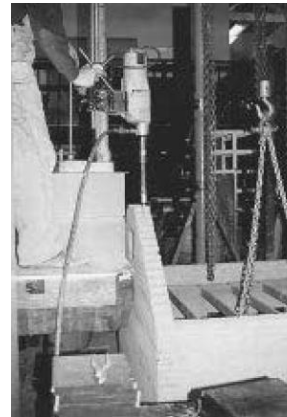
Για την αποφυγή τοποθέτησης χαλύβδινων ράβδων έχει προταθεί η προένταση των ιμαντών, σε κατασκευές καλουπωτής γης [81]. Στη Λατινική Αμερική εφαρμόστηκαν παραλλαγές των ενισχύσεων που προτάθηκαν από το Getty Seismic Adobe Project, με τη χρήση μπαμπού, καλαμιών, ζαχαροκάλαμων, αγκαθωτού σύρματος κ.ά [82].

Η ενίσχυση των κατασκευών από ωμή γη με πλέγμα από συνθετικό πολυμερές, που έχει δοκιμαστεί στο Περού και αποδεικνύεται συμβατή με το αυθεντικό υλικό, προσφέρει πλαστιμότητα στις μεγάλες παραμορφώσεις. Έχει εφαρμοστεί σε πραγματικό κτίριο, για ερευνητικό ωστόσο σκοπό [81, 87].



σύστημα οριζόντιων και κατακόρυφων νάιλον ιμαντών

Εικόνα 3.11. Σχεδιαστική απεικόνιση διάταξης οριζόντιων/κατακόρυφων ιμαντών από το GSAP



Εικόνα 3.10. Διάτρηση των ωμόπλινθων για την τοποθέτηση χαλύβδινων ράβδων σε πειραματικό μοντέλο (αριστερά) και παραλλαγή της μεθόδου με χρήση καλαμιών στο Περού (δεξιά).



Εικόνα 3.12. Αγκύρωση συρματοσχοινοῦ με «δεματικά» [117]



Εικόνα 3.13. Ιμάντας από ανοξείδωτο χάλυβα που δέθηκε στις δοκούς του πατώματος με κοχλίες ανάρτησης, Las Flores Adobe, Καλιφόρνια [118]

ΜΕΡΟΣ Β΄

Δεδομένα από το πεδίο

4. Οικοδομική των κτιρίων μελέτης

4.1 Γενικά

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας έγινε επί τόπου επίσκεψη σε 14 κατοικημένους οικισμούς της περιοχής των Πρεσπών όπως επίσης και στους οικισμούς Χαλάρας, Γάβρου και Κρανίωνα στα Κορέστια Καστοριάς¹¹. Κτίρια από ωμόπλινθους καταγράφηκαν σχεδόν σε όλους, τα περισσότερα ωστόσο βρίσκονται στους οικισμούς Μηλιώνα, Αγίου Γερμανού, Οξυάς, Ανταρτικού, Πράσινου, Τρίγωνου, Κώτα, Καρυών, Λευκώνα, ενώ στους οικισμούς των Κορεστίων συναντά κανείς σχεδόν αποκλειστικά κτίρια από ωμόπλινθους. Τα κατασκευαστικά στοιχεία των περισσότερων αυτών κτισμάτων παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες, ενώ από τις ανάγλυφες επιγραφές των προσόψεων τους φαίνεται πως έχουν κατασκευαστεί την ίδια περίπου περίοδο- τις δύο πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα.



Φωτογραφία 4.1. Τριώροφο κτίριο από ωμόπλινθους και λιθοδομή στο Ανταρτικό



Φωτογραφία 4.2. Κτίριο από ωμόπλινθους στην Οξυά, κτισμένο το έτος 1912



Φωτογραφία 4.3. Στα κτίρια του οικισμού Τρίγωνο παρατηρήθηκε η συχνή κατασκευή τοξωτών υπέρθυρων με χρήση οπτόπλινθων.

¹¹ Ως «περιοχή των Πρεσπών» νοείται η γεωγραφική περιοχή που καλύπτει ο Δήμος Πρεσπών.

Ως κτίρια μελέτης επιλέχθηκαν 2 γειτονικά κτίρια του οικισμού Μηλιώνας, τα βασικά στοιχεία των οποίων αποτυπώθηκαν. Εφεξής το τριώροφο κτίριο θα σημειώνεται ως κτίριο Α (κτ. Α), ενώ το διώροφο κτίριο ως κτίριο Β (κτ. Β).



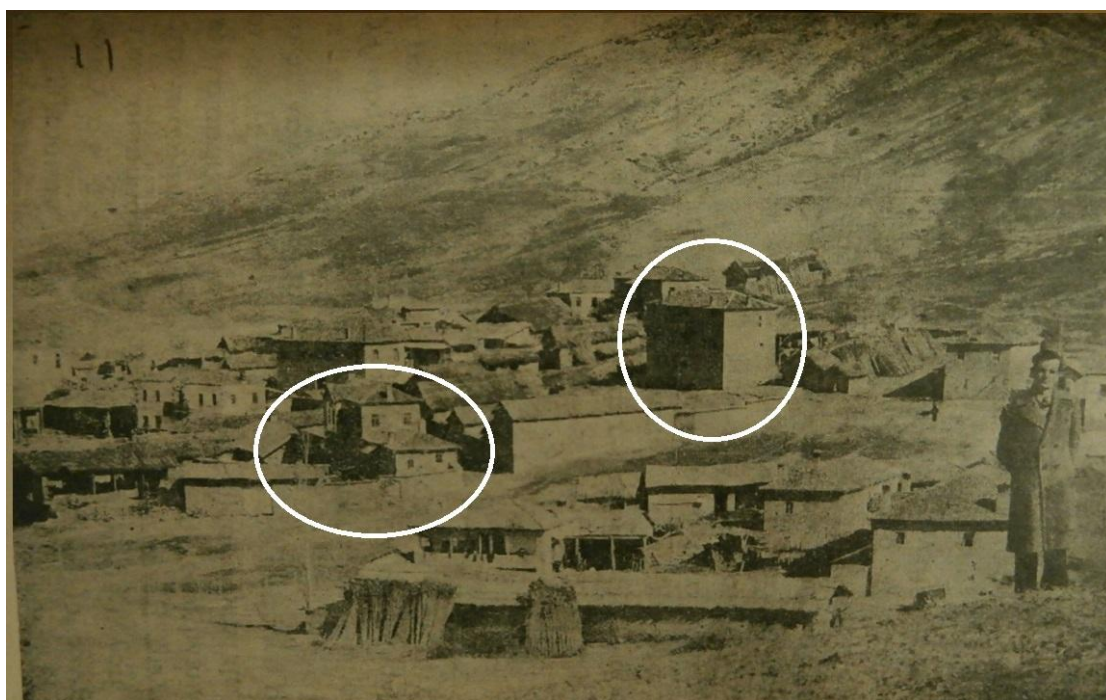
Φωτογραφία 4.4. Τα κτίρια μελέτης, Α (πάνω) και Β (μέση). Κάτω φαίνεται η σχετική θέση των δύο (πηγή φωτ. κάτω: προσωπικό αρχείο της Αγγέλας Γεωργαντά)

4.2 Τοποθέτηση και προσανατολισμός

Ο μη-παραλίμνιος οικισμός Μηλιώνας βρίσκεται βορειοανατολικά της λίμνης μικρή Πρέσπα, σε ύψος περ. 900 μέτρων. Στα ανατολικά του αναπτύσσεται το όρος Βαρνούντας, ενώ σε κοντινή απόσταση βρίσκονται οι οικισμοί Αγ. Γερμανός και Λαιμός. Σήμερα κατοικούνται 2 κτίρια του, τα οποία αποκαταστάθηκαν πρόσφατα.

Η τοποθέτηση των κτιρίων του οικισμού ακολουθεί τις ισοϋψείς του εδάφους, ενώ η επιλογή του προσανατολισμού τους γίνεται με κριτήριο την οπτική επαφή με τις λίμνες και τις κεντρικές αρτηρίες του οικισμού.

Η κύρια όψη των κτιρίων μελέτης Α και Β είναι στραμμένη προς τα δυτικά. Μια φωτογραφία του οικισμού (εικόνα 4.1) περίπου από το 1940 φανερώνει πως το κτίριο Α βρισκόταν στο όριο του οικισμού, ενώ το κτίριο Β είναι τοποθετημένο πιο κεντρικά. Σε ακτίνα αρκετών μέτρων γύρω από τις κατοικίες του οικισμού αναπτύσσονται αρκετά βοηθητικά κτίσματα, ώστε κάθε φορά να δημιουργείται ένα κλειστό κτιριακό σύνολο [17].



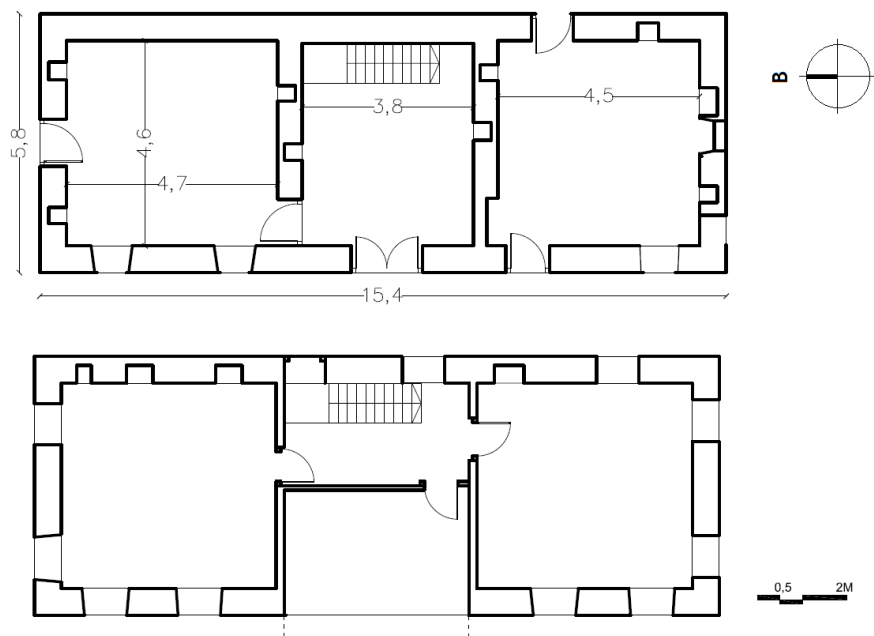
Εικόνα 4.1. Η εικόνα του οικισμού στις αρχές της δεκαετίας του 1940. Σημειώνονται τα κτίρια μελέτης [17].

4.3 Περιγραφή γεωμετρίας και χρήσεων

Τα κτίρια Α και Β παρουσιάζουν ομοιότητα στη διαμόρφωση των κατόψεών τους, οι οποίες είναι εξαιρετικά απλές στο σχεδιασμό τους. Οι γενικές, εξωτερικές τους διαστάσεις είναι περίπου $15,5*6m^2$, ώστε να δημιουργούνται επιμήκεις κατόψεις με λόγο μεγάλης προς μικρή διάσταση περ. 2,65- μικρότερος από 3,5 που θεωρείται ως ανεκτό όριο για καλή απόκριση σε σεισμικές διεγέρσεις [72]. Στο εσωτερικό γίνεται προσπάθεια δημιουργίας τετραγωνικών κατόψεων - οι ελαφρές αποκλίσεις στις διαστάσεις των κατόψεων των διαφορετικών χώρων ενδεχομένως οφείλονται στις μετακινήσεις των δομικών στοιχείων από τις αρχικές τους θέσεις¹².

¹² Σημειώνεται πως δεν ήταν δυνατή η ακριβής αποτύπωση των διαστάσεων των κτιρίων, συνεπώς τα στοιχεία που δίνονται είναι κατά προσέγγιση.

Το κτ. Α έχει ανοιχτό εξώστη στο τρίτο επίπεδο, κεντρικά τοποθετημένο, ενώ το κτ. Β έχει κεντρική προεξοχή/σαχνισί, πλάτους ίσου με αυτό του κεντρικού χώρου κίνησης (κλειστός σοφάς), που στεγάζεται με δίρριχτη στέγη – τα δυο αυτά στοιχεία αποτελούν και τις μόνες προεξοχές. Η απουσία χαγιατιού είναι σύμφωνη με τις παρατηρήσεις για την αρχιτεκτονική της περιοχής, όπου «ο τύπος με το χαγιατί ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένος κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, ενώ οι τύποι με τον εσωτερικό σοφά εμφανίζονται κατά το τέλος του 19ου αιώνα και κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα» [12].



Εικόνα 4.2. Η κάτοψη του ισόγειου (πάνω) και του ορόφου (κάτω) του κτιρίου Β.¹³

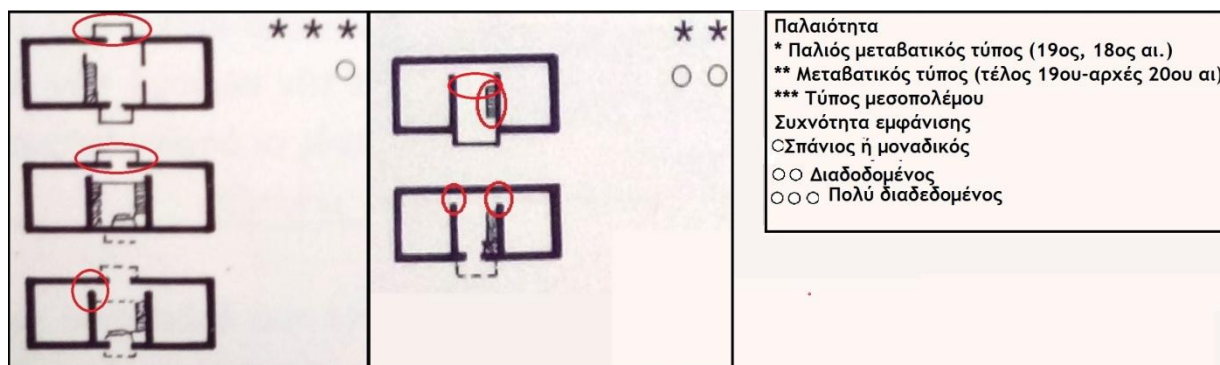
Οι κατόψεις διαρθρώνονται σε 3 χώρους, ώστε τα κτίρια να ανήκουν, τυπολογικά, στην κατηγορία «τρίχωρου με εξώστη ή σαχνισί», που εμφανίζεται στην περιοχή των Πρεσπών στο τέλος του 19^{ου} και στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Παραδείγματα τριώροφων τριώροφων σπιτιών υπάρχουν ελάχιστα στην περιοχή – στην αναφορά [12] καταγράφεται ως «μοναδικό παράδειγμα τριώροφου τριώροφου σπιτιού, το σπίτι του Νικόλα Σάπκα στον Άγιο Γερμανό». Στην καταγραφή της τυπολογίας των σπιτιών της περιοχής, που συναντά κανείς στην βιβλιογραφία, η θέση της σκάλας ανόδου για τα τριώροφα με εξώστη ή σαχνισί τοποθετείται δεξιά ή αριστερά της κεντρικής εισόδου, σε αντίθεση με το κτ. Β όπου η σκάλα ανόδου βρίσκεται στο βάθος του χώρου εισόδου [12]. Οι λοιπές διαφοροποιήσεις των κτιρίων Α και Β σε σχέση με τον τύπο στον οποίο ανήκουν σημειώνονται στην εικόνα 4.3.

Η είσοδος στο κτ. Α βρίσκεται στον κεντρικό χώρο του ισόγειου, ενώ δεύτερη είσοδος στο επίπεδο του πρώτου ορόφου και προσβάσιμη μέσω σκάλας, υπάρχει στην πίσω όψη – δεν αποκλείεται η είσοδος αυτή να συνέδεε την κατοικία με τους βοηθητικούς χώρους στο πίσω μέρος του κτ. Α. Το κτ. Β διαθέτει τρεις εισόδους στο ισόγειο, που μαρτυρούν την πιθανή ξεχωριστή χρήση των χώρων του.

Εκτός από τον μικρό αριθμό ανοιγμάτων (ειδικά στο κτ. Α), και τις χωριστές εισόδους, δε βρέθηκαν άλλες ενδείξεις χρήσης των χώρων του ισόγειου ως βοηθητικών (κελάρι, αχούρι κλπ.), όπως παρατηρήθηκαν σε άλλα κτίρια της περιοχής. Αντιθέτως η ύπαρξη τζακιού στον ισόγειο νότιο χώρο του κτ. Β μαρτυρά την επέκταση του επιπέδου κατοίκησης και στο ισόγειο (φωτογραφία 4.5). Η χρήση επεξεργασμένης ξυλείας στα δάπεδα των ανώτερων επιπέδων αποτελεί ένδειξη πως αποτελούσαν τους «καλούς χώρους», πιθανώς συγκέντρωσης της

¹³ Η κάτοψη βασίζεται στα σχέδια αποτύπωσης της εργασίας [109]

οικογένειας και υποδοχής των επισκεπτών. Οι κεντρικοί χώροι εξυπηρετούν την κίνηση και την άνοδο στους επόμενους ορόφους, ενώ οι χώροι διαβίωσης τοποθετούνται εκατέρωθεν του κεντρικού – ο τύπος αυτός απαντάται πολύ συχνά στην περιοχή των Πρεσπών και στους οικισμούς του όρους Βέρνου [88]. Ειδικά για το κτ. Β ο κεντρικός χώρος του ορόφου πιθανώς εξυπηρετούσε και άλλες χρήσεις εκτός από την κίνηση, όπως υποδηλώνει ο διαχωριστικός μπαγδατότοιχος.



Εικόνα 4.3. Οι τύποι στους οποίους ανήκουν τα κτ. Α και Β (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα), βάσει της τυπολογίας [12]. Σημειώνονται με κόκκινο οι διαφοροποιήσεις των πραγματικών κτιρίων σε σχέση με τον τύπο τους.



Φωτογραφία 4.5. Το τζάκι μαρτυρά τη χρήση του ισόγειου του κτ. Β ως χώρου κατοίκησης (αριστερά), σε αντίθεση με άλλα κτίρια της περιοχής (δεξιά, ισόγειο στον οικισμό της Οξυάς).

4.4 Δομικά στοιχεία

4.4.1 Θεμέλια

Δεν κατέστη δυνατός ο εντοπισμός μιας σαφούς διάταξης θεμελίωσης. Εικάζεται, συνεπώς, πως η θεμελίωση υλοποιούνταν με την αβαθή προέκταση της λίθινης τοιχοποιίας. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται η εξυγίανση, σε περίπτωση σαθρών εδαφών, με στρώσεις πέτρας ή κορμών οξιάς ή κέδρου [89].

4.4.2 Κατακόρυφα στοιχεία

α. Εξωτερική τοιχοποιία

Στις χαμηλές στρώσεις της τοιχοποιίας γίνεται χρήση χονδρολαξεμένων λίθων σιδερόπετρας, διαστάσεων περ. $25*15*20\text{ cm}^3$, έως τη στάθμη του κατωφλιού των ανοιγμάτων του ισογείου (κτ. Β), και ως τη στάθμη των ανοιγμάτων του πρώτου ορόφου (κτ. Α). Το πάχος του αρμού είναι 2-3 cm. Κατά το πάχος της ανεπίχριστης λίθινης τοιχοποιίας (68-70 εκ.) παρατηρούνται 2 'φύλλα' λίθων και μια ενδιάμεση πλήρωση με χαλαρό υλικό, ενώ δεν υπάρχουν υπερμπατικοί λίθοι που να ενώνουν τις 2 παρειές της τοιχοποιίας. Στις γωνίες και στις χαμηλές στάθμες της τοιχοποιίας τοποθετούνται λίθοι μεγαλύτερων διαστάσεων, ενώ η χρήση μικρών λίθων σε οριζόντιες στρώσεις φανερώνει τη στάθμη τοποθέτησης των μη-εμφανών ξυλοδεσιών (βλ. Λ01 και Λ02, Παράρτημα Ι).

Η, πάντοτε επιχρισμένη, τοιχοποιία από ωμόπλινθους έχει πάχος περίπου 55-58cm. Οι πλίθρες εκτός από χρώμα περιέχουν σημαντικά ποσοστά χονδροκόκκων αδρανών, ψιλό άχυρο και ενδεχομένως ασβέστη (από οπτική παρατήρηση). Χωμάτινο είναι και το κονίαμα των αρμών, όπως και το επίχρισμα (περ. 2-6 εκ.) που καλύπτει την τοιχοποιία εσωτερικά και εξωτερικά. Υπάρχει μια σχετική ποικιλία στις διαστάσεις των ωμόπλινθων ώστε να μπορούν να γίνουν πολλαπλοί συνδυασμοί στη διάταξη τους (το πάχος των μεγαλύτερων ωμόπλινθων είναι περίπου $38*10*16\text{ cm}^3$) και να επιτυγχάνεται, τελικά, η αλληλεμπλοκή των ωμόπλινθων με το σχηματισμό «ψάθας». Η τοποθέτηση των ωμόπλινθων γίνεται με σχετική προχειρότητα με συνέπεια τη δημιουργία περιορισμένης έκτασης κατακόρυφων αρμών (βλ. Λ03, Παράρτημα Ι). Η φύση του υλικού κονιάματος και ωμόπλινθων είναι τέτοια ώστε τελικά να δημιουργείται μια κατά το δυνατόν ενιαία, ομογενής μάζα και οι αρμοί να μην είναι διακριτοί.

Σημεία εξασθένισης της τοιχοποιίας δημιουργούνται από κόγχες για την τοποθέτηση οικιακών σκευών και στις θέσεις των τζακιών και των καμινάδων εξόδου του καπνού.

β. Εσωτερική τοιχοποιία

Η εσωτερική τοιχοποιία είναι από ωμόπλινθους ακόμα και στους ορόφους. Το πάχος της είναι 45 cm και 15 cm για το κτ. Β (ισόγειο, όροφος), ενώ στο κτ. Α το πάχος ανά όροφο είναι 45-35-15cm¹⁴. Τοίχος από μπαγδατί, με χρήση πλεγμένων καλαμιών σε κατακόρυφους ορθοστάτες, υπάρχει μόνο στη κεντρική σάλα του ορόφου στο κτ. Β- πλέον έχει καταρρεύσει. Σημειώνεται πως στην τυπολογία των κτιρίων της περιοχής δεν καταγράφεται πουθενά αυτός ο διαχωριστικός τοίχος και εικάζεται πως ήταν μεταγενέστερη προσθήκη [12].

Η εσωτερική τοιχοποιία είναι ασύνδετη με την εγκάρσια διασταυρούμενη εξωτερική στο κτ. Α, ενώ στο κτ. Β παρατηρείται καλή αλληλεμπλοκή των πλίνθων (βλ. Καρτέλα Κ01, Παράρτημα ΙΙ και φωτογραφία 4.7). Η απουσία σύνδεσης των τοιχοποιιών εξηγεί, πιθανώς, και την πλήρη αποκόλληση των εσωτερικών τοίχων του κτ. Α.

¹⁴ Η σχεδόν ολική πτώση της εσωτερικής τοιχοποιίας του κτ. Α δεν επέτρεψε την ασφαλή εξαγωγή συμπεράσματος.



Φωτογραφία 4.6. Στο ύψος του δαπέδου του πρώτου ορόφου (κτ. Α) το πάχος της τοιχοποιίας μικραίνει κατά περ. 5-7 cm.



Φωτογραφία 4.7. Πλήρης αποκόλληση των εσωτερικών τοίχων του κτ. Α εξαιτίας της απουσίας σύνδεσης με την εξωτερική

γ. Διαμόρφωση ανοιγμάτων

Σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των ανοιγμάτων παίζει η διάταξη των ξυλοδεσιών (βλ. Σχέδια Κ01-3, Παράρτημα Ι). Στο ισόγειο, τα κατώφλια ορίζονται στη θέση της ξυλοδεσιάς, ενώ τα ανώφλια άλλοτε φτάνουν στην επόμενη στάθμη ξυλοδεσιάς (κτ. Β) άλλοτε σταματούν νωρίτερα (κτ. Α). Στους ορόφους τα ανοίγματα είναι σαφώς μεγαλύτερα και διακόπτουν την επόμενη καθ' ύψος ξυλοδεσιά. Οι διαστάσεις τους είναι 55-75*80-90cm² (ισόγειο, κτ. Α-Β) και 85*120-130cm² στους ορόφους.

Η τοποθέτηση της θύρας του κεντρικού εξώστη (κτ. Α) είναι ελαφρά μη-συμμετρική ως προς τις διαστάσεις της όψης. Τα λοιπά ανοίγματα τοποθετούνται μεν συμμετρικά, ωστόσο η τοποθέτησή τους δημιουργεί ασυνέχειες στην κατακόρυφη μεταφορά των φορτίων προς το έδαφος.

Η διάταξη και ο προσανατολισμός των ανοιγμάτων ακολουθεί κυρίως λειτουργικούς κανόνες. Έτσι, τα μεγάλα ανοίγματα στον Μηλεώνα τοποθετούνται στους ορόφους -2 στην κύρια όψη κάθε χώρου διαβίωσης- ενώ η κύρια όψη είναι στραμμένη προς τη δύση, δηλαδή προς τη λίμνη μικρή Πρέσπα. Σε άλλες περιπτώσεις, στην Οξυά για παράδειγμα, τα μεγάλα ανοίγματα των ορόφων έχουν ανατολικό προσανατολισμό, δηλαδή προς το κέντρο του οικισμού.

Οι ορθογωνικές κάσες, τοποθετημένες στην περασιά της τοιχοποιίας, είναι από καλά πελεκημένο ξύλο το οποίο πιθανώς δεν ήταν εμφανές- η ύπαρξη καρφωτού αρμοκάλυπτρου εξωτερικά του τετράξυλου και στην περασιά του επιχρίσματος, παρατηρήθηκε σε κτίρια άλλων οικισμών. Οι εσωτερικές διαστάσεις των ανοιγμάτων είναι ελαφρά μεγαλύτερες, τόσο κατά το πλάτος όσο και καθ' ύψος.

Παρατηρήθηκαν κουφώματα με ξύλινα και μεταλλικά κιγκλιδώματα, χωρίς κιγκλιδώματα, με και χωρίς κεπέγκια.



Φωτογραφία 4.8. Συμπαγή ξύλινα παραθυρόφυλλα (αριστερά) και διακοσμημένο μεταλλικό κιγκλίδωμα (δεξιά).

Φωτογραφία 4.9. Καρφωτό αρμοκάλυπτρο εξωτερικά του τετράξυλου, στην περασιά του επιχρίσματος.



Φωτογραφία 4.10. Η τοποθέτηση της θύρας του κεντρικού εξώστη δεν είναι συμμετρική ως προς την όψη του κτιρίου Α. Τα λοιπά ανοίγματα τοποθετούνται συμμετρικά ως προς τις γενικές διαστάσεις του κτιρίου, ωστόσο παρατηρείται ασυνέχεια στην καθ' ύψος τοποθέτησή τους.

4.4.3 Οριζόντια στοιχεία

α. Πατώματα και δάπεδα

Η κατασκευή των πατωμάτων γίνεται με ελάχιστα πελεκημένους κορμούς, τοποθετημένους ανά 0,7-1,2m. Οι χρησιμοποιούμενες διατομές είναι κυκλικές, διατομής περ. 15cm ή σχεδόν τετραγωνικές, πλευράς 10cm. Φαίνεται πως στο κτ. Α τοποθετήθηκαν σε μεταγενέστερη φάση πελεκημένα δοκάρια, διατομής περ. 10*16cm², και τοποθετημένα ανά μικρότερες αποστάσεις (0,5m). Εντούτοις, οι άκρες των αρχικών κυκλικών διατομών παραμένουν εμφανείς, κομμένες, μέσα στις αρχικές δοκοθήκες.

Σχεδόν πάντοτε, οι γρεντιές, μήκους περ. 5m γεφυρώνουν το μικρότερο άνοιγμα της κάτοψης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία το χρησιμοποιούμενο ξύλο είναι οξιά, δρυς, έλατο και κέδρος, ενώ κάτοικοι της περιοχής ανέφεραν και τα κυπαρίσσια [12].

Σε ορισμένες περιπτώσεις, μια εγκάρσια τοποθετημένη βοηθητική δοκός υποστηρίζει τις γρεντιές, μεταφέροντας τα φορτία άλλοτε στους πλαϊνούς τοίχους, άλλοτε σε κατακόρυφους ορθοστάτες (βλ. Σχέδιο Π01, Παράρτημα Ι). Όταν οι γρεντιές στηρίζονται σε τοίχους από ωμοπλινθοδομή, τότε εκτείνονται σε όλο το πάχος της τοιχοποιίας, ακουμπάνε, συνεπώς, και στις δυο οριζόντιες ξυλοδεσιές. Σε μια περίπτωση, μικρά ξύλινα στοιχεία τοποθετούνται εγκάρσια, ανάμεσα στις γρεντιές σε μια προσπάθεια σύνδεσης των δοκών.



Φωτογραφία 4.11. Εγκάρσια τοποθετημένη δοκός παραλαμβάνει τα φορτία από τις γρεντιές και τα μεταφέρει σε κατακόρυφο ορθοστάτη. Ο ορθοστάτης στηρίζεται σε λίθινη βάση, ώστε να προστατεύεται από την υγρασία.



Φωτογραφία 4.12. Μεταγενέστερα τοποθετημένες, καλά πελεκημένες δοκοί, ορθογωνικής διατομής. Μικρά ξύλινα στοιχεία αποσκοπούν, πιθανά, στην μεταξύ των γρεντιών σύνδεση.

Τα δάπεδα των ισογείων διαμορφώνονται πάντοτε με πατημένο χώμα και άχυρο από βρίζα. Πατημένο χώμα εμφανίζεται και στους ορόφους, πάνω από στρώση κλαδιών («στρογγύλια») και, σε ορισμένες περιπτώσεις, καλαμιών. Ξύλινο σανίδωμα, εδραζόμενο απευθείας πάνω στα δοκάρια, εμφανίζεται στην περίπτωση των μεταγενέστερων πατωμάτων, ωστόσο και εδώ η περιοχή μπροστά από το τζάκι έχει χώμα.

Το ταβάνωμα, από καλάμια, επιχρίεται όταν βρίσκεται πάνω από χώρους διαβίωσης, ωστόσο αυτό δεν αποτελεί απόλυτο κανόνα.

Περισσότερες λεπτομέρειες παρουσιάζονται στα Σχέδια Π01-3.

β. Στέγη

Τα δυο κτίρια, Α και Β, στεγάζονται με τετράρριχτη, καθιστή στέγη. Η διάταξη των κεκλιμένων δοκών αλλάζει μόνο στο κεντρικό τμήμα του κτ. Β όπου απουσιάζει ο αντίστοιχος τοίχος στήριξης.

Οι πυκνά τοποθετημένες, ανά 1-1,3m, κεκλιμένες δοκοί κατανέμουν τα φορτία, μέσω διπλών στρωτήρων, στους πλευρικούς τοίχους χωρίς την ύπαρξη ενδιάμεσης κατακόρυφης στήριξης (π.χ. ενδιάμεσης υποκείμενης τοιχοποιίας). Η μικρή σχετικά κλίση της στέγης (περ. 21-24°) συνεπάγεται αυξημένες προς τα έξω ωθήσεις- οι παραδοσιακές στέγες στη γειτονική Φλώρινα έχουν επίσης μικρή κλίση 20° με 22° [90].

Οι κεκλιμένες δοκοί (14*10cm) αντιστηρίζονται τόσο από τον κορφιά όσο και από τους υποκείμενους (του κορφιά) ορθοστάτες (10*10cm²). Οι ορθοστάτες της στέγης μεταφέρουν τα φορτία άλλοτε απευθείας στους ελκυστήρες (14*18cm²), άλλοτε επάνω σε δευτερεύουσα δοκό, τοποθετημένη εγκάρσια στους ελκυστήρες (βλ. Σχέδιο Σ03). Ορισμένοι τριγωνικοί φορείς διαθέτουν και θλιπτήρες τοποθετημένους σε υψηλότερη στάθμη δημιουργώντας έναν σχηματισμό 'Α' (βλ. Σχέδιο Σ04).

Παρουσιάζονται τόσο κύρια ψαλίδια, όσο και κοινά, στα οποία δεν αντιστοιχούν ελκυστήρες και εδράζονται στη στέψη της τοιχοποιίας μέσω ορφανών ξύλινων στοιχείων (βλ. Σχέδιο Σ01).

Μαχιάδες και κατωμαχιάδες εκκινούν από τις γωνίες των κτιρίων για να καταλήξουν στην κορυφή των ακραίων ορθοστατών (μαχιάδες) και στο σημείο τομής των ελκυστήρων με τους ακραίους κατακόρυφους ορθοστάτες (κατωμαχιάδες). Οι κατωμαχιάδες (κυκλικής διατομής διαμέτρου περ. 14cm) εδράζονται στο μέσο περίπου των ελκυστήρων, εκατέρωθεν της βάσης των ακραίων ορθοστατών. Στις γωνίες, μικρές διαγώνιες ράβδοι συνδέουν τις ξυλοδεσιές, ενισχύοντας την περιμετρική περίδεση του κτιρίου (Σχέδιο Σ02).

Αντηρίδες δεν υπάρχουν στη στέγη του κτ. Β, η οποία διατηρείται σε καλή κατάσταση και αποτυπώθηκε, ωστόσο σε άλλα κτίρια της περιοχής εντοπίστηκε η χρήση τους (φωτογραφία 4.13) – τα εναπομείναντα στοιχεία της στέγης του κτ. Α φανερώνουν πως και εδώ μάλλον έγινε χρήση αντηρίδων.

Η παραλαβή των εξωτερικών φορτίων πραγματοποιείται μέσω των τεγίδων (6*14cm) – επιτεγίδες δεν υπάρχουν- που τοποθετούνται σε δύο ή τρεις στάθμες, σε μεταξύ τους απόσταση περίπου 0,8m (βλ. Σχέδιο Σ04). Το πέλμα των τεγίδων είναι η πλατύτερη πλευρά της διατομής – παραδόξως 'πλάκα' τοποθετούνται και οι οριζόντιες δοκοί των ψαλιδιών. Η τελική επίστρωση της στέγης αποτελείται από πέτωμα από λεπτά καλάμια επάνω στο οποίο πατιέται χώμα για τη διαμόρφωση επίπεδης στρώσης όπου ακουμπούν τα βυζαντινά κεραμίδια (Σχέδιο Σ05).

Τα γείσα υλοποιούνται με οπτόπλινθους, εκφορικά τοποθετημένους. Η προεξοχή της στέγης είναι σχετικά μικρή (περ. 18-20cm), ώστε δε προσφέρει την απαραίτητη προστασία της τοιχοποιίας από τη βροχή και τον ήλιο. Ενδεικτικά, προγενέστερες κατοικίες της περιοχής των Πρεσπών έχουν γείσο πλάτους περίπου 60cm, οι προβολές της στέγης των παραδοσιακών κατοικιών της Φλώρινας του 19^{ου} αι. είναι μεταξύ 30-60cm, τα γείσα της παραδοσιακής αρχιτεκτονικής στο Πήλιο εξέχουν πάνω από 60cm, ενώ του οθωμανικού βεροιώτικου σπιτιού ως και 1,6m [12, 90, 91, 92].

Οι συνδέσεις των στοιχείων της στέγης είναι είτε μισοχαρακτές είτε απλούστερες, με κάρφωμα μεταξύ αδιαμόρφωτων επιφανειών.

Η κατασκευή της στέγης σε ορισμένες περιπτώσεις είναι εμφανής, ενώ σε άλλες καλύπτεται από ταβάνωμα με καλάμια και επίχρισμα.



Φωτογραφία 4.13. Εσωτερικό στέγης με αντηρίδες στην Οξυά



Φωτογραφία 4.14. Ταβάνωμα από καλαμωτή



Φωτογραφία 4.15. Οι συνδέσεις είναι απλές: με κάρφωμα μελών ή μισοχαρακτές



Φωτογραφία 4.16. Το γείσο των κτιρίων της περιοχής είναι σχετικά μικρό. Αριστερά προεξοχή στέγης κτιρίου στον Κρασιώνα, δεξιά το γείσο του κτ. Β.



Φωτογραφία 4.17. Το εσωτερικό της στέγης του κτ. Β

4.4.4 Διερεύνηση ύπαρξης ξύλινων ενισχύσεων

Το κτίρια μελέτης ενισχύονται με διπλά ξύλινα ζωνάρια («πόγιας») διατομής περ. 9*7cm² σε αρκετές στάθμες. Συνηθέστερα, οι οριζόντιες αυτές ξυλοδεσιές τοποθετούνται στο κατώφλι των ανοιγμάτων, στο ανώφλι των ανοιγμάτων ή λίγο ψηλότερα από αυτό, στις θέσεις έδρασης των δοκών του πατώματος και στη στέψη της τοιχοποιίας, όπου λειτουργούν ως στρωτήρες έδρασης των δοκών της στέγης. Στο κτ. Α καταγράφηκαν ξυλοδεσιές σε 8 διαφορετικές στάθμες (βλ. Σχέδιο Ξ01, Παράρτημα Ι).

Στην περίπτωση της ανεπίχριστης λιθοδομής, οι ξυλοδεσιές είναι εμφανείς εσωτερικά (βλ. Σχέδιο Ξ02) και 'κρυμμένες' στο σώμα της τοιχοποιίας εξωτερικά. Αντίθετα, στην περίπτωση τοίχων από ωμόπλινθους τοποθετούνται στην περασιά της τοιχοποιίας, ωστόσο το εξωτερικό επίχρισμα τις καθιστά αφανείς. Σε μια περίπτωση, σε γειτονικά κτίριο του οικισμού Μηλεώνας, οι ξυλοδεσιές ακόμα και στην ωμοπλινθοδομή τοποθετούνται εσωτερικά της τοιχοποιίας. Στην υψηλότερη στάθμη τα ζωνάρια είναι πάλι 'κρυμμένα', ανάγκη που υπαγορεύεται από την τοποθέτηση των οπτόπλινθων του γείσου της στέγης (βλ. Σχέδιο Σ05).

Στο σημείο συνάντησης των εγκάρσια διασταυρούμενων ξυλοδεσιών, στις γωνίες του κτιρίου, παρατηρείται το παράδοξο της μη-σύνδεσης των εσωτερικά τοποθετημένων ζωναριών με αυτά που βρίσκονται στην εξωτερική παρειά της τοιχοποιίας (φωτογραφία 4.18).

Η σύνδεση των παράλληλων ξυλοδέσμων γίνεται με κλάπες, διαμέτρου 5cm, που τοποθετούνται εγκάρσια σε αυτές και διατηρούν σταθερή την οριζόντια απόσταση μεταξύ των ξυλοδέσμων. Κατά μήκος, η σύνδεση των ξύλινων στοιχείων γίνεται με λοξότμητες και μισοχαρακτές συνδέσεις.

Αδύναμα σημεία, διακοπής των ξυλοδεσιών, αποτελούν τα μεγάλα ανοίγματα των ορόφων και οι θύρες, αλλά όχι οι καμινάδες των τζακιών. Αντίθετα, ειδική πρόνοια υπάρχει στα ανώφλια των θυρών όπου τα υπερκείμενα φορτία παραλαμβάνονται από μεγαλύτερες διατομές, ενώ προστίθενται επιπλέον ξύλινα δοκάρια.



Φωτογραφία 4.18. Η πορεία της εσωτερικής ξυλοδεσιάς διακόπτεται προτού συναντήσει την εγκάρσια διασταυρούμενη εξωτερική ξυλοδεσιά.

Σημειώνεται, τέλος, πως ο ξύλινος σκελετός των κτιρίων μελέτης δεν περιλαμβάνει κατακόρυφα στοιχεία (ορθοστάτες), ούτε διαγώνια. Η επιτόπια έρευνα στους οικισμούς των Πρεσπών, αλλά και των γειτονικών Κορεστίων, έδειξε πως η παρουσία ορθοστατών ή διαγώνιων στοιχείων στο σώμα της τοιχοποιίας είναι εξαιρετικά σπάνια και συνήθως πρόκειται για τοιχοποιίες που προκύπτουν από το εκ των υστέρων κλείσιμο χαγιατιών, εξωστών κλπ.



Φωτογραφία 4.19. Το άνοιγμα της κύριας εισόδου του κτ. Α ενισχύεται, εκτός από το ισχυρό ξύλινο ανώφλι και από πρόσθετες ξύλινες δοκούς.

5 Παθολογία και επεμβάσεις στα κτίρια της ευρύτερης περιοχής μελέτης

5.1 Γενικές παρατηρήσεις για την παθολογία

Οι τυπικές βλάβες από σεισμούς (βλ. ενότητα 3.1.2 *Ρηγματώσεις και καταρρεύσεις*) σπάνια συναντώνται στα κτίρια της περιοχής μελέτης, πιθανώς λόγω της χαμηλής σεισμικότητας της περιοχής. Η εμφάνιση των βλαβών οφείλεται συνήθως συνδυαστικά στις κατασκευαστικές ατέλειες, την απουσία διαφραγματικής λειτουργίας, τις μεταγενέστερες ανθρώπινες παρεμβάσεις, τη χρόνια έκθεση στη βροχή και την πλημμελή συντήρηση. Ρωγμές παρουσιάζουν και οι συχνά κακώς συνδεδεμένες προσθήκες, όπως είναι οι τοίχοι κλεισίματος χαγιατιών.

Η πλέον συνηθισμένη φθορά των κτιρίων της περιοχής οφείλεται στη δράση της υγρασίας, ειδικότερα λόγω της προσπίπτουσας βροχής ή της ανεπαρκούς απορροής των υδάτων από τη στέγη, καθώς η ανερχόμενη υγρασία αποτρέπεται από τη λίθινη βάση των κτιρίων. Είναι χαρακτηριστικά τα λόγια κατοίκου της Οξυάς για τα κτίρια από ωμόπλινθους, πως «αν δεν πλένονται, δεν πέφτουν».

Σε πρώτο στάδιο παρατηρείται η πλήρης ή μερική απώλεια του εξωτερικού επιχρίσματος της τοιχοποιίας. Έπειτα, η πτώση της βροχής στην εκτεθειμένη τοιχοποιία δημιουργεί την εικόνα «διάτρητης» ή «λιωμένης» επιφάνειας, ενώ όταν είναι εκτεθειμένη η στέψη της τοιχοποιίας, σχηματίζεται έντονη οδόντωση. Όσο η τοιχοποιία παραμένει απροστάτευτη τα κενά της οδόντωσης επεκτείνονται καθοδικά και διευρύνονται, ώστε τελικά η τοιχοποιία να αποτελείται από κατακόρυφους προβόλους, ασύνδετους μεταξύ τους. Η μακροχρόνια έκθεση στη βροχή έχει συμβάλει και στην ανάπτυξη βλάστησης επί των τοίχων. Σε κάθε περίπτωση, οι διατομές μειώνονται σε σημείο που να αδυνατούν να παραλάβουν τα κατακόρυφα φορτία και τις εκτός επιπέδου φορτίσεις.

Άλλη εξαιρετικά συνηθισμένη φθορά αφορά στο σάπισμα και την κατάρρευση των εκτεθειμένων στα καιρικά φαινόμενα ξύλινων στοιχείων, ιδιαίτερα των εξωστών.



Φωτογραφία 5.1. Η δημιουργία κατακόρυφης στήλης πλιθιών συνεπάγεται μεγάλο κίνδυνο εκτός επιπέδου κατάρρευσης. Διακρίνονται και ρωγμές με σημείο εκκίνησης το μεσαίο άνοιγμα. Κτίριο στη Χαλάρα.



Φωτογραφία 5.2. Αποκόλληση της εξωτερικής τοιχοποιίας λόγω απουσίας σύνδεσης με τους εσωτερικούς εγκάρσιους τοίχους. Κτίριο στον Κρανιώνα



Φωτογραφία 5.3. Εμφάνιση κατακόρυφων ρωγμών στις γωνίες της τοιχοποιίας. Κτίριο στον Κρασιώνα (αριστερά, πηγή: [88]) και στον Άγιο Γερμανό (δεξιά).



Φωτογραφία 5.4. Η απουσία λίθινης βάσης (ή η άνοδος της στάθμης του εδάφους) επέτρεψε τη δράση της ανερχόμενης υγρασίας και την επιφανειακή εμφάνιση αλάτων. Είναι εμφανής και η ανάπτυξη βλάστησης στη στέγη του τοίχου.



Φωτογραφία 5.5. Σχηματισμός οδόντωσης στην τοιχοποιία. Με την πάροδο του χρόνου οι αυλακώσεις προεκτείνονται καθοδικά. Τρίγωνο Πρεσπών.



Φωτογραφία 5.6. Εικόνα «διάτρητης» τοιχοποιίας λόγω μακροχρόνιας έκθεσης στη βροχή. Λευκίνας Πρεσπών.



Φωτογραφία 5.7. Σταδιακή αποκόλληση των εξωτερικών επιχρισμάτων. Κτίριο στο Ανταρτικό.

5.2 Μακροσκοπική παρατήρηση της εξέλιξης φθοράς των κτιρίων μελέτης

Τα δύο κτίρια έχουν χτισθεί με ένα έτος διαφορά: το κτίριο Β το 1919, και ένα χρόνο αργότερα το κτίριο Α [18].

Το αρχαικό φωτογραφικό υλικό φανερώνει πως η χρόνια εγκατάλειψη και η έκθεση στα φυσικά στοιχεία έχουν συμβάλει στην εμφάνιση φθορών, ωστόσο η ανθρώπινη παρέμβαση έχει υπάρξει η πλέον καθοριστική, ώστε το κτίριο Α σήμερα να κινδυνεύει με πλήρη κατάρρευση.

Τα σημάδια των πρώτων χρόνων εγκατάλειψης των κτιρίων φαίνονται στη φωτογραφία 5.8 (1982). Το κεντρικό τμήμα της στέγης του κτ. Α έχει καταρρεύσει, όπως και ο κεντρικός εξώστης του. Το εξωτερικό επίχρισμα διατηρείται μόνο στο σαχνισί του κτ. Β και σημειακά στην κυρίως τοιχοποιία. Τα στέγαστρα, τα προκτίσματα, τα βοηθητικά κτίρια, και οι καμινάδες των εστιών έχουν μερικώς ή ολικώς χαθεί.

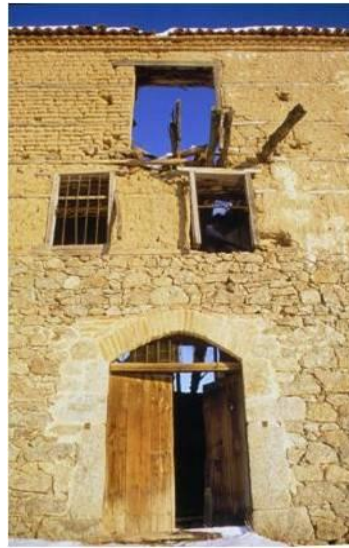
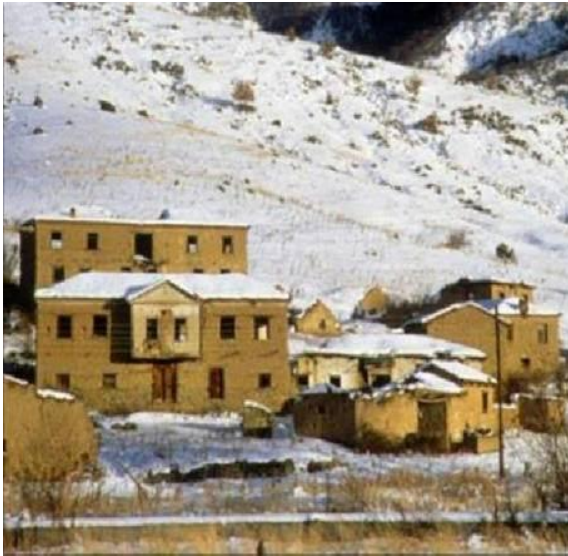
Η εξωτερική εικόνα των κτιρίων και των βοηθητικών κατασκευών παραμένει σχεδόν αναλλοίωτη έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990 (φωτ. 5.9).

Η απαρχή των εκτεταμένων φαινομένων παθολογίας του κτ. Α σημειώνεται στη δεκαετία του 2000, όταν και αφαιρούνται οι γωνιαίοι λίθοι των εγκάρσιων εξωτερικών τοιχοποιιών της ΝΔ και ΝΑ γωνίας (φωτ. 5.10).

Η ραγδαία επιδείνωση των δομικών στοιχείων του κτ. Α ως αποτέλεσμα της απώλειας των γωνιόλιθων και της καταστροφής της στέγης γίνεται εμφανής ακόμα και κατά το ολιγόμηνο διάστημα εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Κατά την επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε τον Δεκέμβριο 2014, οι τοιχοποιίες ήταν ακόμα σε καλή κατάσταση. Ωστόσο, τον Μάιο του 2015 η στέγη και, μερικώς, το πάτωμα του τρίτου ορόφου είχαν καταρρεύσει ως αποτέλεσμα και των έντονων βροχοπτώσεων του χειμώνα που προηγήθηκε. Τον Αύγουστο του 2015 παρατηρήθηκε η συνέχιση της πτώσης της νότιας τοιχοποιίας, ενώ το πάτωμα του τρίτου ορόφου είχε καταρρεύσει πλήρως (φωτογραφίες 5.12 και 5.13).

Στην εξέλιξη των ζημιών έχουν συμβάλει αναμφίβολα και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στα ξύλινα στοιχεία των κτιρίων- πριόνισμα και αφαίρεση δοκών και δαπέδων είτε για καύση είτε για χρήση ως κατασκευαστικών υλικών.

Κοινός τύπος των βλαβών σε όλα τα κτίρια είναι, τέλος, η ταχεία φθορά των εκτεθειμένων ξύλινων στοιχείων και οι αστοχίες εσωτερικών τοιχοποιιών ασθενώς συνδεδεμένων με την περιμετρική, εξωτερική τοιχοποιία.



Φωτογραφία 5.8. Τα κτίρια μελέτης και η είσοδος του κτ. Α (περ. 1982). Παρατηρείται η απώλεια των επιχρισμάτων, εκτός από το σαχνισί του κτ. Β, και η κατάρρευση του κεντρικού εξώστη και τμήματος της στέγης του κτ. Α. (Η φωτογραφία είναι από το προσωπικό αρχείο της κ. Ε. Εφεισίου, Καθηγήτρια, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ).



Φωτογραφία 5.9. Τα δύο κτίρια μελέτης το έτος 1992 (αριστερά, από το προσωπικό αρχείο της κ. Α. Γεωργαντά) και 1995 (δεξιά, από την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://goo.gl/lwEAC0>). Διακρίνονται σαφώς και τα βοηθητικά κτίσματα και η περίφραξη του κτ. Β.



Φωτογραφία 5.10.
Έτος 2003. Είναι
εμφανής η απώλεια
λίθων στις γωνίες του
κτ. Α αλλά και
περιμετρικά του
ανοίγματος της κύριας
εισόδου. Η κατάσταση
διατήρησης της
τοιχοποιίας και της
στέγης παραμένει
ακόμα σταθερή.
(Αρχείο κ. Ελ.
Γραμματικού).



Φωτογραφία 5.11. Η κατάσταση διατήρησης της στέγης του κτ. Α, σταθερή τα προηγούμενα χρόνια, αλλάζει εντυπωσιακά στο διάστημα 2005-2015 (αριστερά και δεξιά, αντίστοιχα). (Πηγή φωτ. αριστερά: αρχείο της κ. Ελ. Γραμματικού).



Φωτογραφία 5.12. Κτίριο Α. Παρά την ασθενή σύνδεση των εξωτερικών λιθοδομών, η νότια τοιχοποιία διατηρείται σε καλή κατάσταση (αριστερά, Δεκέμβριος 2014). Τον Μάιο του 2015 η ωμοπλινθοδομή και η λιθοδομή έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες, ενώ τον Αύγουστο του 2015 η κατάρρευση της νότιας τοιχοποιίας συνεχίζεται και το εναπομείναν κομμάτι της παρουσιάζει σημαντική κλίση.



Φωτογραφία 5.13. Μέσα σε λίγους μήνες ολοκληρώθηκε η κατάρρευση του πατώματος του τρίτου ορόφου του κτ. Α (Μάιος-Αύγουστος 2015).



Φωτογραφία 5.14. 2005 (αριστερά) – 2015 (δεξιά). Η εικόνα του κτιρίου Β παραμένει σχετικά αναλλοίωτη. Ο ασθενώς συνδεδεμένος μπαγδατότοιχος είναι η μόνη 'απώλεια'.



Φωτογραφία 5.15. Συνήθη σημεία εκκίνησης των καταρρεύσεων είναι οι περιοχές εξασθένησης της τοιχοποιίας (τζάκια, καμινάδες)

5.3 Επεμβάσεις στα κτίρια της περιοχής

Λιγοστά κτίρια από ωμόπλινθους της ευρύτερης περιοχής διατηρούν την αρχική τους χρήση. Τα περισσότερα είναι εγκαταλελειμμένα ενώ μεγάλος αριθμός αυτών χρησιμοποιούνται ως αποθηκευτικοί χώροι ή χώροι σταβλισμού ζώων. Η πρακτική αυτή έχει συμβάλει στη διάσωση αρκετών κτισμάτων. Συχνά, σύμφωνα με μαρτυρίες των κατοίκων, τα υλικά των πλινθόκτιστων κτιρίων αφαιρούνται και χρησιμοποιούνται σε άλλα κτίρια.

Τα πιο συνηθισμένα μέτρα επέμβασης τα οποία λαμβάνουν οι κάτοικοι της περιοχής είναι η αντικατάσταση της στέγης με νέα, η κατασκευή διαζωμάτων από σκυρόδεμα στη στέψη της τοιχοποιίας, η πλήρωση των κενών της τοιχοποιίας (με το αυθεντικό υλικό, ή συνθετέτερα με διάτρητους οπτόπλινθους) και το κλείσιμο ανοιχτών εξωστών, ανοιγμάτων και χαγιατιών. Η εφαρμογή νέων επιχρισμάτων, συχνά από τσιμέντο και ασβέστη, πολλές φορές καλύπτει προγενέστερα διακοσμητικά στοιχεία των προσόψεων.



Φωτογραφία 5.16. Μετατροπή κατοικίας σε χώρο αποθήκευσης. Πίσω διακρίνεται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ στη στέγη κτιρίου από ωμόπλινθους. Καρυές Πρεσπών.



Φωτογραφία 5.17. Ανακατασκευή τοίχων με διάτρητους οπτόπλινθους και κατασκευή σενάζ από μπετόν. Κτίριο στον Άγιο Γερμανό. (πηγή: προσωπικό αρχείο κ. Θάνου Τριανταφυλλίδη)



Φωτογραφία 5.18. Αποκατάσταση κτιρίου στον Μηλιώνα. Έγινε εφαρμογή χωμάτινου επιχρίσματος, ωστόσο το έντονα κόκκινο/κεραμιδί χρώμα του μαρτυρά την προέλευση της πρώτης ύλης από άλλη περιοχή. (πηγή φωτ. αριστερά: <http://www.prespes.gr>)



Φωτογραφία 5.19. Είναι εμφανής η πρόθεση του ιδιοκτήτη της αποθήκης στον οικισμό Οξιά Πρεσπών να καλύψει τον ανάγλυφο διάκοσμο της –σήμερα – αποθήκης. Η διακόσμηση, ωστόσο, φανερώνει πως το ισόγειο μακρόστενο αυτό κτίσμα αποτελεί μάρτυρα της πρώτης μορφής κατοικίας στην περιοχή. (πηγή φωτ. αριστερά: [12])



Φωτογραφία 5.20. Κατασκευή νέας στέγης με ξύλινο φορέα και διαζώματα, αντικατάσταση κεραμιδιών και αντικατάσταση ωμόπλινθων με τούβλα με οπές. Κτίριο στον Κώτα.



Φωτογραφία 5.21. Κατασκευή νέας στέγης με ξύλινα διαζώματα σε κτίριο στον Μηλεώνα. Η τοιχοποιία, προστατευμένη από το επίχρισμα, διατηρείται σε πολύ καλή κατάσταση. (πηγή: αρχείο κ. Αγγέλας Γεωργαντά)

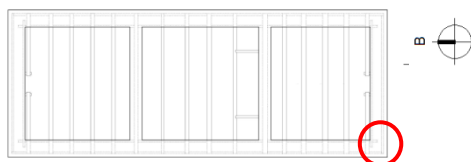
ΜΕΡΟΣ Γ΄

Πειραματική και αναλυτική διερεύνηση

6. Εργαστηριακές δοκιμές ωμόπλινθων

6.1 Γενικά

Το σύνολο των ωμόπλινθων που εξετάστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών της Σχολής Αρχιτεκτόνων του Ε.Μ.Π. συλλέχθηκαν από σωρό του κτιρίου Α. Συνολικά συλλέχθηκαν 16 ωμόπλινθοι, διαστάσεων 17-35 cm (μήκος), 7-9 cm (πάχος), 10-14 cm (ύψος).



Φωτογραφία 6.1. Σημείο συλλογής ωμόπλινθων

Για την εκτίμηση της πυκνότητας των ωμοπλίνθων μετρήθηκε ο όγκος ενός στοιχείου, γνωστού βάρους, με τη βύθιση του σε κουβά με ποταμίσια άμμο γνωστού όγκου. Η πυκνότητα που προέκυψε, μετά από 4 επαναλήψεις της δοκιμής με διαφορετικές ωμόπλινθους, είναι περίπου 1.460kg/m^3 .



Φωτογραφία 6.2. Εκτίμηση πυκνότητας των ωμόπλινθων

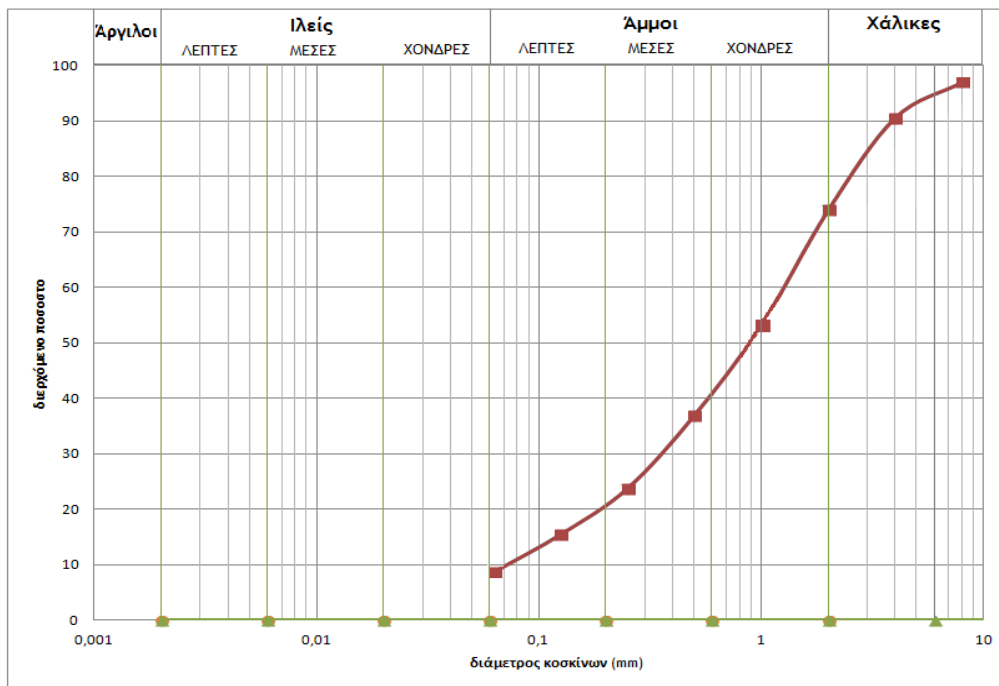
6.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Κομμάτι ωμής πλίνθου, βάρους 0,5kg, θρυμματίστηκε με γουδοχέρι και μέσω της μεθόδου ξηρού κοσκινίσματος, αφού προηγουμένως αφαιρέθηκαν τα κομμάτια άχυρου, κατανεμήθηκε σε κλάσματα ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων [62].



Φωτογραφία 6.3. Η διαδικασία διαχωρισμού του υλικού σε κλάσματα

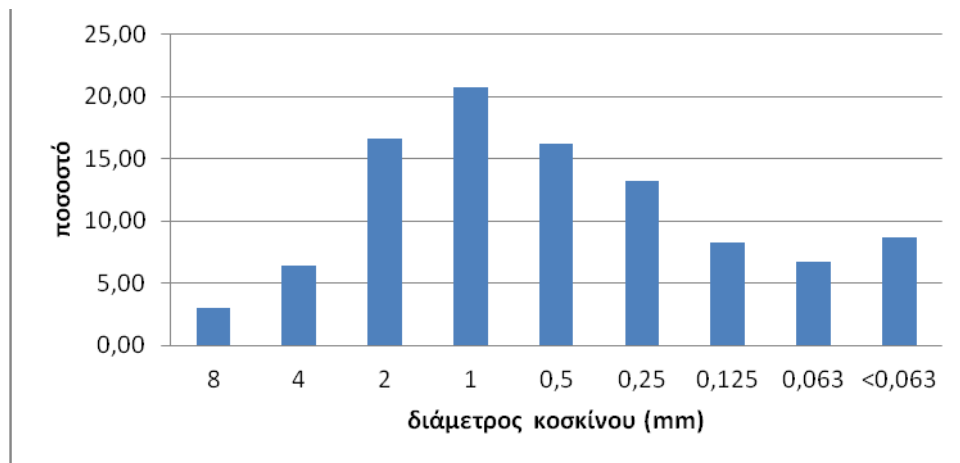
Η κοκκομετρική καμπύλη που προέκυψε παρουσιάζει το συνολικό διερχόμενο ποσοστό ύλης ανά κόσκινο (διάγραμμα 6.1)



Διάγραμμα 6.1. Κοκκομετρική καμπύλη ωμόπλινθου

Πίνακας 6.1. Συγκρατούμενο ποσοστό ανά είδος εδάφους

Συγκρατούμενο ποσοστό (%)				
Χάλικες	Άμμοι			Ιλείς & άργιλοι
	Χονδρές	Μέσες	Λεπτές	
25	33	20	14	8

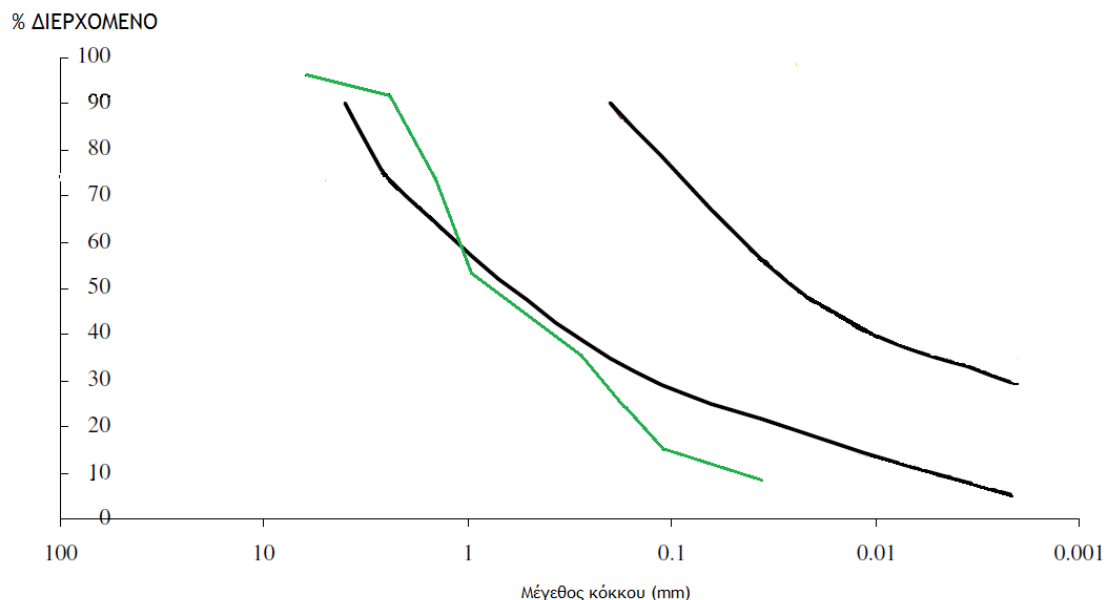


Διάγραμμα 6.2. Κατανομή του ποσοστού συγκρατούμενης μάζας αδρανών

Παρατηρείται μια αρκετά ομαλή κατανομή των κόκκων ανά μέγεθος - ο συντελεστής ανομοιομορφίας $C_u = D_{60}/D_{10}$ είναι ίσος με 20, άρα το υλικό είναι καλά διαβαθμισμένο (>5). Το μεγαλύτερο κατά βάρος ποσοστό κόκκων είναι χονδρή άμμος (περ. 33%), χάλικες (περ. 25%), και μέση άμμος (περ. 20%).

Σημειώνεται πως ο Περουβιανός κανονισμός, για κατασκευή με ωμοπλινθοδομή, απαιτεί μέγιστο μέγεθος κόκκου 5mm, ενώ αντίστοιχα κατά τα πρότυπα της Αυστραλίας είναι επιθυμητά τα μεγέθη έως 25mm. Στα τελευταία, αναφέρονται, επίσης, ως επιθυμητά ποσοστά για την άργιλο 10-40%, για την ιλύ 10-30% και για την άμμο και λεπτούς χάλικες (2-6mm) 30-75%.

Στο ακόλουθο σχήμα συγκρίνεται η κοκκομετρική καμπύλη του υπό μελέτη υλικού σε σχέση με τις συστάσεις των Houben και Guillaud για κατασκευή ωμοπλινθοδομών [93].



Διάγραμμα 6.3. Κοκκομετρική καμπύλη των υπό μελέτη ωμοπλινθων σε σχέση με τις συστάσεις των Houben και Guillaud

Η σύγκριση με τα πρότυπα του Περου και τις συστάσεις των Houben και Guillaud δείχνει πως το υπό εξέταση υλικό έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μεγάλων διαστάσεων κόκκους, ενώ η σύγκριση με τα πρότυπα της Αυστραλίας δείχνει έλλειμμα σε άργιλο και ιλύ.

Για τον καθορισμό των κόκκων μικρής διαμέτρου (λεπτής γης) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του αραιόμετρου (μέθοδος Βουγιούκου) [94]. 50g ύλης κάτω των 2mm αναδεύτηκαν σε 40ml διαλύματος διασποράς και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν στον ογκομετρικό κύλινδρο όπου προστέθηκε απιονισμένο νερό έως ότου ο όγκος του διαλύματος, μαζί με το πυκνόμετρο, φτάσει τα 1.130ml. Ο ογκομετρικός κύλινδρος, αφού τοποθετήθηκε το πώμα, περιστράφηκε αρκετές φορές. Η πρώτη μέτρηση, που καταγράφει τους κόκκους με διάμετρο <0,05mm δηλαδή την ιλύ και την άργιλο, λήφθηκε στα 40s (για να καθιζάνουν οι κόκκοι άμμου) και η επόμενη με το πέρασ 2 ωρών, όταν πια η ιλύς έχει κατέβει στον πυθμένα και μπορεί να καταγραφεί το ποσοστό αργίλου (<0,002mm). Οι μετρήσεις που καταγράφηκαν πρέπει να διορθωθούν με τον κατάλληλο συντελεστή, ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση της θερμοκρασίας στο ιξώδες του μέσου, το οποίο επηρεάζει την ταχύτητα καθίζησης των κόκκων.



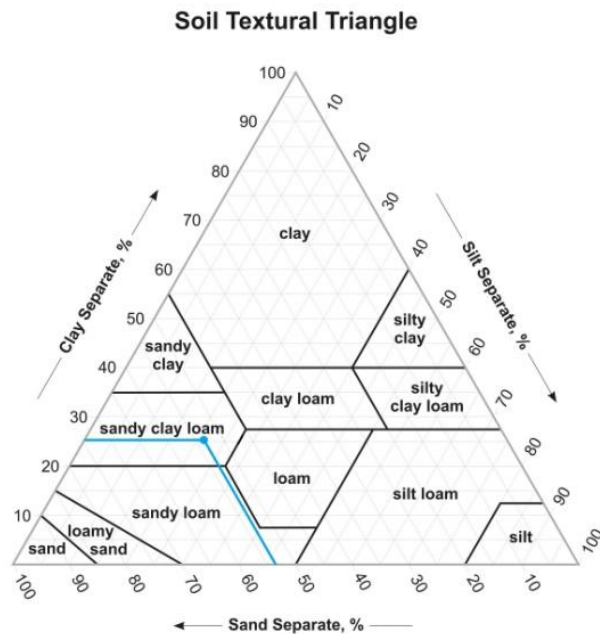
Φωτογραφία 6.4. Εκτέλεση της μεθόδου Βουγιούκου

Πίνακας 6.2. Διορθωτικοί συντελεστές

	T (°C)	Διορθ. συντελεστής	Ένδειξη	Ποσοστό ύλης (%)
Πρώτη μέτρηση	24	$(24-20)*0,3=1,2$	22	$(22+1,2)*2=46,4$
Δεύτερη μέτρηση	23,5	$(23-20)*0,3=0,9$	12	$(12+0,9)*2=25,8$

Συνεπώς, το ποσοστό άμμου είναι 53,6%, το ποσοστό αργίλου 25,8% και το ποσοστό ιλύος 20,6%. Τα ποσοστά τα οποία συνιστά ο Περουβιανός κανονισμός για κατασκευή με ωμοπλινθοδομή είναι, αντίστοιχα, 55-70%, 10-20% και 15-25% [95].

Για την κατάταξη του εδάφους σε κλάσεις κοκκομετρικής σύστασης γίνεται χρήση των τριγωνικών συντεταγμένων του Αμερικάνικου Υπουργείου Γεωργίας, από όπου προκύπτει πως το έδαφος ανήκει στην κλάση sandy clay loam (αμμοαργιλοπηλώδης / αμμώδης αριλοπηλός), χαρακτηρίζεται ως μετρίως λεπτόκοκκο, και κατατάσσεται στην ομάδα μηχανικής σύστασης πηλώδη [96].



Διάγραμμα 6.4. Κατάταξη του εδάφους σε κλάσεις κοκκομετρικής σύστασης

6.3 Αντοχή σε θλίψη

6.3.1 Γενικά για τη διαδικασία της δοκιμής σε θλίψη

Είναι χρήσιμο, καταρχήν, να αναφερθεί η επίδραση των διαφορετικών παραγόντων που υπεισέρχονται στη διαδικασία της δοκιμής στα τελικά αποτελέσματα [97].

- *Δοκιμές σε ολόκληρη ωμόπλινθο, ή σε δοκίμια*

Η εξέταση ενός δοκιμίου που έχει κοπεί από ολόκληρη ωμόπλινθο, λόγω της ανομοιογένειας του υλικού, μπορεί να έχει διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με τις αντοχές μιας ολόκληρης ωμόπλινθου. Η ανομοιογένεια αυτή είναι φυσικό επακόλουθο της μη-βιομηχανοποιημένης παραγωγής των ωμόπλινθων.

- *Το σχήμα του δοκιμίου*

Δοκιμές σε δοκίμια ωμόπλινθων, κυβικά και κυλινδρικά, έδωσαν την ακόλουθη σχέση συσχετισμού των δυο σχημάτων:

$f_{c,cyl} = 0.94f_{c,cub}$, όπου $f_{c,cyl}$ και $f_{c,cub}$ η θλιπτική αντοχή των κυλινδρικών και κυβικών δοκιμίων αντίστοιχα [98].

Σε πειράματα σε συμπιεσμένες ωμόπλινθους διαπιστώθηκε η διαφορά ανάμεσα στις τιμές αντοχών κυλινδρικών και πρισματικών δοκιμίων, ωστόσο δεν κατέστη δυνατή η εξαγωγή μιας καλής σχέσης συσχετισμού μεταξύ των δύο [30].

- *Οι διαστάσεις του δοκιμίου*

Η εφαρμογή των θλιπτικών φορτίων γίνεται μέσω δύο παράλληλων πλάκων, οι οποίες εφαρμόζουν ομοιόμορφα το φορτίο στις επιφάνειες του δοκιμίου. Όσο αυξάνεται το φορτίο, το δοκίμιο εξαναγκάζεται να διογκωθεί πλευρικά, ωστόσο η αναπτυσσόμενη δύναμη τριβής ανάμεσα στο δοκίμιο και τις πλάκες περιορίζει την διόγκωση αυτή. Ο περιορισμός αυτός αυξάνει, φαινομενικά, την αντοχή του δοκιμίου. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος του ύψους προς το πάχος του δοκιμίου, τόσο μικρότερος είναι ο περιορισμός που ασκούν οι πλάκες.

Καθώς το φαινόμενο αυτό δε μπορεί να εξαλειφθεί τελείως, η υιοθέτηση σταθερών γεωμετρικών διαστάσεων για όλες τις δοκιμές είναι ο μόνος τρόπος να παραχθούν συγκρίσιμα αποτελέσματα.

- *Η διεύθυνση φόρτισης*

Καθώς η μέθοδος παραγωγής ωμόπλινθων συνεπάγεται πολλές φορές την ανομοιογένεια του τελικού στοιχείου, συνίσταται η εφαρμογή των φορτίων θλίψης στην ίδια διεύθυνση με τις πραγματικές συνθήκες φόρτισης.

- *Περιεχόμενη υγρασία*

Η αύξηση της υγρασίας συνεπάγεται μειωμένες αντοχές καθώς χαλαρώνουν οι δεσμοί συνοχής του υλικού. Για τον λόγο αυτό, οι μετρήσεις πρέπει να ανταποκρίνονται στις συνθήκες λειτουργίας των ωμόπλινθων [97].

- *Μέθοδος μέτρησης*

Διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η μέθοδος RILEM¹⁵ έχει μεγάλες αποκλίσεις από την άμεση μέτρηση ακόμα και αφού έχει ληφθεί υπόψη η επίδραση της τριβής των πλακών θλίψης που αναφέρθηκε προηγουμένως. Αποκλίσεις έχουν προκύψει και στα αποτελέσματα έμμεσων μετρήσεων, δηλαδή μέσω της κάμψης τριών σημείων και της εξαγωγής τιμών θλιπτικής αντοχής με τη χρήση συναρτήσεων συσχετισμού των δυο μεγεθών [97].

Για την κατάλληλη προετοιμασία των δοκιμών και της πειραματικής διαδικασίας συνολικά έγινε εκτενής μελέτη της βιβλιογραφίας. Διαπιστώθηκε πως, παρά την πληθώρα πειραματικών δοκιμών, η *απουσία προτυποποιημένης διαδικασίας* οδηγεί σε διαφοροποιήσεις σε κρίσιμες παραμέτρους, καθιστώντας δύσκολη τη σύγκριση αποτελεσμάτων από διαφορετικές δοκιμές. Στον ακόλουθο πίνακα γίνεται μια προσπάθεια συγκέντρωσης των παραμέτρων απόκλισης ορισμένων ενδεικτικών δοκιμών, ενώ για λόγους σύγκρισης, παρατίθενται και οι σχετικές συστάσεις του Νεοζηλανδικού προτύπου NZS 4298:1998.

¹⁵ Συνίσταται στη δοκιμή κομμένων στη μέση ωμόπλινθων και τοποθέτησής του ενός κομματιού μισής ωμόπλινθου επάνω στο άλλο, με έναν ενδιάμεσο αρμό κονιάματος. Επιτυγχάνεται έτσι η αύξηση του λόγου ύψους/πλάτους δοκιμίου και η προσομοίωση –όσο το δυνατόν– των πραγματικών κατασκευαστικών συνθηκών.

Τίτλος εργασίας	Τύπος δοκιμών	Αριθμός δοκιμών	Ταχύτητα φόρτισης	‘Καπέλωμα’ δοκιμών	Επεξεργασία αποτελεσμάτων
Enhancing sustainability of rural adobe houses of hills by addition of vernacular fiber reinforcement (Ινδία)	Κυλινδρικά, διαμέτρου 3,8cm και ύψους 7,6cm & Πρισματικά, 19*9*9cm ³	180	0,04 mm/min	-	Αποτελέσματα με απόκλιση πάνω από ±5% δεν λήφθηκαν υπόψη
Mechanical characterization of traditional adobe masonry elements (Πορτογαλία)	Κυλινδρικά, διαμέτρου 8,2-8,7cm και ύψους 17cm	10	2 mm/min	Αυτοεπιπεδούμενη κονία, 5mm	-
Μελέτη τροποποιημένων επιχρισμάτων με βάση τον πηλό για την προστασία ωμοπλινθοδομών έναντι υγρασίας (Ελλάδα)	Πρισματικά, 4*4*6cm ³	3	-	Κανένα	-
Τοιχοποιία από πηλό: πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από συμπιεσμένες ωμοπλίνθους (Ελλάδα)	Κυβικά, 8*8*8cm ³	10	Εκδήλωση αστοχίας σε χρόνο φόρτισης < 3min	Αυτοεπιπεδούμενη κονία, 3-5mm	-
Strength and elasto-plastic properties of non-industrial building materials manufactured with clay as a natural binder (Γαλλία)	Πρισματικά, 7*6*14 cm ³	12	0,01 mm/s	-	-
Properties of some cement stabilised compressed earth blocks and mortars (Αυστραλία)	Πρισματικά, 29,5*14*12,5 cm ³	5	3,5 MPa/min	Κόντρα-πλακέ 4mm	Υπολογισμός ανεμπόδισης θλιπτικής αντοχής & χρήση διορθ. συντελεστή για τις αναλογίες του δοκιμίου
Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions (Πορτογαλία)	Κυλινδρικά, διαμέτρου 8-9cm	83	1–2 mm/min	Κανένα	Δεν αναφέρεται
The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes (Τουρκία)	Κυβικά, 10*10*10cm ³	6	-	Κανένα	-
Mechanical characterisation of traditional adobes from the north of Spain (Ισπανία)	Πρισματικά, 10*12*25cm ³	18	-	Κανένα	-
A study of the mechanical behaviour of adobe masonry (Κύπρος)	Πρισματικά, 5*10*10cm ³	187	4,5 mm/min	Λείανση με ηλ. τριβείο	Λήφθηκε υπόψη η τιμή της φόρτισης για παραμόρφωση 33%
Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre (Ισπανία)	Πρισματικά, 4*4*8 cm ³	14	-	-	-
Experimental analysis and modelling of the mechanical behaviour of earthen bricks (Ιταλία)	Πρισματικά, 31*46*13 cm ³ , και 15*23*23 cm ³	-	-	Λεπτό στρώμα άμμου & φιλμ πάνω στη στρώση άμμου	-
An Experimental Study On Damage Evolution of Unfired Dry Earth Under Compression (Ιταλία, Πολωνία)	Κυβικά 5*5*5 cm ³ & Πρισματικά, 4,5*5,8*11,2 cm ³	-	-	Λεπτό στρώμα άμμου & φιλμ πάνω στη στρώση άμμου	-
Πρότυπο NZS 4298:1998	Λόγος ύψους προς πλάτος (μικρ. Διάσταση): 0,4-5. Συνιστώνται κυβικά δοκίμια διαστάσεων 20*20*20cm ³	Τουλάχιστον 5	- ¹⁶	-	Αποκλείονται τα σαφώς μη-φυσιολογικά αποτελέσματα, ή οι τιμές συγκεκριμένου εύρους τιμών. ¹⁷ Να λαμβάνεται υπόψη ο διορθ. συντ. για τις αναλογίες του δοκιμίου

¹⁶ Το Australian earth building handbook προτείνει μια τιμή μεταξύ 1-5 mm/min

¹⁷ Το εύρος αυτό ισούται με $f_{spe} \pm 3(X_s/X_a)f_{spe}$, όπου f_{spe} ο μ.ο. των τιμών αφού έχουν αποκλειστεί οι σαφώς μη-φυσιολογικές τιμές, X_s η τυπική απόκλιση και X_a η μέση τιμή μιας συγκεκριμένης σειράς μετρήσεων.

Είναι χαρακτηριστικό πως ακόμα και οι ίδιοι ερευνητές σε διαφορετικές εργασίες τους εφαρμόζουν διαφορετική μέθοδο προετοιμασίας και εκτέλεσης των δοκιμών. Η χρήση πρότυπων ή κανονισμών άλλοτε αναφέρεται, άλλοτε όχι. Ακόμα και όταν υπάρχει σαφής αναφορά σε συγκεκριμένα πρότυπα, δε διευκρινίζεται πάντοτε σε ποιες παραμέτρους της διαδικασίας αυτά βρίσκουν εφαρμογή. Η επίδραση της γεωμετρίας, αν και σημαντική, σπάνια λαμβάνεται υπόψη, και οι ερευνητές αρκούνται στη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων. Για την απαλοιφή των 'φαινομένων κλίμακας' και την εξαγωγή τιμών ανεμπόδιστης θλίψης το πρότυπο NZS 4298:1998 συνιστά τον πολλαπλασιασμό των αποτελεσμάτων της μέτρησης με τους διορθωτικούς συντελεστές του πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3. Διορθωτικοί συντελεστές αναλογίας

	Διορθωτικός συντελεστής αναλογίας k_a			
Λόγος ύψος/πάχος δοκιμίου	0,4	1	2	≥ 5
Διορθωτικός συντελεστής αναλογίας k_a	0,5	0,7	0,8	1

Καθώς οι περισσότερες δοκιμές προσπαθούν να ακολουθήσουν τα πρότυπα δοκιμών για οπτόπλινθους και στοιχεία σκυροδέματος [97], δεν υπάρχει καμία καθοδήγηση για την περίπτωση δοκιμών που συλλέγονται από υπάρχουσες κατασκευές ωμόπλινθων. Παραβλέπονται, έτσι

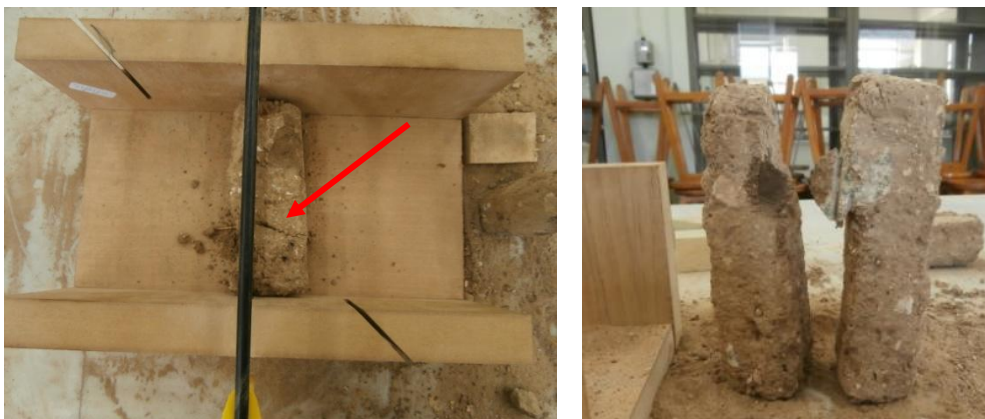
- ο περιορισμός στη λήψη πολλών ωμόπλινθων από ιστορικές κατασκευές υπό καθεστώς προστασίας ή σε απομακρυσμένες περιοχές,
- η πρακτική δυσκολία κοπής των ωμόπλινθων για την παραγωγή δοκιμών, χωρίς να προκληθεί φθορά στο υλικό
- η μη ικανοποιητική επιπεδότητα των πλευρών του δοκιμίου,
- η ύπαρξη κενών ή προεξεχόντων αδρανών στις επιφάνειες των ωμόπλινθων ή των δοκιμών,
- η ποικιλία μεγεθών των χρησιμοποιούμενων πλίνθων (ακόμα και στην ίδια κατασκευή),
- η –συνήθως– πολύ χαμηλή θλιπτική αντοχή των διαβρωμένων πλίνθων που ενδεχόμενα είναι υπολείπεται των ορίων των διαθέσιμων στα περισσότερα εργαστήρια συσκευών θλίψης

6.3.2 Προετοιμασία δοκιμών

Το είδος των προς εξέταση δοκιμών αποφασίστηκε, έπειτα από εξέταση της βιβλιογραφίας και αφού είχαν ληφθεί υπόψη οι περιορισμοί που προέκυπταν από τον διαθέσιμο εξοπλισμό, να είναι κυβικά, διαστάσεων $5*5*5\text{cm}^3$.

Για τον τεμαχισμό της ωμόπλινθου σε δοκίμια έγινε χρήση σιδηροπρίονου με λάμα κοπής κεραμικών στοιχείων. Καθώς τα φαλτσοκούτια που ήταν διαθέσιμα στο εμπόριο ήταν στενά και χαμηλού ύψους, φτιάχτηκε ένα κατάλληλο για τις διαστάσεις των συγκεκριμένων ωμόπλινθων. Η ρηγμάτωση της ωμοπλίνθου, αλλά και η δυσκολία κοπής των αδρανών ήταν οι κυριότερες δυσκολίες κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των δοκιμών. Σε πολλές περιπτώσεις τα αδρανή της τελικής επιφάνειας αποκολλούνταν από τη θέση τους δημιουργώντας κοιλότητες στο δοκίμιο. Το 'καπέλωμα', αφού προηγήθηκε η λείανση της επιφάνειας των δοκιμών με ράσπες, έγινε με χρήση γύψου καλλιτεχνίας.

Το μέσο βάρος των κυβικών δοκιμών ήταν 176gr, που αυξήθηκε σε 219gr με την επίστρωση γύψου.



Φωτογραφία 6.5. Η ρηγμάτωση της ωμοπλίνθου, αλλά και η αδυναμία κοπής των αδρανών ήταν οι κυριότερες δυσκολίες κατά τη διαδικασία διαμόρφωσης των δοκιμίων.



Φωτογραφία 6.6. Κοπή και διαμόρφωση των τελικών δοκιμίων.



Φωτογραφία 6.7. 'Καπέλωμα' των δοκιμίων με λεπτή στρώση γύψου

6.3.3 Αποτελέσματα

Οι δοκιμές θλίψης έγιναν με τη μηχανή δοκιμών θλίψης-κάμψης ToniPrax. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε κατά τη διεύθυνση φόρτισης του υλικού σε πραγματικές συνθήκες σε 14 δοκίμια, περιεχόμενης υγρασίας $0,09\text{cm}^3/\text{cm}^3$ ¹⁸. Η ταχύτητα της φόρτισης ορίστηκε σε 1MPa/min.

Τα αποτελέσματα από τα 14 δοκίμια, καθώς και οι τιμές ανεμπόδιστης θλίψης παρουσιάζονται στον πίνακα 6.4:

¹⁸ Η εκτίμηση της περιεχόμενης υγρασίας έγινε έπειτα από ξήρανση δοκιμίων στους 150°C για 24 ώρες.

Πίνακας 6.4. Αποτελέσματα δοκιμών θλίψης

#	βάρος (g)	F (kN)	σ_c (MPa)	Ανεμπόδιση σ_c (MPa)
1	158,6	4	1,6	1,12
2	170,5	3,6	1,4	0,98
3	188,5	3,6	1,4	0,98
4	192	4	1,6	1,12
5	189	3,2	1,3	0,91
6	171,4	3,6	1,4	0,98
7	165	3,3	1,3	0,91
8	182,5	3,6	1,5	1,05
9	185,5	4,5	1,8	1,26
10	190,5	3,9	1,6	1,12
11	178	3,6	1,4	0,98
12	170,3	4,9	1,9	1,33
13	172	2,9	1,2	0,84
14	160,3	5,4	2,2	1,54

Ο μέσος όρος της $\sigma_c=1,54\text{MPa}$ και της ανεμπόδισης $\sigma_c = 1,08\text{MPa}$. Η τυπική απόκλιση των μετρήσεων είναι $s=0,26\text{MPa}$.

Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν κάποια συσχέτιση με το βάρος των δοκιμών, είναι εντός του εύρους τιμών που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία για τη συγκεκριμένη πυκνότητα, ενώ είναι ελαφρά ή σημαντικά χαμηλότερα των απαιτήσεων των σχετικών κανονισμών (βλ. ενότητα 2.2.4).



Φωτογραφία 6.8. Τοποθέτηση στη συσκευή και εικόνα θραύσης ορισμένων δοκιμών.

Κάμψη τριών σημείων

Παράλληλα με τις δοκιμές σε θλίψη, πραγματοποιήθηκε και ένας έλεγχος κάμψης τριών σημείων.

Το αποτέλεσμα για ωμόπλινθο διαστάσεων 58mm (πάχος) * 100mm (πλάτος) * 240mm (μήκος), και απόσταση των στηρίξεων 190mm, ήταν 0,23MPa, εντός του εύρους της βιβλιογραφίας (βλ. ενότητα 2.2.1).

Έχει γίνει προσπάθεια από πολλούς ερευνητές να συσχετίσουν τις τιμές θλιπτικής αντοχής και κάμψης τριών σημείων, η διασπορά ωστόσο των αποτελεσμάτων δεν επιτρέπει την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων, παρά μόνο εκτιμήσεις για το κατώτατο όριο τιμών της θλιπτικής αντοχής [97]. Η Μπέη αναφέρει πως ο πολλαπλασιαστικός συντελεστής 5 δίνει την τιμή της θλιπτικής αντοχής [30]- στην προκειμένη περίπτωση 1,15MPa, πολύ κοντά στην τιμή της ανεμπόδισης θλιπτικής αντοχής.

6.4 Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας

6.4.1 Διάταξη μέτρησης

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με χρήση διάταξης Προστατευμένης Θερμής Πλάκας (Guarded Hot Plate), τύπου TLP-300 DT. Το μετρητικό εύρος είναι 0,01-1W/mK, και οι απαιτούμενες διαστάσεις του δοκιμίου 20-80¹⁹*100-300*100-300 mm³. Το εύρος του σφάλματος της διάταξης είναι 0,05-2,96%.²⁰

Η διάταξη Προστατευμένης Θερμής Πλάκας αποτελείται ουσιαστικά από 3 μέρη (εικόνα 6.1). Μια κεντρικά τοποθετημένη θερμή πλάκα, και 2 ψυχρές πλάκες τοποθετημένες πάνω και κάτω από την θερμή πλάκα. Ενδιάμεσα στις πλάκες τοποθετούνται δύο δείγματα του προς εξέταση υλικού. Η θερμοκρασία στις επιφάνειες του δείγματος καταγράφεται μέσω θερμοστοιχείων.



Εικόνα 6.1. Σχηματική αναπαράσταση διάταξης μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας

Η θερμότητα ρέει από την θερμή πλάκα προς τις ψυχρές, έχοντας περάσει από τα δείγματα. Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ψυχρής και θερμής πλάκας διατηρείται σταθερή έως ότου επιτευχθεί κατάσταση ισορροπίας (steady state) στο προς εξέταση υλικό. Στη συνέχεια, ο υπολογισμός της θερμικής αγωγιμότητας λ γίνεται βάσει του νόμου του Fourier:

$$\lambda = q \cdot d / \Delta T$$

Όπου q (W/m²) η ροή θερμότητας, d (m) το πάχος του δοκιμίου, και ΔT (K) η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ ψυχρής και θερμής πλάκας. Η ακρίβεια της μέτρησης εξαρτάται κύρια από τον σωστό υπολογισμό της θερμότητας q .

Οι συνθήκες στην αίθουσα της μέτρησης ήταν 42% σχ. υγρασία, ενώ η θερμοκρασία κυμαινόταν στους 16-22°C.

6.4.2 Προετοιμασία δοκιμίου

Η χρήση της μεθόδου Προστατευμένης Θερμής Πλάκας, αν και αρκετά χρονοβόρα, εξασφαλίζει αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας, ωστόσο ενέχει περιορισμούς αναφορικά με το εύρος των δοκιμίων που μπορούν να εξεταστούν. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή συνίσταται για υλικά χαμηλής αγωγιμότητας (ώστε να επιτευχθεί η ζητούμενη διαφορά θερμοκρασίας σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα), ενώ απαιτούνται δοκίμια με λείες, επίπεδες και παράλληλες μεταξύ τους πλευρές (ώστε να ελαχιστοποιούνται τα κενά αέρα ανάμεσα στις πλάκες και το δοκίμιο), μεγέθους επιφάνειας τέτοιου ώστε να καλύπτεται η θερμαινόμενη πλάκα και να μην υπάρχουν πλευρικές απώλειες, και πάχους δοκιμίου τέτοιου ώστε να καλύπτεται η ελάχιστη δυνατή μετρούμενη αγωγιμότητα.

¹⁹ Το απαιτούμενο πάχος του δοκιμίου είναι συνάρτηση της εκτιμώμενης αγωγιμότητας του υλικού.

²⁰ Εγχειρίδιο χρήσης TLP-300 DT, Taurus Instruments

Είναι προφανές πως η εύρεση 2 δοκιμίων από τα κτίρια μελέτης που να πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις και να είναι παρόμοιων διαστάσεων είναι αδύνατη. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκαν ωμόπλινθοι ελάχιστου πάχους 6-8cm, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση της αγωγιμότητας του υλικού (περ. 0,6-0,8 W/mK), κόπηκαν με σιδηροπρίονο σε διαστάσεις περ. 14*14cm, και στη συνέχεια εξασφαλίστηκε η επιπεδότητα των επιφανειών με μια λεπτή στρώση γύψου. Η επίδραση του γύψου, πάχους 0,5cm, στην τελική μέτρηση της αγωγιμότητας εκτιμήθηκε σε περίπου 2,25%²¹.



Φωτογραφία 6.9. Κοπή ωμόπλινθου σε κατάλληλες διαστάσεις, 'καπέλωμα' με γύψο για τη δημιουργία λείας επιφάνειας με προσοχή ώστε το τελικό πάχος του γύψου να είναι το ελάχιστο δυνατό.

6.4.3 Αποτελέσματα μετρήσεων

Έπειτα από βαθμονόμηση της συσκευής με μέτρηση υλικών γνωστού πάχους και αγωγιμότητας, πραγματοποιήθηκαν αρχικά τρεις μετρήσεις.

Η πρώτη μέτρηση, μη-συμμετρική, πραγματοποιήθηκε με δοκίμιο αναφοράς μια πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης, διαστάσεων 30*30*3,1cm και αγωγιμότητας 0,03393W/mK. Για να περιοριστούν οι ανομοιότητες στη θέρμανση μεταξύ του δοκιμίου αναφοράς και της ωμόπλινθου (διαστάσεων 14,5*14,5*8,5cm και βάρους 2,75kg), και να αυξηθεί η αγωγιμότητα του δοκιμίου αναφοράς (μείωση του πάχους του), η δεύτερη, επίσης μη-συμμετρική, μέτρηση επαναλήφθηκε με μια πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης διαστάσεων 20*20*1,12cm, αγωγιμότητας 0,0305W/mK. Η τελευταία μέτρηση πραγματοποιήθηκε με δυο δοκίμια ωμόπλινθων όσο το δυνατόν όμοιων διαστάσεων.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, που έγιναν σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, και με διαφορά θερμοκρασίας θερμής και ψυχρής πλευράς περίπου 7°C, φαίνονται στον πίνακα 6.5.

²¹ Υπολογίστηκε η αντίσταση του ωμόπλινθου μαζί με τη στρώση γύψου ($R_{\text{ισοδ}}$), ως άθροισμα της θερμικής αντίστασης γύψου (πάχους 0,5cm) και της ωμής πλίνθου (πάχους 8cm) (R_{Γ} , R_{Ω}).
 $R_{\text{ισοδ}}=R_{\Gamma}+R_{\Omega} \Rightarrow d_{\text{ισοδ}}/\lambda_{\text{ισοδ}}=0,005/0,43+0,08/0,6=0,1449 \Rightarrow 0,085/\lambda_{\text{ισοδ}}=0,1449 \Rightarrow \lambda_{\text{ισοδ}}=0,586 \text{ W/mK}$

Πίνακας 6.5. Αποτελέσματα μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας

Μέση θερμοκρασία μέτρησης (°C)	Θερμική αγωγιμότητα λ (W/mK)		
	Μέτρηση 1 (μη-συμμετρική, EPS thick panel)	Μέτρηση 2 (μη-συμμετρική, EPS slim panel)	Μέτρηση 3 (συμμετρική)
10	0,638	0,598	0,632
20	0,820	0,797	0,767
30	1,03	1,02	0,981

Στα αποτελέσματα του πίνακα πρέπει να ληφθούν υπόψη το εύρος σφάλματος που δίνουν οι κατασκευαστές της συσκευής (0,05-2,96%) και η ευνοϊκή επίδραση του γύψου (περ. 2,25%).

Πρέπει να σημειωθεί πως η έλλειψη δεδομένων μετρήσεων της θερμικής αγωγιμότητας ωμόπλινθων από υπάρχουσες κατασκευές καθιστά δύσκολη την σύγκριση των εδώ εξεταζόμενων αποτελεσμάτων. Η δυσκολία αυτή επιτείνεται και εξαιτίας της απουσίας πληροφοριών σχετικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους των δοκιμών (π.χ. θερμοκρασία μέτρησης) που εξετάστηκαν στην βιβλιογραφία.

6.4.4 Εκτίμηση σφαλμάτων

Οι τιμές για θερμοκρασία μέτρησης 10°C είναι σύμφωνες με το εύρος τιμών που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία, για πυκνότητα 1.460kg/m³ και μάλιστα πολύ κοντά στις τιμές του KENAK.

Η απουσία δεδομένων μετρήσεων θερμικής αγωγιμότητας σε εύρος θερμοκρασιών – και όχι σε μια μόνο μέση θερμοκρασία – καθιστά δύσκολη την αιτιολόγηση της μεταβολής του συντελεστή λ σε συνάρτηση με την αύξηση της θερμοκρασίας (περίπου 21% για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C).

Αφού έχει αποκλεισθεί η μεταβολή αυτή να οφείλεται στη στρώση γύψου (λόγω του μικρού του πάχους, αλλά και των σχετικά σταθερών τιμών αγωγιμότητας του γύψου για το εξεταζόμενο εύρος θερμοκρασιών [99]), μένει να εξεταστεί η συνδυαστική επίδραση υγρασίας και θερμοκρασίας, αλλά και οι πλευρικές απώλειες θερμότητας εξαιτίας του μικρού μεγέθους του δοκιμίου σε σχέση με τις πλάκες.

Αναφορικά με την επίδραση θερμοκρασίας-υγρασίας, σχετικές μετρήσεις σε χονδρόκοκκο εδαφικό υλικό βρήκαν αντίστοιχες μεταβολές (ως και 15%) στο εξεταζόμενο εύρος χαμηλών θερμοκρασιών, για περιεχόμενη υγρασία 0,1352-0,183 (m³/m³) [57]. Η συνεργιστική δράση υγρασίας και θερμοκρασίας παραμένει πολύ λίγο μελετημένη στη διεθνή βιβλιογραφία και απαιτεί περαιτέρω διερεύνηση.

Όσο αφορά τις πλευρικές απώλειες θερμότητας κατά τη διάρκεια της μέτρησης, και οι οποίες καθιστούν την υπόθεση ροής της θερμότητας σε μονή κατεύθυνση (unidirectional) αμφίβολη, αυτές εξαρτώνται από τις συνθήκες μέτρησης, το δοκίμιο και την ίδια τη συσκευή μέτρησης [100]. Εδώ, μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα η επίδραση της θερμοκρασίας μέτρησης, καθώς όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν ίδιες.

Σε σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο ΕΜΠ [100], προτάθηκε η ακόλουθη σχέση υπολογισμού του σχετικού σφάλματος μέτρησης της ροής θερμότητας:

$$e_{200} = \frac{a_1 d^{a_2}}{\lambda + b_1 d + b_2} \frac{DT}{dT}$$

Όπου d το πάχος του δοκιμίου (mm), DT η διαφορά μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του δοκιμίου και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$), dT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμής και της ψυχρής πλάκας ($^{\circ}\text{C}$) και λ η θερμική αγωγιμότητα του δοκιμίου (W/(mK)). Όπως φαίνεται, σημασία αποδίδεται στην θερμοκρασιακή διαφορά δοκιμίου και περιβάλλοντος, και όχι στην απόλυτη τιμή θερμοκρασίας μέτρησης του δοκιμίου. Η διαφοροποίηση του DT για διαφορετικές συνθήκες μέτρησης ξεφεύγει από το αντικείμενο ενδιαφέροντος της παρούσας εργασίας.

Άλλοι μελετητές έχουν χρησιμοποιήσει ακόμα απλούστερες σχέσεις, όπου οι θερμοκρασίες μέτρησης και περιβάλλοντος δεν εμπλέκονται καθόλου:

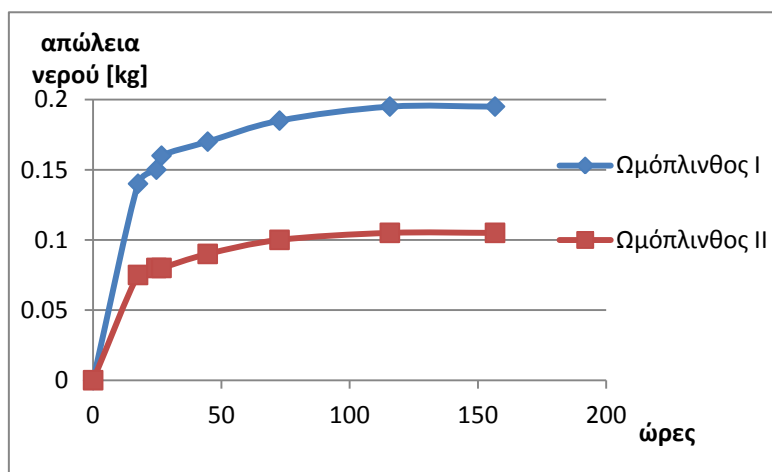
$$\left\{ \frac{k}{k_{\text{exp}}} \right\}^{1/2} = \frac{\frac{\pi L}{L}}{e^{\ln \left[\frac{\cosh\left\{ \frac{\pi(g+L)}{L} \right\} + 1}{\cosh\left\{ \frac{\pi g}{L} \right\} + 1} \right]} + (1-e) \ln \left[\frac{\cosh\left\{ \frac{\pi(g+L)}{L} \right\} - 1}{\cosh\left\{ \frac{\pi g}{L} \right\} - 1} \right]}$$

Όπου L το πάχος του δοκιμίου, g το πλάτος της 'ζώνης προστασίας', I η διάμετρος της μετρητικής επιφάνειας, k η πραγματική αγωγιμότητα και k_{EXP} η μετρούμενη αγωγιμότητα [101]. Ούτε από αυτή τη σχέση προκύπτει διαφορά στις απώλειες για τις διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης που να δικαιολογεί τα αποτελέσματα του πίνακα 6.5.

6.4.5 Θερμική αγωγιμότητα ξηρού δοκιμίου

Για τη διερεύνηση της επίδρασης της περιεχόμενης υγρασίας στα αποτελέσματα της θερμικής αγωγιμότητας, επιχειρήθηκαν άλλες δύο μετρήσεις έπειτα από ξήρανση των δύο δοκιμίων (στους 105°C).

Από τη διαδικασία της ξήρανσης προέκυψε, καταρχήν, ο σχετικά υψηλός βαθμός περιεχόμενης υγρασίας κατ' όγκο (πάνω από $0,1 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) και ο σχετικά αργός ρυθμός ξήρανσης (σχεδόν 6 ημέρες). Συνεισφορά τόσο στην περιεχόμενη υγρασία όσο και στον ρυθμό ξήρανσης έχει σαφώς και η στρώση γύψου.



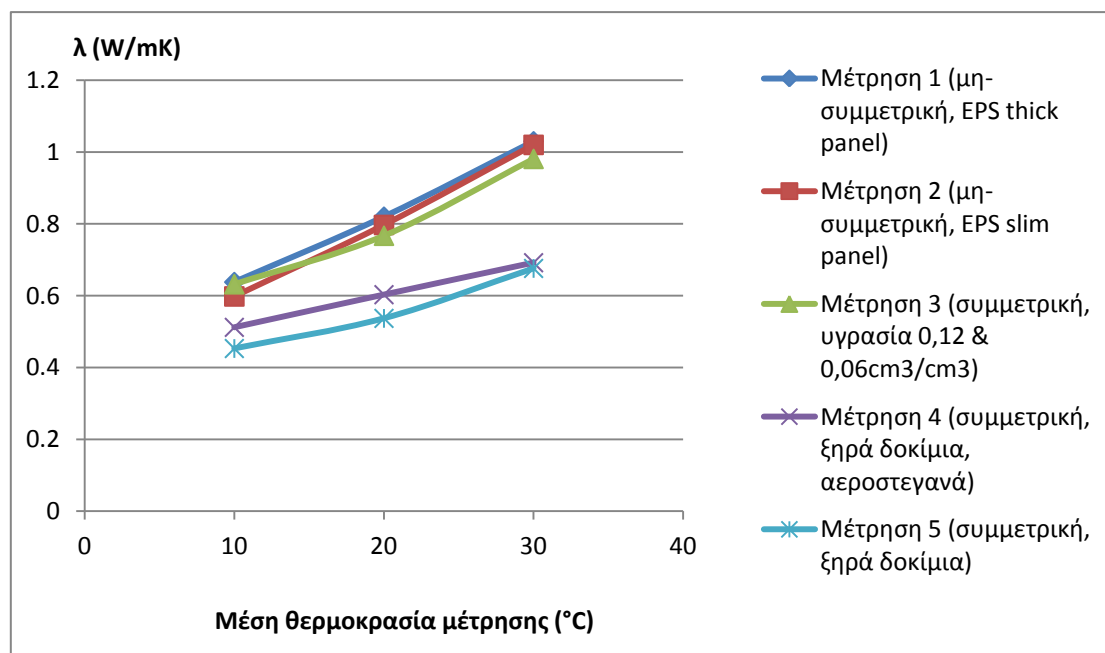
Διάγραμμα 6.5. Η χρονική εξέλιξη απώλειας της υγρασίας

Η πρώτη μέτρηση των ξηρών, πλέον, δοκιμών έγινε αφού πρώτα περιβλήθηκαν με αεροστεγανό κάλυμμα ώστε να αποφευχθούν μεταβολές της υγρασίας κατά τη διάρκεια της μέτρησης. Η δεύτερη μέτρηση πραγματοποιήθηκε χωρίς το κάλυμμα ώστε να διαπιστωθεί η μεταβολή της υγρασίας κατά την εξέλιξη της μέτρησης. Με το πέρας της διαδικασίας η περιεχόμενη υγρασία των -αρχικά ξηρών- δοκιμών μετρήθηκε σε $0,01\text{cm}^3/\text{cm}^3$.



Φωτογραφία 6.10. Τοποθέτηση 2 δοκιμών με αεροστεγανό περίβλημα (συμμετρική μέτρηση).

Στο ακόλουθο διάγραμμα φαίνονται τα αποτελέσματα των πέντε μετρήσεων, μη-συμμετρικών και συμμετρικών, που πραγματοποιήθηκαν.



Διάγραμμα 6.6. Αποτελέσματα μετρήσεων θερμικής αγωγιμότητας.

Από το διάγραμμα 6.6, παρατηρεί κανείς πως

- Όσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία μέτρησης (ή περιβάλλοντος), τόσο πιο μεγάλη εξάρτηση εμφανίζει η αγωγιμότητα από την περιεχόμενη υγρασία.
- Η διακύμανση της αγωγιμότητας των ξηρών δοκιμών σε διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης είναι σχετικά μικρή.

- Για τις ίδιες θερμοκρασίες μέτρησης, τα ξηρά δοκίμια υπερτερούν των (σχετικά) υγρών. Είναι σαφές, ωστόσο, πως σε πραγματικές συνθήκες είναι μάλλον σπάνιο η περιεχόμενη υγρασία των ωμόπλινθων να είναι μηδενική.
- Για χαμηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα συναντά κανείς στις Πρέσπες, οι ωμόπλινθοι εμφανίζουν βελτιωμένες μονωτικές ιδιότητες σε σχέση με τις υψηλές θερμοκρασίες- ανεξαρτήτως περιεχόμενης υγρασίας.

Όσο αφορά τη διαδικασία της μέτρησης,

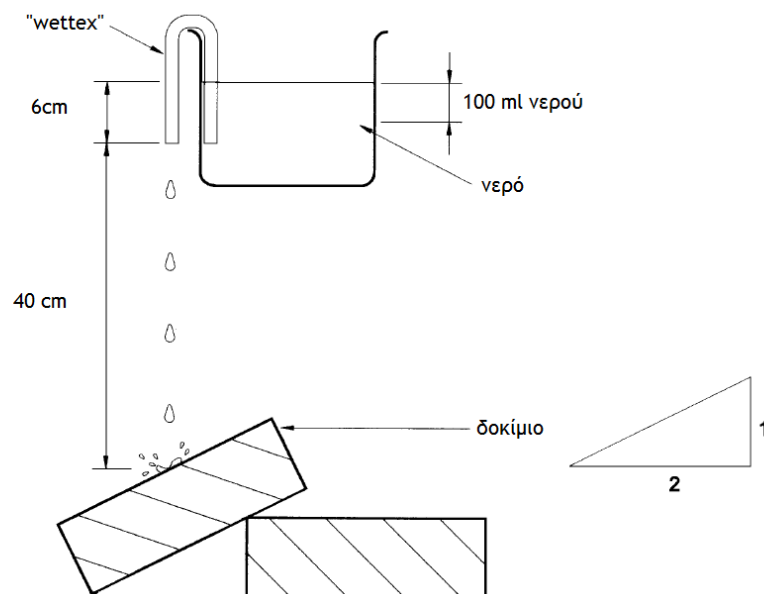
- Οι μη-συμμετρικές μετρήσεις (1 & 2), ακόμα και αυτή με υλικό αναφοράς την ισχυρά μονωτική πλάκα διογκωμένης πολυστερίνης (1), δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με τη συμμετρική μέτρηση (3). Αυτό διευκολύνει τη μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας υλικών όπως οι ωμόπλινθοι για τα οποία είναι δύσκολο να διαμορφωθούν δύο ίδια δοκίμια στις κατάλληλες διαστάσεις.
- Οι συμμετρικές μετρήσεις των αρχικά ξηρών δοκιμίων, με και χωρίς αεροστεγανό περιβλήμα, έδωσαν αποτελέσματα σχετικά μικρής απόκλισης (2-10%).
- Πρέπει να διερευνηθεί η τυχόν επίδραση της διαδικασίας ξήρανσης (στους 105°C) στα οργανικά συστατικά των ωμόπλινθων.

Η πολυπλοκότητα της θερμικής συμπεριφοράς των ωμόπλινθων καθιστά μάλλον ακατάλληλη τη χρήση μονοσήμαντα ορισμένων τιμών αγωγιμότητας (σε σχέση μόνο με την πυκνότητα) όπως προτείνουν οι περισσότεροι κανονισμοί- μεταξύ των οποίων και ο ελληνικός. Την ίδια στιγμή, η απουσία πειραματικών δεδομένων με αναφορά σε όλες τις παραμέτρους της μέτρησης καθιστά δύσκολη τη διαμόρφωση ακριβών σχέσεων καθορισμού του συντελεστή λ.

6.5 Εκτίμηση της επίδρασης του νερού

Η διαβρωτική επίδραση του νερού, και συγκεκριμένα της βροχής, είναι σύνθετη και εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων, όπως ο βαθμός έκθεσης, ο τύπος στέγασης η συντήρηση του υλικού κλπ. Οι κύριες τεχνικές αξιολόγησης της επίδρασης της βροχής σε στοιχεία ωμής γης είναι δύο, οι 'έλεγχοι σταγόνας' και οι 'έλεγχοι σπρέι'. Η τεχνική που προτείνει το πρότυπο ASTM D559, 1989, και στηρίζεται σε επαναλαμβανόμενους κύκλους διαβροχής και ξήρανσης βρίσκει ευρεία εφαρμογή σε στοιχεία σκυροδέματος, αλλά θεωρείται ακατάλληλη για στοιχεία ωμής γης [102].

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η δοκιμασία διάβρωσης που προτείνει το πρότυπο NZS 4298:1998 (Geelong method), με εφαρμογή στην πλευρά της ωμοπλίνθου που είναι εκτεθειμένη στις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Πρόκειται για μια απλή τεχνική αξιολόγησης. Η πειραματική διάταξη αναπαρίσταται στο σχήμα Χ.



Εικόνα 6.2. Σχηματική απεικόνιση της τεχνικής Geelong.

Ο έλεγχος που πραγματοποιείται μετά την πτώση 100 ml νερού στην κεκλιμένη επιφάνεια της ωμόπλινθου αφορά το βάθος της αυλάκωσης στην επιφάνεια της πλίνθου και το βάθος διείσδυσης του νερού κατά το πάχος του στοιχείου. Τα κριτήρια αστοχίας/δείκτες διαβρωσιμότητας αναφέρονται στον πίνακα Χ.

Πίνακας 6.6. Τεχνική Geelong δείκτης διαβρωσιμότητας

Ιδιότητα	Κριτήριο	Δείκτης διαβρωσιμότητας
Βάθος αυλάκωσης (mm)	$0 < D < 5$	2
	$5 \leq D < 10$	3
	$10 \leq D < 15$	4
	$D \geq 15$	5 (αστοχία)
Βάθος διείσδυσης (αμέσως μετά την διαβροχή)	< 120 mm	(αστοχία)
	≥ 120 mm	



Φωτογραφία 6.11. Τοποθέτηση της ωμόπλινθου και βάθος διείσδυσης νερού, κατά την τεχνική Geelong

Έπειτα από την πτώση 100ml νερού, η οποία ολοκληρώθηκε σε 31 λεπτά, το βάθος της αύλακας μετρήθηκε σε περίπου 2mm και το μέγιστο βάθος διείσδυσης περίπου 8-10mm -ο χαμηλός βαθμός διείσδυσης αποτελεί και ένδειξη χαμηλού πορώδους. Βάσει του πίνακα 6.6 η ωμόπλινθος περνάει τον έλεγχο. Σύμφωνα με άλλη μέθοδο, το κριτήριο ακαταλληλότητας ωμόπλινθων είναι ένα βάθος φθοράς μεγαλύτερο των 15mm [103].

Σημειώνεται πως η απουσία δεδομένων πραγματικής έκθεσης του υλικού σε συνθήκες βροχής και συσχέτισής τους με πειραματικά αποτελέσματα, καθιστά την εξαγωγή συμπερασμάτων όχι ιδιαίτερα ασφαλή.

7. Σεισμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφοράς A

7.1 Δεδομένα και παραδοχές της ανάλυσης

Η διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτιρίου μελέτης A έγινε μέσω του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων ABAQUS, ενώ η εισαγωγή της γεωμετρίας του φορέα έγινε μέσω του προγράμματος Autocad 3D. Στον πίνακα X καταγράφονται οι μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση. Ακολούθως περιγράφονται τα βασικά βήματα αυτής.

Πίνακας 7.1. Μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

Μέγεθος	Μονάδα
Μήκη	m
Δυνάμεις	kN
Χρόνος	sec
Μάζα	Mg
Πυκνότητα	Mg/m ³
Τάσεις	kN/m ²
Μέτρο ελαστικότητας	kPa

- Μηχανικές ιδιότητες υλικών

Για την απόδοση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών έγινε χρήση στοιχείων από την βιβλιογραφία και από τις εργαστηριακές μετρήσεις για τους ωμόπλινθους.

	Λιθοδομή	Ωμόπλινθοι ²²	Ξύλινα στοιχεία
Πυκνότητα ρ (Mg/m ³)	2,5 ²³	1,5	0,38 ²³
Μέτρο ελαστικότητας E (GPa)	2	0,2 [104]	10
Λόγος Poisson ν	0,2	0,2 [105]	0,3

- Φορτία

Στατική ανάλυση

Η στατική ανάλυση γίνεται για τον συνδυασμό 1,35G+1,5Q. Τα φορτία, μόνιμα και κινητά, εισάγονται στο πρόγραμμα ως πυκνότητες (τροποποιημένες ή μη). Έτσι

- Λιθοδομή και θεμέλια
 $\rho=1,35 \cdot 2,5=3,375 \text{ MGr/m}^3$
- Ωμόπλινθοι
 $\rho=1,35 \cdot 1,5=2,025 \text{ MGr/m}^3$
- Ξύλινα στοιχεία
 $\rho=1,35 \cdot 0,38=0,513 \text{ MGr/m}^3$
- Δοκάρια πατώματος 1^{ου} ορόφου (διατομή 0,15*0,15m², απόσταση δοκαριών περ. 0,8m)
Φορτία επικαλύψεων, (6cm ξύλα, 7cm πατημένο χώμα)
 $g^{\text{επικ}}=0,06 \cdot 3,7 (\gamma = 3,7 \text{ kN/m}^3)+0,07 \cdot 18=1,48 \text{ kN/m}^2$, άρα η γραμμικά κατανομημένη δύναμη $g^{\text{επικ}}=1,48 \cdot 0,8=1,18 \text{ KN/m}$.

²² Θεωρήθηκε πως το κονίαμα των αρμών και οι ωμόπλινθοι συμπεριφέρονται ως ενιαίο υλικό

²³ Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1

Τα κινητά φορτία , για κτίριο κατηγορίας A (EC1, πίνακας 6.2) $q=2 \text{ KN/m}^2$, άρα η γραμμικά κατανεμημένη δύναμη $q=2*0,8=1,6 \text{ KN/m}$.

Τότε, η τροποποιημένη πυκνότητα είναι

$$\rho_{\text{ισο}}=[1,35*(0,15*0,15*3,7+1,18)+1,5*1,6]/(0,15*0,15*9,81)=18,6 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Δοκάρια πατώματος 2^{ου} ορόφου (διατομές $0,16*0,1 \text{ m}^2$ και απόσταση μεταξύ των δοκών $0,85 \text{ m}$)

Φορτία επικαλύψεων (3cm σανίδωμα),

$$g^{\text{επικ}}=0,03*3,7=0,11 \text{ KN/m}^2, \text{ άρα η γραμμικά κατανεμημένη δύναμη}$$

$$g^{\text{επικ}}=0,11*0,85=0,0935 \text{ KN/m}$$

Τα κινητά φορτία , για κτίριο κατηγορίας A (EC1, πίνακας 6.2) $q=2 \text{ KN/m}^2$, άρα η γραμμικά κατανεμημένη δύναμη $q=2*0,85=1,7 \text{ KN/m}$.

Τότε, η τροποποιημένη πυκνότητα είναι

$$\rho_{\text{ισο}}=[1,35*(0,16*0,1*3,7+0,0935)+1,5*1,7]/(0,16*0,1*9,81)=17,55 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Τεγίδες (διατομής $0,06*0,14 \text{ m}^2$ και απόστασης $0,8 \text{ m}$)

Φορτία επικαλύψεων (κεραμιδιών και πατημένου χώματος περ. 4cm),

$$g^{\text{επικ}}=0,3+0,04*18=1,02 \text{ kN/m}^2, \text{ άρα η γραμμικά κατανεμημένη δύναμη}$$

$$g^{\text{επικ}}=1,02*0,8=0,816 \text{ KN/m}$$

Για κατηγορία στέγης H (EC1), δηλαδή μη βατή εκτός των περιπτώσεων συντήρησης, η συνιστώμενη κινητή δράση έχει τιμή $0,4 \text{ kN/m}^2$ άρα η γραμμικά κατανεμημένη δύναμη $q=0,32 \text{ kN/m}$. Τότε, η τροποποιημένη πυκνότητα είναι

$$\rho_{\text{ισοδ}}=[1,35*(0,06*0,14*3,7)+1,35*0,816+1,5*0,32]/(0,06*0,14*9,81)=19,5 \text{ Mgr/m}^3$$

Δυναμική ανάλυση

Η δυναμική ανάλυση γίνεται για τον συνδυασμό $G+0,3Q+E_x+E_y$. Έτσι

- ο Λιθοδομή και θεμέλια

$$\rho=2,5 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Ωμόπλινθοι

$$\rho=1,5 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Ξύλινα στοιχεία

$$\rho=0,38 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Δοκάρια πατώματος 1^{ου} ορόφου

$$\rho_{\text{ισο}}=(0,15*0,15*3,7+1,18+0,3*1,6)/(0,15*0,15*9,81)=7,9 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Δοκάρια πατώματος 2^{ου} ορόφου

$$\rho_{\text{ισο}}=(0,16*0,1*3,7+0,0935+0,3*1,7)/(0,16*0,1*9,81)=4,3 \text{ MGr/m}^3$$

- ο Τεγίδες

$$\rho_{\text{ισοδ}}=(0,06*0,14*3,7+0,816+0,3*0,32)/(0,06*0,14*9,81)=19,5 \text{ Mgr/m}^3=11,4 \text{ MGr/m}^3$$

- Βήματα ανάλυσης

Η στατική ανάλυση έγινε μέσω της επιλογής static, general, ενώ για τη δυναμική ανάλυση επιλέχθηκε η μέθοδος της εν χρόνω ολοκλήρωσης (dynamic, implicit) λόγω της ανελαστικής σύνδεσης μεταξύ εσωτερικής-εσωτερικής τοιχοποιίας. Για τα μοντέλα 2 και 3 (βλ. παρακάτω) η μέθοδος που ακολουθείται είναι η ιδιομορφική ανάλυση με τη χρήση χρονοϊστορίας.

- Προσομοίωση της σεισμικής δράσης

Σύμφωνα με τις κατευθύνσεις του ευρωκώδικα 8 (§3.2.3) η περιγραφή της σεισμικής κίνησης μπορεί να γίνει με καταγραφές επιταχυνσιογραφημάτων «εφόσον τα δείγματα που χρησιμοποιούνται είναι κατάλληλα επιλεγμένα όσον αφορά τα σειсмоγεννητικά χαρακτηριστικά των πηγών και τις εδαφικές συνθήκες της περιοχής».

Όσο αφορά την γεωλογία της περιοχής, όπως περιγράφηκε στην ενότητα 1.3, συνίσταται από γνεύσιο, γρανίτες, σχιστόλιθους (ΒΑ της μικρής λίμνης Πρεσπών), ασβεστόλιθο (δυτικά της μικρής λίμνης Πρεσπών) και αλλουβιακές αποθέσεις (στα πεδινά της λεκάνης και κοντά στον οικισμό Μηλεώνα).

Για την επιλογή των κατάλληλων επιταχυνσιογραφημάτων εξετάστηκαν οι περιπτώσεις του πίνακα 7.2 – περισσότερες λεπτομέρειες για τα σεισμικά δεδομένα παρατίθενται στην ενότητα 1.4. Από αυτές επιλέχθηκαν τα γεγονότα 2, 3, 4, ώστε να εξεταστούν οι διαφορετικές παράμετροι ρηγμάτων, εστιακού βάθους και τοπικής γεωλογίας. Το γεγονός 2 επιλέχθηκε ως ακραίο σενάριο, αν και δεν υπάρχουν ενδείξεις τόσο καταστροφικών σεισμών στην περιοχή μελέτης, ούτε καταγράφηκαν επί τόπου σχετικές βλάβες, ενώ το γεγονός 4 επιλέχθηκε λόγω του διαφορετικού γεωλογικού υπόβαθρου στο σημείο καταγραφής. Πηγή των καταγραφών είναι η βάση δεδομένων European Strong Motion Database.²⁴

- Δέσμευση βαθμών ελευθερίας και συνδέσεις μεταξύ μελών

Οι συνδέσεις μεταξύ ξύλινων στοιχείων, στη στέγη, είναι μισοχαρακτές ή απλούστερες, με κάρφωμα μεταξύ αδιαμόρφωτων επιφανειών, συνεπώς θα έπρεπε να γίνει η παραδοχή αρθρώσεων. Ωστόσο, κατά την προσομοίωση το πρόγραμμα Abaqus αντιμετώπισε προβλήματα σύγκλισης και ανεπιτυχούς ολοκλήρωσης των υπολογισμών. Έτσι υιοθετήθηκε η παραδοχή πλήρως δεσμευμένων μεταξύ τους μελών.

Οι πραγματικές συνθήκες έδρασης των δοκών (πατώματος ή στέγης) στην τοιχοποιία είναι τριών μορφών, αυξανόμενου βαθμού δέσμευσης τους επ' αυτής. Στην πρώτη περίπτωση, οι δοκοί τοποθετούνται εντός υπερμεγέθους δοκοθήκης, που ξεπερνά κατά πολύ το πάχος της δοκού, ώστε η στροφή της δοκού να πραγματοποιείται ανεμπόδιστα. Στην περίπτωση ενδιάμεσου πλάτους δοκοθήκης, σε κάποια χρονική στιγμή κατά τη διάρκεια της κίνησης, η δοκός συναντά τα τοιχώματα της δοκοθήκης ώστε να εμποδίζεται η περαιτέρω στροφή. Όσο μικραίνει το πάχος της δοκοθήκης τόσο μικρότερη γίνεται η ανεμπόδιστη γωνία στροφής της δοκού έως ότου η απόσταση μεταξύ πλευρών δοκού και δοκοθήκης θεωρηθεί μηδενική. Σε αυτή την περίπτωση, η δοκός θεωρείται πλήρως δεσμευμένη. Για να συμβεί αυτό, κατασκευαστικά, απαιτείται πολύ προσεκτικό γέμισμα και σφήνωμα της δοκοθήκης με λίθους/ωμόπλινθους και κονίαμα [106].

Η προσομοίωση των στροφικών δεσμεύσεων ενέχει μεγάλο βαθμό δυσκολίας, καθώς απαιτεί γνώση της ολίσθησης της δοκού, της κίνησης των λίθων των μηχανικών αντοχών ξύλου, λίθων και κονιάματος και την πειραματική επαλήθευσή τους. Για τον λόγο αυτό, επιλέγεται η

²⁴ http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm

σαφώς απλούστερη υπόθεση υπερμεγέθους δοκοθήκης, κατά την οποία δεσμεύονται μόνο οι μεταφορικοί βαθμοί ελευθερίας- η περίπτωση αυτή είναι και η δυσμενέστερη.

- Διακριτοποίηση φορέα

Η διάσταση του πεπερασμένου στοιχείου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχουν τουλάχιστον δύο πεπερασμένα στοιχεία κατά το πάχος της τοιχοποιίας, παραμένοντας μεγαλύτερη από το άθροισμα της κατά μήκος διάστασης λίθου και αρμού. Επιπλέον, πρέπει να είναι τέτοια ώστε κατά την εφαρμογή της εντολής coupling constraint, με surface την επιφάνεια της τοιχοποιίας, κάθε διαδοχική ράβδος-δοκός να μπορεί να δεσμευθεί με διακριτή επιφάνεια επί της τοιχοποιίας, ώστε να μη δεσμεύεται κανένα σημείο του τοίχου με περισσότερες από μια σχέσεις επαφής. Τελικά, το μέγεθος του στοιχείου επιλέχθηκε ίσο με 0,33.

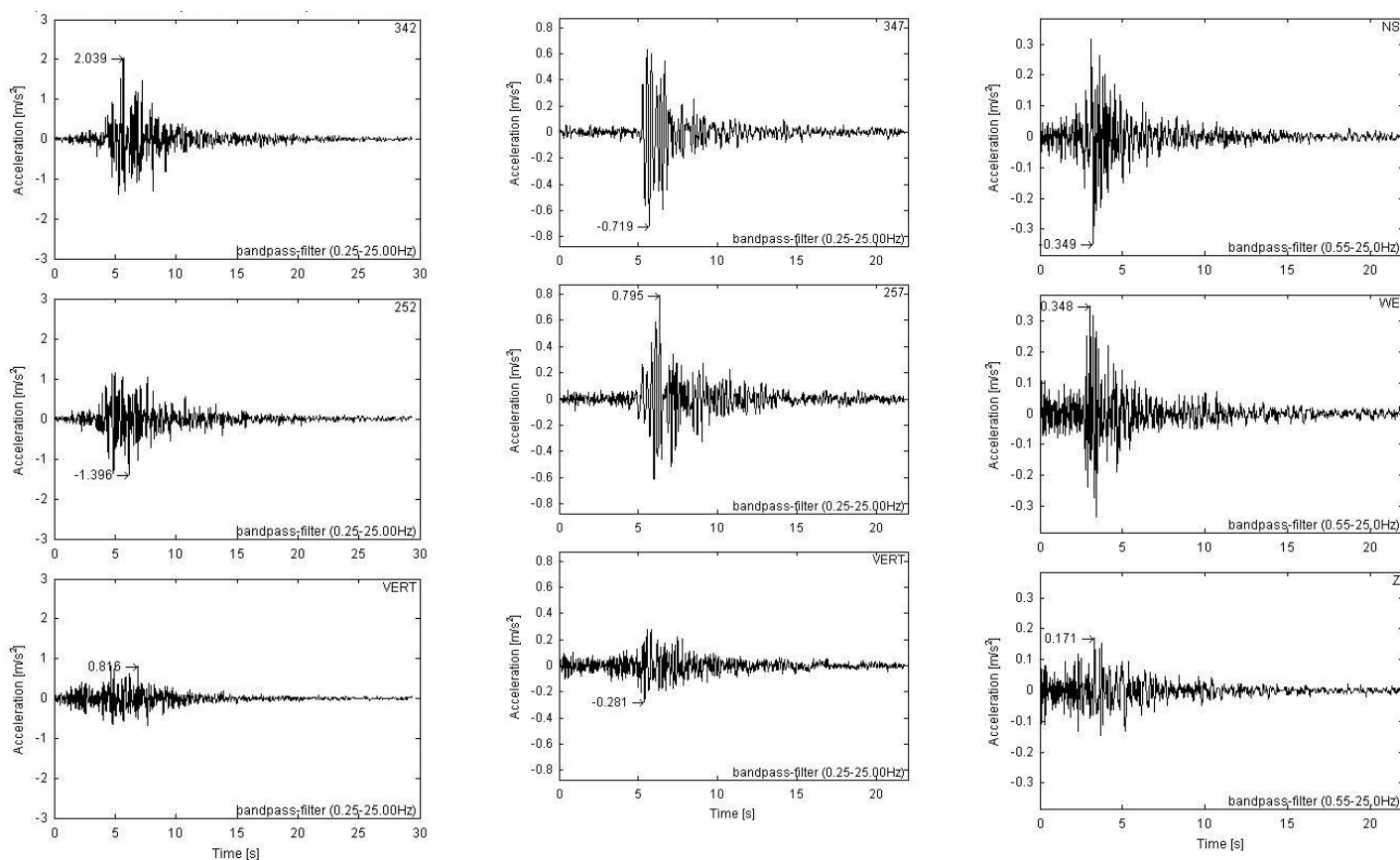
Σημειώνεται πως είναι περιορισμένη η δυνατότητα αλλαγών του mesh στον τελικό φορέα, καθώς απαιτείται εκ νέου ορισμός sets (π.χ. για πεσσούς που θα ελεγχθούν στη συνέχεια) και nodes (π.χ. για σημεία δέσμευσης των ράβδων).

- Φορείς που εξετάστηκαν

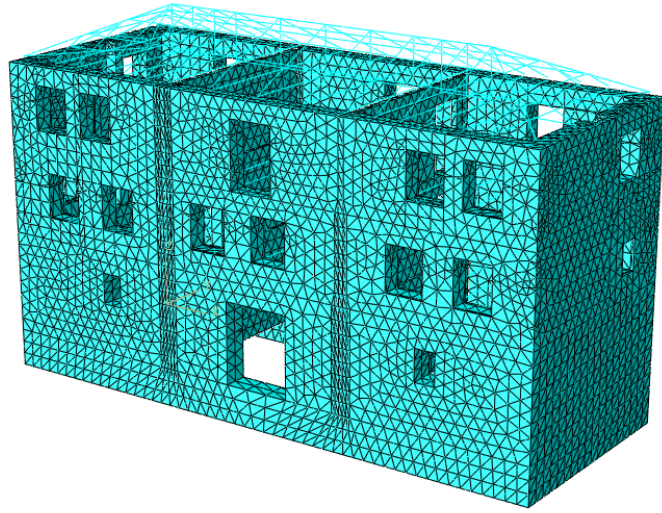
Εξετάστηκε, πρώτα, η συμπεριφορά του κτιρίου A, όπως κατασκευάστηκε, στην αρχική του μορφή, για δράση των ιδίων βαρών και των τριών σεισμικών διεγέρσεων (εφεξής μοντέλο 1). Ο επόμενος φορέας ενσωματώνει την πρώτη, βασική, επέμβαση στο κτίριο, τη σύνδεση εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας (εφεξής μοντέλο 2). Στον τρίτο φορέα (μοντέλο 3) γίνεται μια προσπάθεια προσομοίωσης της λειτουργίας του διαφράγματος στο ύψος των πατωμάτων και της στέγης.

Πίνακας 7.2. Λεπτομέρειες για τα σεισμικά γεγονότα που εξετάστηκαν

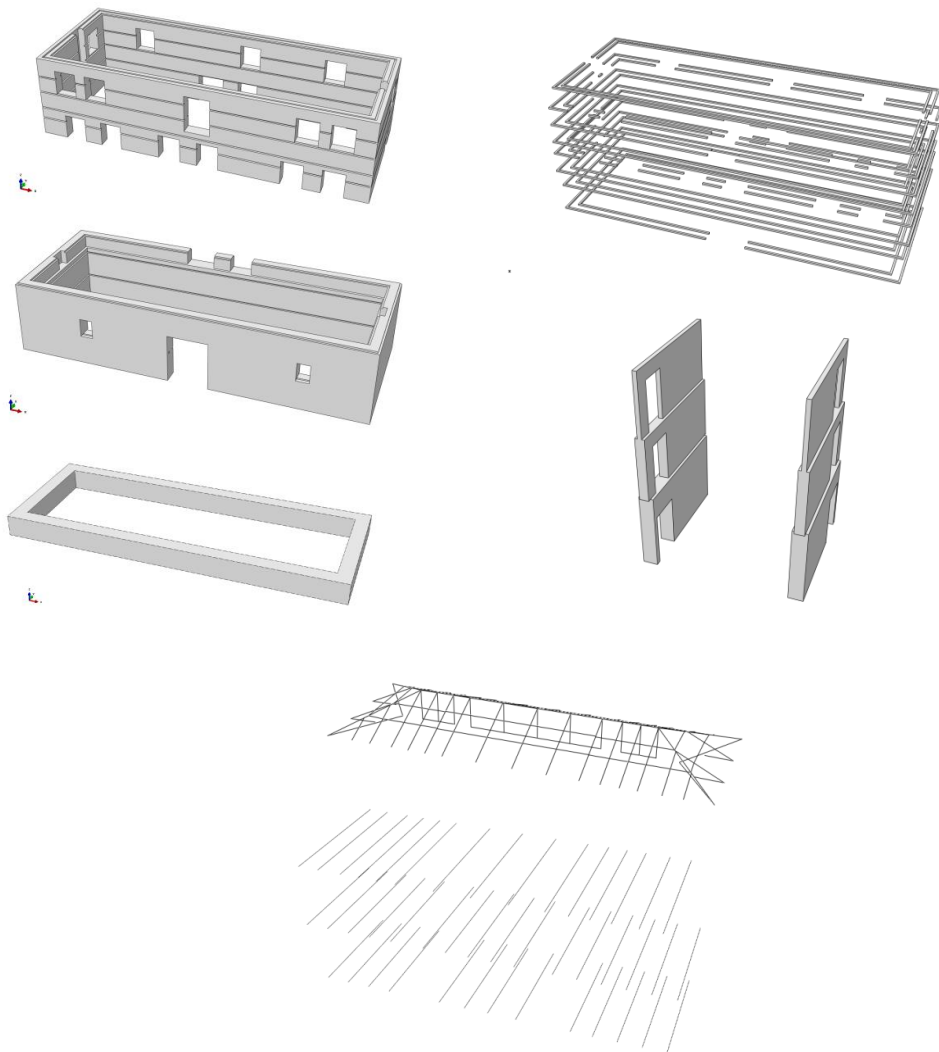
#	Σεισμός				Σημείο καταγραφής				
	Όνομα	Μέγεθος	Μηχανισμός ρήγματος	Εστιακό βάθος (km)	Όνομα	Απόσταση από οικ. Μηλεώνα (km)	Τοπική γεωλογία	ΡΗΑ, m/s^2	ΡVA m/s^2
1	Κοζάνη	6,5 Mw	Κανονικό	9	Φλώρινα	23	βράχος	0,256	0,185
2				9	Κοζάνη	80	βράχος	2,039	0,816
3	Μπίτολα	6,1 Mw	πλάγιας ολίσθησης	15 [8]	Φλώρινα	23	βράχος	0,795	0,281
4	Ζερκάν	4,32 Ms	Εφίππευση (thrust)	;	Δίβρη	90	Πολύ μαλακό έδαφος	0,349	0,171



Εικόνα 7.1. Τα σεισμικά γεγονότα 2, 3, 4 (από αριστερά στα δεξιά) του πίνακα 7.2



Εικόνα 7.2 Διακριτοποίηση του φορέα



Εικόνα 7.3. Γεωμετρία του φορέα (μοντέλο 1)

7.2 Αποτελέσματα

7.2.1 Μοντέλο 1

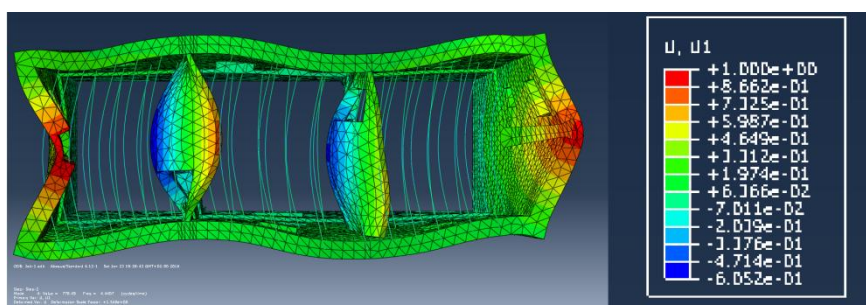
Ιδιομορφική ανάλυση

Η εύρεση των ιδιομορφών, για το μοντέλο 1, πραγματοποιείται μέσω της εντολής frequency (Module Step), όπου ορίστηκε η ελάχιστη συχνότητα ιδιομορφών στα 3Hz προκειμένου να αποφευχθούν οι ιδιομορφές που αντιστοιχούν στα εύκαμπτα στοιχεία των πατωμάτων.

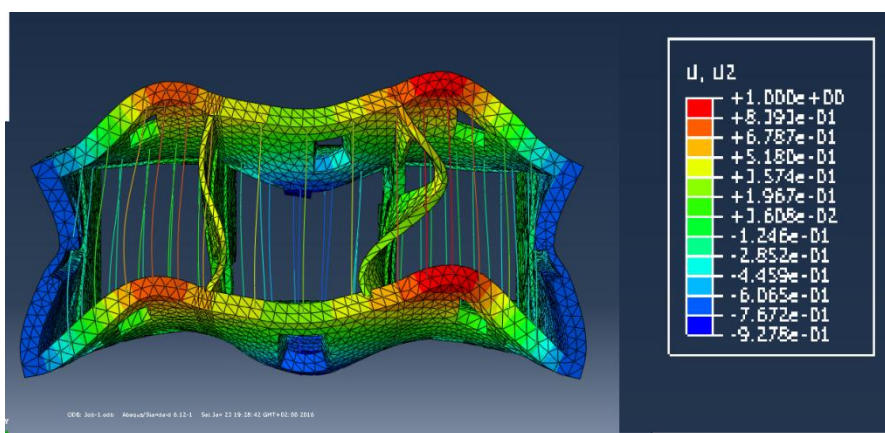
Εξετάστηκαν οι 300 πρώτες ιδιομορφές κατά τις οποίες έχει ενεργοποιηθεί πάνω από το 90% της μάζας του κτιρίου (σημειώνεται πως η συνολική μάζα, όπως δίνεται στο αρχείο Job.dat είναι 340Mg- από αυτήν αφαιρείται η πακτωμένη βάση, 166Mg). Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης:

Πίνακας 7.3. Δεσπόζουσες ιδιομορφές κατά τη διεύθυνση x-x

Διεύθυνση	Ιδιομορφή	Περίοδος (sec)	Ποσοστό δρώσας μάζας
X	4 ^η	0.225	33%
Y	6 ^η	0.195	31%



Εικόνα 7.4. Δεσπόζουσα ιδιομορφή κατά τη διεύθυνση x-x



Εικόνα 7.5. Δεσπόζουσα ιδιομορφή κατά τη διεύθυνση y-y

Η ιδιοπερίοδος κατά x-x είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την αντίστοιχη κατά y-y, δηλωτικό του ότι η διεύθυνση x-x είναι περισσότερο εύκαμπτη λόγω του πλήθους των ανοιγμάτων των όψεων.

Υπολογίστηκε επίσης το μητρώο απόσβεσης τύπου Rayleigh, αφού προσδιορίστηκε καταρχήν ο συντελεστής αναλογίας μάζας της απόσβεσης a_0 .

Υπολογισμός a_0

$$a_0 = 2 \cdot \zeta \cdot \omega,$$

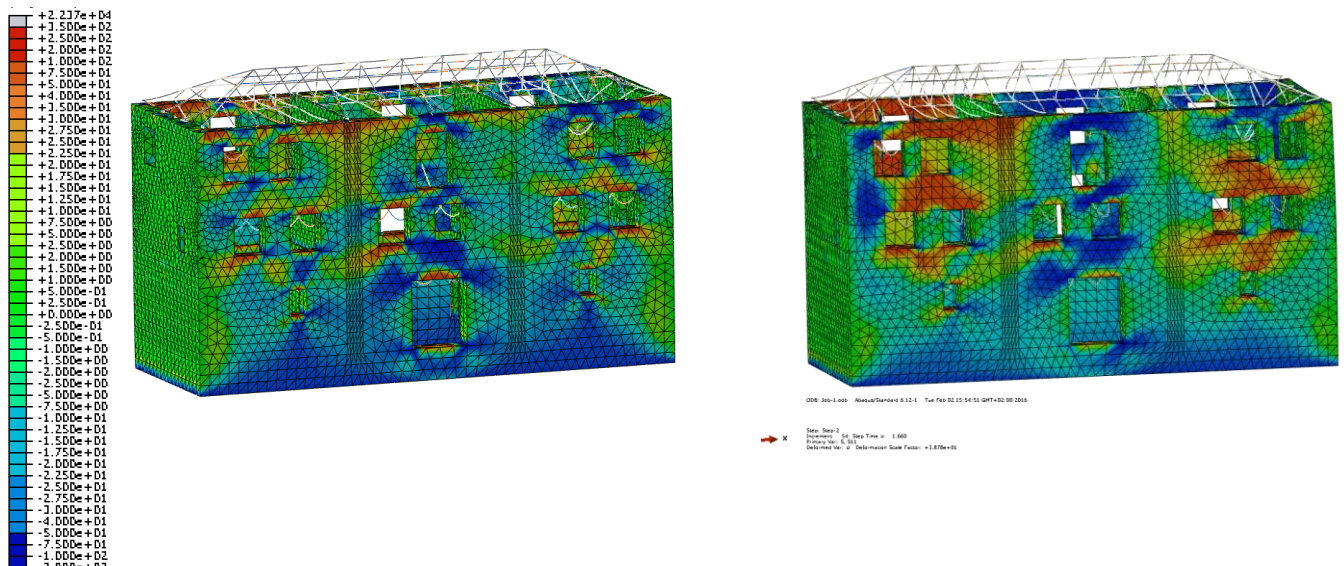
όπου ω η κυκλική ιδιοσυχνότητα ($=2\pi f$) της δεσπόζουσας ιδιομορφής και ζ η απόσβεση της τοιχοποιίας που λαμβάνεται ίση με 6%.

Η δεσπόζουσα ιδιομορφή είναι αυτή για την οποία ενεργοποιείται το μεγαλύτερο ποσοστό μάζας. Στην προκειμένη περίπτωση, η δεσπόζουσα ιδιομορφή ($4^{\text{η}}$) έχει συχνότητα $f=4,4$ cycles/time, άρα $a_0 = 3,34$. Η τιμή αυτή χρησιμοποιήθηκε και στα επόμενα μοντέλα, παρά την αύξηση της απόσβεσης που θα επέλθει από την προσθήκη περισσότερων στοιχείων της στέγης.

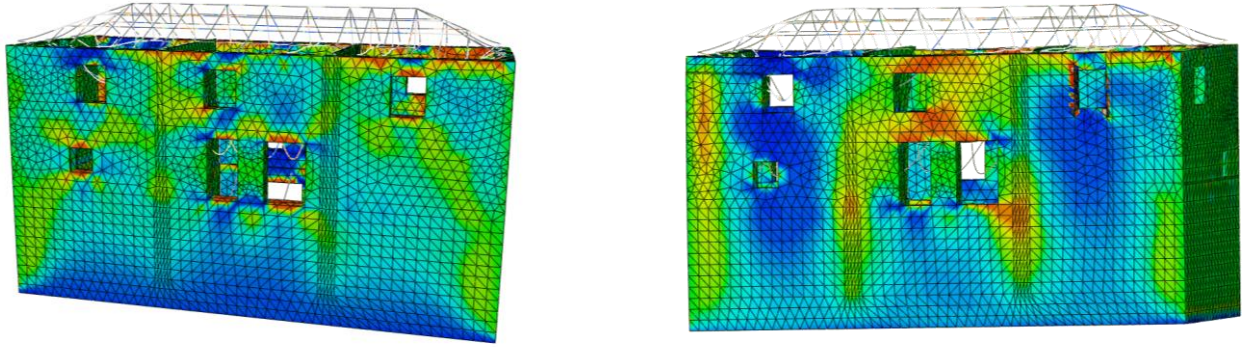
Ισοστασικά διαγράμματα

Τα ακόλουθα σχήματα δίνουν μια ποιοτική εκτίμηση των περισσότερο ευάλωτων περιοχών του κτιρίου. Η προσομοίωση έγινε για τα ίδια βάρη και τον σεισμό Μπίτολα.

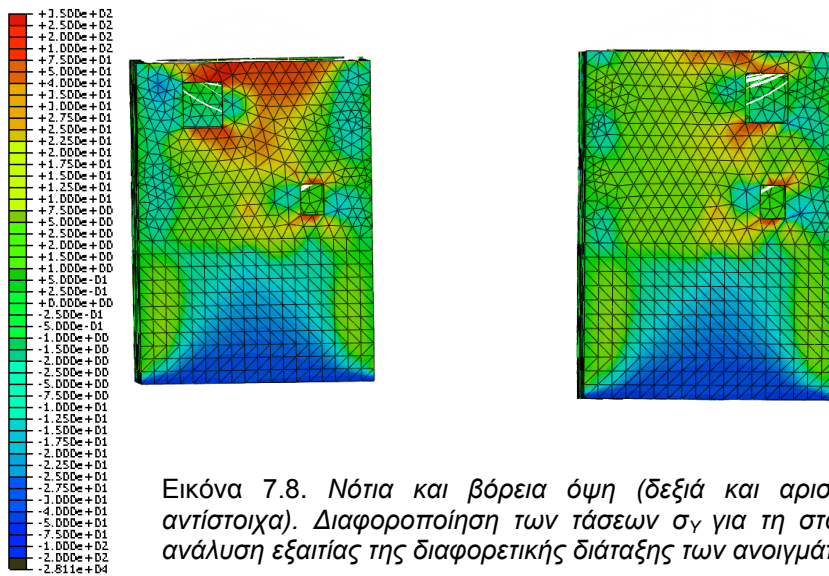
Όπως αναμενόταν οι πλέον ευάλωτες περιοχές είναι γύρω από τα ανοίγματα, οι εσοχές (καμινάδες) ενώ ιδιαίτερα επιβαρυμένα είναι τα ανώφλια του 3^{ου} ορόφου. Οι εσωτερικοί τοίχοι, ιδιαίτερα του 3^{ου} ορόφου παρουσιάζουν πολλά σημεία συγκέντρωσης των τάσεων, ιδιαίτερα γύρω από τις πόρτες και στη στέψη των τοίχων. Επίσης, η κατανομή των τάσεων διαφοροποιείται στις 2 στενές πλευρές του κτίσματος (βόρεια και νότια) εξαιτίας της διαφορετικής διάταξης των ανοιγμάτων.



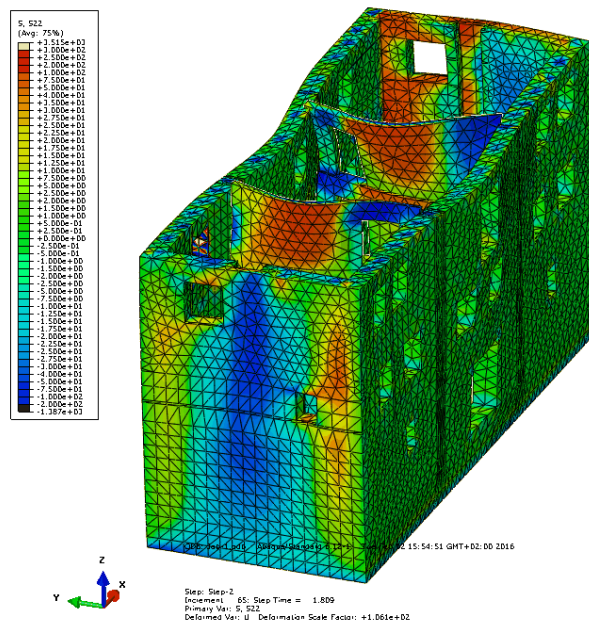
Εικόνα 7.6. Δυτική όψη. Τάσεις σ_x για τη στατική ανάλυση (αριστερά) και σε χρόνο 1,6s του σεισμού Μπίτολα



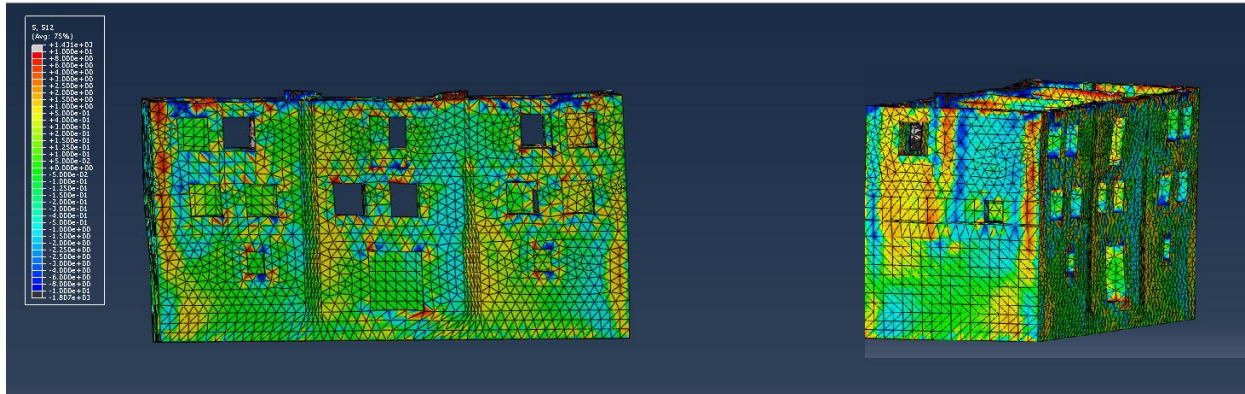
Εικόνα 7.7. Ανατολική όψη. Τάσεις σ_x για τη στατική ανάλυση (αριστερά) και σε χρόνο 1,6s του σεισμού Μπίτολα



Εικόνα 7.8. Νότια και βόρεια όψη (δεξιά και αριστερά αντίστοιχα). Διαφοροποίηση των τάσεων σ_y για τη στατική ανάλυση εξαιτίας της διαφορετικής διάταξης των ανοιγμάτων.



Εικόνα 7.9. Τάσεις σ_y (στιγμιότυπο από τον σεισμό Μπίτολα)



Εικόνα 7.10. Τάσεις τ_{xy} (στιγμιότυπο από τον σεισμό Μπίτολα)

Μέγιστες κύριες τάσεις

Για τον έλεγχο σε κάμψη κάθετα στους αρμούς θεωρήθηκε ως κριτήριο αστοχίας η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας σε σχέση με της μέγιστες κύριες τάσεις. Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας για αστοχία κάθετα στους αρμούς του κονιάματος προκύπτει από την σχέση

$$f_{wt,καθ} = \lambda * f_{mc} / 5 \text{ [MPa]}$$

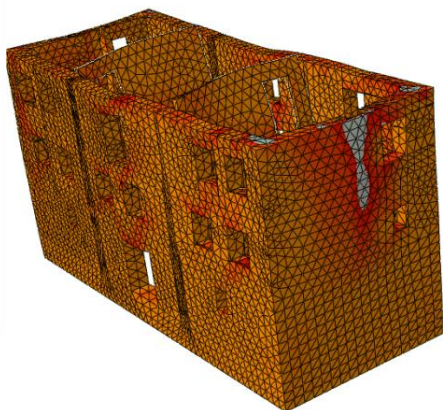
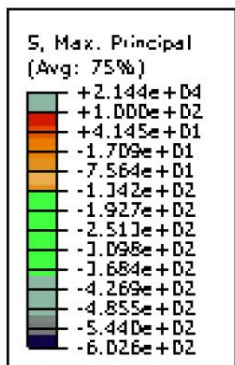
όπου $\lambda = 1 - 0,2 * f_{mc}^{0,5}$ και f_{mc} η θλιπτική αντοχή του κονιάματος. Η τελευταία λαμβάνεται όση με την ανεμπόδιστη θλιπτική αντοχή των ωμόπλινθων όπως προέκυψε από τις εργαστηριακές μετρήσεις ($\sigma_c = 1,08 \text{ MPa}$) δεδομένου ότι πρόκειται για το ίδιο υλικό²⁵.

Τελικά, $f_{wt,καθ} = 0,17 \text{ MPa}$, τιμή που είναι πολύ κοντά σε αυτήν που θα προέκυπτε από την παραδοχή τιμής εφελκυστικής αντοχής ίσης με 10% της αντοχής σε θλίψη ($0,18 \text{ MPa}$).²⁶ Καθώς η τιμή αυτή θεωρείται μάλλον αισιόδοξη, ο έλεγχος έγινε για τιμή αντοχής ίση με $0,1 \text{ MPa}$.

Στη στατική φόρτιση δεν υπήρξε καμία υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής, παρά μόνο ελάχιστες, σημειακές, στα ανοίγματα. Αντίθετα στο σεισμό Μπίτολα η εφελκυστική αντοχή ξεπεράστηκε στη στέψη των εσωτερικών τοίχων του 3^{ου} ορόφου, στα σημεία εξασθένισης της τοιχοποιίας (καμινάδες) και σε ορισμένες γωνίες εγκάρσιας διασταύρωσης των εξωτερικών τοιχοποιιών.

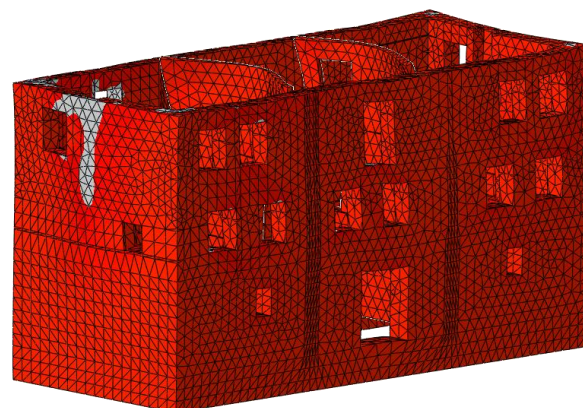
²⁵ Πρόκειται για προσεγγιστική παραδοχή, καθώς το κονίαμα προφανώς έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νερό, και άρα είναι ασθενέστερο.

²⁶ Η έκφραση της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας προκύπτει από την ακόλουθη σχέση (Θ. Τάσιος, 1995): $f_{wc} = f_{bc} / 6 + (f_{bc} * f_{mc})^{0,5} / 4 - f_{mc} / 20 + 1,4 = 1,8 \text{ MPa}$



ODB: 3d0-1.odb: Abaqus/Standard 6.12-1 Tue Feb 02 15:54:51 GMT+02:00 2016

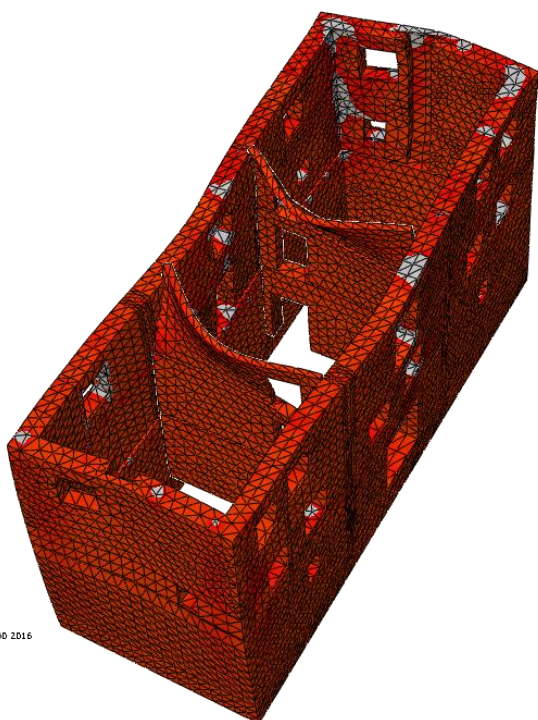
Step: Step-2
Increment: 75, Step Time = 2.432
Display Var.: S, Max, Principal
Deformed Var.: U, Deformation Scale Factor: +1.285e+02



ODB: 3d0-1.odb: Abaqus/Standard 6.12-1 Tue Feb 02 15:54:51 GMT+02:00 2016

Step: Step-2
Increment: 29, Step Time = 1.392
Display Var.: S, Max, Principal
Deformed Var.: U, Deformation Scale Factor: +6.874e+01

Εικόνα 7.11. Η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας σημειώνεται με χρώμα γκρι (στιγμιότυπα από τον σεισμό Μπίτολα)



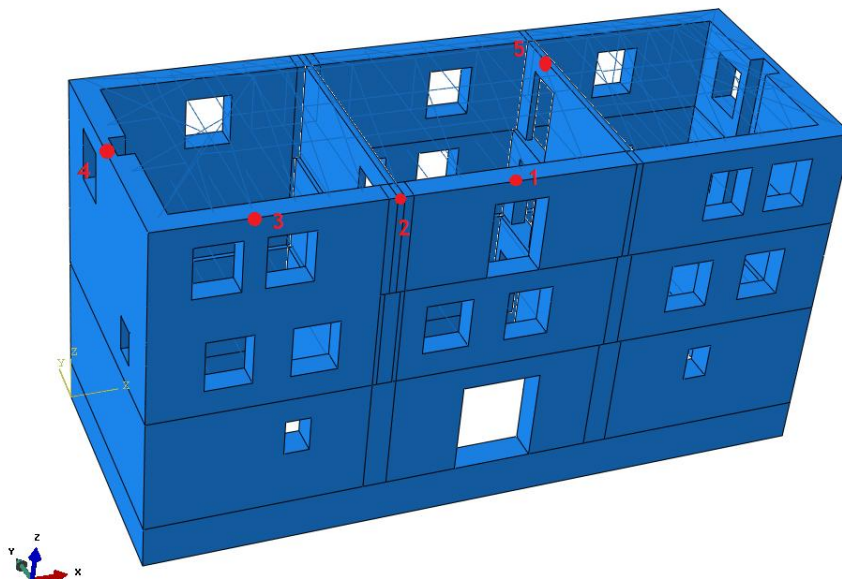
+02:00 2016



Εικόνα 7.12. Η υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής της τοιχοποιίας σημειώνεται με χρώμα γκρι (στιγμιότυπα από τον σεισμό Μπίτολα)

Έλεγχος μετακινήσεων

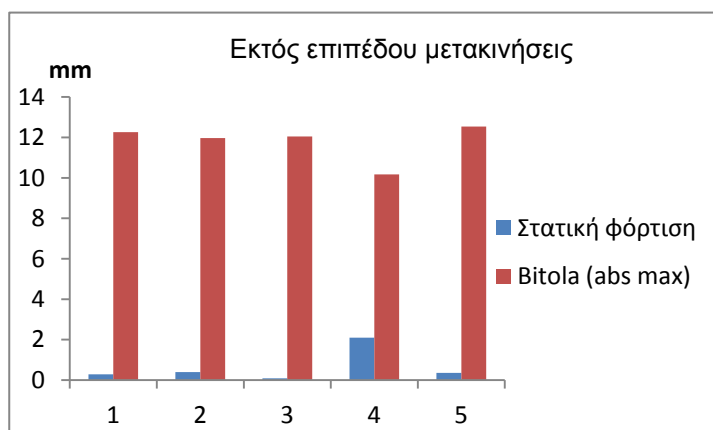
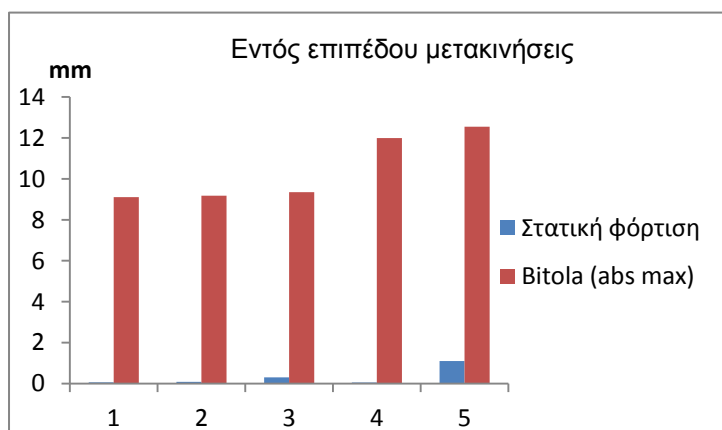
Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται τα σημεία στα οποία έγινε ο έλεγχος των μετακινήσεων.



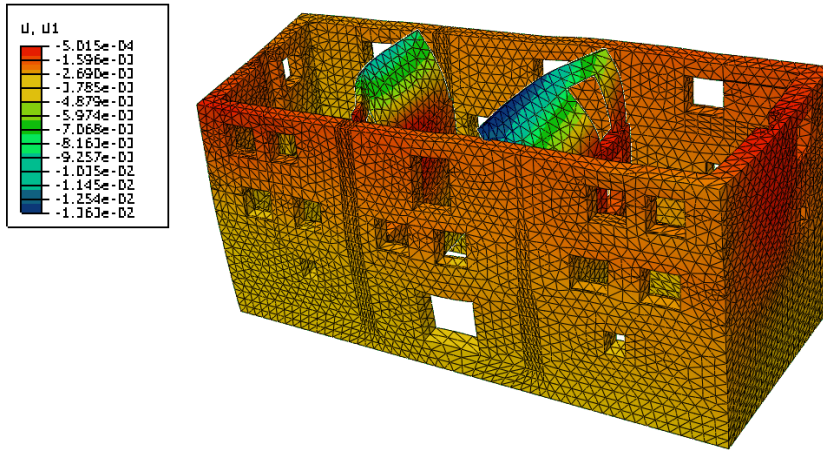
Εικόνα 7.13. Σημεία ελέγχου των μετακινήσεων

Πίνακας 7.4. Μέγιστες τιμές μετακινήσεων (απόλυτες τιμές) στα σημεία ελέγχου

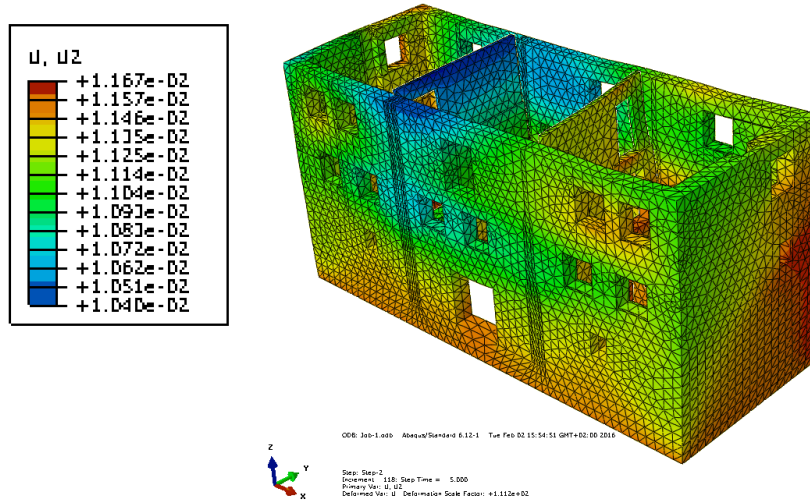
	Εντός επιπέδου (mm)		Εκτός επιπέδου (mm)	
	Στατική φόρτιση	Bitola (abs max)	Στατική φόρτιση	Bitola (abs max)
1	0,06	9,11	0,288	12,26
2	0,08	9,18	0,40	11,97
3	0,30	9,35	0,09	12,05
4	0,05	11,99	2,10	10,17
5	1,10	12,55	0,36	12,54



Διάγραμμα 7.1. Μέγιστες τιμές μετακινήσεων (απόλυτες τιμές) στα 5 σημεία ελέγχου



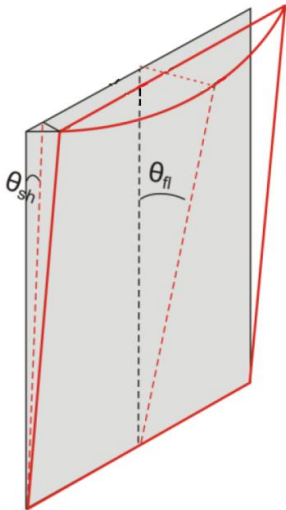
Εικόνα 7.14. Μετακινήσεις κατά τον άξονα X (// στην όψη) για τη στιγμή 1,5s του σεισμού Μπίτολα



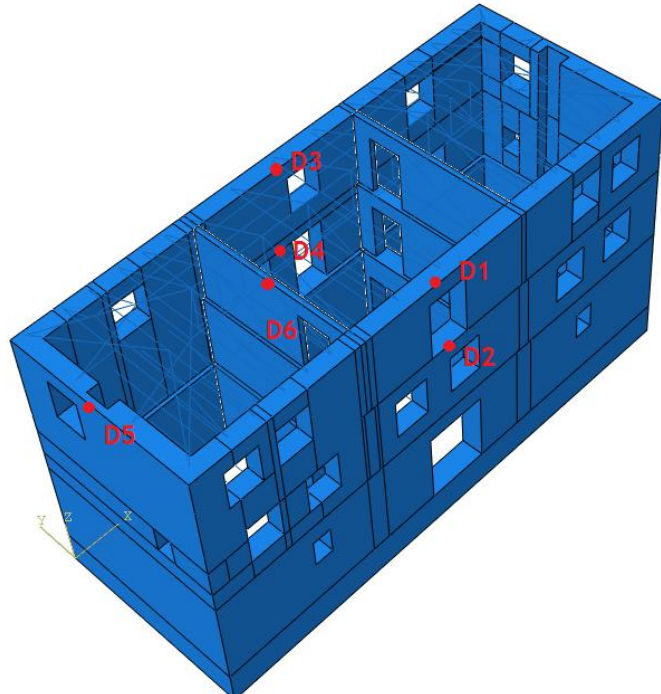
Εικόνα 7.15. Μετακινήσεις κατά τον άξονα Y για τη στιγμή 5s του σεισμού Μπίτολα

Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων

Η γωνιακή παραμόρφωση, καθ' ύψος, ορίζεται ως η σχετική μετακίνηση 2 σημείων που βρίσκονται στον ίδιο άξονα, δια της μεταξύ τους απόστασης. Η παραμόρφωση αυτή οφείλεται τόσο στη διατμητική παραμόρφωση των τοίχων παράλληλα στην κίνηση του εδάφους (θ_{sh}) όσο και στην εκτός επιπέδου καμπτική δράση των τοίχων στην κάθετη διεύθυνση (θ_{fl}).



Εικόνα 7.16. Επεξήγηση των διαφορετικών γωνιακών παραμορφώσεων [114]



Εικόνα 7.17. Σημεία ελέγχου γωνιακής παραμόρφωσης πεσσών

Τα κριτήρια αστοχίας (EC8, Part 3, C4.3) για τις γωνιακές παραμορφώσεις είναι διαφορετικά εάν η συμπεριφορά του υπό έλεγχο στοιχείου επηρεάζεται από την κάμψη ή τη διάτμηση. Έλεγχος ανεπάρκειας σε κάμψη γίνεται όταν ικανοποιείται η ακόλουθη σχέση, αλλιώς γίνεται ο έλεγχος ανεπάρκειας σε διάτμηση:

Για την καμπτική αστοχία πρέπει να ικανοποιείται η σχέση:

$$V_f = D \cdot N / (2H_0) \cdot (1 - 1,15 \cdot v_d) \leq V_f = f_{vd} \cdot D' \cdot t$$

όπου

D: το μήκος του τοίχου (εντός επιπέδου)

H₀: η απόσταση μεταξύ της διατομής εκτίμησης της καμπτικής ικανότητας και του σημείου μηδενισμού των ροπών

$$v_d = N / (D \cdot t \cdot f_D)$$

$$f_D = f_m / CF_m$$

f_m: η μέση θλιπτική αντοχή

CF_m: συντελεστής εμπιστοσύνης για την τοιχοποιία (εξαρτάται από το επίπεδο γνώσης των ιδιοτήτων της τοιχοποιίας)

$$f_{vd} = f_{vm0} + 0,4N/D' \cdot t \leq 0,0065 \cdot f_m$$

f_{vm0} : η μέση διατμητική αντοχή με απουσία κατακόρυφου φορτίου

D' : θλιβόμενο μήκος τοίχου

t : πάχος τοιχοποιίας

Όταν ικανοποιείται η παραπάνω σχέση τότε το όριο για εμφάνιση σημαντικών βλαβών (Significant Damage-SD) είναι $0,008 \cdot H_o/D$ και $0,0106 H_o/D$ για την οιονεί κατάρρευση (Near Collapse - NC). Αντίθετα, όταν η συμπεριφορά του τοίχου/πεσσού επηρεάζεται κύρια από την διάτμηση, τα όρια είναι $0,004$ για τις σημαντικές βλάβες και $0,0053$ για την οιονεί κατάρρευση.

Όσο αφορά την οριζόντια παραμόρφωση ορόφου (inter-storey drift) έχει προταθεί, από ερευνητές, η τιμή $0,003$ ως όριο περιορισμού βλαβών και η τιμή $0,005$ ως όριο προστασίας ζωής [107]. Πρέπει να σημειωθεί πως οι θεωρητικές τιμές ανεκτών ορίων γωνιακής παραμόρφωσης και πραγματικών τιμών από πειραματικά δεδομένα αρκετές φορές απέχουν [108]. Πρόσθετα, ο ορισμός των ορίων *κατάρρευσης* ως εργαλείο σύγκρισης τιμών που λαμβάνονται από αναλυτικά προσομοιώματα έχει ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό δυσκολίας και θα πρέπει να λάβει υπόψη του μεγάλο αριθμό παραμέτρων, όπως παραδοχές που έχουν γίνει για τον φορέα, το ίδιο το πρόγραμμα της προσομοίωσης, τη σύγκλιση των τελικών αποτελεσμάτων κλπ [107].

Καθώς ο όγκος των δεδομένων είναι πολύ μεγάλος, παρακάτω γίνεται η αξιολόγηση του *μέγιστου βαθμού ανεπάρκειας* για εμφάνιση σημαντικών βλαβών κάθε πεσσού υπό έλεγχο. Υπολογίζεται δηλαδή η ανεπάρκεια στις στιγμές των μέγιστων γωνιακών παραμορφώσεων. Για το κάθε σημείο είναι προφανές πως η μεγιστοποίηση των τιμών θ_{fi} και θ_{sh} δε συμβαίνει απαραίτητα την ίδια χρονική στιγμή.

Πίνακας 7.5. Μέγιστος βαθμός ανεπάρκειας για εμφάνιση σημαντικών βλαβών

Σεισμός Μπίτολα								
Σημείο ελέγχου	Max θ_{fi}	S/F	Όριο θ_{fi} (SD)	Ανεπάρκεια λ	Max θ_{sh}	S/F	Όριο θ_{sh} (SD)	Ανεπάρκεια λ
D1	0,003281	F	0,0035	0,93	0,0003852	F	0,0035	0,11
D2	0,00104	S	0,004	0,26	0,00056	S	0,004	0,14
D3	0,0019633	F	0,0035	0,56	0,000074	F	0,0035	0,02
D4	0,001017	S	0,004	0,25	0,000711	S	0,004	0,18
D5	0,000539	F	0,003	0,18	0,000191	F	0,003	0,06
D6	0,005059	F	0,003	1,69	0,000765	F	0,003	0,26

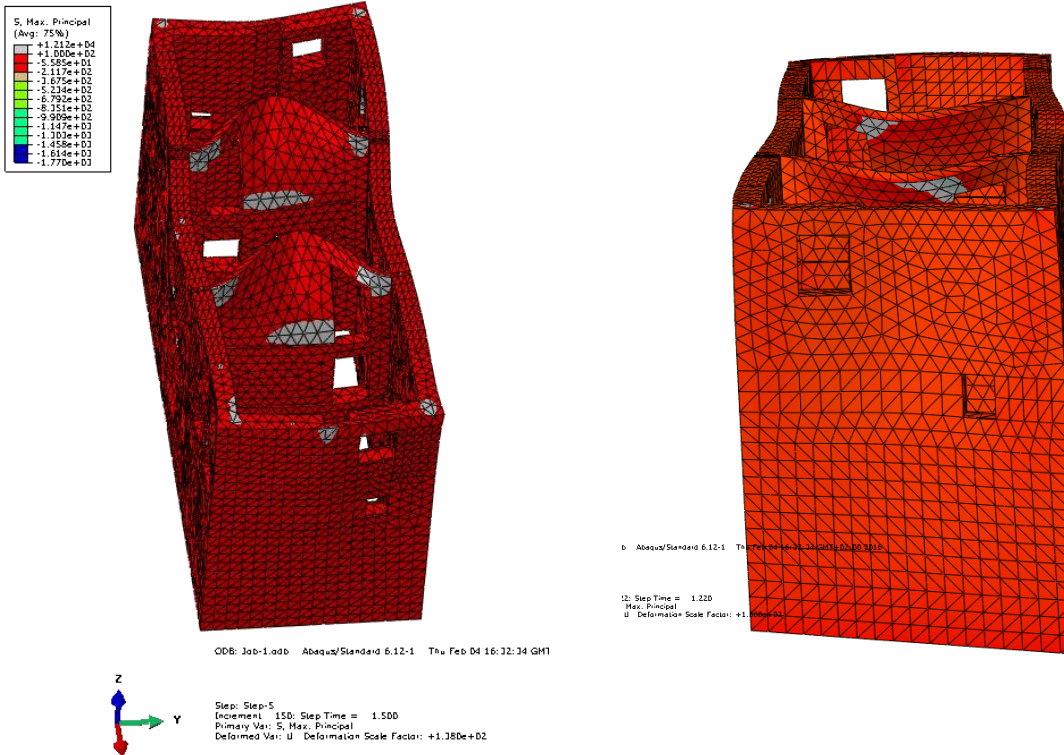
Για τη διατομή D6 πραγματοποιείται και ο έλεγχος οιονεί κατάρρευσης, με όριο $4/3 \cdot 0,003 = 0,004$, άρα η ανεπάρκεια σε κατάρρευση είναι **$\lambda = 1,26$** .

7.2.2 Μοντέλο 2

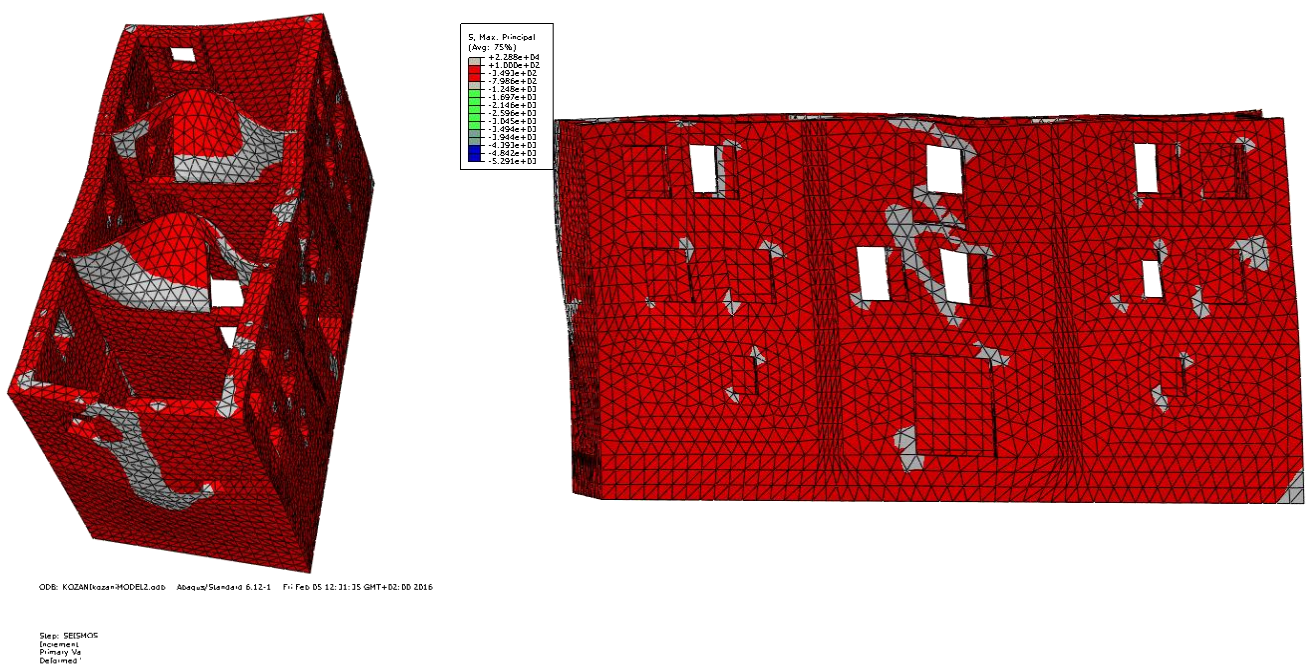
Το μοντέλο 2 ενσωματώνει την πρώτη βασική επέμβαση, τη σύνδεση εσωτερικής-εξωτερικής τοιχοποιίας. Οι ακόλουθοι έλεγχοι έχουν πραγματοποιηθεί για τα τρία σεισμικά γεγονότα που αναφέρθηκαν στον πίνακα 7.2.

Μέγιστες κύριες τάσεις

Ο έλεγχος για τιμή αντοχής 0,1MPa έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα.



Εικόνα 7.18. Σημεία υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής για τον σεισμό Μπίτολα



Εικόνα 7.19. Σημεία υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής για τον σεισμό Κοζάνης

Για τον σεισμό Μπίτολα, σε σχέση με το μοντέλο Α, η σύνδεση της τοιχοποιίας είχε ως αποτέλεσμα την εξάλειψη των αστοχιών στις εξωτερικές τοιχοποιίες, στις στενές πλευρές του κτιρίου, και στις γωνίες, ενώ όπως και πριν δεν παρατηρήθηκε αστοχία στις κύριες όψεις. Εμφανίστηκαν ωστόσο νέα σημεία αστοχιών στα σημεία σύνδεσης εσωτερικής-εξωτερικής τοιχοποιίας και στη στέψη των εσωτερικών τοίχων.

Για τον σεισμό Ζερκάν δεν παρατηρήθηκε καμία αστοχία και για αυτό τον λόγο δεν παρουσιάζονται εδώ τα αποτελέσματα της σχετικής ανάλυσης.

Η επίδραση ενός σαφώς μεγαλύτερης έντασης σεισμού, όπως της Κοζάνης, είναι σαφής. Οι αστοχίες εκτείνονται σχεδόν σε όλη την επιφάνεια των διαχωριστικών τοίχων και των σημείων εξασθένισης της εξωτερικής τοιχοποιίας. Επιπλέον, υπερβάσεις της εφελκυστικής αντοχής έχουμε και στις μεγάλες πλευρές των όψεων, στις κορυφές των ανοιγμάτων.

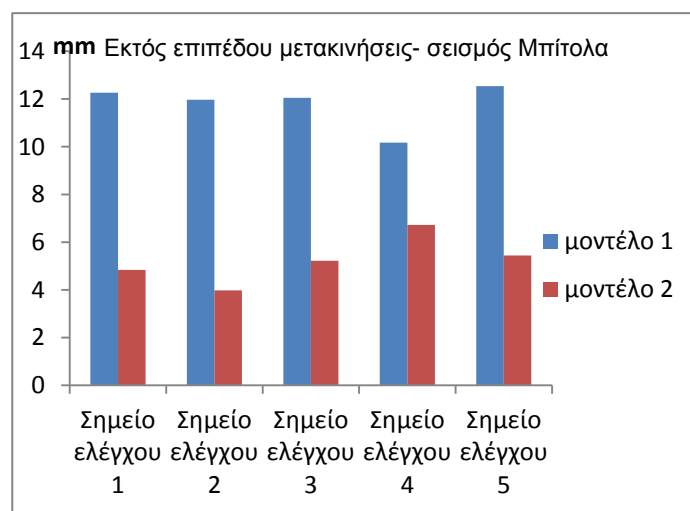
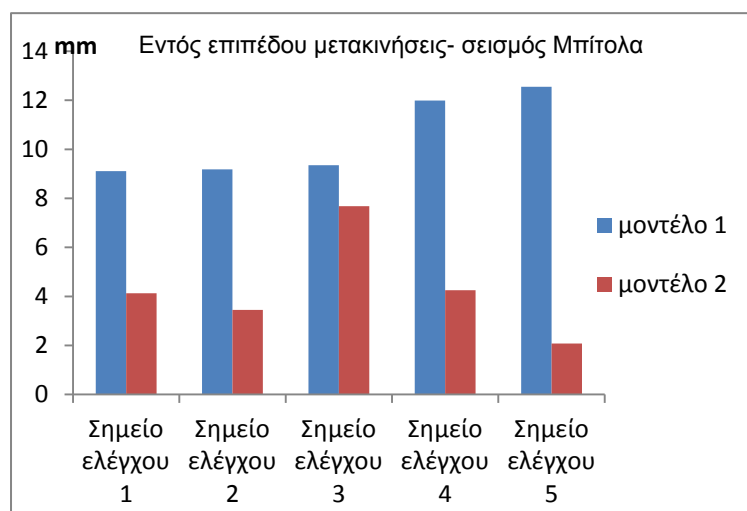
Έλεγχος μετακινήσεων

Τα αποτελέσματα για τους τρεις σεισμούς παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

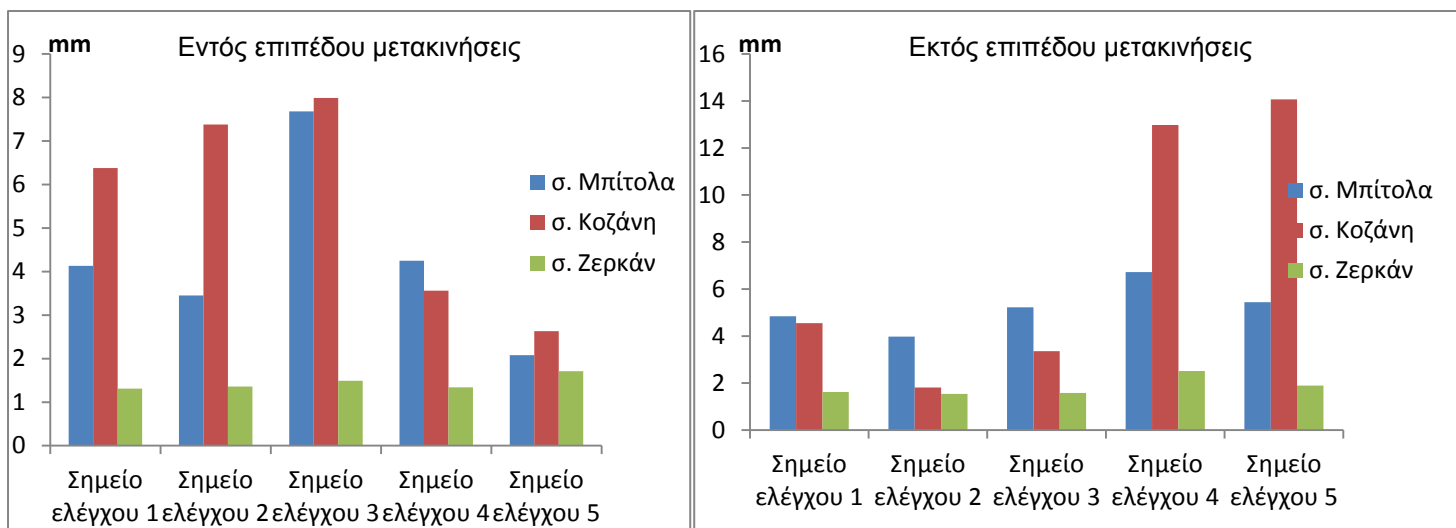
	μοντέλο 2					
	Εντός επιπέδου- (abs max) (mm)			Εκτός επιπέδου - (abs max) (mm)		
	Μπίτολα	Κοζάνη	Ζερκάν	Μπίτολα	Κοζάνη	Ζερκάν
1	4,13	6,38	1,31	4,84	4,55	1,62
2	3,45	7,38	1,36	3,98	1,81	1,54
3	7,68	7,99	1,49	5,22	3,36	1,58
4	4,25	3,56	1,34	6,72	12,98	2,51
5	2,08	2,63	1,71	5,44	14,07	1,89

Η διαφορά μετακινήσεων ανά σημείο ελέγχου για τον σεισμό Μπίτολα για τα μοντέλα 1-2 φαίνεται στο διάγραμμα 7.2. Είναι προφανής η ευεργετική επίδραση της σύνδεσης των τοίχων, με μόνη εξαίρεση τις εντός επιπέδου μετακινήσεις του σημείου ελέγχου 3.

Όταν το κτίριο ελεγχθεί στον σεισμό της Κοζάνης οι μετακινήσεις κατά τον άξονα της μεγάλης πλευράς του κτιρίου παραμένουν μεγάλες, ιδιαίτερα οι εκτός επιπέδου των στενών τοιχοποιιών.



Διάγραμμα 7.2. Δραστική μείωση των μετακινήσεων στη στέψη της τοιχοποιίας έπειτα από τη σύνδεση των εξωτερικών-εσωτερικών τοιχοποιιών



Διάγραμμα 7.3. Μοντέλο 2: σύγκριση των μετακινήσεων για τους τρεις σεισμούς.

Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων

Για τον σεισμό Μπίτολα η ανεπάρκεια για τις εκτός επιπέδου παραμορφώσεις (θ_{fl}) μειώνεται σημαντικά, σε σχέση με το μοντέλο 1, ως και κατά περίπου 70% στα σημεία D1 και D3. Αντίθετα, αύξηση της ανεπάρκειας παρατηρείται για τις γωνιακές παραμορφώσεις στα σημεία D4 και D6. Μάλιστα, ο έλεγχος οιονεί κατάρρευσης για τη διατομή D6 δείχνει ανεπάρκεια $\lambda=1,59$. Οι εντός επιπέδου γωνιακές (θ_{sh}) παραμορφώσεις είναι σε επίπεδα κατώτερα του ορίου εμφάνισης σημαντικών βλαβών.

Πίνακας 7.7. Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων για τον σεισμό Μπίτολα.

Σεισμός Μπίτολα- μοντέλο 2								
Σημείο ελέγχου	Max θ_{fl}	S/F	Όριο θ_{fl} (SD)	Ανεπάρκεια λ	Max θ_{sh}	S/F	Όριο θ_{sh} (SD)	Ανεπάρκεια λ
D1	0.00077	F	0.0035	0.22	0.00034	F	0.0035	0.10
D2	0.00097	S	0.004	0.24	0.00049	S	0.004	0.12
D3	0.00063	F	0.0035	0.18	0.00014	F	0.0035	0.04
D4	0.00099	F	0.0023	0.43	0.00071	F	0.0023	0.31
D5	0.00031	F	0.003	0.10	0.00018	F	0.003	0.06
D6	0.00638	F	0.003	2.12	0.00024	F	0.003	0.08

Σημαντικά αυξημένοι, σε σχέση με τον σεισμό Μπίτολα, είναι οι βαθμοί ανεπάρκειας για τον σεισμό της Κοζάνης, με μόνο σημείο εμφάνισης σημαντικών βλαβών, ωστόσο, το D6- στη στέψη δηλαδή της διαχωριστικής τοιχοποιίας. Ο έλεγχος οιονεί κατάρρευσης, με όριο $4/3 \cdot 0,003 = 0,004$ για τη διατομή D6 έδειξε ανεπάρκεια σε κατάρρευση $\lambda=3,9$. Αυξημένο βαθμό ανεπάρκειας, τόσο για τις εντός όσο και για τις εκτός επιπέδου παραμορφώσεις έχει και ο πεσσός D4.

Πίνακας 7.8. Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων για τον σεισμό Κοζάνης.

Σεισμός Κοζάνης- μοντέλο 2								
Σημείο ελέγχου	Max θ_{fl}	S/F	Όριο θ_{fl} (SD)	Ανεπάρκεια λ	Max θ_{sh}	S/F	Όριο θ_{sh} (SD)	Ανεπάρκεια λ
D1	0.0026	F	0.0035	0.75	0.0008	F	0.0035	0.22
D2	0.0011	S	0.004	0.27	0.0009	S	0.004	0.22
D3	0.0021	F	0.0035	0.6	0.0003	F	0.0035	0.08
D4	0.0011	F	0.0023	0.48	0.0015	F	0.0023	0.65
D5	0.0015	F	0.003	0.5	0.0004	F	0.003	0.13
D6	0.0156	F	0.003	5.2	0.0006	F	0.003	0.2

Για τον σεισμό Ζερκάν τα αποτελέσματα έδειξαν πως δεν υπάρχει καμία σημαντική βλάβη στην τοιχοποιία.

Πίνακας 7.9. Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων για τον σεισμό Ζερκάν.

Σεισμός Ζερκάν- μοντέλο 2								
Σημείο ελέγχου	Max θ_{fl}	S/F	Όριο θ_{fl} (SD)	Ανεπάρκεια λ	Max θ_{sh}	S/F	Όριο θ_{sh} (SD)	Ανεπάρκεια λ
D1	0.0004	F	0,0035	0.0035	0.0001	F	0,0035	0.028
D2	0.0002	S	0,004	0.004	0.0002	S	0,004	0.05
D3	0.0002	F	0,0035	0.0035	0.0001	F	0,0035	0.028
D4	0.0002	S	0,004	0.004	0.0002	S	0,004	0.05
D5	0.0002	F	0,003	0.003	0.0001	F	0,003	0.033
D6	0.0007	F	0,003	0.003	0.0001	F	0,003	0.033

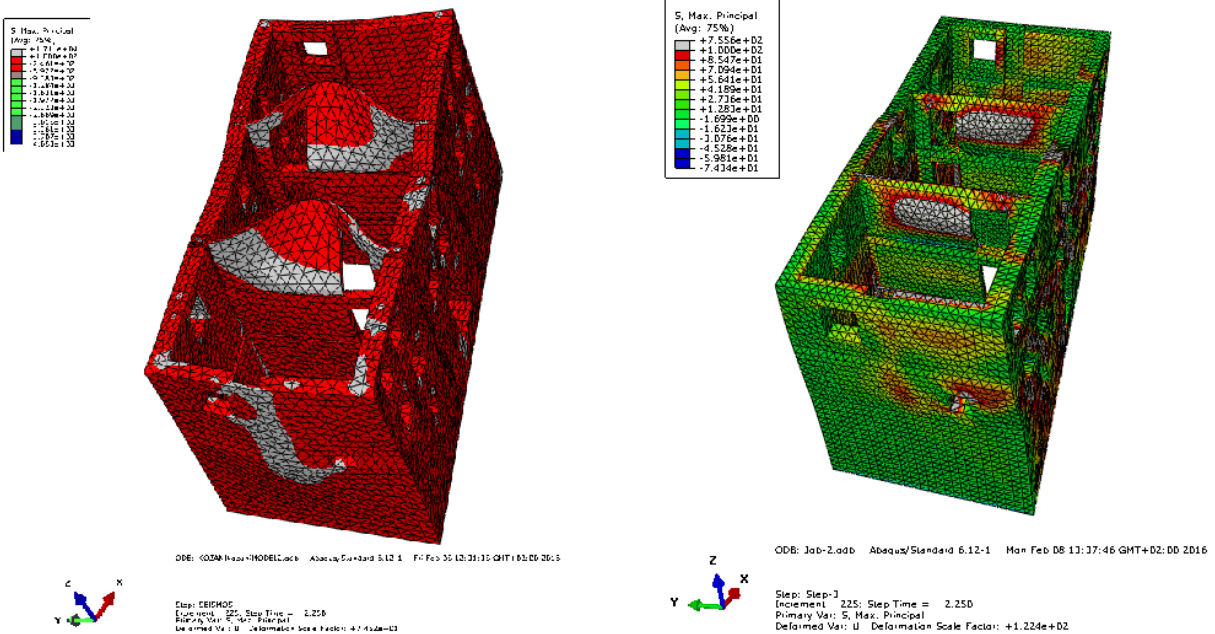
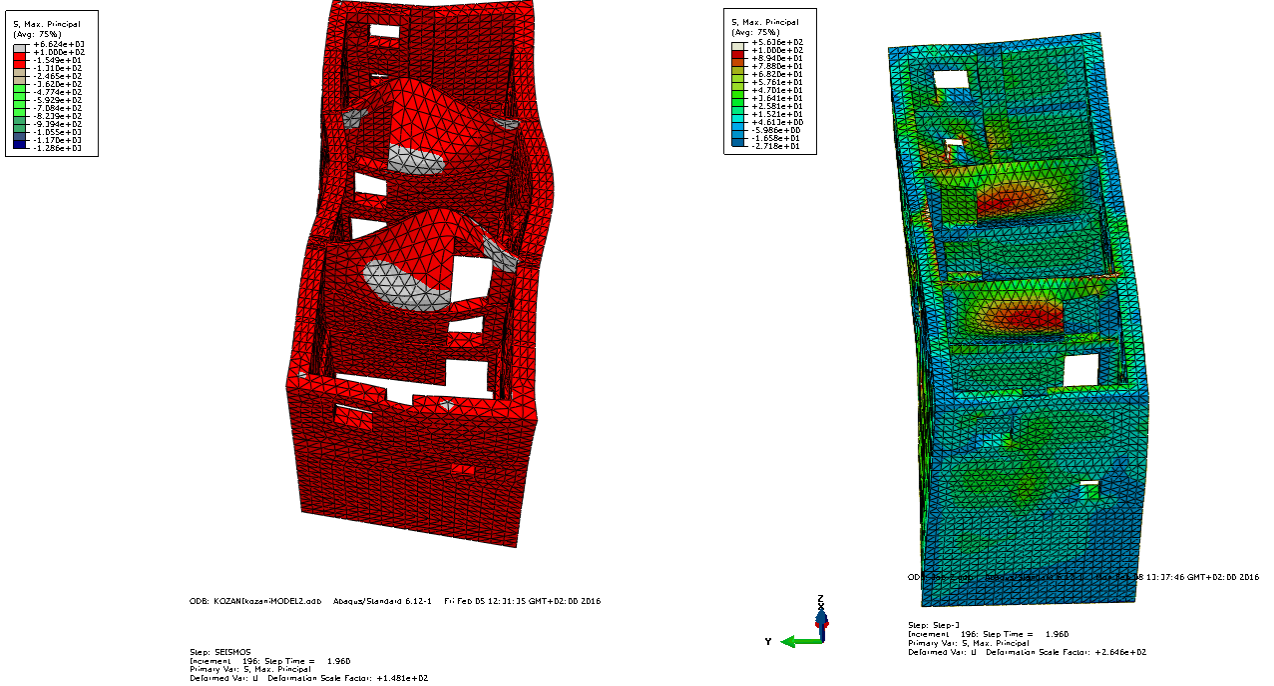
7.2.3 Μοντέλο 3

Το μοντέλο 3 ενσωματώνει την εισαγωγή διαφράγματος στο επίπεδο της στέγης και των πατωμάτων. Η προσομοίωση του έγινε με στοιχεία κελύφους, τα οποία συνδέθηκαν στα άκρα της τοιχοποιίας με άκαμπτη σύνδεση, εκτός από τα σημεία στα οποία εκ των πραγμάτων δεν είναι δυνατή η κατασκευή διαφράγματος- στις σκάλες ανόδου. Τα δοκάρια του πατώματος και της στέγης αφαιρέθηκαν και τοποθετήθηκαν στη θέση τους οι φορτίσεις που προκύπτουν από τη στατική ανάλυση. Έτσι, τα διαφράγματα έχουν μόνο το ίδιο βάρος που προκύπτει από το σανίδωμα ($0,5 \text{ MG/m}^3$). Τα χαρακτηριστικά του κελύφους είναι πάχος 10 εκατοστά, μέτρο ελαστικότητας 10GPa και λόγος Poisson 0,3. Για την απαιτούμενη δυσκαμψία των πατωμάτων κατά τον κατακόρυφο άξονα z, και καθώς το υλικό είναι ανισότροπο με διαφορετικές ιδιότητες ανά διεύθυνση, επιλέχθηκε τιμή μέτρου διάτμησης = 0,5GPa. Η προσομοίωση έγινε μόνο για τον δυσμενέστερο σεισμό, αυτόν της Κοζάνης.

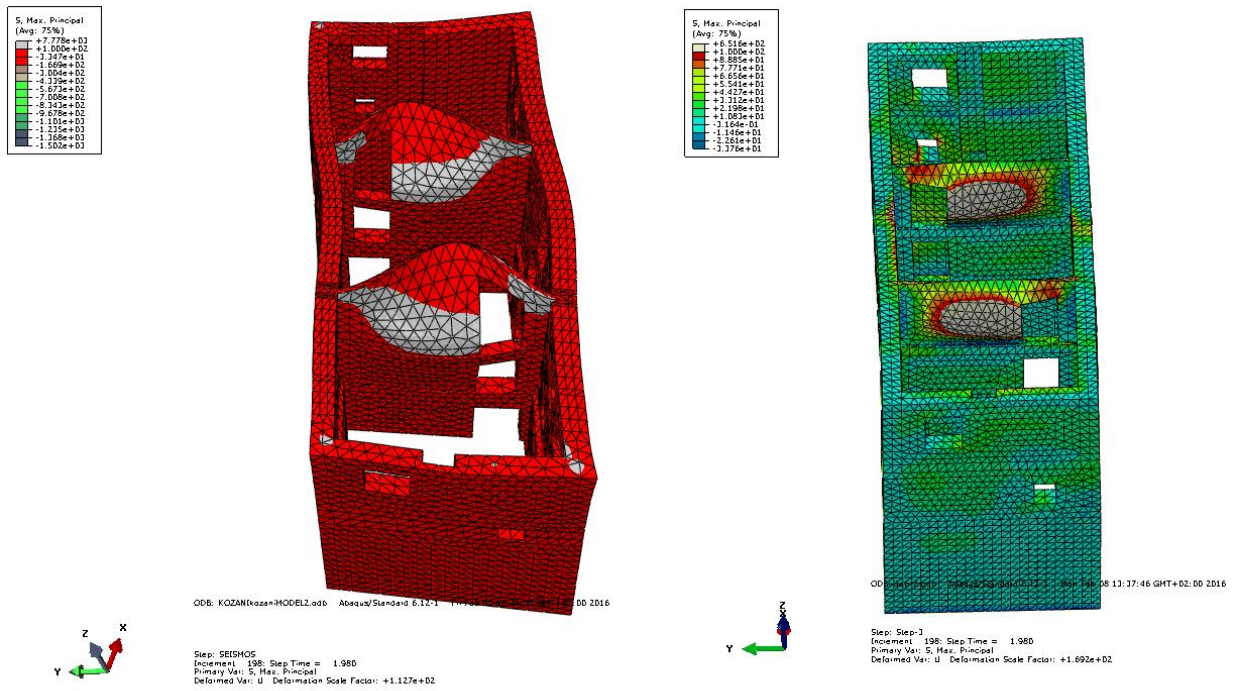
Σημειώνεται πως η προσομοίωση του διαφράγματος γίνεται προσεγγιστικά, καθώς για την ακριβή του λειτουργία απαιτείται εκτίμηση παραμέτρων όπως οι ασυνέχειες του διαφράγματος, η λειτουργία των διαζωμάτων, οι συνδέσεις στα άκρα της τοιχοποιίας, η παρουσία τενόντων, η επιλογή του σανιδώματος, η μη-γραμμική λειτουργία των καρφιών κλπ.

Μέγιστες κύριες τάσεις

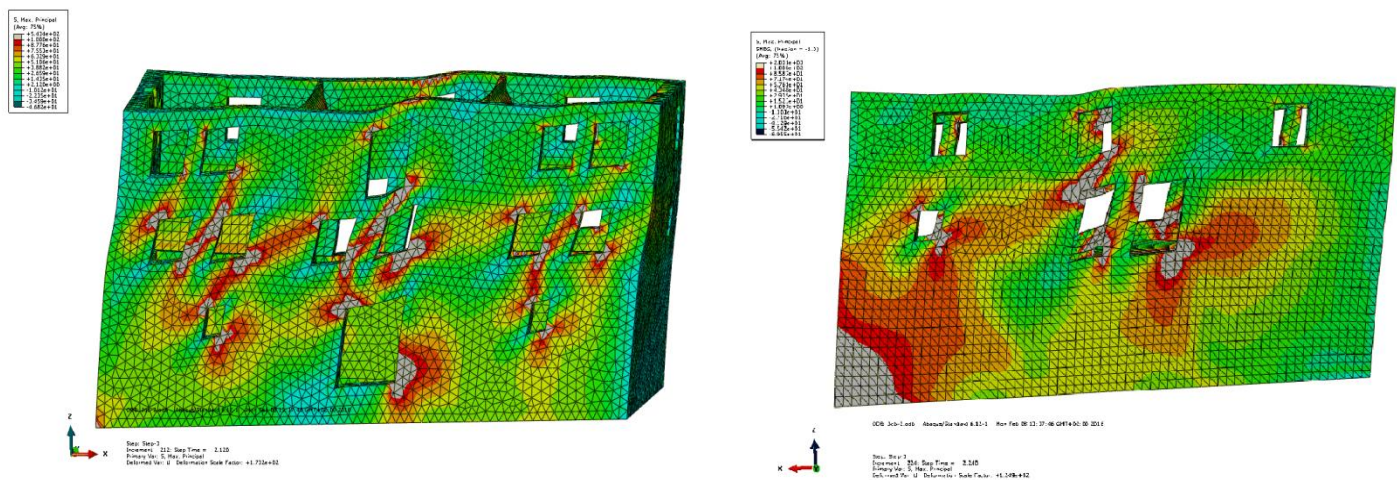
Ο έλεγχος για τιμή αντοχής 0,1MPa έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στις εικόνες 7.20-2.



Εικόνα 7.20. Στα παραπάνω στιγμιότυπα την ίδια χρονική στιγμή του σεισμού Κοζάνης φαίνεται η επίδραση του διαφράγματος. Οι εικόνες αριστερά είναι πριν την τοποθέτηση του (μοντέλο 2), ενώ οι εικόνες δεξιά μετά (μοντέλο 3).

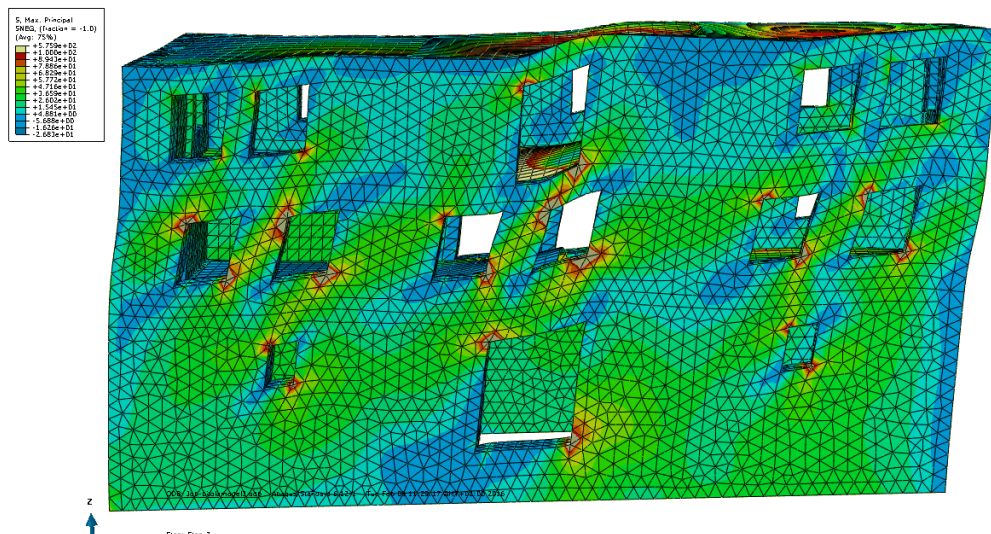


Εικόνα 7.21. Σχετικά όμοια εμφάνιση αστοχιών στις ίδιες χρονικές στιγμές για τα μοντέλα 2 και 3 (αριστερά και δεξιά αντίστοιχα).



Εικόνα 7.22. Αποτελέσματα για το μοντέλο 3. Παρατηρήθηκαν μεγαλύτερης έκτασης υπερβάσεις της εφελκυστικής αντοχής στις κύριες όψεις του κτιρίου σε σχέση με το μοντέλο 2. Τα σημεία αστοχίας συγκεντρώνονται γύρω και μεταξύ των ανοιγμάτων.

Για λόγους σύγκρισης, παρατίθεται η εικόνα των εκτενέστερων υπερβάσεων της εφελκυστικής αντοχής για τον σεισμό Μπίτολα. Είναι σαφές πως σε σχέση με τον σεισμό Κοζάνης, η πιθανότητα αστοχίας είναι σημαντικά περιορισμένη.



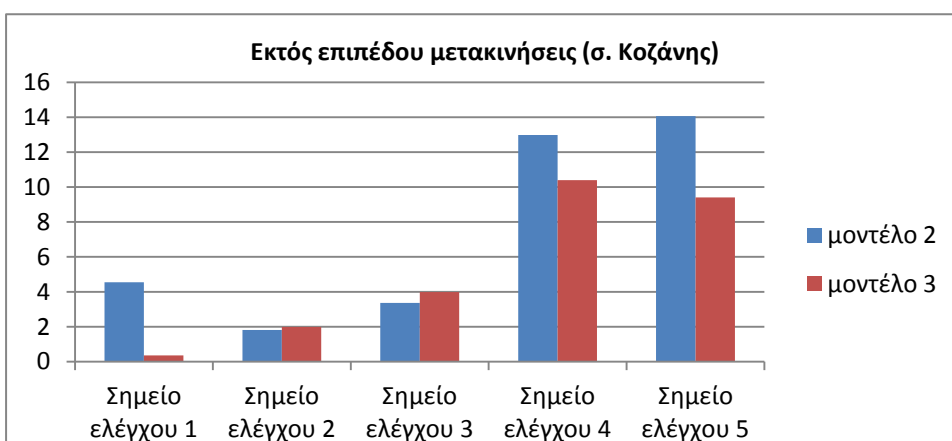
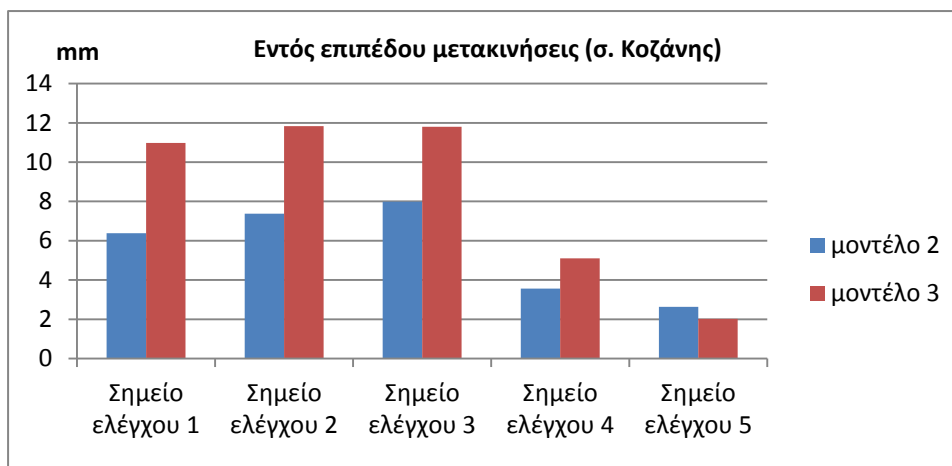
Εικόνα 7.23. Μοντέλο 3, σεισμός Μπίτολα: σημειακές υπερβάσεις της αντοχής σε εφελκυσμό.

Έλεγχος μετακινήσεων

Τα αποτελέσματα για τον σεισμό της Κοζάνης παρουσιάζονται στον πίνακα 7.10, ενώ στο διάγραμμα 7.4 γίνεται σύγκριση μεταξύ του μοντέλου 2 (χωρίς διάφραγμα) και 3 (με διάφραγμα). Είναι φανερό, όπως και από τον έλεγχο κύριων τάσεων, πως οι πιθανότητες βλάβης έχουν μειωθεί για τις τοιχοποιίες στη στενή πλευρά του κτιρίου, αλλά έχουν αυξηθεί στις κύριες όψεις όσο αφορά τις εντός επιπέδου μετακινήσεις.

Πίνακας 7.10. Μέγιστες τιμές μετακίνησης για τον σεισμό Κοζάνης- μοντέλο 3.

μοντέλο 3		
	Εντός επιπέδου- (abs max) (mm)	Εκτός επιπέδου - (abs max) (mm)
1	10,98	0,351
2	11,83	1,99
3	11,8	3,99
4	5,1	10,4
5	2,02	9,41



Διάγραμμα 7.4. Σύγκριση των μέγιστων τιμών μετακινήσεων για τα μοντέλα 2 και 3, για τον σεισμό Κοζάνης.

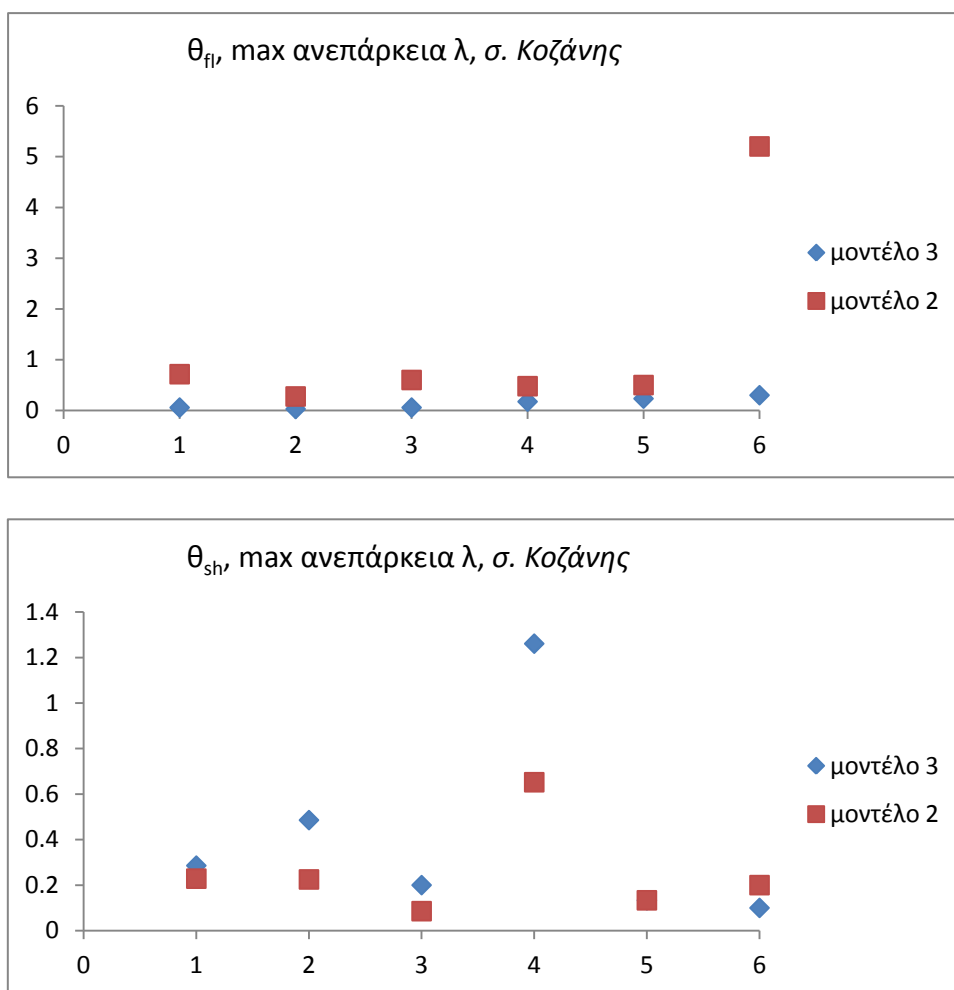
Έλεγχος γωνιακών παραμορφώσεων

Για τον σεισμό Κοζάνης ο βαθμός ανεπάρκειας για τις εκτός επιπέδου παραμορφώσεις (θ_{fl}) έχει μειωθεί σημαντικά, ενώ η υπέρβαση του ορίου των σημαντικών βλαβών και της οιονεί κατάρρευσης του μοντέλου 2 πλέον έχει εξαλειφθεί (πίνακας 7.11). Λίγες αυξήσεις παρατηρούνται στις εντός επιπέδου γωνιακές παραμορφώσεις, ενώ ο πεσσός D4 υπερβαίνει το όριο σημαντικών βλαβών και οριακά αυτό της οιονεί κατάρρευσης ($\lambda=0,945$).

Πίνακας 7.11. Μέγιστος βαθμός ανεπάρκειας σε γωνιακές παραμορφώσεις για τον σεισμό Κοζάνης- μοντέλο 3

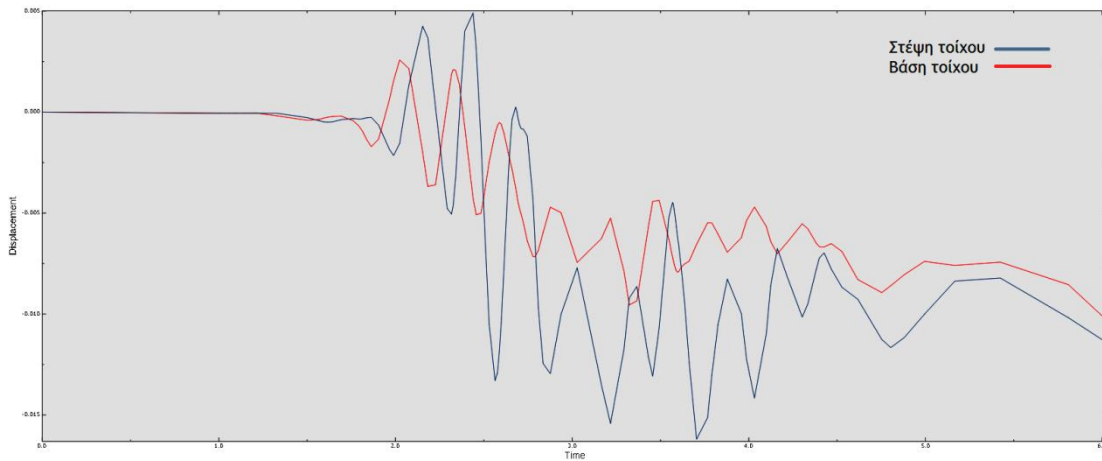
Σεισμός Κοζάνης- μοντέλο 3								
Σημείο ελέγχου	Max θ_{fl}	S/F	Όριο θ_{fl} (SD)	Ανεπάρκεια λ	Max θ_{sh}	S/F	Όριο θ_{sh} (SD)	Ανεπάρκεια λ
D1	0.0002	F	0.0035	0.06	0.0010	F	0.0035	0.28
D2	0.0001	F	0.0035	0.03	0.0017	F	0.0035	0.49
D3	0.0002	F	0.0035	0.06	0.0007	F	0.0035	0.2
D4	0.0004	F	0.0023	0.17	0.0029	F	0.0023	1.26
D5	0.0007	F	0.003	0.23	0.0004	F	0.003	0.13
D6	0.0009	F	0.003	0.3	0.0003	F	0.003	0.1

Στο διάγραμμα 7.5 γίνεται η σύγκριση των βαθμών ανεπάρκειας, για εμφάνιση σημαντικών βλαβών, των πεσσών που ελέγχθηκαν για το μοντέλο 2 και το μοντέλο 3 (με διάφραγμα).

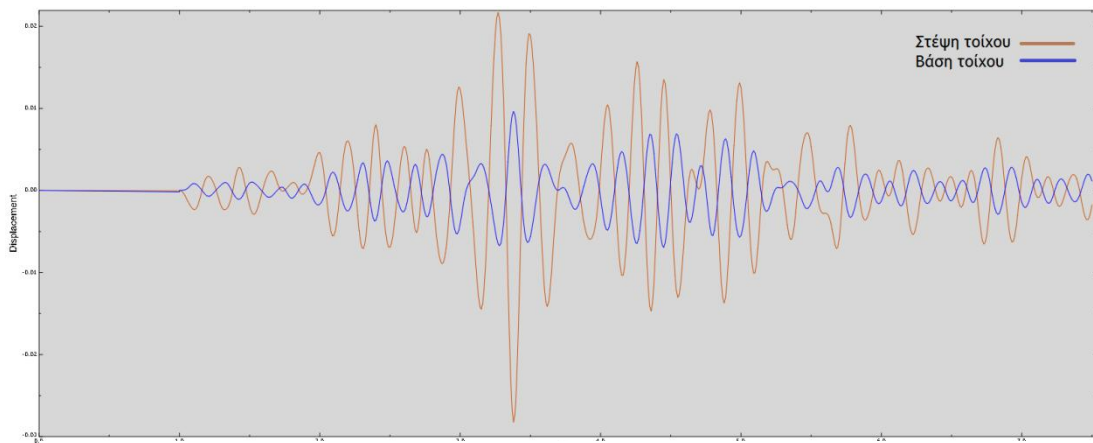


Διάγραμμα 7.5. Σύγκριση της μέγιστης ανεπάρκειας σε γωνιακές παραμορφώσεις, για τα μοντέλα 2 και 3- σεισμός Κοζάνης.

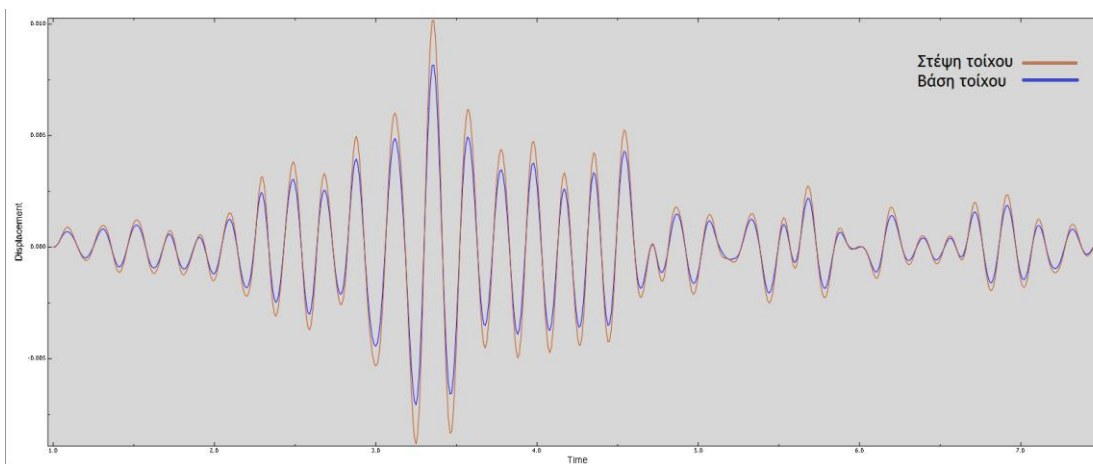
Παρά τις ελαφρώς μεγαλύτερες εκτός επιπέδου μετακινήσεις του μοντέλου 3, σε ορισμένα σημεία, ο βαθμός ανεπάρκειας για τις γωνιακές παραμορφώσεις είναι σαφώς μικρότερος σε σχέση με τα μοντέλα 2 και 1. Προφανώς ο αυξημένος βαθμός διαφραγματοποίησης του μοντέλου 3 συνεπάγεται συγχρονισμό, όσο είναι δυνατό, της μεγιστοποίησης των μετακινήσεων στη βάση και τη στέψη των τοίχων. Αυτό δείχνουν οι ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 7.24. Μοντέλο 1 (αρχική κατάσταση κτιρίου): εκτός επιπέδου μετακίνηση στη στέψη και τη βάση του τοίχου ελέγχου D6, για τον σεισμό Μπίτολα



Εικόνα 7.25. Μοντέλο 2 (σύνδεση εσ.-εξ. τοιχοποιιών): εκτός επιπέδου μετακίνηση στη στέψη και στη βάση του τοίχου ελέγχου D6, για τον σεισμό Κοζάνης



Εικόνα 7.26. Μοντέλο 3 (διάφραγμα και σύνδεση εσ.-εξ. τοιχοποιιών): εκτός επιπέδου μετακίνηση στη στέψη και στη βάση του τοίχου ελέγχου D6, για τον σεισμό Κοζάνης

7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Η προσομοίωση του **μοντέλου 1** έδειξε πως οι ευαίσθητες περιοχές του κτιρίου Α, στην αρχική του μορφή, είναι τα σημεία εξασθένησης της τοιχοποιίας (καμινάδες, τζάκια) και η ασύνδετη εσωτερική τοιχοποιία, ενώ σύμφωνα με τον έλεγχο παραμορφώσεων, αναμένονται σημαντικές βλάβες στο ανώφλι της θύρας του εξώστη και κατάρρευση της εσωτερικής τοιχοποιίας του τελευταίου ορόφου- η οποία καταγράφεται στη βιβλιογραφία ως αρκετά συνηθισμένη στην περίπτωση ασύνδετων τοιχοποιιών (βλ. ενότητα 3.1.2). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης επιβεβαιώνουν, συνεπώς, τις επί τόπου παρατηρήσεις (εκκίνηση καταρρεύσεων στα τζάκια και τις καμινάδες, πτώση ασύνδετων τοιχοποιιών) και την εξέλιξη των βλαβών μέσα από το αρχαικό φωτογραφικό υλικό (η πρώτη κατάρρευση που καταγράφηκε είναι αυτή του κεντρικού τμήματος της στέγης που στηριζόταν στο ανώφλι του εξώστη).

Τα αποτελέσματα του **μοντέλου 2** έδειξαν πως το βασικό μέτρο σύνδεσης εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας αρκεί για τον περιορισμό των βλαβών στις καμινάδες, ωστόσο η εσωτερική τοιχοποιία του 3^{ου} ορόφου διατρέχει τον κίνδυνο υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής και αστοχεί στην εκτός επιπέδου κάμψη που προκαλεί ο σεισμός Μπίτολα. Συγκεντρώσεις των τάσεων και πιθανές αστοχίες εμφανίζονται στη βάση της τοιχοποιίας, στις γωνίες των ανοιγμάτων και στη σύνδεση εγκάρσιων τοίχων. Σεισμοί όπως αυτός της Κοζάνης έχουν σαφώς μεγαλύτερες συνέπειες στις ίδιες θέσεις, ενώ αναμένεται να προκαλέσουν επιπλέον βλάβες στα πολύ χαμηλά ανώφλια των μεσαίων ανοιγμάτων του 2^{ου} ορόφου- όπως άλλωστε έχουν σημειωθεί και στην πραγματικότητα, ήδη από το 1982 (βλ. Φωτογραφία 5.8)- αλλά και κατάρρευση της διαχωριστικής τοιχοποιίας.

Η βελτίωση της διαφραγματικής λειτουργίας του κτιρίου στο **μοντέλο 3** είχε ως συνέπεια την εξάλειψη των βλαβών για σεισμούς μεγέθους αντίστοιχου με αυτούς που έχουν καταγραφεί έως σήμερα στην περιοχή. Στο ενδεχόμενο ισχυρότατου σεισμού οι βλάβες περιορίζονται χάρη στο διάφραγμα ωστόσο σημεία υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής καταγράφονται στις κύριες όψεις, και σημαντικές βλάβες εξαιτίας διαμητικής παραμόρφωσης σημειώνονται στον πεσσό D4. Η υπέρβαση της αντοχής σε εφελκυσμό συμβαίνει κυρίως σε σημεία τα οποία έχουν ενισχυθεί με ξύλινες δεσιές, στις περιοχές των ανοιγμάτων. Οι ρωγμές στα ανοίγματα θεωρούνται χαμηλής επικινδυνότητας (βλ. ενότητα 3.1.2). Σημειώνεται πως το πλευρικό στον πεσσό D4 άνοιγμα έχει εκ των υστέρων μερικώς κλείσει, πιθανώς όμως για καθαρά λειτουργικούς λόγους.

Τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης δεν μπορούν να αποτελούν μοναδικό τεκμήριο αξιολόγησης της υφιστάμενης κατάστασης και των προτεινόμενων επεμβάσεων καθώς δεν εκτιμούν τις ιδιαιτερότητες των ωμοπλίνθων και ιδιαίτερα την μετελαστική τους συμπεριφορά και την ικανότητα παραλαβής φορτίων ακόμα και μετά την ρηγμάτωση τους. Είναι γνωστό πως από τη στιγμή που θα εμφανιστούν ρωγμές δεν είναι ρεαλιστική η προσομοίωση της τοιχοποιίας ως ενιαίας, καθώς η απόκριση της πλέον εξαρτάται από τις δυνάμεις τριβής που θα αναπτυχθούν ανάμεσα στα ξεχωριστά τμήματα τοίχου. Επιπλέον, η συχνότητα της δεσπόζουσας ιδιομορφής μειώνεται δραματικά, ενώ οι αναμενόμενες μετατοπίσεις πεσσών και τοίχων μπορεί να αυξηθούν κατά 2-3 φορές. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, συνεπώς, πρέπει να συνεκτιμώνται συνοδευτικά μαζί με τις επί τόπου παρατηρήσεις και εκτεταμένες πειραματικές δοκιμές [86].



Φωτογραφία 7.1. Μεταγενέστερο κλείσιμο του ανοίγματος στα βόρεια του πεσσού D4

7.4 Προτάσεις επέμβασης

7.4.1 Το γενικό πλαίσιο των επεμβάσεων

Με αφορμή το αυξανόμενο ενδιαφέρον των κατοίκων και φορέων των Πρεσπών για τον κτιριακό πλούτο της περιοχής και τις μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης ενός βιώσιμου μοντέλου γύρω από τους άξονες της πρωτογενούς παραγωγής, του τουρισμού και της πλούσιας βιοποικιλότητας των λιμνών, προτείνεται να δοθεί προτεραιότητα σε όσα κτίρια μπορούν να αποτελέσουν ένα ενιαίο σύνολο. Ένα τέτοιο αποκατεστημένο σύνολο θα θυμίζει τόσο τις παραδοσιακές τεχνικές δόμησης όσο και έναν χαμένο τρόπο ζωής στην περιοχή που ήταν άρρηκτα συνδεδεμένος με τον περιβάλλοντα φυσικό πλούτο. Η αξία των ωμόπλινθων έγκειται, άλλωστε, στο ότι αποτελούν την κατεξοχήν φυσική μέθοδο δόμησης, παλιά όσο σχεδόν η ανθρώπινη ύπαρξη. Η εντυπωσιακή εικόνα ενός οικιστικού συνόλου αποκλειστικά από ωμόπλινθους μπορεί να αποτελέσει το ιδανικό περιβάλλον προβολής, μελέτης και εκμάθησης των τεχνικών φυσικής δόμησης, προς τις οποίες έχουν αρχίσει να προσανατολίζονται τόσο μηχανικοί όσο και εκπαιδευτικά Ιδρύματα της χώρας.

Τέτοιες ομάδες κτιρίων συναντά κανείς κυρίως στον Άγιο Γερμανό, στο Ανταρτικό, στο Πράσινο, στο Τρίγωνο, στον Κώτα, στον Λευκώνα αλλά και στα χωριά των Κορεστίω. Άμεση εμπλοκή σε ένα πιθανό σχέδιο αξιοποίησης των κτιρίων αυτών πρέπει να έχουν οι φορείς της περιοχής που έχουν ήδη επιδείξει ένα ενδιαφέρον στην διατήρηση του ιστορικού κτιριακού αποθέματος, όπως είναι η Εταιρεία Προστασίας Πρεσπών και ο πολιτιστικός σύλλογος του Αγ. Γερμανού, αλλά και μηχανικοί της περιοχής- βλ. για παράδειγμα τις μελέτες [18, 19, 109, 110].

Οι προτάσεις που ακολουθούν πρέπει να εκληφθούν ως γενικού χαρακτήρα, και δεν αναφέρονται συγκεκριμένα στα κτίρια μελέτης Α ή Β. Η ομοιότητα στην τυπολογία και τις κατασκευαστικές τεχνικές που έχουν εφαρμοστεί σε όλα τα υφιστάμενα κτίρια από ωμόπλινθους στην περιοχή επιτρέπει μια τέτοια προσέγγιση. Ειδικά για το κτίριο Α οι εκτεταμένες βλάβες και καταρρεύσεις δεν επιτρέπουν τίποτα άλλο παρά την υποστύλωση του για αποφυγή επικίνδυνης κατάρρευσης, την ελεγχόμενη κατεδάφιση του και την ανακατασκευή του εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο. Η φράση κατοίκου του Τριγώνου πως *«τα κτίρια από πλιθιά λιώνουν σαν παγόβουνα, σαν παγωτά, και ξαναγυρνάν στη γη»* μάλλον περιγράφει κατάλληλα την περίπτωση του κτιρίου Α.



Φωτογραφία 7.2. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του ενδιαφέροντος για τον κτιριακό πλούτο της περιοχής. Επάνω, η αποκάλυψη του έως πρόσφατα σοβατισμένου εμβλήματος των αντάρτικων ομάδων στο ταχυδρομείο του Αγ. Γερμανού (πηγή φωτ. αριστερά: προσωπικό αρχείο κ. Θαν. Τριανταφυλλίδη). Κάτω, οι εργασίες αποκατάστασης νερόμυλου στον Άγιο Γερμανό που πραγματοποιήθηκαν με πρωτοβουλία της Εταιρίας Προστασίας Πρεσπών και βάσει μελέτης των αρχιτεκτόνων μηχανικών Αγγέλας Γεωργαντά και Αχιλλέα Στόιου (πηγή φωτ.: <http://www.spp.gr/>)



Φωτογραφία 7.3. Σε ενδεχόμενη αποκατάσταση κτιρίων από πλιθιά προτεραιότητα πρέπει μάλλον να δοθεί στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν συνεκτικά σύνολα αντίστοιχων κτιρίων. Μια τέτοια περίπτωση είναι ο οικισμός Γάβρος, στα Κορέστια.

7.4.2 Αρχές των επεμβάσεων

Είναι σαφές, καταρχήν, πως η εκτεταμένη απώλεια των κτιρίων από ωμόπλινθους στην περιοχή μελέτης δεν οφείλεται κύρια σε σεισμικά γεγονότα, αλλά στις εγγενείς κατασκευαστικές ατέλειες και στην εγκατάλειψη και έλλειψη συντήρησής τους. Αυτό δε σημαίνει βέβαια πως αποκλείονται μελλοντικά καταστροφικοί σεισμοί.

Επιπλέον, η παρουσία ρωγμών στα υφιστάμενα κτίρια κρίνεται ως φυσιολογική και αναμενόμενη. Εξάλλου κομμάτι της δομικής παράδοσης σε περιοχές με κτίρια από ωμόπλινθους είναι η συχνή συντήρηση και επισκευή βλαβών.

Οι άξονες γύρω από τους οποίους προτείνεται να σχεδιαστεί η αποκατάσταση των κτιρίων είναι οι ακόλουθοι:

- Το υγρό στοιχείο αποτελεί τον σημαντικότερο κίνδυνο, εξαιρουμένων των σεισμικών διεγέρσεων
- Το μεγάλο πάχος των ωμοπλινθοδομών είναι η κύρια άμυνα έναντι σεισμικής αστάθειας.
- Η πλήρης εξάλειψη ρωγμών στην ωμοπλινθοδομή δεν είναι εφικτή. Επιπλέον, η εμφάνιση ρωγμών αν και συνεπάγεται πλήρη απώλεια της εφελκυστικής αντοχής, δεν εμποδίζει την κατακόρυφη μεταφορά των φορτίων στο έδαφος, εφόσον ο τοίχος δεν έχει αποκλίσεις από την κατακόρυφο.
- Η στέγη πρέπει να είναι καλά δεμένη με τον υπόλοιπο φορέα, ώστε να προσφέρει επιπλέον σταθερότητα στην τοιχοποιία.
- Η προσθήκη ενισχύσεων από όγκιμα υλικά πρέπει να αποφεύγεται καθώς διαταράσσει την δομική αυθεντικότητα του κτιρίου ενώ δημιουργεί περιοχές ασυμβατότητας με τις ψαθυρές ωμόπλινθους.

Στόχος, λοιπόν, των επεμβάσεων πρέπει να είναι, καταρχήν, η αποφυγή καταρρεύσεων και απώλειας ζωής και όχι απαραίτητα η μη-εμφάνιση βλαβών.

7.4.3 Αντιμετώπιση της υγρασίας

Η πλέον σημαντική εργασία η οποία θα προστατέψει την ωμοπλινθοδομή από την υγρασία, αλλά και θα επαναφέρει την αρχική εικόνα των κτιρίων είναι η εφαρμογή επιχρισμάτων, βασισμένα στον πηλό και την άσβεστο. Πρόσθετα υλικά μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της τριχοειδούς απορρόφησης, τον περιορισμό της συρρίκνωσης και τη βελτίωση των μηχανικών αντοχών (μετακαολίνης, παιπάλη, ίνες προπυλενίου κá). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στο σημείο συνάντησης λίθινης βάσης και ωμόπλινθων ώστε να αποτρέπεται η συγκέντρωση βρόχινου νερού.

Οι βάσεις των κτιρίων, εφόσον φθάνουν σε ύψος άνω των 30-50 εκ., σπάνια παρουσιάζουν προβλήματα ανερχόμενης υγρασίας χάρη στη λίθινη κατασκευή τους, συνεπώς δε κρίνεται απαραίτητη η επιπλέον πρόνοια για περιμετρική απορροή των υδάτων στο ύψος του εδάφους. Παρόλαυτά, μια ενδεικτική διάταξη υγρομόνωσης στη βάση των κτιρίων προτείνεται στην εικόνα 7.29.

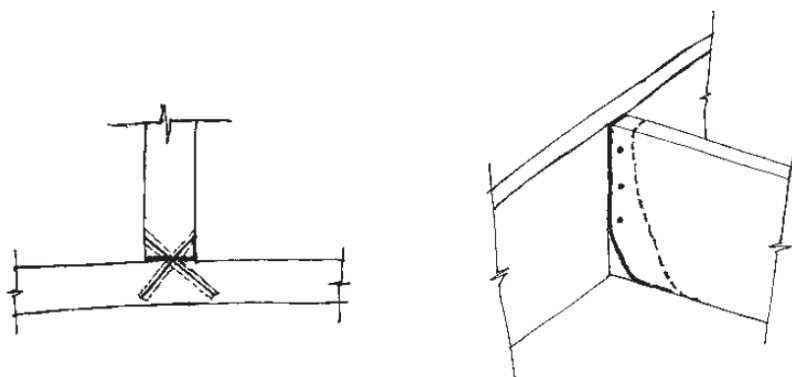
Θα πρέπει, τέλος, στις περιπτώσεις ανακατασκευής της στέγης να εξεταστεί το ενδεχόμενο προέκτασης των προεξοχών της, χωρίς να θίγεται σημαντικά η εικόνα των κτιρίων, ώστε να προσφέρουν μια καταρχήν προστασία έναντι της βροχής. Προφανώς μια τέτοια επιλογή συνεπάγεται την κατάργηση του γείσου με τους εκφορικά τοποθετημένους οπτόπλινθους και αντικατάσταση με οριζόντια αστραχιά, ή άλλο σύστημα.

7.4.4 Εργασίες στις τοιχοποιίες

Η απόκριση των τοιχοποιιών από ωμόπλινθους εξαρτάται από το πάχος τους. Οι διαχωριστικοί τοίχοι του κτιρίου Α είναι πάχους 35 και 15 cm στο πρώτο και δεύτερο επίπεδο, αντίστοιχα, και με βάση τον λόγο ύψους προς πάχος θεωρούνται ως μέτρια λεπτοί και λεπτοί (λόγος $S=7$ και $15,8$) [86].

Αυτές οι κατηγορίες τοίχων, και με δεδομένη την απουσία σύνδεσης με τους εγκάρσιους, έχουν αυξημένες πιθανότητες απώλειας της σταθερότητας τους και κατάρρευσης ακόμα κι αν είναι μη-φέροντες. Συνηθέστερα καταρρέουν εξαιτίας στροφής γύρω από τη βάση τους ή εκτός επιπέδου αστοχίας στο μέσο του ύψους τους.

Οι προτεινόμενες, στη βιβλιογραφία, λύσεις για τη σύνδεση εγκάρσιων μεταξύ τους τοίχων περιλαμβάνουν την τοποθέτηση οριζόντιων οπλισμών, τη συρραφή με μεταλλικό έλασμα που τοποθετείται στους οριζόντιους αρμούς με κονίαμα κά [86, 72]. Η σύνδεση των διασταυρούμενων τοιχοποιιών εκτιμάται πως επαρκεί για μεσαίου μεγέθους σεισμούς, ωστόσο οι μεγάλες διαφορές στην κίνηση τους κατά τη διάρκεια έντονων διεγέρσεων θα έχουν ως πιθανό αποτέλεσμα την εμφάνιση βλαβών είτε στη σύνδεση καθεαυτή είτε σε γειτονική περιοχή. Η παρατήρηση αυτή, βέβαια, έγινε έπειτα από τον σεισμό Northridge 1994 στην Καλιφόρνια, έναν από τους ισχυρότερους που έχουν καταγραφεί ποτέ στις ΗΠΑ [111].



Εικόνα 7.27. Σχηματική απεικόνιση της τοποθέτησης ριζοοπλισμού (αριστερά) και των πιθανών αστοχιών σε γειτονική περιοχή της σύνδεσης (δεξιά) [78].

Για σεισμούς μεγάλης έντασης η προτεινόμενη λύση από ερευνητές στην Καλιφόρνια είναι η τοποθέτηση κατακόρυφων χαλύβδινων ράβδων οπλισμού σε όλο το ύψος του τοίχου, μέσα σε σπές γεμισμένες με ένεμα τσιμέντου ή εποξειδικό. Μια τέτοια παρέμβαση κρίνεται μάλλον υπερβολική για τα κτίρια των Πρεσπών.

Προτείνεται συνεπώς η μερική καθαίρεση της γωνίας, εφόσον είναι εφικτό, και η ανακατασκευή της με τοποθέτηση των ωμόπλινθων σε αλληλεμπλοκή μεταξύ τους. Επίσης, η τοποθέτηση διαζώματος στη στέψη της εσωτερικής τοιχοποιίας (δεν θα απαιτηθεί εκτεταμένη υποστύλωση της στέγης καθώς αυτή δε στηρίζεται επί της τοιχοποιίας) σύνδεσής του με τις εγκάρσιες ξυλοδεσιές με μισοχαρακτή σύνδεση και η τοποθέτηση κατακόρυφου οπλισμού μέσα στην τοιχοποιία ($\Phi 15$), σε βάθος μερικών στρώσεων ωμόπλινθων και σε αποστάσεις περίπου 1m. Στις περιπτώσεις όπου τα δοκάρια του πατώματος είναι παράλληλα στην διαχωριστική τοιχοποιία, προτείνεται η χρήση μεταλλικής γωνιάς για τη σύνδεση ακριανής δοκού πατώματος και διαζώματος. Εάν δεν είναι δυνατή η αποκάλυψη της τοιχοποιίας, προτείνεται η τοποθέτηση εγκάρσιων οπλισμών, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.31.

Σημειώνεται πως την τοποθέτηση οπλισμού σε ωμοπλινθοδομές προτείνει το πρότυπο NZS4299 της Νέας Ζηλανδίας. Η σύνδεση των γωνιών με εκ των υστέρων τοποθέτηση ξυλοδέσμων είναι πρακτική που συναντάται στο Περού και είναι υπό διερεύνηση από το Pontificia Universidad Católica del Perú [112].

Σε περίπτωση σημειακών ή επιφανειακών φθορών, όπου κρίνεται απαραίτητη η αντικατάσταση ωμόπλινθων, αυτή θα έπρεπε να γίνει με νέες ωμόπλινθους. Η πρώτη ύλη βρίσκεται σε αφθονία στην περιοχή, ενώ η διαδικασία παρασκευής ωμόπλινθων θα είναι μια εξαιρετική ευκαιρία οικειοποίησης των ενοίκων/ιδιοκτητών των κτιρίων με τις παραδοσιακές μεθόδους δόμησης.

Για την εξωτερική τοιχοποιία, τέλος, με λόγο πάχους προς ύψος 4,5 κρίνεται πως δεν απαιτούνται μέτρα σταθεροποίησής.

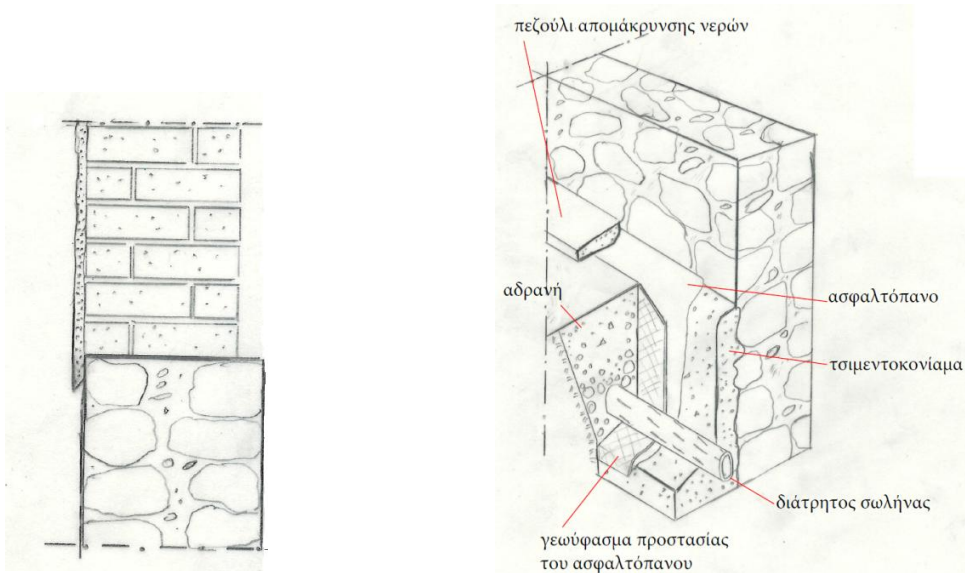


Εικόνα 7.28. Διαμόρφωση γωνίας με ξύλινα στοιχεία στο μέσο της τοιχοποιίας, Casa Garcí Holguín, Περού [112], και σε πολλαπλές στάθμες (δεξιά, [65])

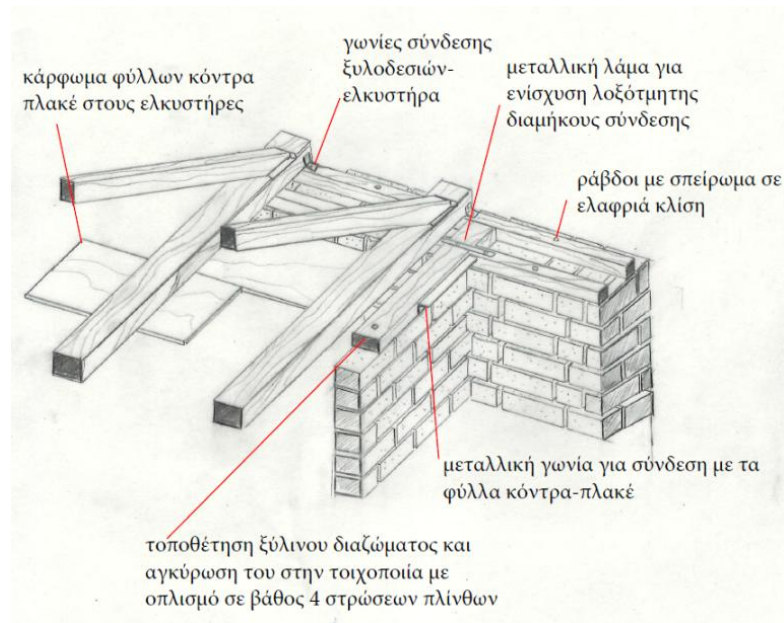
7.4.5 Διαφραγματοποίηση

Προτείνεται η τοποθέτηση φύλλων κόντρα πλακέ καρφωτά κάτω από τα οριζόντια δοκάρια της στέγης, κάθετα στη φορά τους. Για την καλύτερη έδραση των δοκών στους ξύλινους στρωτήρες προτείνεται η χρήση μεταλλικών γωνιών, ενώ οι στρωτήρες αγκυρώνονται με την τοποθέτηση ράβδων με συνεχές σπείρωμα σε ελαφριά κλίση στην ωμόπλινθοδομή.

Για την ενίσχυση της διαφραγματικής λειτουργίας του πατώματος θα τοποθετηθούν και εδώ φύλλα κόντρα πλακέ στην επάνω πλευρά των οριζόντιων δοκών. Το κάτω πέλμα των δοκών θα συνδεθεί με μεταλλικές γωνίες στις ξυλοδεσιές.

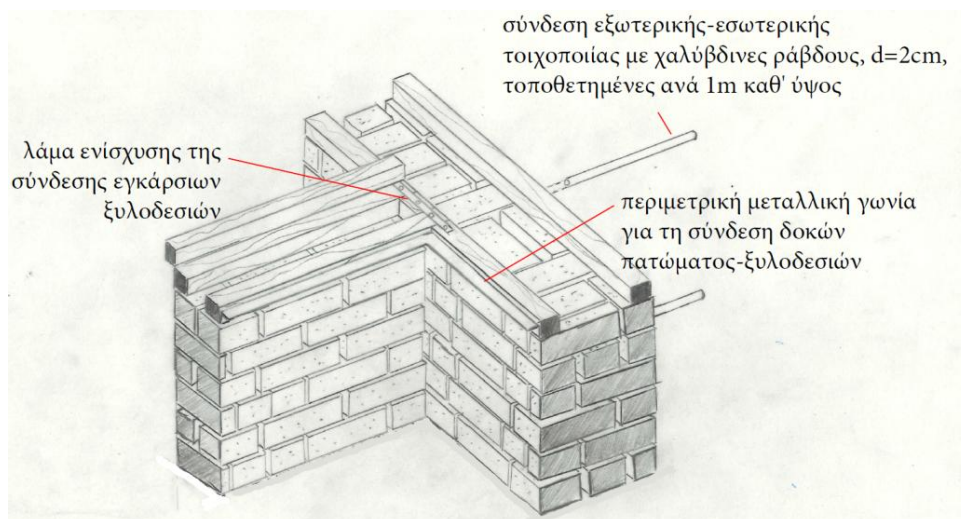
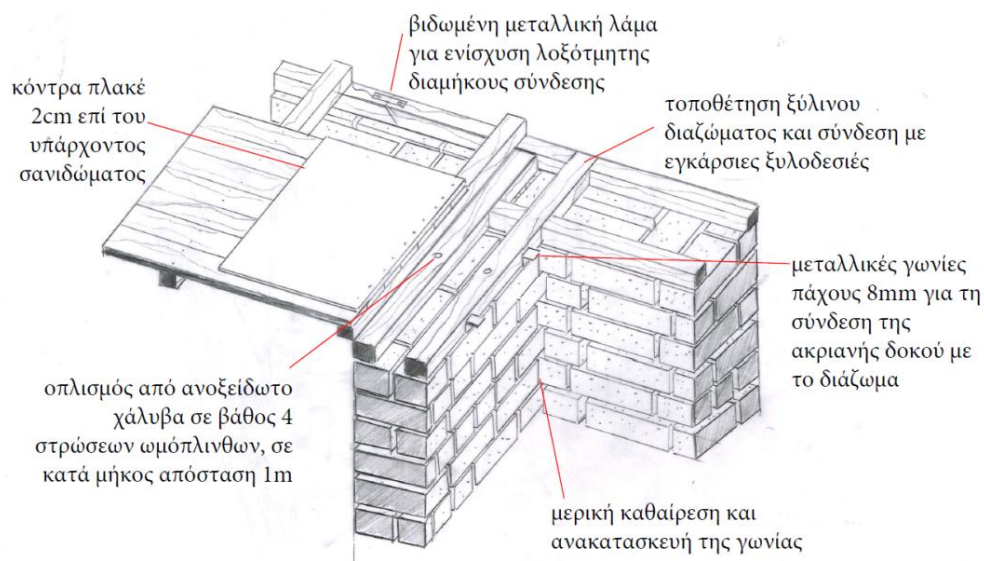


Εικόνα 7.29. Σκαρίφημα για την προτεινόμενη εφαρμογή του επιχρίσματος (αριστερά) και για την προστασία από την υγρασία στη βάση των κτιρίων (δεξιά).



Εικόνα 7.30. Σκαρίφημα για ορισμένες ενδεικτικές επεμβάσεις στο ύψος έδρασης της στέγης.

²⁷ Το σκαρίφημα για την υγρομόνωση έχει βασιστεί στη μελέτη [110]



Εικόνα 7.31. Σκαρίφημα για τις προτεινόμενες επεμβάσεις στο σημείο τομής εσωτερικής και εξωτερικής τοιχοποιίας. Πάνω, για την περίπτωση που είναι δυνατή η καθαίρεση πλιθιών και η εκτέλεση εργασιών στο πάχος του τοίχου, και κάτω στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό.

8. Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς και των κύριων χαρακτηριστικών των κτιρίων από ωμόπλινθους με τελικό σκοπό τη διαμόρφωση προτάσεων αποκατάστασής τους. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε η περιοχή των Πρεσπών.

Η βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις ιδιότητες της ωμής γης ως δομικού υλικού έδειξε πως η **αντοχή σε θλίψη** των ωμόπλινθων κυμαίνεται σε σημαντικό εύρος τιμών και καθορίζεται από πολλές παραμέτρους. Καταγράφηκε, επίσης, η απουσία προτυποποιημένης διαδικασίας δοκιμών θλίψης για τις ωμόπλινθους αλλά και η διαφοροποίηση των δοκιμών που εκτελούνται διεθνώς σε σημαντικές παραμέτρους της διαδικασίας, ώστε τα δημοσιευμένα αποτελέσματα να μην είναι πάντοτε συγκρίσιμα. Πρόσθετα, η σημαντική έλλειψη πειραματικών δεδομένων από *υφιστάμενα κτίρια* καθιστά δύσκολη την εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίδραση που έχουν στην πραγματική αντοχή των ωμόπλινθων η έκθεση τους στα καιρικά φαινόμενα, η υποβάθμιση των οργανικών στοιχείων τους, ή η πιθανή δημιουργία κενών στο εσωτερικό τους. Η μέση τιμή θλιπτικής αντοχής που προέκυψε από τις δοκιμές στις ωμόπλινθους των Πρεσπών είναι εντός του εύρους τιμών που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία, και ελαφρά ή σημαντικά χαμηλότερη των απαιτήσεων σύγχρονων κανονισμών δόμησης με ωμόπλινθους.

Η εξάρτηση από πολλές παραμέτρους, που δρουν μάλιστα συνεργιστικά, ισχύει και για τη **θερμική συμπεριφορά** των ωμόπλινθων. Παρ' όλα αυτά, είναι πολύ λίγες οι δημοσιευμένες έρευνες που εξετάζουν το σύνολο των παραμέτρων αυτών και όταν αυτό γίνεται, συνήθως πρόκειται για εξέταση εδαφικών υλικών για άλλες εφαρμογές, και όχι για δόμηση. Συχνά, απουσιάζει και η παράθεση σημαντικών πληροφοριών για τις συνθήκες υπό τις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Ιδιαίτερα για την επίδραση της θερμοκρασίας μέτρησης αλλά και της κοκκομετρίας του υλικού οι μελέτες είναι πολύ περιορισμένες. Οι μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας στις ωμόπλινθους των Πρεσπών έδειξαν σημαντική διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων για διαφορετικές θερμοκρασίες μέτρησης και τιμές περιεχόμενης υγρασίας. Δημοσιευμένες μετρήσεις θερμικής αγωγιμότητας σε δοκίμια από υφιστάμενη κατασκευή δε βρέθηκαν.

Οι **πρακτικές δυσκολίες** που αποτρέπουν τη διεξαγωγή μετρήσεων, τόσο της θλιπτικής αντοχής όσο και της θερμικής αγωγιμότητας, σε ωμόπλινθους από υφιστάμενα κτίρια παρουσιάστηκαν και στην παρούσα εργασία. Η κυριότερη εξ' αυτών ήταν η διαμόρφωση των δοκιμών, σε κατάλληλα μεγέθη και με επίπεδες και παράλληλες επιφάνειες, χωρίς να διαταραχθεί η ακεραιότητα του υλικού.

Για την ακριβέστερη μελέτη της συμπεριφοράς των κτιρίων από ωμόπλινθους, επιλέχθηκαν δύο κτίρια αναφοράς, κτισμένα στη δεύτερη δεκαετία του 20^{ου} αι. Η επί τόπου εξέταση τους έδειξε πως η **κύρια αιτία βλαβών** για την περιοχή δεν είναι οι σεισμικές διεγέρσεις. Αυτή εντοπίζεται μάλλον στις κατασκευαστικές ατέλειες, στη χρόνια έλλειψη συντήρησης και την έκθεση στο υγρό στοιχείο, αλλά και στις μεταγενέστερες ανθρώπινες παρεμβάσεις. Τα συνηθέστερα σημεία εκκίνησης των βλαβών είναι οι περιοχές εξασθένησης της τοιχοποιίας και η στέγη. Η επιβλαβής δράση του νερού είναι εμφανής σχεδόν σε όλα τα κτίρια, ωστόσο οι λίθινες βάσεις έχουν επιτελέσει επιτυχημένα το ρόλο τους στην αποτροπή ανόδου της υγρασίας από το έδαφος.

Δεν αποκλείεται η εμφάνιση αρκετών κατασκευαστικών ατελειών να οφείλεται στην απουσία μεγάλης έντασης σεισμών στην περιοχή. Η εξέταση, ωστόσο, του σεισμικού ιστορικού της Δ. Μακεδονίας έδειξε πως το βραχυχρόνιο **σεισμικό παρελθόν** μιας περιοχής μπορεί να μην είναι, τελικά, αντιπροσωπευτικό για την αναμενόμενη σε βάθος χρόνου σεισμική δραστηριότητα.

Με αυτό το σκεπτικό, εξετάστηκε η **ανταπόκριση ενός εκ των κτιρίων αναφοράς σε τρεις χρονοϊστορίες εδαφικών επιταχύνσεων** κλιμακούμενης έντασης, που αντιπροσωπεύουν πραγματικά σεισμικά γεγονότα της περιοχής. Η διερεύνηση έγινε με το πρόγραμμα ABAQUS,

με τη μέθοδο της εν χρόνω ολοκλήρωσης και της ιδιομορφικής ανάλυσης με τη χρήση χρονοϊστορίας. Οι φορείς που εξετάστηκαν ήταν τρεις. Ο πρώτος αντιπροσωπεύει την κατάσταση του κτιρίου όπως κατασκευάστηκε, ο δεύτερος ενσωματώνει μια βασική επέμβαση (σύνδεση εξωτερικών και εσωτερικών τοιχοποιιών) ενώ στον τρίτο προσομοιώνεται η λειτουργία διαφράγματος στο ύψος των πατωμάτων και της στέγης. Τα αποτελέσματα του πρώτου μοντέλου επιβεβαίωσαν τις παρατηρήσεις που είχαν γίνει στο πεδίο. Το μέτρο σύνδεσης εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας αρκεί για τον περιορισμό των περισσότερων αστοχιών που αναμένονται για τους σεισμούς που έχουν καταγραφεί έως σήμερα στην περιοχή, ενώ η εφαρμογή διαφράγματος τις εξαλείφει πλήρως. Στο ενδεχόμενο ισχυρότατου σεισμού οι βλάβες περιορίζονται χάρη στο διάφραγμα, ωστόσο σημεία αστοχιών καταγράφονται τόσο στις κύριες όψεις όσο και σε μεμονωμένους πεσσούς.

Για τη διαμόρφωση **προτάσεων βελτίωσης της συμπεριφοράς** των κτιρίων προηγήθηκε βιβλιογραφική μελέτη. Οι προτάσεις επέμβασης για τα κτίρια των Πρεσπών έγιναν με κριτήριο τον περιορισμό των επικίνδυνων καταρρεύσεων, και όχι την πλήρη εξάλειψη των βλαβών. Αποκλείστηκαν έτσι βαριές επεμβάσεις, αλλά και μέτρα που έχουν μεν εφαρμοστεί επιτυχώς σε άλλες χώρες, παραμένουν ωστόσο ξένα στην ελληνική πρακτική.

Η γεωγραφική απομόνωση των Πρεσπών έχει συμβάλει, ιστορικά, στη διαμόρφωση ενός πολύ ιδιαίτερου περιβάλλοντος, κτιριακού, φυσικού και κοινωνικού. Οι επιπτώσεις που έχει αυτή η απομόνωση είναι εμφανείς και σε σχέση με το αντικείμενο της εργασίας. Ο ιστορικός κτιριακός πλούτος της περιοχής παραμένει, εν πολλοίς, ανέγγιχτος τόσο από επεμβάσεις που θα αλλοίωναν τον χαρακτήρα του, όσο και από επεμβάσεις που θα συντελούσαν στη διάσωσή του. Το αυξανόμενο ενδιαφέρον κατοίκων και φορέων για την ανάδειξη των ιστορικών κατασκευών της περιοχής πρέπει να ενθαρρυνθεί και να καθοδηγηθεί προς λύσεις συμβατές με τον χαρακτήρα των κτιρίων.

Βιβλιογραφία

- [1] Εταιρεία Προστασίας Πρεσπών; WWF Ελλάς; Μ.Α.Ρ.; Ρ.Ρ.Ν.Ε.Α., «ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΡΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΕΙΦΟΡΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΡΕΣΠΩΝ, ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ-ΤΟΜΟΣ Β',» ΥΠΕΧΩΔΕ, Άγιος Γερμανός, 2002.
- [2] Φορέας Διαχείρισης Προστατευόμενης Περιοχής Ε.Π. Πρεσπών, «ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΠΡΕΣΠΩΝ,» Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Φλώρινας, 2010.
- [3] N. Ambraseys, «Early earthquakes in the Kozani Area, northern Greece,» *Technophysics*, 1999.
- [4] S. Stiros, «HISTORICAL SEISMICITY, PALAEOSEISMICITY AND SEISMIC RISK IN WESTERN MACEDONIA, NORTHERN GREECE,» *Geodynamics*, 1998.
- [5] Karakaisis, Hatzidimitriou, Scordilis και Panagiotopoulos, «SEISMICITY OF WESTERN MACEDONIA, GREECE,» *Geodynamics*, 1998.
- [6] «Γεωδυναμικό Ινστιτούτο,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/xartes> .
- [7] A. Kiratzi και E. Dmakhs, «Focal Mechanisms and Slip Models of Moderate Size Earthquakes in Albania and Adjacent Countries,» *Ital.J.Geosci*, 2012.
- [8] V. Čejkowska, L. Pekevski και D. Černih, «SOURCE MECHANISM OF THE 1994 SEPTEMBER 1 ML = 5.2 BITOLA EARTHQUAKE,» *Contributions, Sec. Math. Tech. Sci., MANU*, 2008.
- [9] «Greek database of seismogenic sources,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://gredass.unife.it/>.
- [10] Γ. Κατσαδωράκης, Πρέσπα. Μια ιστορία για τη φύση και τον άνθρωπο, Άγιος Γερμανός: Εταιρεία Προστασίας Πρεσπών, 1996.
- [11] Δ. Ευγενίδου, Ι. Κανονίδης και Θ. Παπαζώτος, Τα μνημεία των Πρεσπών, Υπουργείο Πολιτισμού, 2000.
- [12] Γ. Καραδέδος και Π. Τσολάκης, Ελληνική Παραδοσιακή Αρχιτεκτονική - Πρέσπες, Μέλισσα, 1989.
- [13] Σ. Κωτσόπουλος, «Η αρχιτεκτονική του Μοναστηρίου (Βιτώλια). Εθνοτική συνύπαρξη και αστικοί μετασχηματισμοί (1863-1912),» ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ, ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Θεσσαλονίκη, 2014.
- [14] Τ. Κωτσόπουλος, Η απαγορευμένη γλώσσα. Κρατική καταστολή των σλαβικών διαλέκτων στην ελληνική Μακεδονία, Βιβλιόραμα, 2008.

- [15] Χ. Μανδαντζής, «Υπερπόντια μετανάστευση από τη Μακεδονία: 1923 - 1936,» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2000.
- [16] [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.lithoksou.net/>. [Πρόσβαση 15 2 2016].
- [17] Λ. Βαφειάδης, *Η Πρέσπα και οι ομορφιές της*, Αθήνα, 1940.
- [18] Ε. Γραμματικού, Ε. Γραμματικού και Έ.-Ά. Σαμουτζάκη, *ΠΡΕΣΠΕΣ-ΜΗΛΙΩΝΑΣ Η ΑΝΑΒΙΩΣΗ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗ*, Θεσσαλονίκη: Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ, 2003.
- [19] Α. Γεωργαντά και Α. Στόιος, «Μελέτη αποκατάστασης & ανάδειξης του παραδοσιακού μύλου Αγ. Γερμανού Πρεσπών,» Εταιρεία Προστασίας Πρεσπών, 2012.
- [20] Εταιρία Προστασίας Πρεσπών, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.spp.gr/>. [Πρόσβαση 15 2 2016].
- [21] Ν. Μουτσόπουλος, «Η αρχιτεκτονική της λάσπης και η αποθέωση της σε μνημεία και σπίτια του Ιράν,» *Ζυγός*, 1979.
- [22] A. Costa, J. M. Guedes και H. Varum, *Structural Rehabilitation of old buildings*, Springer, 2014.
- [23] Β. Πάχτα, *Μελέτη Εξέλιξης Τεχνολογίας Κονιαμάτων*, Θεσσαλονίκη: Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, ΑΠΘ, 2011.
- [24] Ρ. Ίλλαμπας, Ι. Ιωάννου και Δ. Χαρμπής, «Μνημεία από ωμοπλινθοδομή,» Πανεπιστήμιο Κύπρου.
- [25] H. Guillaud και A. Alva, «Historical earthen architecture and construction in the Mediterranean Region. What future for such an exceptional cultural legacy?,» σε *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, Madrid, 2003.
- [26] Ν. Κούρου, «Λευκαντί, ο αρχαιολογικός χώρος που επέβαλε τον επαναπροσδιορισμό των σκοτεινών χρόνων,» *Αρχαιολογία*, Μάρτιος 1992.
- [27] Κ. Παλυβού, «Ακρωτήρι Θήρας. Οικοδομική τέχνη και μορφολογικά στοιχεία στην υστεροκυκλαδική αρχιτεκτονική,» Τμήμα Αρχιτεκτόνων, ΕΜΠ, Αθήνα, 1998.
- [28] G. Minke, *Building with earth - Design and technology of a sustainable architecture*, Basel: BIRKHAUSER, 2006.
- [29] E. Quagliarini και S. Lenci, «The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks,» *Journal of Cultural Heritage*, Ancona, 2009.
- [30] Γ. Μπέη, «Τοιχοποιία από πηλό: πειραματική διερεύνηση μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών δομικών μονάδων και τοίχων από συμπιεσμένες ωμοπλίνθους,» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Επιστήμης και Τεχνολογίας

των Κατασκευών, Θεσσαλονίκη, 2004.

- [31] D. Liberatore, G. Spera, M. Mucciarelli, M. R. Gallipoli, N. Masini, V. Racina, A. C. D. Santarsiero, C. Tancredi, A. Cividini και C. Tedeschi, «Typological and Experimental Investigation on the Adobe Buildings of Aliano (Basilicata, Italy),» σε *Structural Analysis of Historical Constructions*, New Delhi, 2006.
- [32] F. Fratini, E. Pecchioni, L. Rovero και U. Tonietti, «The earth in the architecture of the historical centre of Lamezia Terme (Italy): Characterization for restoration,» *Applied Clay Science*, 2009.
- [33] E. Adorni, E. Coisson και D. Ferretti, «In situ characterization of archaeological adobe bricks,» *Construction and Building Materials*, 2013.
- [34] D. Silveira, H. Varum, A. Costa και J. A. P. P. d. Alemida, «Mechanical properties of adobe bricks in ancient constructions,» *Construction and Building Materials*, 2012.
- [35] P. Walker και T. Stace, «Properties of some cement stabilised compressed earth blocks and mortars,» *Materiaux et Constructions*, 1997.
- [36] B. Y. PEKMEZÇİ, R. KAFESÇİOĞLU και E. AGAHZADEH, «IMPROVED PERFORMANCE OF EARTH STRUCTURES BY LIME AND GYPSUM ADDITION,» *METU JOURNAL OF THE FACULTY OF ARCHITECTURE*, 2012.
- [37] Κ. Γ. Σταθόπουλος, «Μελέτη σταθεροποίησης κονιαμάτων,» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015.
- [38] Ş. Yetgin, Ö. ÇAVDAR και A. Çavdar, «The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes,» *Construction and Building Materials*, pp. 222-227, 2008.
- [39] H. Binici, O. Aksogan και T. Shah, «Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material,» *Construction and Building Materials*, pp. 313-318, 2005.
- [40] C. Galán-Marín, C. Rivera-Gómez και J. Petric, «Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre,» *Construction and Building Materials*, pp. 1462-1468, 2010.
- [41] E. Crocker, «Earthen architecture and seismic codes; lessons from the field,» US/ICOMOS, [Ηλεκτρονικό]. Available: www.icomos.org/iiwc/seismic/Crocker.pdf. [Πρόσβαση 14 12 2015].
- [42] Construction Industries Division of the Regulation and Licensing Department, *NEW MEXICO EARTHEN BUILDING MATERIALS CODE*, Santa Fe: New Mexico Regulation & Licensing Department, 2009.
- [43] L. A. Wolfskill, *Handbook for building homes of earth*, University Press of the Pacific , 2005.
- [44] Joint Australia/New Zealand Technical Committee BD/83 Earth Buildings, NZS 4298:1998 *MATERIALS AND WORKMANSHIP FOR EARTH BUILDINGS*, Standards New Zealand, 1998.

- [45] Instituto de la construccion y gerencia, Norma E.080 Adobe, Diario Oficial El Peruano, 2006.
- [46] Dirección de Preservación del Patrimonio Arquitectónico y Urbano de Salta – DIPPAUS, RECOMENDACIONES PARA LAS CONSTRUCCIONES DE ADOBE, Provincia de Salta, Argentina.
- [47] E. F. Fayçal, Z. Lafhaja, E. Antczakb και C. Chapiseau, «Dynamic thermal performance of three types of unfired earth bricks,» *Applied Thermal Engineering*, 2016.
- [48] S. Goodhew και R. Griffiths, «Sustainable earth walls to meet the building regulations,» *Energy and Buildings*, 2005.
- [49] Ε. Αλεξανδρή, «Δόμηση με πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK),» σε *Δόμηση με χώμα, ΤΕΕ Μαγνησίας*, Βόλος, 2012.
- [50] W. Batty και M. L. Parra-Saldivar, «Thermal behaviour of adobe constructions,» *Building and Environment*, 2006.
- [51] B. Becker, A. Misra και B. Fricke, «DEVELOPMENT OF CORRELATIONS FOR SOIL THERMAL CONDUCTIVITY,» University of Missouri-Truman Campus, 1992.
- [52] D. Allinson και M. Hall, «Assessing the effects of soil grading on the moisture content-dependent,» *Applied Thermal Engineering*, 2008.
- [53] D. Govaer, «APPARENT THERMAL CONDUCTIVITY OF A LOCAL ADOBE BUILDING MATERIAL,» *Solar Energy*, 1987.
- [54] P. J. J. E. A. Adam, «Thermophysical Properties of Stabilised Soil Building Blocks,» *Building and Environment*, 1995.
- [55] J. E. Oti, J. Kinuthia και J. Bai, «Design thermal values for unfired clay bricks,» *Materials & Design*, 2010.
- [56] Π. Παντζέκος, «Μέθοδος προσδιορισμού και μετρήσεις συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας οικολογικών θερμομονωτικών υλικών για αρχιτεκτονικές εφαρμογές,» Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2010.
- [57] I. Nikolaev, «An experimental study of soil thermal conductivity using a guarded hot plate apparatus,» Ryerson University, Toronto, Canada, 2007.
- [58] M. S. Kersten, «Thermal Properties of Soils,» *Engineering Experiment Station Bulletins*, 1949.
- [59] S. Liuzzi, M. Hall, P. Stefanizzi και S. Casey, «Hygrothermal behaviour and relative humidity buffering of unfired and hydrated lime-stabilised clay composites in a Mediterranean climate,» *Building and Environment*, 2012.
- [60] T. Ashoura, A. Korjenicb, S. Korjenic και W. Wud, «Thermal conductivity of unfired earth bricks reinforced by agricultural wastes with cement and gypsum,» *Energy and buildings*, 2015.

- [61] Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας; ΥΠΕΚΑ, «Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων,» *Τεχνική Οδηγία 20701-2/2010*, 2010.
- [62] Μ. Καββαδάς, *Φυσικά Χαρακτηριστικά των Εδαφών*, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2005.
- [63] L. Keefe, *Earth Building: Methods, materials repair and conservation*, London-New York: Taylor & Francis.
- [64] H. Cagnon, J. Aubert, M. Coutand και C. Magniont, «Hygrothermal properties of earth bricks,» *Energy and Buildings*, 2014.
- [65] R. Illampas, I. Ioannou και D. C. Charmpis, «Overview of the Pathology, Repair and Strengthening of Adobe Structures,» *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration*, 2012.
- [66] F. A. WEBSTER και L. TOLLES, «EARTHQUAKE DAMAGE TO HISTORIC AND OLDER ADOBE BUILDINGS DURING THE 1994 NORTHRIDGE, CALIFORNIA EARTHQUAKE,» σε *12th world conference on earthquake engineering*, Auckland, New Zealand, 2000.
- [67] L. Tolles, F. Webster, A. Crosby και E. Kimbro, *Survey of damage to historic adobe buildings after the January 1994 Northridge earthquake*, Los Angeles: The Getty Conservtion Institute, 1996.
- [68] Blondet, Vargas και Tarque, «OBSERVED BEHAVIOUR OF EARTHEN STRUCTURES DURING THE PISCO (PERU) EARTHQUAKE OF AUGUST 15, 2007,» σε *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China, 2008.
- [69] Μ. Καρόγλου, «Η επίδραση του νερού. Αναρριχόμενη υγρασία- ntua ACADEMIC OPEN COURSES,» 2014. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://goo.gl/3n4ID4>.
- [70] J. A. Calabria, W. Vasconcelosa και A. Boccaccini, «Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks,» *Ceramics International*, 2009.
- [71] Α. ΠΙΤΥΤΖΟΓΙΑ, «ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΗΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΩΜΟΠΛΙΝΟΔΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ,» ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ.
- [72] Φ. Καραντώνη, *Κατασκευές από τοιχοποιία*, Παπασωτηρίου, 2012.
- [73] J. Hurd, «Observing and Applying Ancient Repair Techniques to Pisé and Adobe in Seismic Regions of Central Asia and Trans-Himalaya,» σε *Proceedings of the GSAP 2006 Colloquium*.
- [74] I. Papayianni και V. Pachta, «Experimental study on the performance of lime-based grouts used in consolidating historic masonrie,» *Materials and Structures*, 2014.
- [75] Α. Καραβαριώτη, «Τροποποιημένα παραδοσιακά επιχρίσματα για την προστασία ωμοπλινθοδομών από την υγρασία,» ΑΠΘ, 2012.

- [76] A. Oliver, «Conservation of Nondecorated Earthen Materials,» σε *Terra Literature Review*, Los Angeles, The Getty Conservation Institute, 2008.
- [77] I. Papayianni, «Restoration of Earth block structures and revival of a modern alternative of construction with earth,» σε *Info Day - Environmental Theme, Activity 6.3, Environmental Technologies*, Brussels, 2007.
- [78] L. Tolles, E. E. Kimbro, F. A. Webster και W. S. Ginell, «Seismic stabilization of historic adobe structures,» σε *Final Report of the Getty Seismic Adobe Project*, The Getty Conservation Institute.
- [79] P. N. Grau, J. V. Neumann και M. Beas, «Seismic Retrofitting Guidelines for the Conservation of Doctrinal Chapels on the Oyón Highlands in Peru,» σε *Proceedings of the GSAP 2006 Colloquium*.
- [80] Blondet, Vargas και Groenenberg, «Evaluation of the Efficacy of Mud Injection to Repair Seismic Cracks in full scale shaking table tests,» σε *WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING*, Lisboa, 2012.
- [81] Università di Padova, «Critical review of retrofitting and reinforcement techniques related to possible failure,» NIKER, 2010.
- [82] M. Blondet, G. V. G. M. και S. Brzev, «Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial,» EERI/IAEE World Housing Encyclopedia, 2003.
- [83] R. Langenbach και E. M., «Performance of the Earthen Arg-e-Bam (Bam Citadel) during the 2003 Bam, Iran, Earthquake,» *Earthquake Spectra*, 2005.
- [84] E. Fodde, K. Watanabe και Y. Fujii, «Preservation of earthen sites in remote areas: The Buddhist monastery of Ajina Tepa, Tajikistan.» *Conservation and Management of Archaeological Sites*.
- [85] W. S. GINELL και L. TOLLES, «SEISMIC STABILIZATION OF HISTORIC ADOBE STRUCTURES,» *Journal of the American Institute for Conservation*, pp. Volume 39, Number 1, Article 12.
- [86] L. Tolles, E. E. Kimbro και W. S. Ginell, «Planning and Engineering Guidelines for the Seismic Retrofitting of Historic Adobe Structures,» σε *The Getty Conservation Institute*, Los Angeles, 2002.
- [87] Build Change, «APPENDIX IV: CASE STUDIES: NEPAL AND PERU,» σε *SEISMIC RETROFIT OF HOUSING IN POST-DISASTER SITUATIONS – BASIC ENGINEERING PRINCIPLES FOR DEVELOPMENT PROFESSIONALS*, USAID, 2014.
- [88] Α. Οικονόμου και Φ. Μπουγατιώτη, «Η αρχιτεκτονική κληρονομιά των οικισμών του Όρους Βέρνο».
- [89] Κ. Παρθενόπουλος, Σ. Παρθενοπούλου και Ν. Παρθενοπούλου, ΠΡΕΣΠΕΣ, ΛΑΙΚΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ, ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, ΠΑΡΑΔΟΣΗ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΟΛΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ, ΝΑΥΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ, 2009.

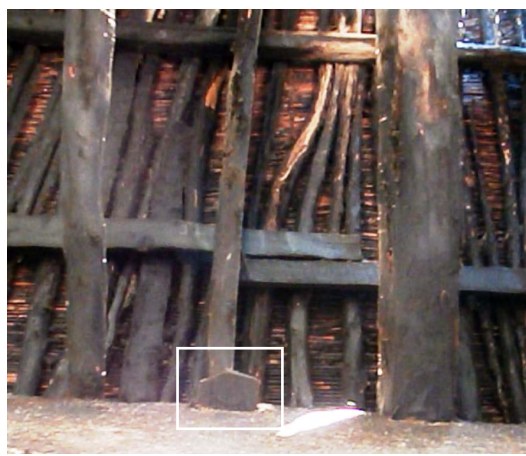
- [90] Α. Π. Οικονόμου, Συγκριτική διερεύνηση της αρχιτεκτονικής συγκρότησης και της περιβαλλοντικής συμπεριφοράς των παραδοσιακών κατοικιών του 19ου αιώνα στη Φλώρινα, Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή, Ανώτατη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., 2007.
- [91] Γ. Κίζης, Πηλιορείτικη οικοδομία, Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς, 1995.
- [92] Ν. Μουτσόπουλος, Η λαϊκή αρχιτεκτονική, Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, 1967.
- [93] Η. Houben και Η. Guillard, Earth Construction: A Comprehensive Guide, Λονδίνο: Intermediate Technology Publications, 1994.
- [94] Δ. Γασπαράτος και κ.ά., Ασκήσεις Γενικής Εδαφολογίας, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2011.
- [95] C. J. Delgado και I. C. Guerrero, «The selection of soils for unstabilised earth building: A normative review,» *Construction and Building Materials*, pp. 237-251, 2007.
- [96] USDA Natural Resources Conservation Service Soils, «United States Department of Agriculture,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054311. [Πρόσβαση 14 12 2015].
- [97] J.-C. Morel, A. Pkkaa και P. Walker, «Compressive strength testing of compressed earth blocks,» *Construction and Building Materials*, pp. 303-309, 2007.
- [98] D. Silveira, H. Varum και A. Costa, «Influence of the testing procedures in the mechanical characterization of adobe bricks,» *Construction and Building Materials*, pp. 719-728, 2013.
- [99] A. C. J. d. Korte και H. J. H. Brouwers, «Calculation of thermal conductivity of gypsum plasterboards at ambient and elevated temperature,» *Fire and Materials*, 2009.
- [100] Ι. Δ. Μανδηλαράς, «ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ,» Αθήνα, 2015.
- [101] K. W. Jackson, «DEVELOPMENT OF A GUARDED HOT PLATE THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING APPARATUS FOR THERMOPLASTIC MATERIALS,» Georgia Institute of Technology, 1976.
- [102] V. Maniatidis και P. Walker, A Review of Rammed Earth Construction, Bath: DTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing', 2003.
- [103] I. Duarte, E. Pedro, H. Varum, J. Mirao και A. Pinho, «Soil mineralogical composition effects on the durability of adobe blocks from the Huambo region, Angola,» *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2015.
- [104] N. T. Ruíz, G. Camata, E. Spacone, H. Varum και M. Blondet, «Elastic and inelastic parameters for

representing the seismic in-plane behaviour of adobe walls».

- [105] N. TARQUE, «NUMERICAL MODELLING OF IN-PLANE BEHAVIOUR OF ADOBE WALLS,» σε *SÍSMICA – 8^o CONGRESSO DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA*, 2010.
- [106] A. Wilson, «Seismic Assessment of Timber Floor Diaphragms in Unreinforced Masonry Buildings,» Department of Civil and Environmental Engineering, University of Auckland, 2012.
- [107] A. Mouyiannou, M. Rota, G. Magenes και A. Penna, «Identification of suitable liit states from nonlinear dynamic analyses of masonrty structures,» *Journal Earthquake Engineering* , 2014.
- [108] G. Magenes και A. Penna, «EXISTING MASONRY BUILDINGS: GENERAL CODE ISSUES AND METHODS OF ANALYSIS AND ASSESSMENT,» σε *Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop*, Napoli, Italy, 2009.
- [109] Σ. Νάνης, «Αποκατάσταση παραδοσιακού κτιρίου και επέκταση για την δημιουργία ξενώνα στο Μηλιώνα Πρεσπών,» ΑΤΕΙ Σερρών, 2012.
- [110] Α. Στόιος, Οδηγός για την συντήρηση, επισκευή & ενίσχυση των παλαιών κτισμάτων της Πρέσπας, Φλώρινα: Εταιρεία Προστασίας Πρεσπών, 1994.
- [111] C. Conservation, «Northridge Earthquake 10 Year Anniversary,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.conservation.ca.gov>. [Πρόσβαση 17 2 2016].
- [112] T. Michiels, «Seismic Retrofitting Techniques for Historic Adobe Buildings,» *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration* , 2015.
- [113] S. Sikka και C. Chaudhry, «Research on the upgrade of traditional seismic retrofits for ancient buddhist temples in the region of Spiti and Kinnaur in the Western Himalayas.» *Getty Seismic Adobe Project (GSAP)*.
- [114] Karantoni και Manalis, «SEISMIC ASSESSMENT OF A NON – SYMMETRIC STONE MASONRY BUILDING WITH FLEXIBLE FLOORS,» σε *4th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Kos Island, Greece, 2013.
- [115] ΑΠΘ; ΥΕΤΟΣ; Περλερος Βασίλειος; Λιονης Μιχαήλ; Λεβογιάννης Μιχαήλ, «Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων σε κλίμακια λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας-Θράκης και Θεσσαλίας, Αποτελέσματα λεκάνης Πρεσπών,» Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.
- [116] H. N. Brailsford, Macedonia; its races and their future, London: Methuen & Co., 1906.
- [117] W. Ginnell και L. Toles, «Preserving Safety and History: The Getty Seismic Adobe Project at Work,» [Ηλεκτρονικό]. Available: http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/14_1/news1_1.html. [Πρόσβαση 17 2 2016].

[118] J. M. Barrow, D. Porter, S. Farneth και L. Tolles, «Evolving Methodology in Seismic Retrofit: Stabilizing the Las Flores Adobe,» σε *Proceedings of the Getty Seismic Adobe Project 2006 Colloquium*.

Παράρτημα Ι



εσωτερική τοιχοποιία από
ωμόπλινθους

δοκοί οροφής
(γρεντέδες, γρεντιές)

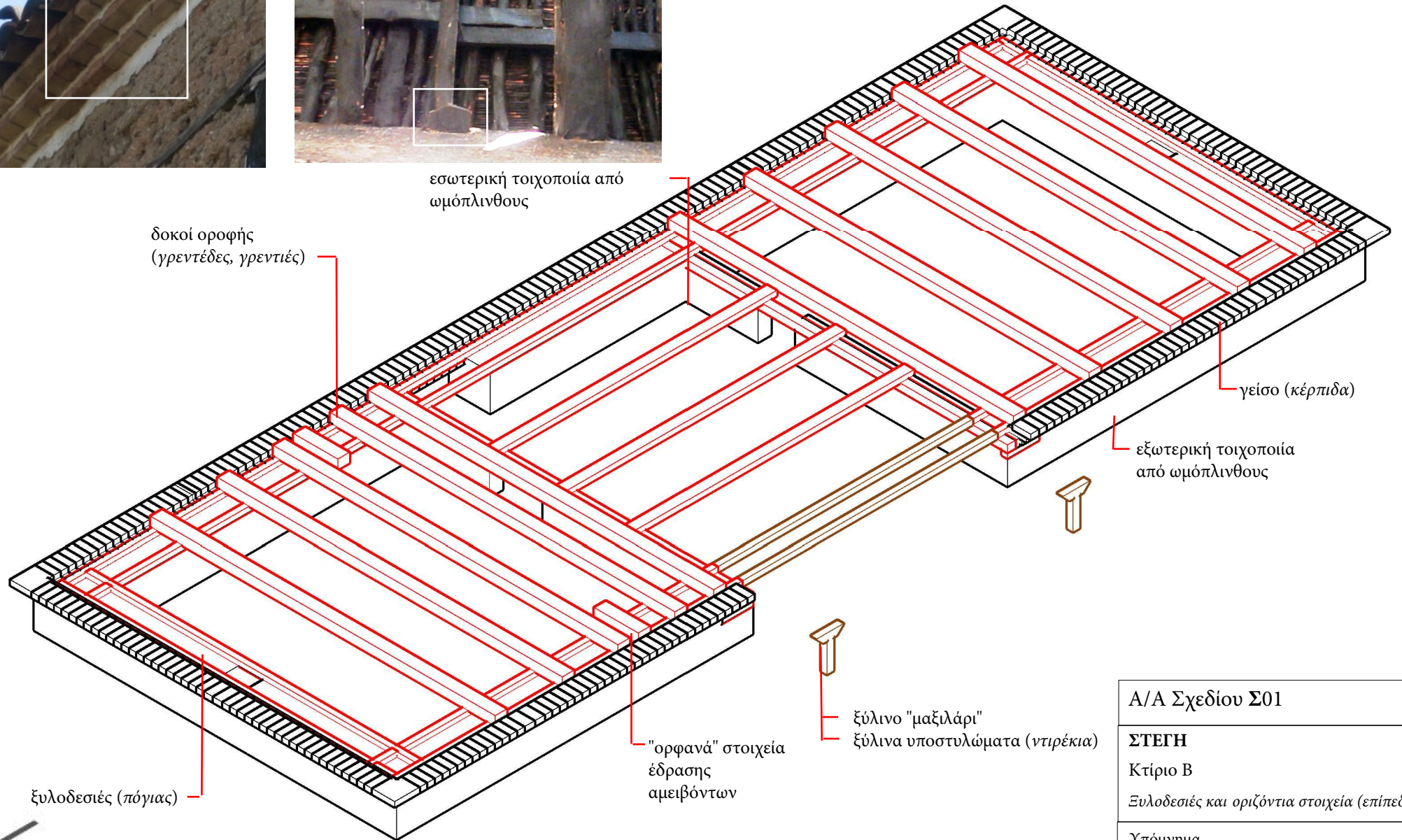
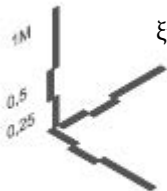
γείσο (κέρπιδα)

εξωτερική τοιχοποιία
από ωμόπλινθους

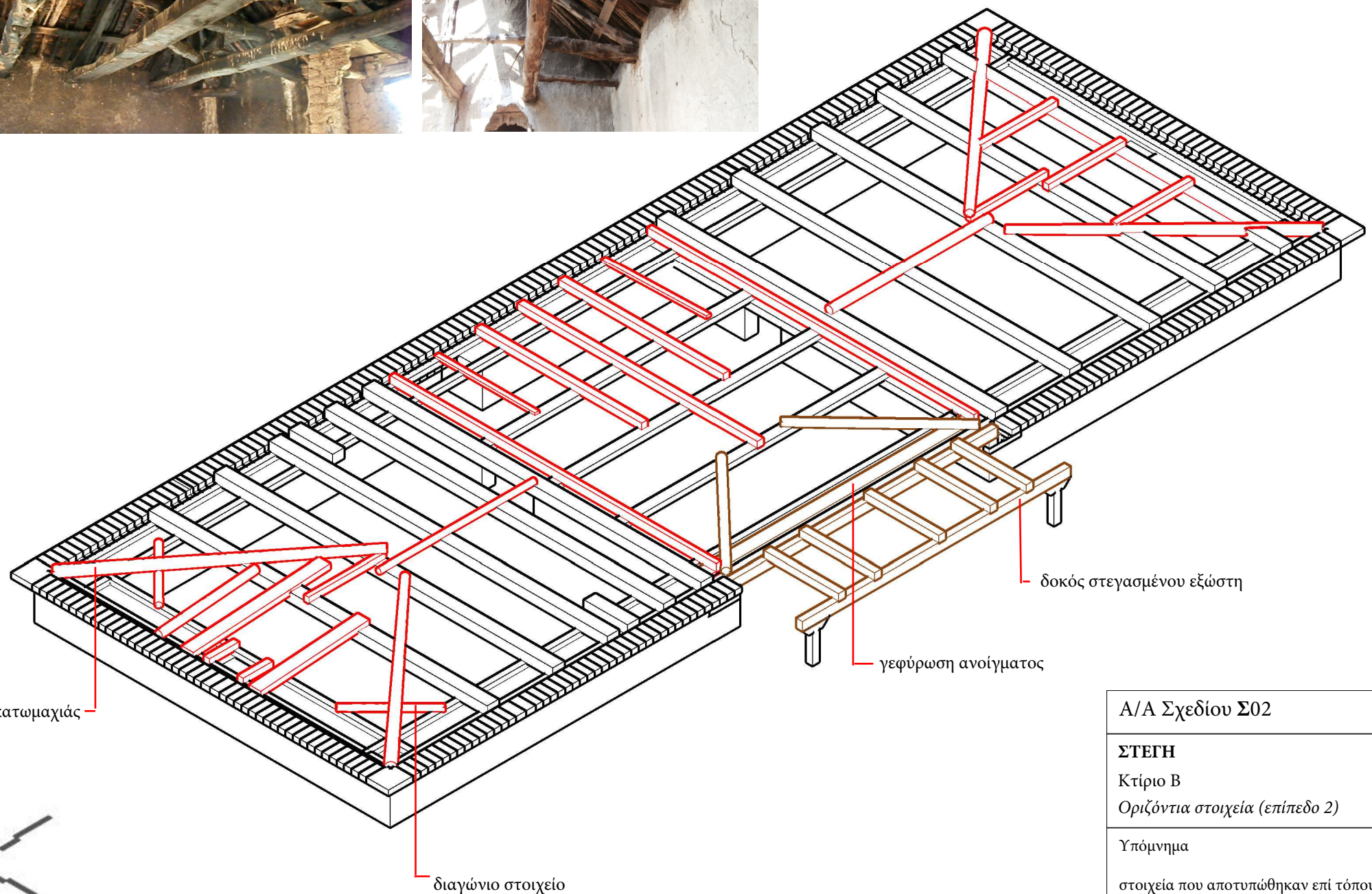
"ορφανά" στοιχεία
έδρασης
αμειβόντων

ξύλινο "μαξιλάρι"
ξύλινα υποστυλώματα (ντιρέκια)

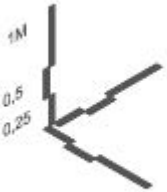
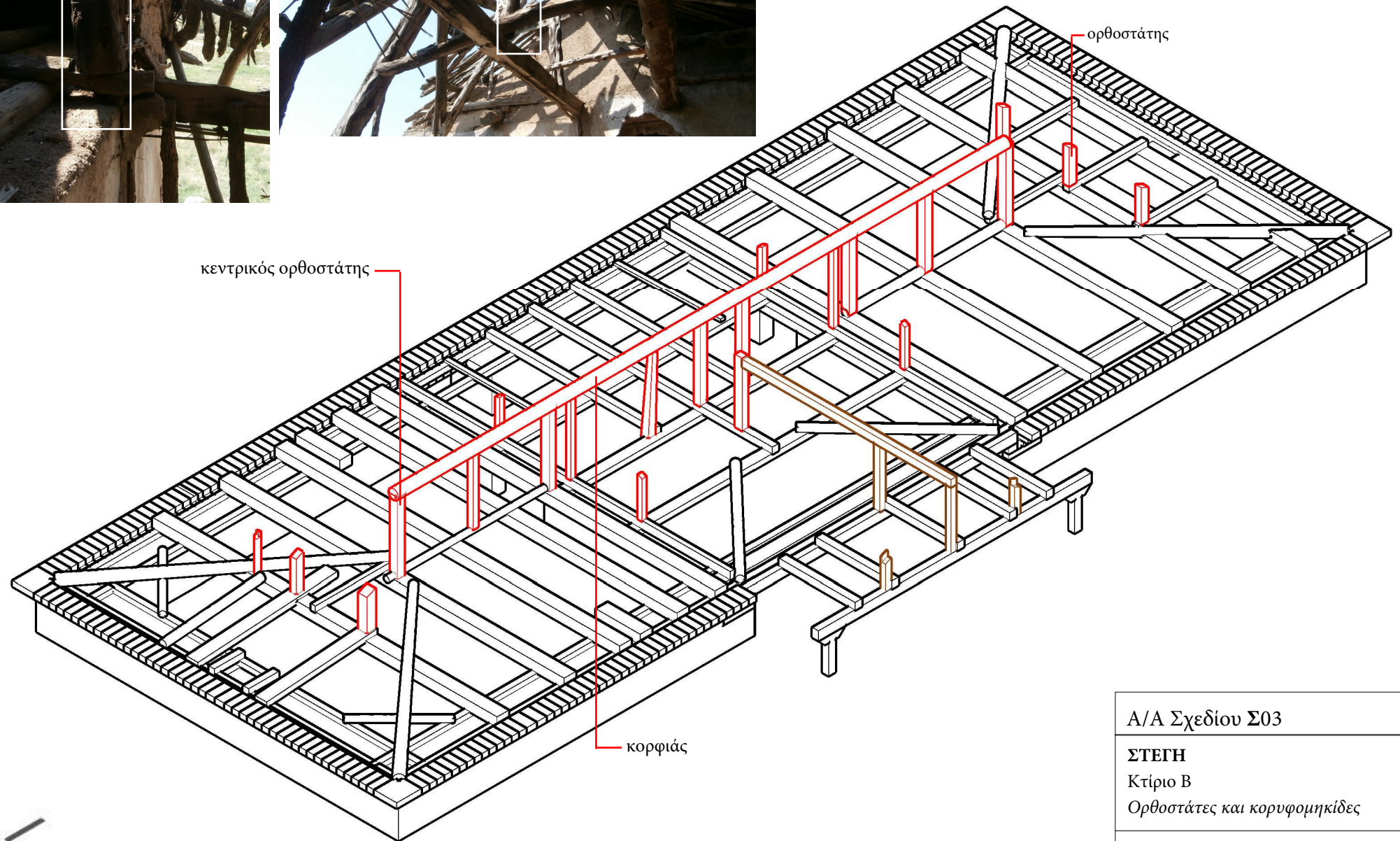
ξυλοδεσιές (πόγιας)



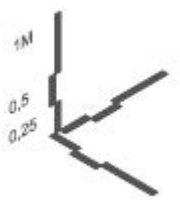
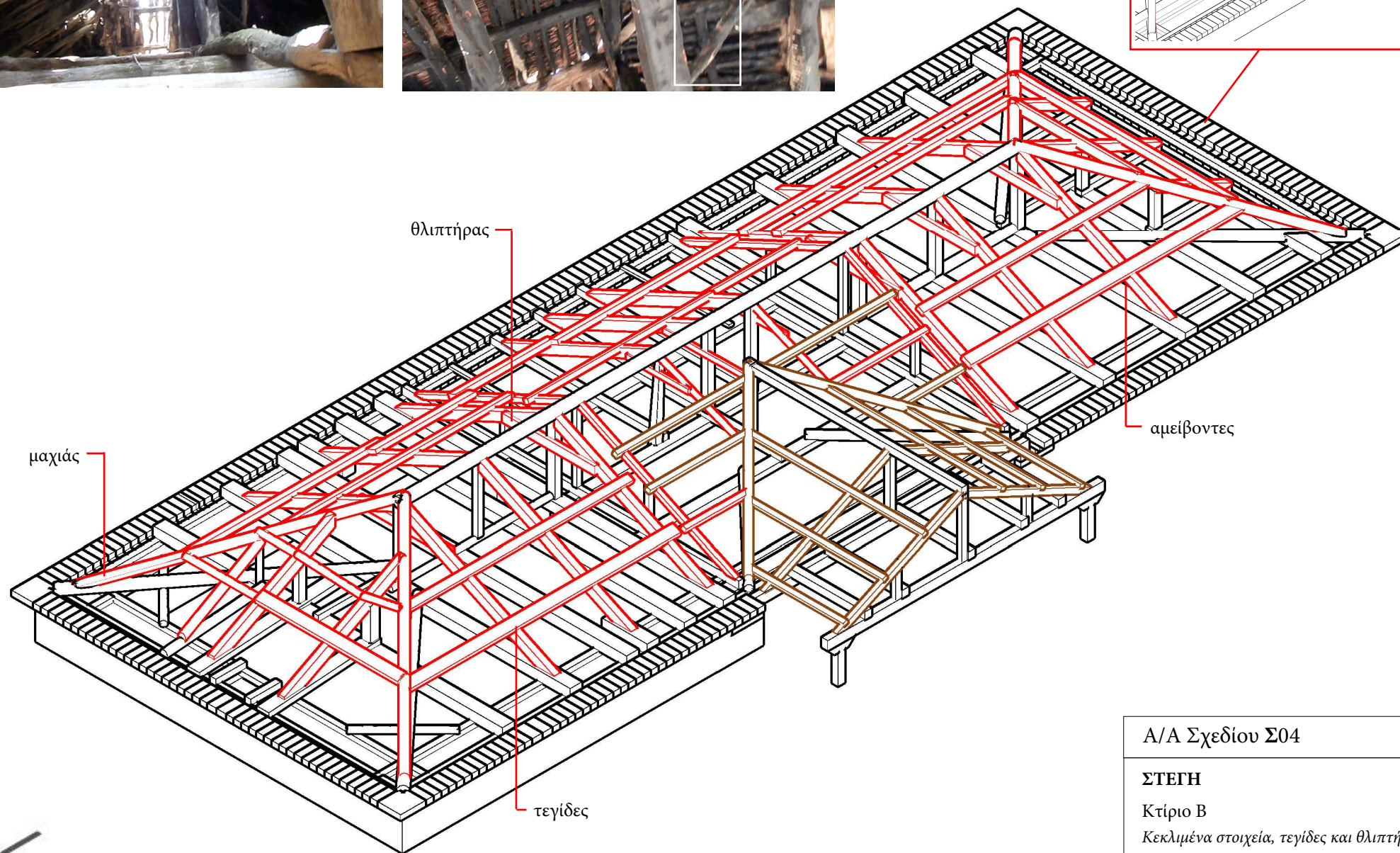
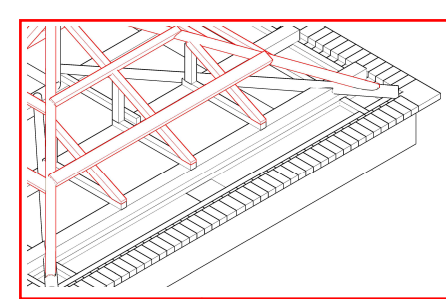
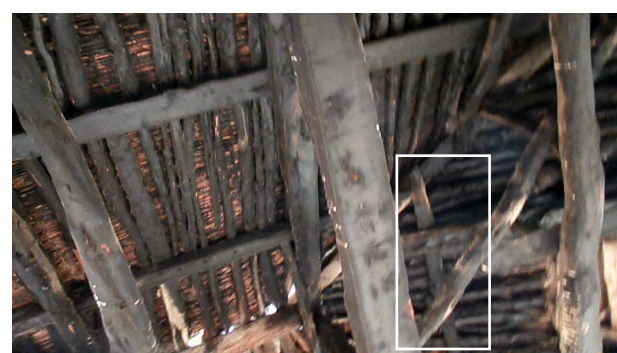
A/A Σχεδίου Σ01
ΣΤΕΓΗ Κτίριο Β Ξυλοδεσιές και οριζόντια στοιχεία (επίπεδο 1)
Υπόμνημα στοιχεία που αποτυπώθηκαν επί τόπου ———— αναπαράσταση κατ' εκτίμηση ————



Α/Α Σχεδίου Σ02	
ΣΤΕΓΗ	
Κτίριο Β	
Οριζόντια στοιχεία (επίπεδο 2)	
Υπόμνημα	
στοιχεία που αποτυπώθηκαν επί τόπου	—
αναπαράσταση κατ' εκτίμηση	—



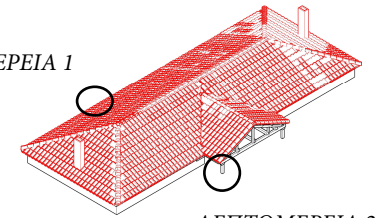
Α/Α Σχεδίου Σ03	
ΣΤΕΓΗ	
Κτίριο Β	
Ορθοστάτες και κορφομηκίδες	
Υπόμνημα	
στοιχεία που αποτυπώθηκαν επί τόπου	—
αναπαράσταση κατ' εκτίμηση	—



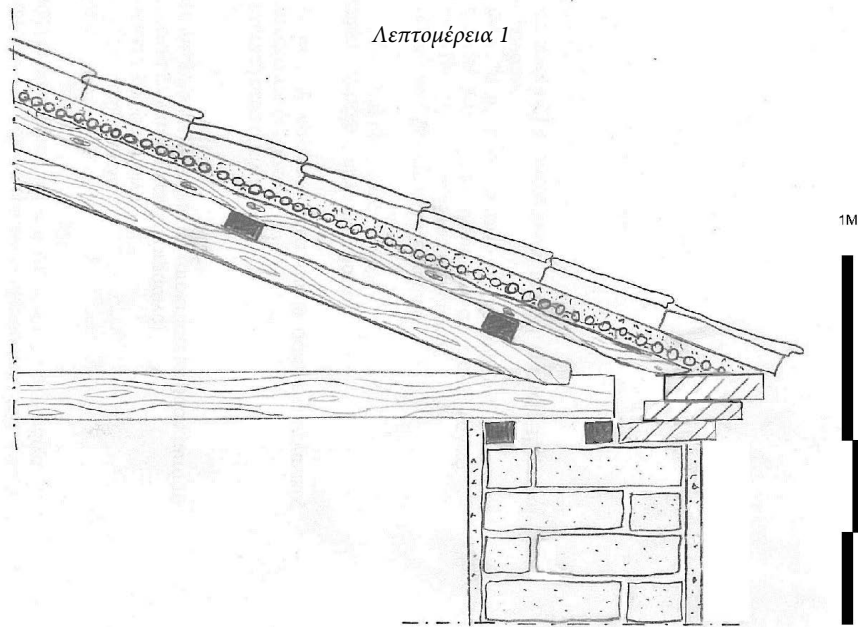
A/A Σχεδίου Σ04	
ΣΤΕΓΗ	
Κτίριο Β	
Κεκλιμένα στοιχεία, τεγίδες και θλιπτήρες	
Υπόμνημα	
στοιχεία που αποτυπώθηκαν επί τόπου	—
αναπαράσταση κατ' εκτίμηση	—



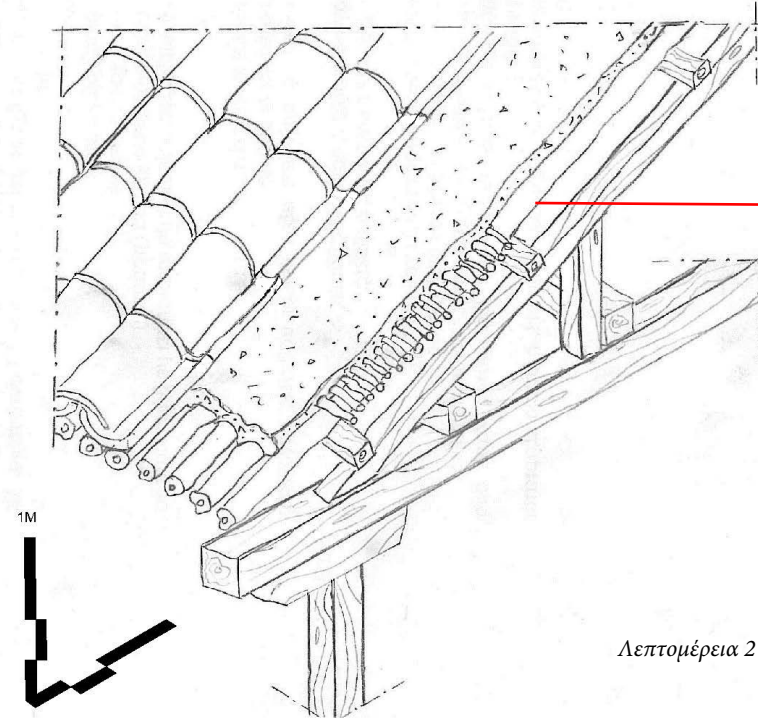
ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΕΙΑ 1



ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΕΙΑ 2



Λεπτομέρεια 1



πέτσωμα από
καλαμωτή και
στρώση πατημένου
χώματος

Λεπτομέρεια 2



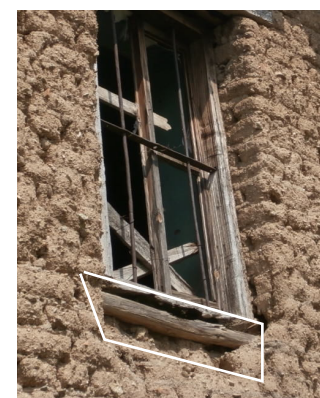
Στέγαση εξώστη σε
οικία στο Πράσινο
στην οποία
βασίστηκε η
παρούσα
αποτύπωση.

A/A Σχεδίου Σ05

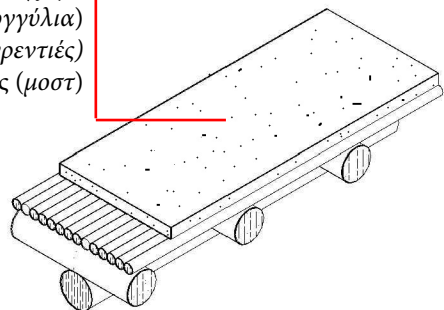
ΣΤΕΓΗ

Κτίριο Β

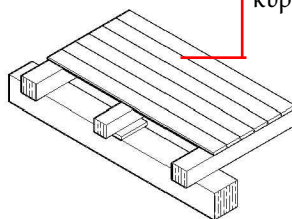
Διαμόρφωση τελικής επιφάνειας
Διαμόρφωση γείσου (τομή και
αξονομετρικό)



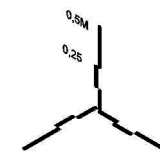
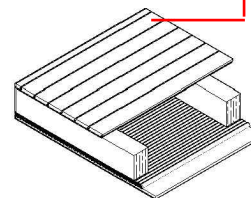
άχυρο & πατημένο χώμα
κλαδιά (στρογγύλια)
δοκάρια (γρεντιές)
κύρια δοκός (μοστ)



σανίδωμα
δοκάρια
κύρια δοκός (μοστ)

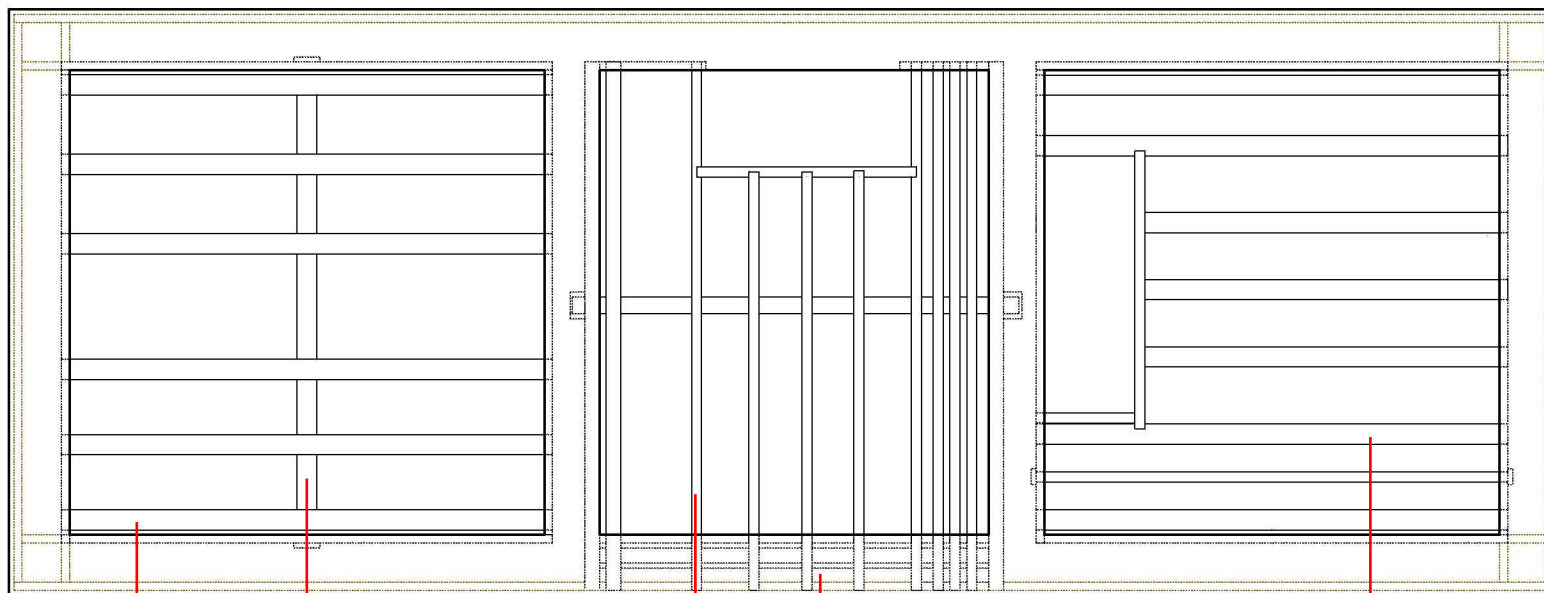


σανίδωμα
δοκάρια
καλάμια
επίχρισμα οροφής



Λεπτομέρεια από κτίριο στον
Μηλιώνα. Οι ξυλοδεσιές ενίοτε
τοποθετούνταν εσωτερικά της
ωμοπλινθοδομής.

2M
0,5



δοκοί πατώματος,
κυκλικής διατομής
18-20 εκ.

κύρια δοκός
γεφύρωσης,
διατομής 20-223κ.

δοκοί πατώματος,
τετραγωνικής διατομής
περ. 10*10 εκ.

γεφύρωση ανοίγματος
με 2 δοκούς

δοκοί πατώματος,
τετραγωνικής διατομής
περ. 15*15 εκ.

A/A Σχεδίου Π01

ΠΑΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΑΠΕΔΑ

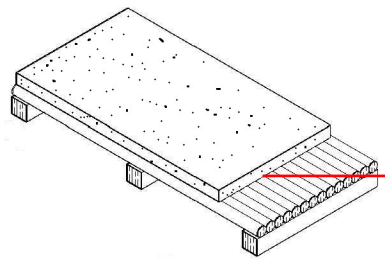
Κτίριο Β

1ος όροφος

Υπόμνημα

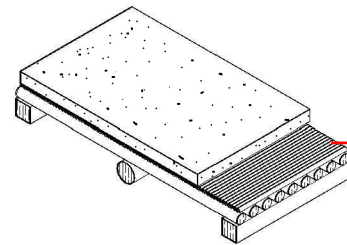
αναπαράσταση κατ' εκτίμηση

στοιχεία εντός της τοιχοποιίας

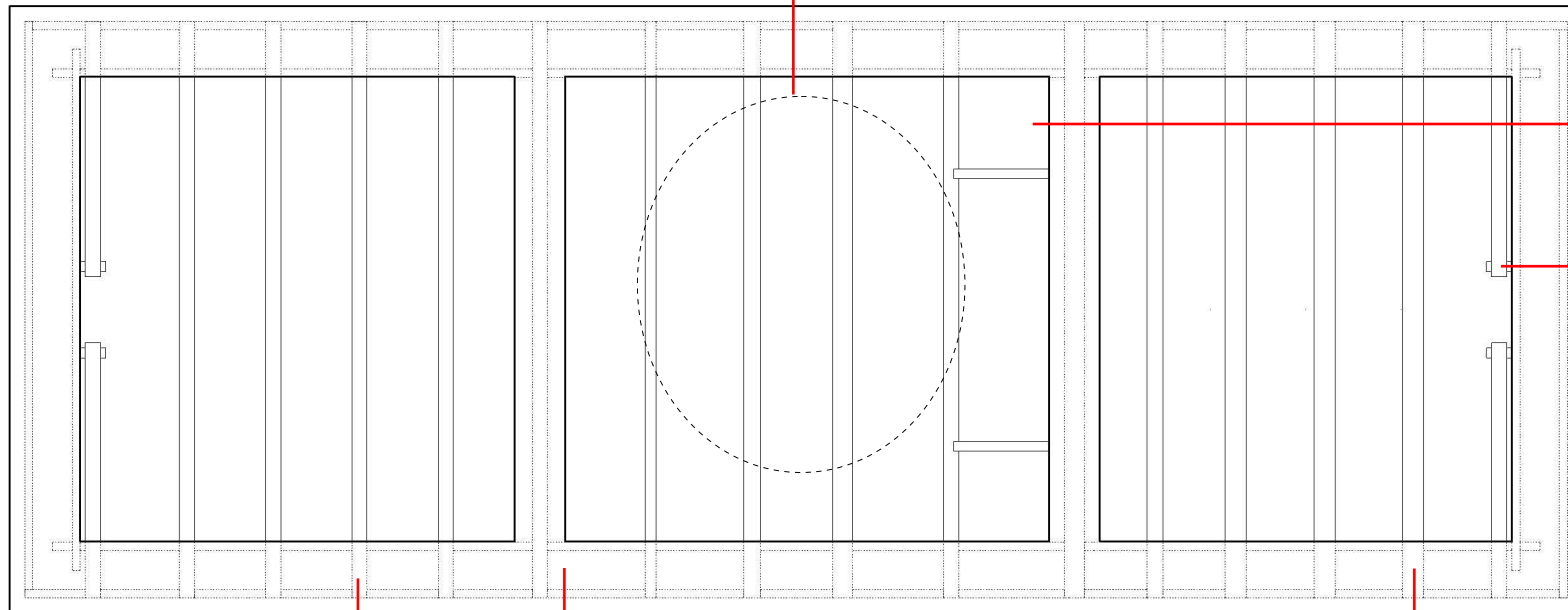
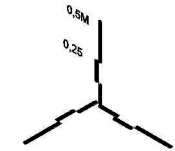


άχυρο & πατημένο χώμα
κλαδιά (στρογγύλια)
δοκάρια πατώματος

η κατάρρευση του
πατώματος δεν
επέτρεψε την
αποτύπωση του
δαπέδου



άχυρο & πατημένο χώμα
καλάμα
κλαδιά
δοκάρια πατώματος



θέση σκάλας
ανόδου

διαμόρφωση για
το τζάκι του
άνωτερου
ορόφου

0,5 2M

ξυλοδεσιές

λίθινη τοιχοποιία

γρεντιές
στερεωμένες στην
εξ. ξυλοδεσιά

A/A Σχεδίου Π02

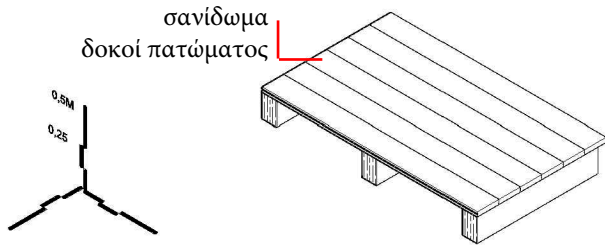
ΠΑΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΑΠΕΔΑ

Κτίριο Α

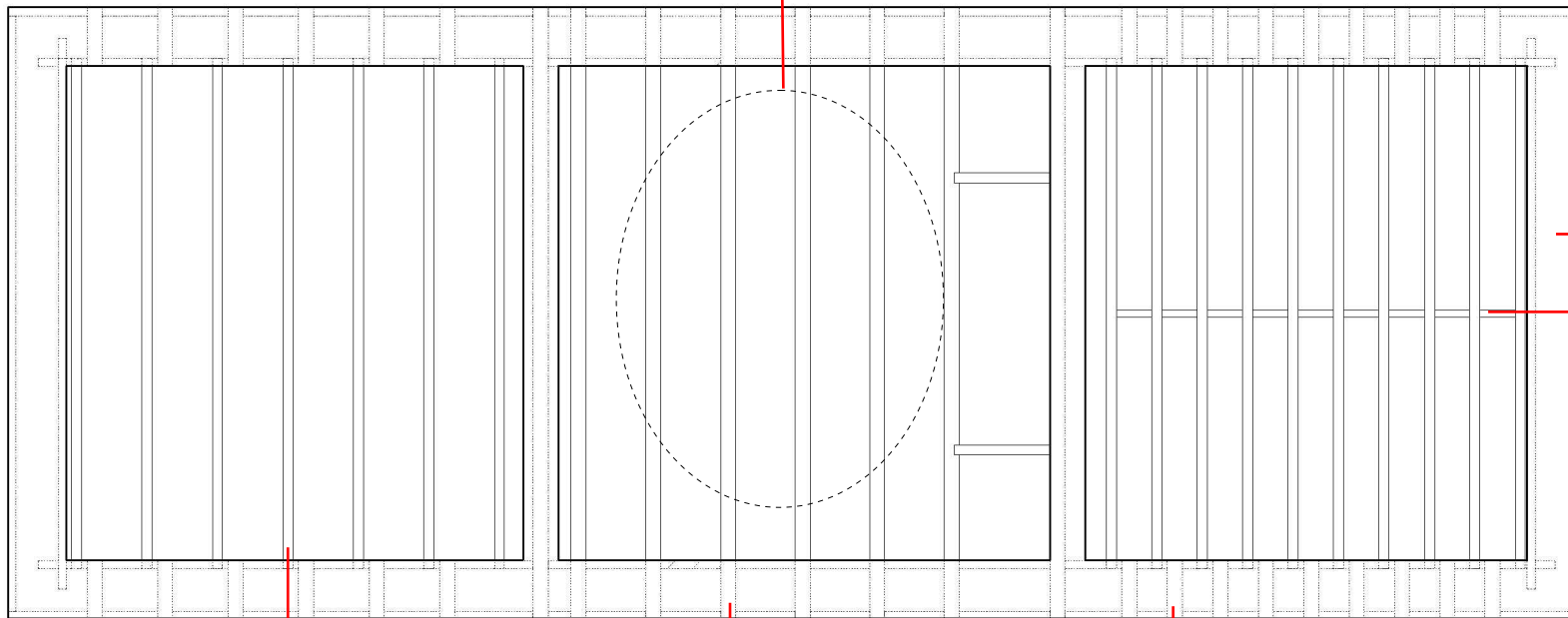
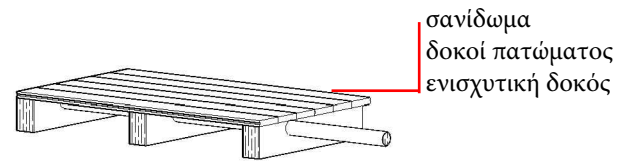
1ος όροφος

Υπόμνημα

στοιχεία εντός της τοιχοποιίας - - -



η κατάρρευση του πατώματος δεν επέτρεψε την αποτύπωση του δαπέδου



- ξυλοδεσιές
- τοιχοποιία από ωμόπλινθους
- ενισχυτική, μη-συνεχής δοκός



μεταγενέστερα τοποθετημένα δοκάρια πατώματος που στηρίζονται στον εσωτερικό στρωτήρα

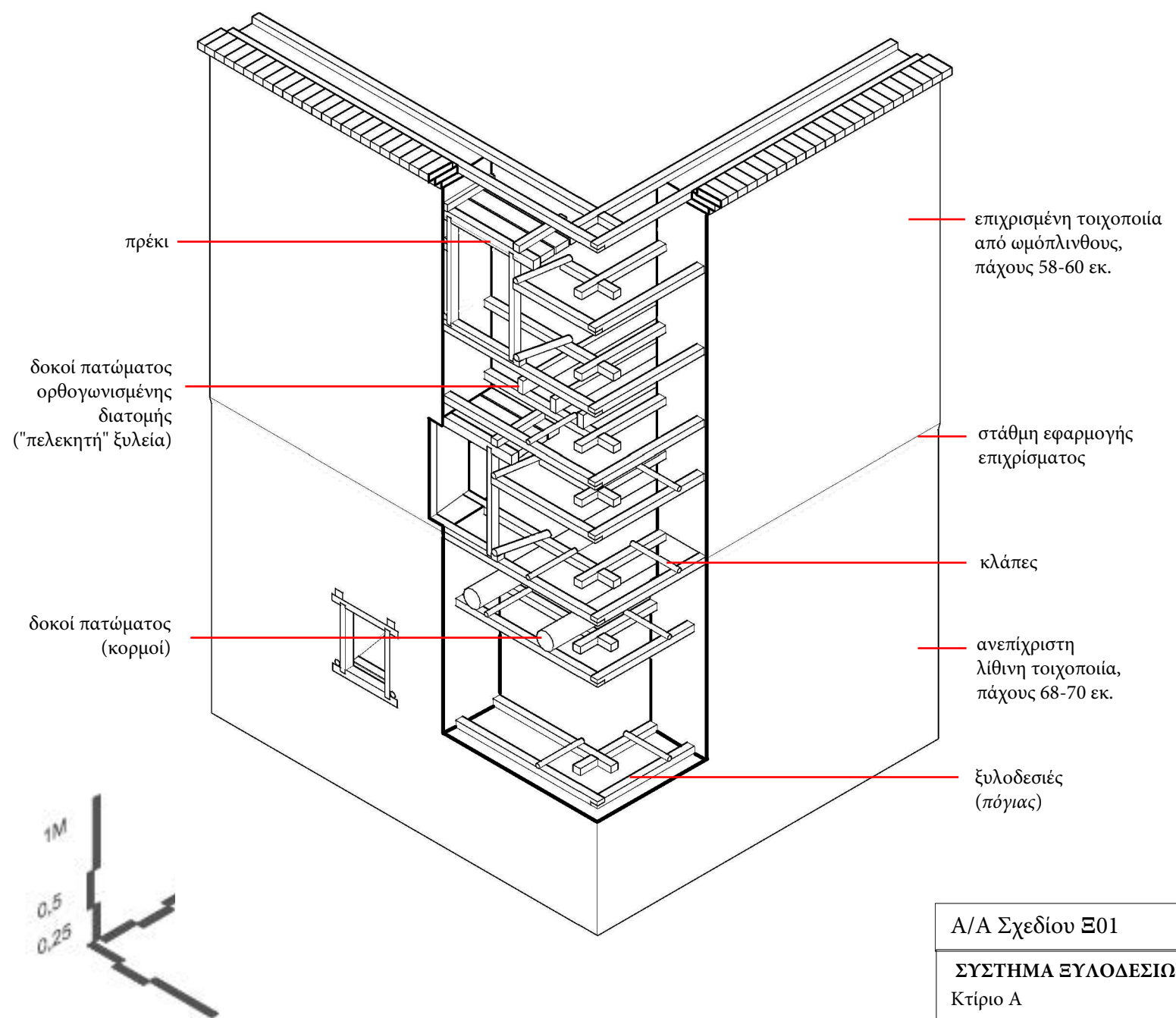
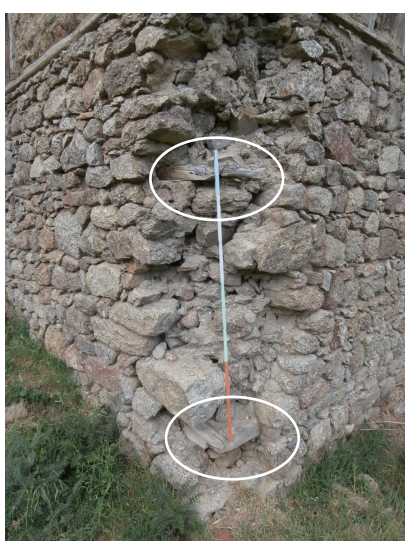
δοκάρια πατώματος που φτάνουν έως την εξωτερική παρειά της τοιχοποιίας

ξύλινα στοιχεία σε προγενέστερες δοκοθήκες

A/A Σχεδίου Π03

ΠΑΤΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΑΠΕΔΑ
Κτίριο A
2ος όροφος

Υπόμνημα
στοιχεία εντός της τοιχοποιίας — — —

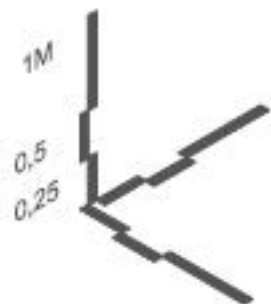
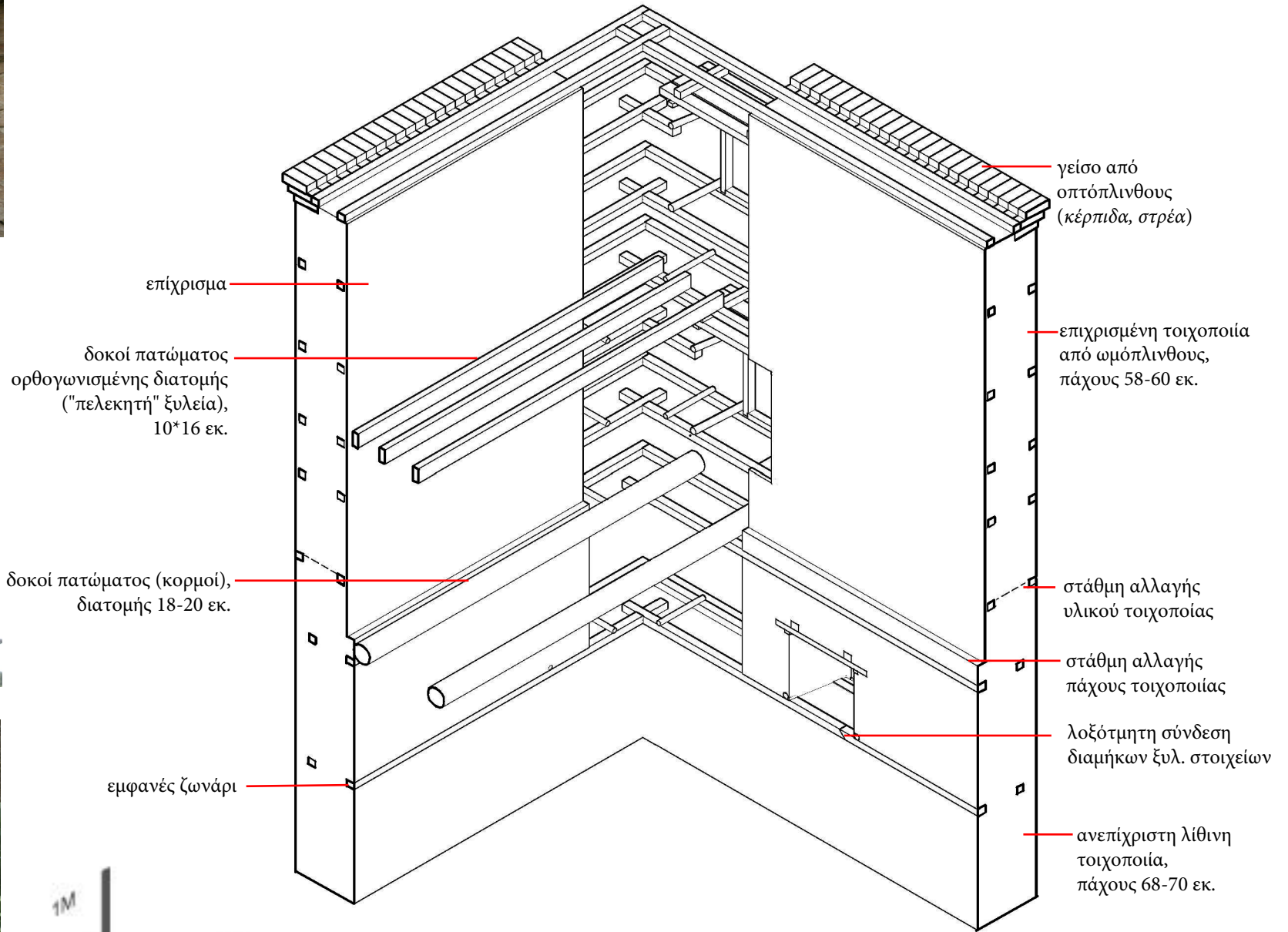


A/A Σχεδίου Ε01

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΥΛΟΔΕΣΙΩΝ

Κτίριο Α

Αξονομετρική τομή (ΝΔ)



A/A Σχεδίου Ε02

ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΥΛΟΔΕΣΙΩΝ

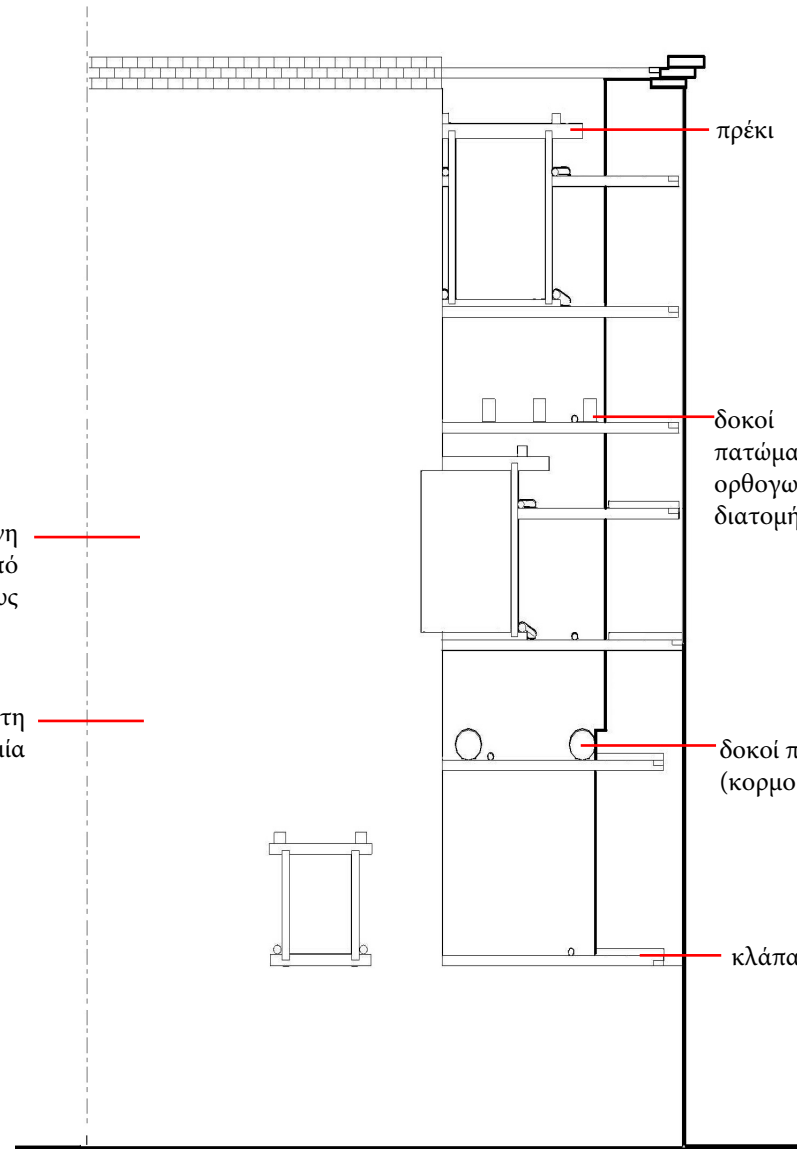
Κτίριο Α

Αξονομετρική τομή (ΒΑ, εσωτερικό)



επιχρισμένη
τοιχοποιία από
ωμόπλινθους

ανεπίχριστη
λίθινη τοιχοποιία

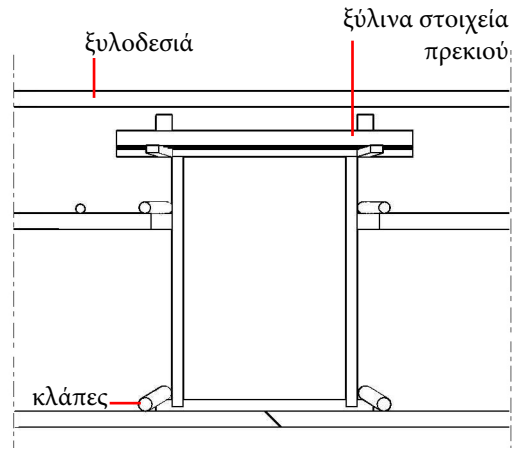


A/A Σχεδίου Ε03

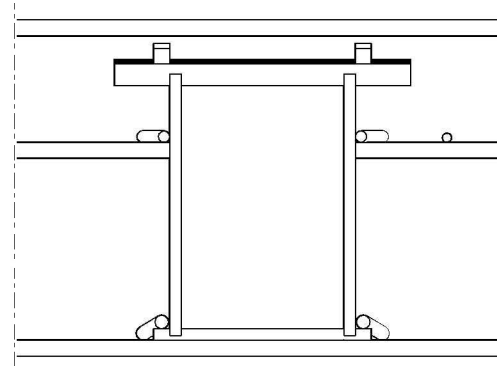
ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΥΛΟΔΕΣΙΩΝ

Κτίριο Α

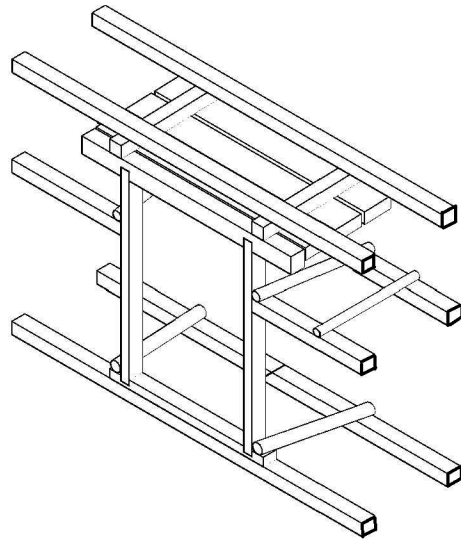
Δυτική όψη



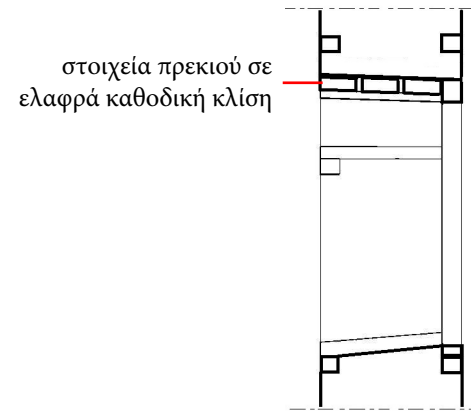
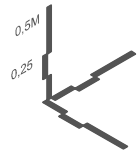
εσωτερική όψη κουφώματος



εξωτερική όψη κουφώματος



αξονομετρικό κουφώματος



τομή

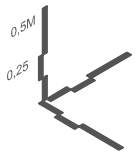
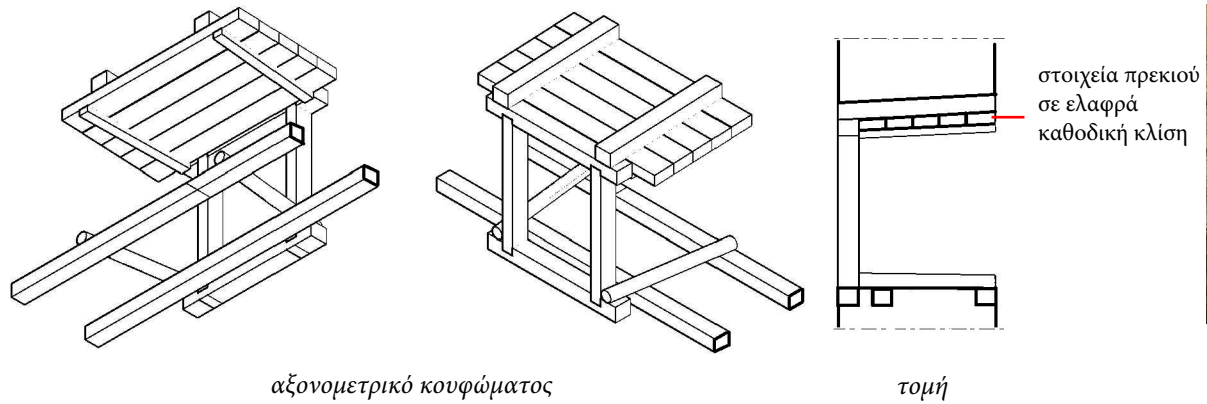
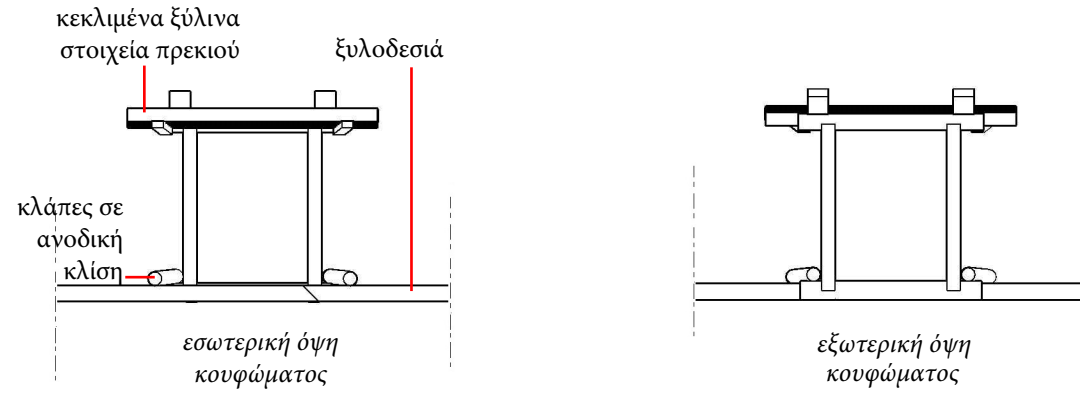


A/A Σχεδίου K01

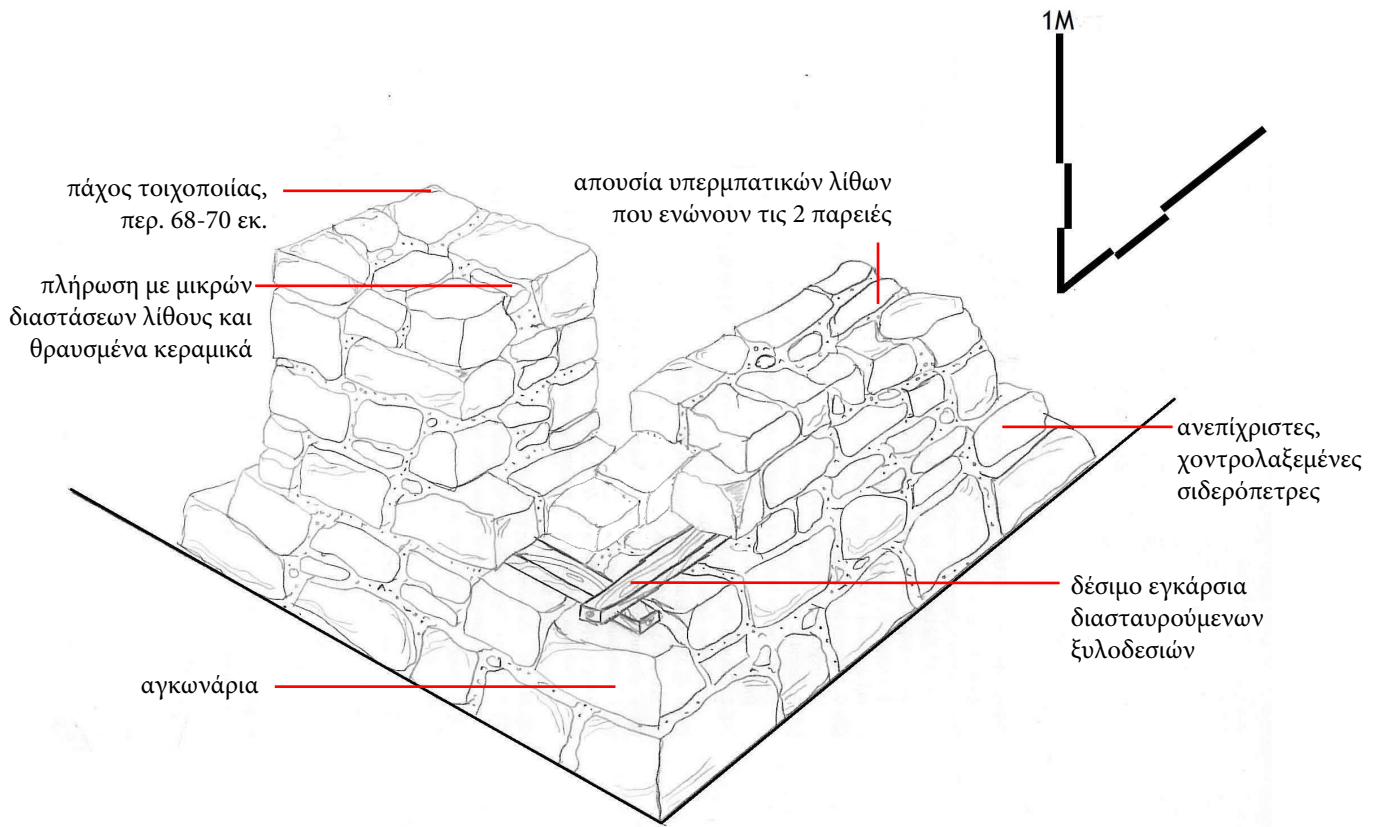
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ

Κτίριο Α

Μεγάλο κούφωμα (ορόφου)



A/A Σχεδίου Κ02
ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ
Κτίριο Α
Μικρό κούφωμα (1 σογείου)



A/A Σχεδίου Λ01

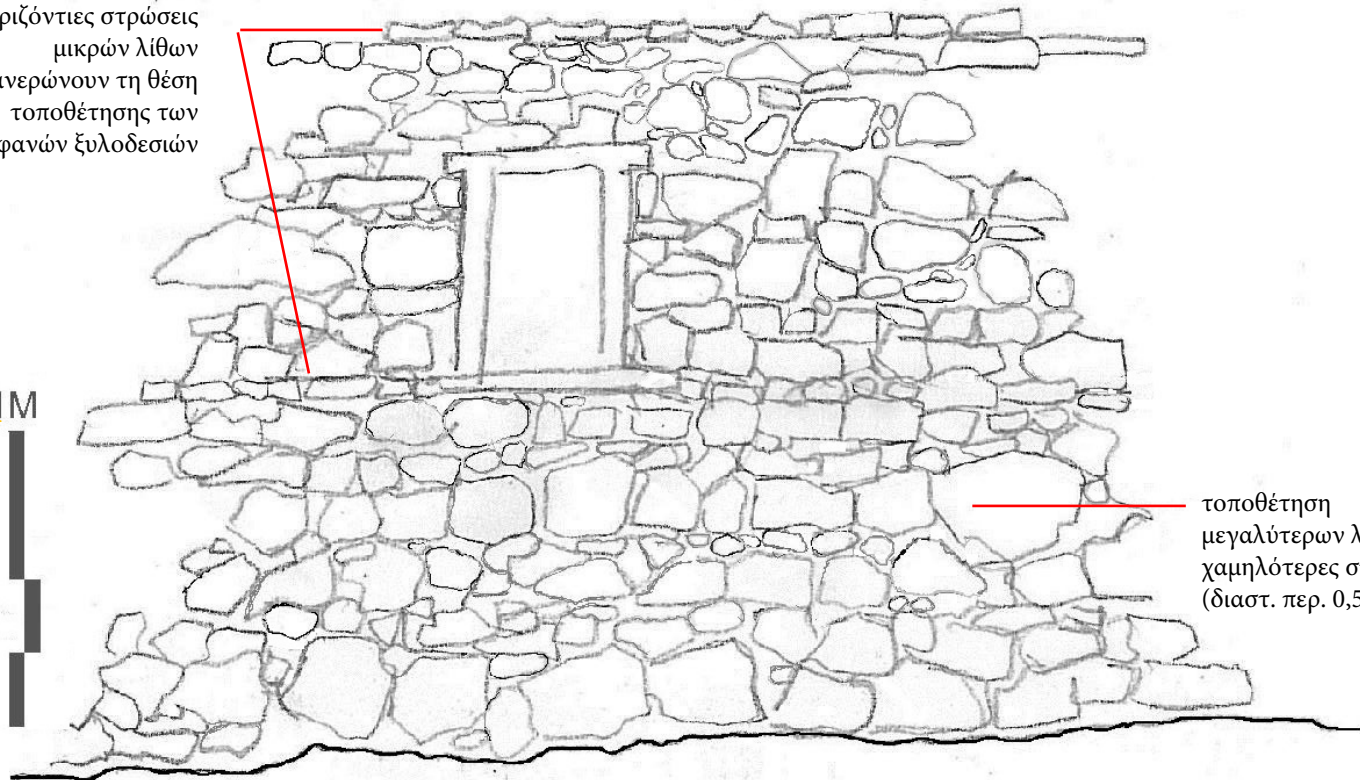
ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Κτίριο Α

Διασταυρούμενες εξ. τοιχοποιίες

οριζόντιες στρώσεις
μικρών λίθων
φανερώνουν τη θέση
τοποθέτησης των
αφανών ξυλοδεσιών

1M



τοποθέτηση
μεγαλύτερων λίθων σε
χαμηλότερες στάθμες
(διαστ. περ. 0,5*0,3 εκ.)



A/A Σχεδίου Λ02

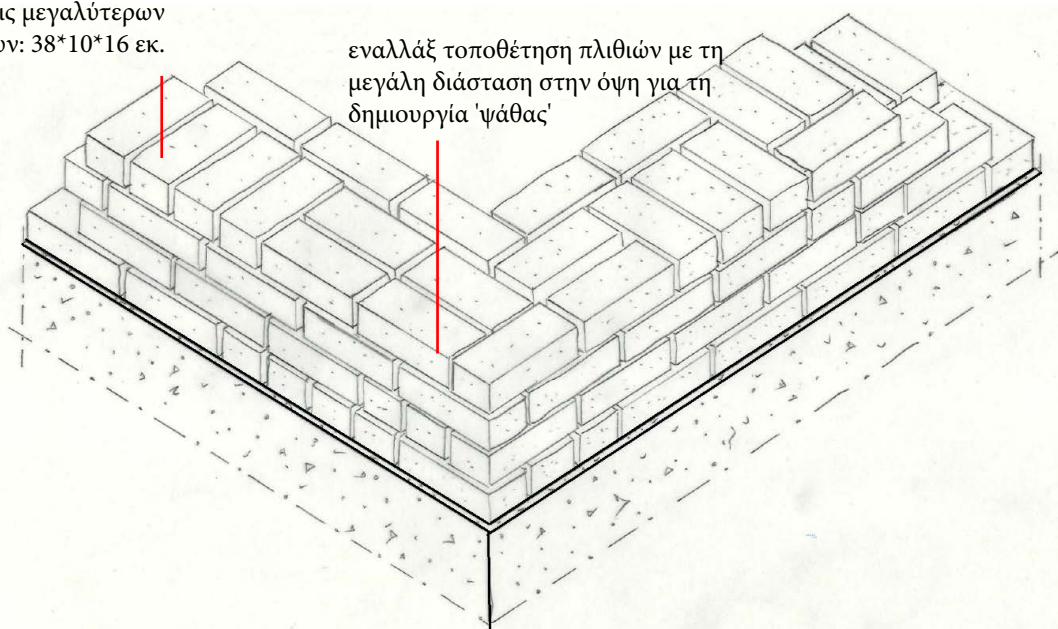
ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ
Κτίριο Α

Διάταξη λίθων στην δυτική όψη

διαστάσεις μεγαλύτερων
ωμόπλινθων: 38*10*16 εκ.

εναλλάξ τοποθέτηση πλινθίων με τη
μεγάλη διάσταση στην όψη για τη
δημιουργία 'ψάθας'

0,5m



Προοπτικό πλέξης των ωμόπλινθων



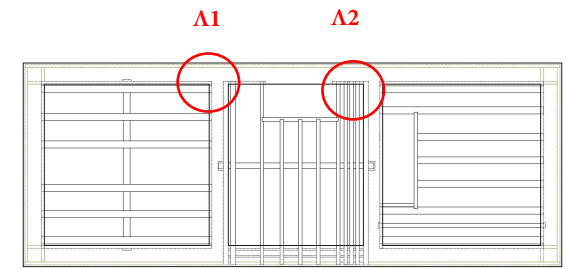
A/A Σχεδίου Λ03

ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

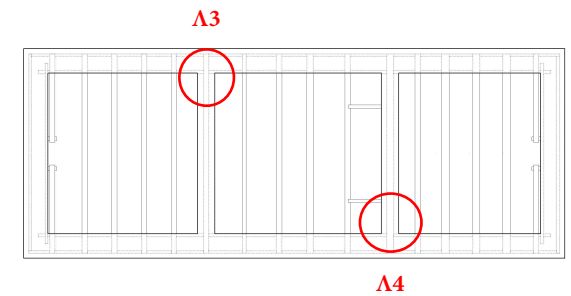
Κτίριο A & B

Διάταξη ωμόπλινθων σε γωνία

Παράρτημα II



Κτίριο Β: διαμόρφωση γωνίας με εμπλοκή των ωμόπλινθων εσωτερικής και εξωτερική τοιχοποιίας.



Κτίριο Α: η πτώση των εγκάρσιων εσωτερικών τοίχων αποκάλυψε την πλήρη απουσία εμπλοκής των ωμόπλινθων (Λ3) και των λιθοσωμάτων (Λ4).

Καρτέλα Κ01
Συνεργασία εσωτερικής και εξωτερικής τοιχοποιίας Κτίριο Α & Β

Παράρτημα III

Φωτογραφική τεκμηρίωση κτιρίων A & B

Κτίριο A



Η δυτική και ανατολική όψη του κτιρίου (πάνω και κάτω, αντίστοιχα)



Η βόρεια και νότια όψη του κτιρίου (πάνω και κάτω, αντίστοιχα)



Το εσωτερικό του κτιρίου



Διακρίνεται ο φορέας της στέγης και η καμινάδα στη στενή πλευρά του κτιρίου

Κτίριο Β



Κύρια όψη



Βόρεια και ανατολική όψη



Νότια όψη



Κεντρικός χώρος ισογείου



Προς βορρά χώρος ισογείου



Προς βορρά, χώρος ορόφου



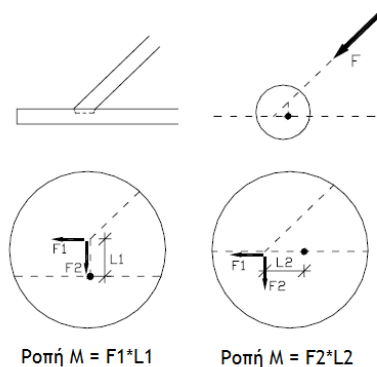
Κύρια όψη και ό,τι απέμεινε από το σαχνισί

Παράρτημα IV

Προσομοίωση συνθηκών στήριξης στο πρόγραμμα Abaqus

Έπειτα από διερεύνηση των πιθανών συνθηκών στήριξης και της συμπεριφοράς τους στο πρόγραμμα Abaqus, έγιναν οι ακόλουθες επιλογές:

- ο η επαφή *μεταξύ δοκού και τοιχοποιίας*, εφόσον πρόκειται για αρθρωτή σύνδεση, προσομοιώθηκε με την εντολή MPC constraint / Pin. Ως control point επιλέγεται το άκρο της ράβδου ενώ ως slave node το σημείο στήριξης επί της τοιχοποιίας. Σημειώνεται πως τα ξύλινα στοιχεία (δοκάρια πατώματος, στοιχεία στέγης) εισήχθησαν στο πρόγραμμα ως ραβδωτά στοιχεία, στη θέση των κεντρικών αξόνων τους ώστε να δημιουργηθεί η απαραίτητη απόσταση μεταξύ των τεμνόμενων ραβδωτών στοιχείων που θα επιτρέψει τον ορισμό των μεταξύ τους συνδέσεων. Η απόσταση αυτή συνεπάγεται μια διαφοροποίηση στις ροπές σε σχέση με τις πραγματικές, η οποία ωστόσο δεν είναι σημαντική.



Σχήμα X. Η διαφοροποίηση στις ροπές λόγω εισαγωγής των ραβδωτών στοιχείων στη θέση του κεντροβαρικού τους άξονα

Επιπλέον, δημιουργήθηκαν σημεία στο μέσο της τοιχοποιίας (set/geometry/node) έπειτα από την διακριτοποίηση ώστε να γίνει εκεί η στήριξη των δοκών επί των πλευρικών τοίχων. Σημειώνεται πως κάθε φορά που γίνεται νέα διακριτοποίηση, τα σημεία πρέπει να οριστούν ξανά.

- ο η επαφή *μεταξύ 2 ραβδωτών στοιχείων* έγινε με την επιλογή MPC constraint (pin/tie), ενώ στα σημεία τομής περισσότερων των 2 ράβδων έγινε επιλογή της εντολής coupling constraint. Σε διερεύνηση σε απλουστευμένο φορέα, που προηγήθηκε της τελικής προσομοίωσης, βρέθηκε πως στους ελέγχους μετακινήσεων η επιλογή MPC constraint / PIN και TIE έδωσε πολύ καλύτερη σύγκλιση για τις μετακινήσεις των δυο σημείων ενός κόμβου- μάλιστα, η εναλλαγή των control points και slave nodes άλλαξε ελάχιστα τα αποτελέσματα - σε σχέση με την εντολή coupling constraint.
- ο για τη σχέση τριβής μεταξύ εσωτερικής-εξωτερικής τοιχοποιίας λήφθηκε συντελεστής τριβής 0,6, ενώ η εγκάρσια συμπεριφορά (normal στο πρόγραμμα) έγινε η επιλογή "hard contact"

Παράρτημα V

Δοκιμή εκτός προτύπων για την επίπτωση του νερού

Για να ποσοτικοποιηθεί η διαβρωτική δράση του νερού στα πλιθιά ωμής γης, εκτελέστηκε η ακόλουθη δοκιμή, απλουστευτική και χωρίς να συμμορφώνεται με σχετικό πρότυπο. Ένα κομμάτι ωμοπλίνθου, βάρους 529 gr. και διαστάσεων $10*5*7 \text{ cm}^3$, τοποθετήθηκε σε λεκάνη γεμάτη με νερό. Μετά την παραμονή της πλίνθου στο νερό για 24 ώρες μετρήθηκε εκ νέου το υλικό που διατηρούσε μια σχετική συνοχή- το ξηρό βάρος του μετρήθηκε στα 81gr. Συνεπώς η διατήρηση υλικού σε συνοχή ήταν της τάξης του 15%.

