



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ
ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΟΙΚΗΜΑΤΟΣ**



Μαρίνος Ποδηματής

Επιβλέπων Καθηγητής : Παπακωνσταντίνου Χρήστος

ΙΟΥΛΙΟΣ 2019



Πίνακας Περιεχομένων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	1
ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΟΙΚΗΜΑΤΟΣ	1
1 Εισαγωγή	5
1.1 Είδη Τοιχοποιίας	6
1.1.1 Διαχωρισμός με βάση το είδος του λιθοσώματος.....	6
1.2 Κονιάματα	10
1.2.1 Ορισμός Κονιάματος	10
1.2.2 Κατηγορίες Αντοχής Κονιαμάτων κατά τον EC-1996	10
2 Μηχανική της Τοιχοποιίας.....	11
2.1 Θλιπτική Αντοχή	11
2.1.1 Γενικά περί Θλιπτικής Αντοχής.....	11
2.1.2 Προσδιορισμός της Θλιπτικής Αντοχής κατά τον EN-1996	12
2.2 Εφελκυστική Αντοχή	15
2.2.1 Γενικά περί εφελκυστικής αντοχής.....	15
2.2.2 Χαρακτηριστικές Αντοχές	16
2.3 Διατμητική Αντοχή	18
2.3.1 Γενικά περί Διατμητικής Αντοχής	18
2.3.2 Είδη Διατμητικής Αστοχίας.....	18
2.3.3 Προσδιορισμός της Διατμητικής Αντοχής.....	19
2.4 Μέτρο Ελαστικότητας και Συντελεστής Ερπυσμού	20
2.4.1 Μέτρο Ελαστικότητας E.....	20
2.4.2 Συντελεστές Ερπυσμού, Συστολής Ξήρανσης.....	21
3 Περιγραφή- Χαρακτηριστικά Φορέα.....	22
3.1 Σύντομη Περιγραφή της Μορφολογίας και της Κατασκευαστικής Δομής του μνημείου.....	22
3.2 Γεωμετρία του Φορέα	25
3.2.1 Κάτοψη Ημιπόγειου.....	25
.....	25
3.2.2 Κάτοψη Ισογείου	26
3.2.3 Κάτοψη Ορόφου	27
3.3 Φωτογραφική Τεκμηρίωση του Φορέα.....	28
4 Περιγραφή Μοντέλου Προσομοίωσης	30



4.1	Προσομοίωση υλικών Τοιχοποιίας	30
4.2	Πατώματα.....	32
4.3	Ξυλοδεσιές και Σενάζ Σκυροδέματος	33
4.4	Πολυκλινής Στεγη	34
4.5	Εύλινοι Δοκοί.....	35
4.6	Προσομοίωση ‘ Μπαζωμένων’ τμημάτων.....	36
4.7	Μοντέλο Προσομοίωσης.....	37
4.8	Σεισμικό Φορτίο.....	38
4.9	Επιλογές Ανάλυσης.....	39
4.9.1	Επιλογή Κόμβου Ελέγχου.....	40
4.9.2	Επιλογή Τρόπου Ανάλυσης	41
4.9.3	Προσομοίωση της Στάθμης του Εδάφους	42
5	Αποτελέσματα – Υφιστάμενη Κατάσταση	43
5.1	Αποτελέσματα από Κόμβο Ελέγχου 4	44
5.1.1	Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	44
5.1.2	Διαγράμματα Καμπύλης Ικανότητας.....	46
5.2	Αποτελέσματα από Κόμβο Ελέγχου 24	49
5.2.1	Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων.....	49
5.2.2	Διαγράμματα Καμπύλης Ικανότητας.....	50
6	Προτεινόμενες Ενισχύσεις.....	53
6.1	Βαθύ Αρμολόγημα	53
6.2	Ενίσχυση υπερθύρων	56
6.3	Εισαγωγή Μεταλλικής Διατομής σε ασθενές σημείο	58
6.4	Αντικατάσταση ξυλοδεσιών και Πατωμάτων	60
7	Αποτελέσματα επεμβάσεων – Ενισχυμένη Κατάσταση	60
7.1	Αποτελέσματα μετά από βαθύ αρμολόγημα	60
7.2	Αποτελέσματα ύστερα από τη προσθήκη μεταλλικών διατομών	62
8	Συζήτηση- Συγκρίσεις.....	66
9	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	72



Ευχαριστίες

Με το σημείωμα αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που βοήθησαν στην επίτευξη των ακαδημαϊκών μου στόχων.

Αρχικά, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή και Επιβλέποντα της εργασίας, κ. Παπακωνσταντίνου Χρήστο για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ERGOCAD TSIAMTSAKIRIS για τη παροχή του προγράμματος 3MURI και για την άμεση υποστήριξη που μου παρείχαν.

Ακόμη, ευχαριστώ την Υπηρεσία Νεότερων Μνημείων και Τεχνικών Έργων Θεσσαλίας για τη βοήθεια τους στη έρευνα μου και για τις υποδείξεις τους.

Τέλος, πρέπει να ευχαριστήσω τη μητέρα μου καθώς και τους φίλους μου για την αστείρευτη στήριξη και ανοχή τους προς το πρόσωπο μου.

Η εργασία αυτή αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου Ευστράτιου Ποδηματή και του αδερφού μου Παναγιώτη Καβρού.



1 Εισαγωγή

Οι κατασκευές από τοιχοποιία αποτέλεσαν τη πλειοψηφία των κατασκευών από τον άνθρωπο από τις αρχές της γνωστής ιστορίας μέχρι και τα τέλη του 19^{ου} αιώνα όπου πιο σύγχρονα οικοδομικά υλικά όπως το σκυρόδεμα και ο χάλυβας άρχισαν να επικρατούν στο πεδίο των κατασκευών. Όμως ακόμη και σήμερα η τοιχοποιία παραμένει ένα αξιόπιστο και οικονομικό υλικό για τη κατασκευή κατοικιών, αποθηκών γεφυρών και προτιμάται λόγω του χαμηλού κόστους και της εργασιμότητας του. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς μια τέτοιας κατασκευής, η διάγνωση της παθογένειας του αλλά και η ανάδειξη των πιθανών τεχνικών επεμβάσεων με σκοπό την βελτίωση της φέρουσας ικανότητας. Ο όρος “τοιχοποιία” αναφέρεται στη σύνδεση του πολλαπλών λιθοσωμάτων μέσω ενός συνδετικού μείγματος που ονομάζουμε κονίαμα. Τόσο τα είδη των λιθοσωμάτων όσο και των συνδετικών κονιαμάτων επεξηγούνται και κατηγοριοποιούνται στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Με τη μεγάλη τεχνολογική πρόοδο του 20^{ου} αιώνα, δόθηκε στην ανθρωπότητα η δυνατότητα περαιτέρω εξέτασης της τοιχοποιίας ως οικοδομικού υλικού, καθώς εξετάστηκε η αντοχή στις διάφορες φορτίσεις που μπορούν να προκύψουν και αναδείχθηκαν τα προτερήματα αλλά και οι αδυναμίες της. Περισσότερα σχετικά με τις αντοχές αλλά και τον τρόπο υπολογισμού αυτών, αναλύονται στο Κεφάλαιο 2 – Μηχανική της Τοιχοποιίας. Η Ελλάδα όπως και όλη η Ευρωπαϊκή Ήπειρος έχει στα εδάφη της πληθώρα κατασκευών τοιχοποιίας οι οποίες λόγω της ηλικίας τους αλλά και λόγω της καταπόνησης τους από τα έντονα σεισμικά φορτία που υπάρχουν στην περιοχή, σταματούν να είναι λειτουργικά ή ακόμη και ασφαλή. Για το λόγο αυτό θεσμοθετήθηκε ο Ευρωκώδικας 6 (EC- 1996) με βάση τον οποίο διεκπεραιώνεται η διαδικασία της ανάλυσης και ενίσχυσης του φορέα.

Στο Κεφάλαιο 3 με τίτλο Περιγραφή Φορέα, γίνεται μια σύντομη περιγραφή της μορφολογίας και παθολογίας της κατασκευής που μελετήθηκε. Πρόκειται για μια κατοικία του 19^{ου} αιώνα που βρίσκεται στο Δήμο Πύλης. Επίσης παρουσιάζονται η γεωμετρία αλλά και το σύνολο του φορέα μέσα από αρχιτεκτονικές κατόψεις και φωτογραφίες του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου.

Στο 4^ο Κεφάλαιο με τίτλο Προσομοίωση-Αποτελέσματα Ανάλυσης, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση της μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων καθώς και ο τρόπος που προσομοιώθηκε ο φορέας.

Στη συνέχεια, στο 5^ο Κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής καταγραφή των αποτελεσμάτων της Γραμμικής Ανελαστικής Ανάλυσης Pushover στην οποία επιβάλαμε τον φορέα μέσω του ειδικού λογισμικού Μακροστοιχείων 3MURI.

Έπειτα, στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται οι ενισχύσεις που επιλέχθηκαν, με στόχο τη βελτίωση της σεισμικής και στατικής συμπεριφοράς του κτηρίου. Στο

Κεφάλαιο 7 γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των διαγραμμάτων καμπύλης ικανότητας , έπειτα από τη προσθήκη των ενισχύσεων

Στο 8^ο Κεφάλαιο γίνεται σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της Pushover ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης και της ενισχυμένης κατάστασης του φορέα.

Τέλος, τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκπόνηση της εργασίας παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 9.

1.1 Είδη Τοιχοποιίας

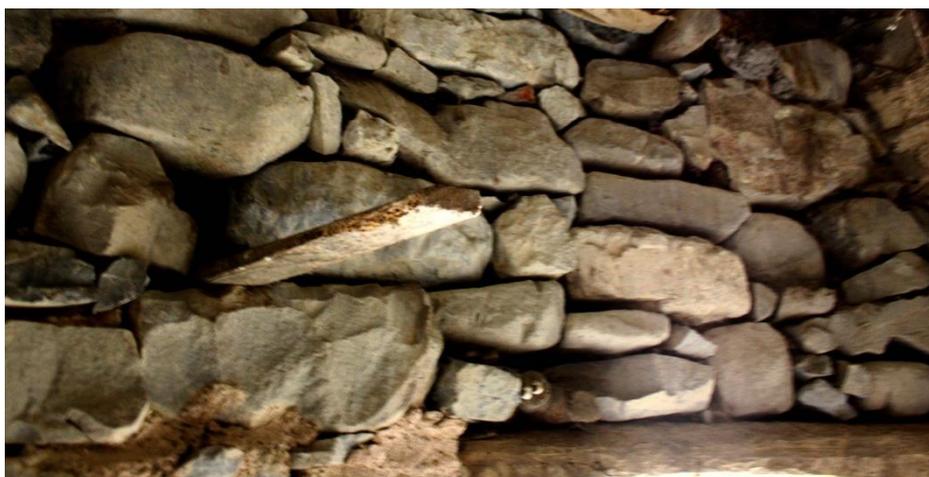
Οι κατηγορίες διαχωρισμού της Τοιχοποιίας προκύπτουν επιλέγοντας ως κριτήριο είτε το λιθόσωμα από το οποίο αποτελούνται είτε τον τρόπο με τον οποίο είναι δομημένες είτε τη λειτουργία την οποία εκτελούν.

1.1.1 Διαχωρισμός με βάση το είδος του λιθοσώματος

ι) Φυσικοί Λίθοι

Οι λιθοδομές είναι το αρχαιότερο είδος τοιχοποιίας καθώς κάποια από τα σημαντικότερα δομικά έργα της ανθρωπότητας είχαν ως κύριο χαρακτηριστικό τους τις λιθοδομές. Η αφθονία των φυσικών λίθων ήταν ένα από τα πλεονεκτήματα που έκανε τις λιθοδομές προσιτή επιλογή ως δομικό υλικό για κάθε είδος δόμημα όπως οικίες, γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης . Επιπλέον οι λιθοδομές χωρίζονται σε :

- Ξηρολιθοδομές : Αποτελούνται από ακατέργαστους φυσικούς λίθους μεγάλου μεγέθους οι οποίοι δεν συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο κονίαμα. Λόγω της ποικιλομορφίας των λίθων και το ακανόνιστο σχήμα τους, αδυνατούν να φέρουν οριζόντια φορτία και επομένως δεν συνηθίζεται η χρήση τους ως φέρων στοιχείο. (βλ. Σχήμα 1.1)

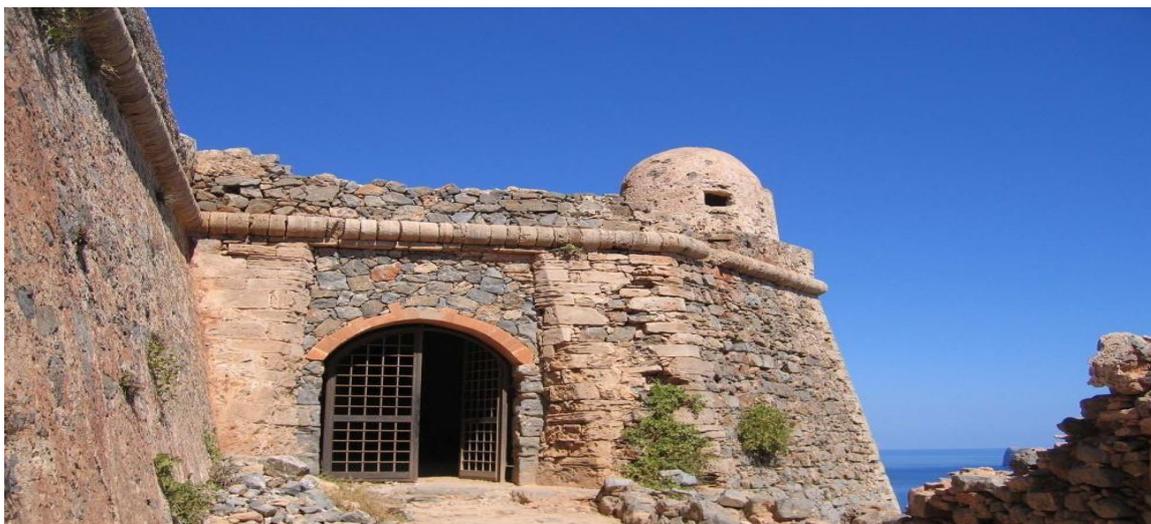


Σχήμα 1.1. Ξηρολιθοδομή. (NTUA, 2019)

- Αργολιθοδομές : Ονομάζουμε το είδος τοιχοποιίας που αποτελείται από φυσικούς λίθους, οι οποίοι έχουν υποστεί ελαφρά επεξεργασία στο σχήμα τους με σκοπό να ταιριάζουν μεταξύ τους κατά την διαδικασία ανέγερσης και οι οποίοι συνδέονται με κονίαμα. Κατά τη δόμηση Χρησιμοποιούνται εναλλάξ δρομικοί και μπατικοί λίθοι και στις δύο πλευρές του τοίχου. Χρήση αργολιθοδομών έχει γίνει σε πολλά είδη κατασκευών και όπως γέφυρες, τείχη και φυσικά οικοδομές. Η χρήση τους ήταν εντατική μέχρι και τη έναρξη παραγωγής οπτόπλινθων σε ευρεία κλίμακα (βλ. Σχήμα 1.2 και Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.2- Αργολιθοδομή (NTUA, 2019)



Σχήμα 1.3- Αργολιθοδομή στο κάστρο της Γραμβούσας

Βασικοί παράγοντες στη λειτουργία των αργολιθοδομών είναι το σχήμα και οι φυσικές ιδιότητες των λίθων που αποτελούν την τοιχοποιία καθώς και η σωστή αρμολόγηση και κάλυψη των κενών ανάμεσα στα λιθосώματα . Απαιτείται συνεπώς, η χρήση λίθων που προέρχονται από την ίδια περιοχή και έχουν τα ίδια μηχανικά χαρακτηριστικά ώστε να αποφεύγονται οι δομικές αστοχίες ενώ το πάχος των αρμών πλήρωσης οφείλει να κυμαίνεται από 2-3 cm.

- Χυτές τοιχοποιίες : Ονομάζονται οι τοιχοποιίες που αποτελούνται από κροκάλες (είδος λίθου) και μείγματα πηλού ενώ στις μέρες μας χρησιμοποιείται και σκυρόδεμα ως υλικό πλήρωσης. Ως καλούπι χρησιμοποιούνται συμπαγείς οπτόπλινθοι, οι οποίοι ουσιαστικά είναι η εξωτερική επένδυση της τοιχοποιίας.

ii) Τεχνητοί Λίθοι

Το λιθосώμα παράγεται με τη σύνθεση άλλων φυσικών υλικών και μπορεί είτε να κατασκευαστεί στο χώρο της κατασκευής είτε μακριά από αυτή και να μεταφερθεί. Συχνότερα συνθετικά υλικά είναι ο άργιλος, το τσιμέντο, το πυριτικό ασβέστιο . Αναλόγως με το υλικό που χρησιμοποιείται, οι τοιχοποιίες διαχωρίζονται περαιτέρω σε :

- Ωμοπλινθοδομές: Πρόκειται για τοιχοποιίες με λιθосώματα κατασκευασμένα από άψητο άργιλο και είναι ένα από τα αρχαιότερα δομικά υλικά. Η χρήση τους είναι εκτενής σε μη ανεπτυγμένες χώρες ακόμη και τη σημερινή ημέρα. Έχουν πολύ χαμηλές μηχανικές αντοχές και έχει παρατηρηθεί ανεπαρκής συμπεριφορά έναντι σεισμικών φορτίσεων (βλ. Σχήμα 1.4)



Σχήμα 1.4- Κατοικία κατασκευασμένη από ωμοπλινθοδομή (Πελοποννήσος, 2015)

- Οπτοπλινθοδομές : Ονομάζονται οι τοιχοποιίες που περιέχουν λιθασώματα με κύριο υλικό τη ψημένη άργιλο ενώ είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με ένα κονίαμα. Οπτοπλινθοδομές χρησιμοποιούνται ακόμη και στις μέρες κατά κόρον ως τοιχοποιίες πλήρωσεως σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και αρκετές φορές ως φέρουσες. Οι πλίνθοι (τούβλα) δύναται να κατασκευαστούν και από πυριτικό ασβέστιο που συνήθως χρησιμοποιείται σε κατασκευές με μεγάλη απαίτηση σε πυροπροστασία.



Σχήμα 1.5- Φέρουσα Τοιχοποιία κατασκευασμένη από 12οπους οπτόπλινθους

- Τσιμεντολιθοδομές: Αντιστοίχως ονομάζονται οι τοιχοποιίες κατασκευασμένες από τσιμεντόλιθους. Οι πλίνθοι έχουν συνήθως δυο κοιλότητες οι οποίες μπορούν να πληρωθούν με σκυρόδεμα και να τοποθετηθούν διαμήκεις οπλισμοί χάλυβα ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη καμπτική αντοχή.



Σχήμα 1.6- Τσιμεντοπλινθοδομή δύο κυψελών



1.2 Κονιάματα

1.2.1 Ορισμός Κονιάματος

Ως κονίαμα ορίζεται το συνδετικό υλικό που έχει ως σκοπό να ενώσει τα λιθοσώματα και να τα αναγάγει σε ένα σώμα δηλαδή τον τοίχο. Αποτελείται από μια συνδετική κονία(συγκολλητικό υλικό) , αδρανή (συνήθως άμμο) και νερό. Οι μηχανικές ιδιότητες του κονιάματος παίζουν καθοριστικό ρόλο στη ανάληψη όλων των ειδών των φορτίσεων από μια φέρουσα τοιχοποιία. Επομένως είναι σημαντικό τα κονιάματα να είναι ανθεκτικά στο πέρασμα του χρόνου αλλά και στα καιρικά φαινόμενα καθώς αποτελούν τον συνδετικό κρίκο μιας τοιχοποιίας.

Τα κονιάματα που χρησιμοποιούσαν οι τεχνίτες και οι κατασκευαστές των παλαιότερων χρόνων, αποτελούνταν κατά κύριο λόγο από ασβέστη, χόμα και σε ορισμένες περιπτώσεις αδρανή υλικά μικρής διαμέτρου όπως κεραμικά θραύσματα. Με το πέρασμα των χρόνων υιοθετήθηκε και η χρήση του τσιμέντου ως υλικό βάσης το οποίο προσέθετε στο μείγμα μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή αλλά μικρότερη εργασιμότητα . Σήμερα τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή φέρουσας τοιχοποιίας απαιτείται να έχουν ως κονία είτε τσιμέντο είτε ασβέστη σε σύγκριση με τα κονιάματα προηγούμενων αιώνων όπου είχαν ως συνδετικό υλικό την άργιλο.

1.2.2 Κατηγορίες Αντοχής Κονιαμάτων κατά τον EC-1996

Ο Ευρωκώδικας διακρίνει τα κονιάματα σε γενικής εφαρμογής, λεπτής στρώσεως και ελαφροκονιάματα αναλόγως με τη σύστασή τους. Αναλόγως με τον τρόπο παρασκευής τους χωρίζονται σε βιομηχανικά και έτοιμα κονιάματα. Η θλιπτική αντοχή τους μπορεί να χαρακτηριστεί από το γράμμα M (mortar=κονίαμα) και στη συνέχεια ένα νούμερο από το 1 έως 15 το οποίο αναφέρεται στη μέση θλιπτική αντοχή μετρούμενη σε MPa. Συνεπώς ένα κονίαμα ποιότητας M5 σημαίνει ότι έχει μέση θλιπτική αντοχή

$$f_m = 5 \text{ MPa}$$

Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι Χαρακτηριστικές Θλιπτικές Αντοχές των κονιαμάτων με βάση την κατηγορία αντοχής τους :

Πίνακας 1.1- Πίνακας Θλιπτικής Αντοχής Κονιαμάτων

Ποιότητα Κονιάματος	M1	M2.5	M5	M10	M15
Χαρακτηριστική Αντοχή (MPa)	1	2.5	5	10	15



Συνηθίζεται η σύνθεση του κονιάματος να αναφέρεται ως η αναλογία των συστατικών κατά το μείγμα. Για παράδειγμα όταν αναφέρεται ασβεστοτσιμεντοκονιάμα 1:2:3, αυτό αναλύεται σε 1 μέρος τσιμέντο, 2 μέρη άσβεστο και 3 μέρη άμμο. Όπως αναφέρθηκε ήδη το τσιμέντο κάνει το μείγμα πιο ανθεκτικό και αδιαπέρατο ενώ έχει καλή συνεργασία με τους οπτόπλινθους. Η άσβεστος προσδίδει πλαστιμότητα και εξασφαλίζει τη ενυδάτωση που απαιτείται για την σκλήρυνση του τσιμέντου ενώ τέλος η άμμος ως το αδρανές υλικό στο συνδυαστικό μείγμα μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλότερη αντοχές στη περίπτωση που είναι σωστά διαβαθμισμένη.

2 Μηχανική της Τοιχοποιίας

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν διεξοδικά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας καθώς και ο τρόπος υπολογισμού των αντοχών της σε διαφορετικές είδους φορτίσεις. Επιπλέον επεξηγούνται τα σύμβολα αλλά και μέθοδοι υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκαν με βάση τον EC-1996 ενώ σημειώνονται οι διάφοροι παράγοντες που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία ενός ανθεκτικού δομικού συστήματος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται η θλιπτική αντοχή, η εφελκυστική - καμπτική αντοχή αλλά και η αντοχή της τοιχοποιίας σε διάτμηση.

2.1 Θλιπτική Αντοχή

2.1.1 Γενικά περί Θλιπτικής Αντοχής

Αρχικά θα πρέπει να επισημανθεί η δυσκολία του καθορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών, λόγω της ανομοιογένειας και των διαφορετικών συστατικών που παρουσιάζει η τοιχοποιία σαν υλικό. Είναι κατανοητό ότι δεν είναι ένα βιομηχανικό υλικό αλλά κατά κύριο λόγο ένα μείγμα υλικών που συνδέονται μεταξύ τους. Ακόμα οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν σε έναν εργαστηριακό και σωστά κλιματιζόμενο χώρο διαφέρουν κατά πολύ από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που συναντούν οι τεχνίτες και οι επιβλέποντες μηχανικοί κατά τη διαδικασία ανέγερσης μιας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία, με αποτέλεσμα πολλές φορές η κάθε είδους αντοχή να διαφοροποιείται ελαφρώς ή και πολύ αναλόγως με τις συνθήκες που επικρατούν.

Καρά κύριο λόγο οι κατασκευές τοιχοποιίας υπόκεινται σε θλιπτικά φορτία (εν απουσία σεισμικών φορτίσεων), επομένως η θλιπτική αντοχή είναι πολύ σημαντική στην λειτουργικότητα και ασφάλεια του δομήματος. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα αλλά και από επιστημονική διερεύνησή που έχει γίνει κατά καιρούς, καθορίζεται από την αντοχή των τοιχοσωμάτων, την αντοχή του κονιάματος αλλά και τις συνθήκες



που αυτά τα δύο είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους (πχ. τον τρόπο εμπλοκής των λίθων). Παρόλα αυτά υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη θλιπτική αντοχή, τους οποίους και κατονομάζουμε συνοπτικά παρακάτω :

- Υλικό του αρμού και το πάχος του : Οι ελαστικές ιδιότητες του υλικού του αρμού είναι κρίσιμο χαρακτηριστικό της αντοχής,
- Το ύψος του λιθοσώματος
- Κατασκευαστικές λεπτομέρειες : Τα συγκεντρωμένα φορτία έχουν σημαντική επίδραση στην αντοχή της τοιχοποιίας καθώς ο τρόπος με τον οποίο ασκούνται, η θέση επίδρασης τους στη τοιχοδομή σε συνδυασμό με το τύπο και τα υλικά της τοιχοποιίας μπορούν να αποδειχτούν άκρως σημαντικά.
- Ποιότητα κατασκευής : Η ποιότητα της κατασκευής επηρεάζεται από τις συνθήκες που επικρατούν (καιρικές συνθήκες) αλλά και τεχνικές λεπτομέρειες που οφείλονται σε ανθρώπινο – τεχνικό λάθος. Τέτοια λάθη μπορεί να είναι η κακή αρμολόγηση και κακή διάστρωση κυρίως των οριζόντιων αρμών που δημιουργούνται κατά μήκος των τοίχων. Σημαντική επίσης μπορεί να αποδειχθεί η λανθασμένη αναλογία των υλικών του κονιάματος κυρίως σε λιθοδομές όπου η αντοχή των λιθοσωμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη του κονιάματος (Τάσιος, 1992). Όπως προαναφέραμε η διαδικασία της ανέγερσης θα πρέπει να γίνει σε συνήθη κλιματολογικές συνθήκες κι όχι σε ακραίες θερμοκρασίες .

2.1.2 Προσδιορισμός της Θλιπτικής Αντοχής κατά τον EN-1996

Η χαρακτηριστική αντοχή f_{wk} της άοπλης τοιχοποιίας, όταν αυτή συνδυάζεται με κονίαμα γενικής εφαρμογής αν δεν έχει προσδιοριστεί με πειραματικά δεδομένα, μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση :

$$f_k = K * f_b^{0.7} * f_m^{0.3} \quad (\text{Εξ. 2-1})$$

Για κονίαμα λεπτής στρώσης ή ελαφοκονίαμα και αργιλικά τοιχοσώματα Ομάδων 1 και 4 σχέση γίνεται :

$$f_k = K * f_b^{0.85} \quad (\text{Εξ.2-2})$$

όπου :

K : Συντελεστής εξαρτώμενος από τον τύπο του τοιχοσώματος και του κονιάματος και δίνεται από τον Πίνακα 2.1 που παρατίθεται στη συνέχεια.

f_b : Ανηγμένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος μετρούμενη σε N/mm^2

f_m : Μέση θλιπτική αντοχή του κονιάματος μετρούμενη σε N/mm^2

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν υπό τις κάτωθι προϋποθέσεις :

- η $f_{b,de}$ θα ληφθεί μεγαλύτερη από 75 MPa όταν χρησιμοποιείται κονίαμα γενικής χρήσης
- η f_b δε θα ληφθεί μεγαλύτερη από 50 MPa όταν χρησιμοποιείται κονίαμα λεπτής στρώσης
- η f_m δεν θα ληφθεί μεγαλύτερη από 20 MPa ούτε μεγαλύτερη από $2 \cdot f_b$ για κονίαμα γενικής χρήσης
- η f_m δε θα ληφθεί μεγαλύτερη από 10 MPa για κονίαμα λεπτής στρώσης
- η f_m δε θα ληφθεί μεγαλύτερη από 5 MPa για ελαφροβαρές κονίαμα
- η τοιχοποιία κατασκευάζεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κανονισμού και οι αρμοί πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις για να θεωρούνται πληρωμένοι επαρκώς

Πίνακας 2.1- Τιμές Συντελεστή K ανάλογα με το είδος και το υλικό κονιάματος (Eurocode , 1998)

Υλικό λιθοσώματος		Κονίαμα γενικής εφαρμογής	Κονίαμα λεπτής στρώσεως (N/mm^2) ^{0,15} (οριζόντιος αρμός $\leq 3mm$)	Ελαφροκονίαμα με πυκνότητα	
				$600 \leq \rho \leq 700$ Kg/m ³	$700 \leq \rho \leq 1500$ Kg/m ³
Αργίλος	Ομάδα 1	0,50	0,75	0,30	0,40
	Ομάδα 2	0,45	0,55	0,30	0,40
	Ομάδα 3	0,40	0,45	0,20	0,25
	Ομάδα 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Πυρρικό Ασβέστιο	Ομάδα 1	0,50	0,80	‡	‡
	Ομάδα 2	0,45	0,55	‡	‡
Σκυρόδεμα με αδρανή	Ομάδα 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Ομάδα 2	0,45	0,80	0,45	0,45
	Ομάδα 3	0,40	0,60	‡	‡
	Ομάδα 4	0,35	‡	‡	‡
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	Ομάδα 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Τεχνητοί λίθοι	Ομάδα 1	0,45	0,75	‡	‡
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	Ομάδα 1	0,45	‡	‡	‡
‡ Συνδυασμός κονιάματος/λιθοσώματος ο οποίος συνήθως δεν εφαρμόζεται. Δεν δίδεται σχετική τιμή του K .					



Πρέπει να σημειωθεί ότι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή αναφέρεται μόνο στην αντοχή της τοιχοποιίας, καθώς η f_m και η f_b είναι στην ουσία μέσες ανοιγμένες θλιπτικές αντοχές κι όχι χαρακτηριστικές.

Η ανηγμένη θλιπτική αντοχή f_b του τοιχοσώματος δίνεται από τη σχέση :

$$f_b = \delta * f_{bc} \quad (\text{Εξ.2-3})$$

όπου

δ : συντελεστής αναγωγής σε συνάρτηση με το ύψος και της ελάχιστης άλλης διάστασης του τοιχοσώματος

Η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού f_{wd} δίνεται από τη σχέση :

$$f_{wd} = \frac{f_{wk}}{\gamma_m} \quad (\text{Εξ. 2-4})$$

όπου :

f_{wk} : η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας

γ_m : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας για τη τοιχοποιία (βλ. Πίνακας 2.2)

Πίνακας 2.2-Τιμές του Επιμέρους Συντελεστή Ασφαλείας (Eurocode , 1998)

Υλικό		γ_m				
		Στάθμη ποιοτικού ελέγχου κατασκευής				
		1	2	3	4	5
	Τοιχοποιία από:					
A	Λιθосώματα Κατηγορίας I, κονίαμα με μελέτη συνθέσεως ¹	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B	Λιθосώματα Κατηγορίας I, προδιαγεγραμμένο κονίαμα ²	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
Γ	Λιθосώματα Κατηγορίας II, οποιοδήποτε κονίαμα ^{1,2,5}	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
Δ	Συνάφεια του χάλυβα οπλισμού	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Χάλυβας οπλισμού και χάλυβας προέντασης	1,15				
ΣΤ	Δευτερεύοντα στοιχεία ^{3,4}	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
Z	Υπέρθυρα σύμφωνα με το EN 845-2 ³	1,5 έως 2,5				
Σημειώσεις: 1. Οι απαιτήσεις για τα κονιάματα με μελέτη συνθέσεως δίδονται στα EN 998-2 και EN 1996-2 2. Οι απαιτήσεις για τα προδιαγεγραμμένα κονιάματα δίδονται στα EN 998-2 και EN 1996-2 3. Οι δηλούμενες τιμές είναι μέσες τιμές 4. Οι στρώσεις στεγάνωσης θεωρείται ότι καλύπτονται από το γ_m της τοιχοποιίας 5. Όταν ο συντελεστής μεταβλητότητας για τα λιθосώματα της Κατηγορίας II, δεν είναι μεγαλύτερος από 25%						



Επειδή δεν είναι πάντα εφικτός ο ποιοτικός έλεγχος σε μια υφιστάμενη τοιχοποιία και επειδή η ποιότητα κατασκευής μπορεί να διαφέρει σε πολλά σημεία κατασκευής, γι' αυτό χρησιμοποιούνται οι συντελεστές ασφαλείας του Πίνακα 2.2 με βάση τη γνώση του μελετητή ή κατασκευαστή μηχανικού. Υπάρχουν 5 κατηγορίες σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα όπου αλλάζει το επίπεδο εμπιστοσύνης όσον αφορά την επιθυμητή και τη πραγματική θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων και επομένως της τοιχοποιίας ως συνόλου.

2.2 Εφελκυστική Αντοχή

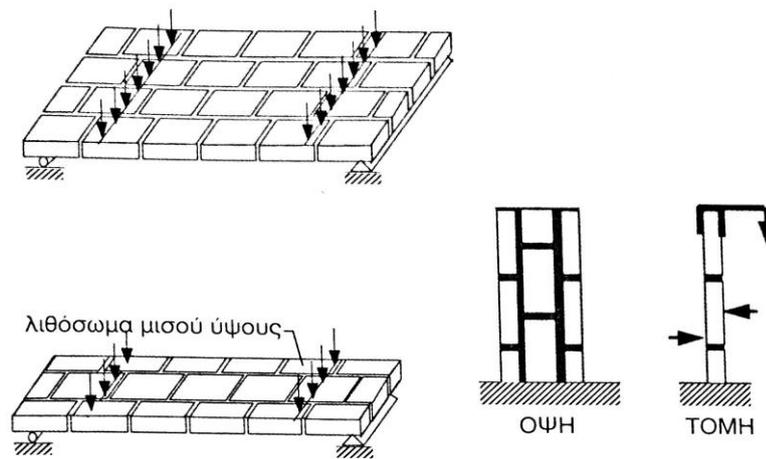
2.2.1 Γενικά περί εφελκυστικής αντοχής

Η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας εξαρτάται άμεσα από την συνεργασία του κονιάματος και των λιθοσωμάτων. Όπως και η θλιπτική αντοχή, το τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από τους παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω :

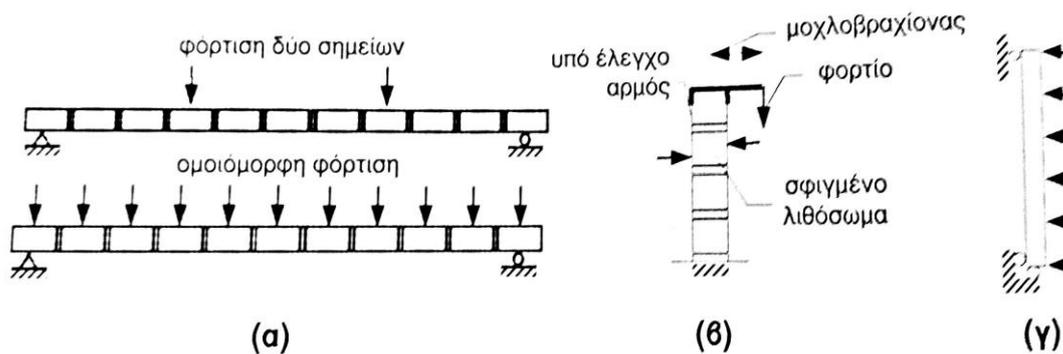
- Την εφελκυστική αντοχή των λιθοσωμάτων . Ειδικότερα το πορώδες, η υγρασία αλλά και η διεπιφάνεια του λιθοσώματος είναι σημαντικά στον καθορισμό της εφελκυστικής αντοχής.
- Η σύνθεση του κονιάματος που αποτελεί το συνδετικό υλικού. Η περιεκτικότητα σε νερό αλλά και ο λόγος άμμος/τσιμέντο είναι ικανά να προσδώσουν μεγαλύτερη πλαστιμότητα στο μείγμα μας και επομένως επηρεάσουν το αποτέλεσμα

Εφελκυστικές τάσεις ασκούνται στους τοίχους είτε λόγω έκκεντρης φόρτισης που τους ασκείται (κατασκευαστικό –τεχνικό σφάλμα), είτε λόγω οριζοντίων φορτίσεων από το έδαφος (σεισμική διέγερση) . Επιπλέον η αντοχή αναφέρεται συνήθως μαζί με τη διεύθυνση όπου ασκούνται οι εφελκυστικές δυνάμεις, δηλαδή κάθετα ή οριζόντια στους αρμούς πλήρωσης της τοιχοποιίας.

Ο EC6 αναφέρει ότι η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας θα πρέπει να προσδιορίζεται πειραματικά. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η διεύθυνση των αρμών είναι σημαντική και παρουσιάζονται στα Σχήματα 2.1 και 2.2 οι διατάξεις με βάση τις οποίες προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή της τοιχοποιίας . (Καραντώνη 2012)



Σχήμα 2.1- Διάταξη Τοιχοποιίας για το προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής παράλληλα στους αρμούς (Καραντώνη, 2012)



Σχήμα 2.2- Διάταξη Τοιχοποιίας για το προσδιορισμό εφελκυστικής αντοχής κάθετα στους αρμούς (Καραντώνη, 2012)

2.2.2

Χαρακτηριστικές Αντοχές

Στις περιπτώσεις όπου δεν μπορούν να διεξαχθούν δοκιμές για το καθορισμό της εφελκυστικής αντοχής, τότε μπορούμε να λάβουμε ως χαρακτηριστικές θλιπτικές αντοχές f_{xk1} και f_{xk2} οι οποίες και λαμβάνονται από τους πίνακες που ακολουθούν και εξαρτώνται από το υλικό του λιθοσώματος και το είδος του κονιάματος. Απαραίτητες προϋποθέσεις είναι :

- Η αντοχή του κονιάματος να είναι τουλάχιστον M5
- Οι τιμές της f_{xk1} αναφέρονται σε τοιχοποιία ανεξάρτητα από τη πλήρωση των κατακόρυφων αρμών ενώ η f_{xk2} αναφέρεται μόνο σε τοιχοποιία με μη πληρωμένους τους κατακόρυφους αρμούς (βλ. Πίνακας 2.3 και Πίνακας 2.4).

Πίνακας 2.3- Τιμές χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής τοιχοποιίας f_{ck1}
(Eurocode , 1998)

Υλικό λιθοσώματος	f_{ck1} (N/mm ²)			
	Κονίαμα γενικής εφαρμογής		Κονίαμα λεπτής στρώσεως	Ελαφροκονίαμα
	$f_m < 5\text{N/mm}^2$	$f_m \geq 5\text{N/mm}^2$		
Άργιλος	0,10	0,10	0,15	0,10
Πυριτικό ασβέστιο	0,05	0,10	0,20	Δεν χρησιμοποιείται
Σκυρόδεμα με αδρανή	0,05	0,10	0,20	Δεν χρησιμοποιείται
Αυτόκλειστο κυψε-λωτό σκυρόδεμα	0,05	0,10	0,15	0,10
Τεχνητοί λίθοι	0,05	0,10	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	0,05	0,10	0,15	Δεν χρησιμοποιείται

Πίνακας 2.4-Τιμές Χαρακτηριστικής Εφελκυστικής αντοχής τοιχοποιίας f_{ck2}
(Eurocode , 1998)

Υλικό λιθοσώματος	f_{ck2} (N/mm ²)			
	Κονίαμα γενικής εφαρμογής		Κονίαμα λεπτής στρώσεως	Ελαφροκονίαμα
	$f_m < 5\text{N/mm}^2$	$f_m \geq 5\text{N/mm}^2$		
Άργιλος	0,20	0,40	0,15	0,10
Πυριτικό ασβέστιο	0,20	0,40	0,30	Δεν χρησιμοποιείται
Σκυρόδεμα με αδρανή	0,20	0,40	0,30	Δεν χρησιμοποιείται
Αυτόκλειστο κυψε-λωτό σκυρόδεμα	0,20	0,20	0,30	0,15
Τεχνητοί λίθοι	0,20	0,40	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Λαξευτοί φυσικοί λίθοι	0,20	0,40	0,15	Δεν χρησιμοποιείται

2.3 Διατμητική Αντοχή

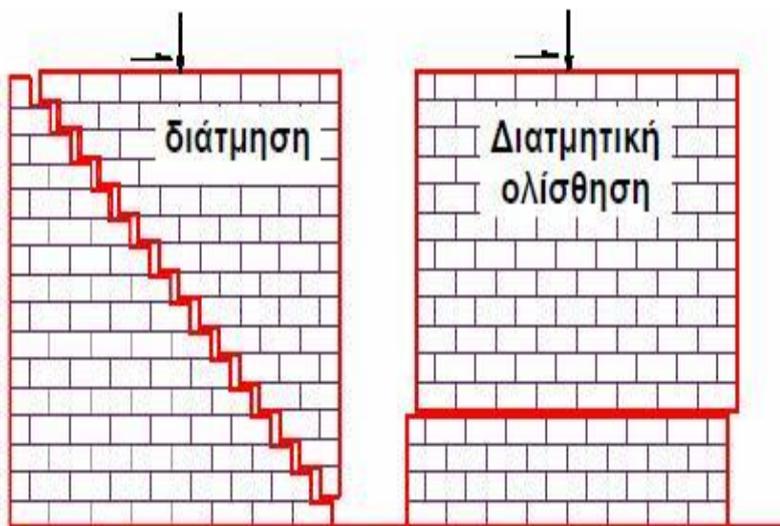
2.3.1 Γενικά περί Διατμητικής Αντοχής

Η φέρουσα τοιχοποιία συνήθως αναλαμβάνει κατακόρυφες θλιπτικά φορτία που προέρχονται από τα πατώματα καθώς και τις στέγες. Πολλές φορές όμως δημιουργούνται καμπτικές αλλά τέμνουσες δυνάμεις που επιδρούν πάνω στη τοιχοποιία. Η διάτμηση σχετίζεται άμεσα με τη συνάφεια ανάμεσα σε κονίαμα και τοιχοσώματα. Η συνάφεια εξαρτάται από τη διεπιφάνεια ανάμεσα στα δύο υλικά, το ρυθμό απορρόφησης της υγρασίας αλλά και την ικανότητα κατακράτησης της .

2.3.2 Είδη Διατμητικής Αστοχίας

Οι τρόποι αστοχίας της τοιχοποιίας με διάτμηση είναι οι παρακάτω (βλ. Σχήμα 2.3) :

- Διατμητική Ολίσθηση μέσω των αρμών του κονιάματος
- Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση
- Θλιπτική αστοχία λόγω της τέμνουσας



Σχήμα 2.3- Παρουσίαση των αστοχιών λόγω παρουσίας διατμητικών τάσεων



2.3.3 Προσδιορισμός της Διατμητικής Αντοχής

Ο EC6 όπως με τη εφελκυστική αντοχή, ορίζει ότι η διατμητική αντοχή θα πρέπει να προσδιορίζεται μέσω πειραματικών δοκιμών, χωρίς όμως να έχουν θεσπιστεί συγκεκριμένες μορφές δοκιμών προς εξέταση. Στη περίπτωση όπου αυτό δεν καθίσταται δυνατό, τότε πρέπει να θεωρηθεί ότι η αστοχία θα προέλθει λόγω κάποιας από τις πιθανές μορφές αστοχίας που ήδη αναφέρθηκαν παραπάνω και παρουσιάζονται στην Σχήμα 2.3 (Καραντώνη, 2012).

Ειδικότερα όμως σε κατασκευές με υφιστάμενη τοιχοποιία όπου τα προηγούμενα χρόνια χρησιμοποιούνταν συνήθως κονίαμα γενικής εφαρμογής ή ελαφροκονίαμα, η οριακή τιμή της διατμητικής αντοχής μπορεί να προσδιοριστεί και με τον εξής τύπο :

$$f_{nk} = f_{nk0} + 0,4 * \sigma_d \quad (\text{Εξ. 2-5})$$

Χωρίς όμως η τιμή της να είναι μεγαλύτερη της f_b ή της f_{vlimit}

Όπου :

f_{nk0} : είναι η διατμητική αντοχή χωρίς την ύπαρξη κατακόρυφης ορθής τάσης, δηλαδή εξαρτάται καθαρά από την συνάφεια των υλικών και προσδιορίζεται από τον Πίνακα 2.5 που παρουσιάζεται στη συνέχεια.

σ_d : είναι η ορθή τάση σχεδιασμού στο σημείο ελέγχου για το συνδυασμό φορτίσεων σχεδιασμού

f_b : είναι η ανηγμένη θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος

Όταν στους κατακόρυφους αρμούς δεν υπάρχει κονίαμα, αλλά τα τοιχοσώματα είναι σχεδόν σφηνωμένα μεταξύ τους τότε η Εξ. 2-5 μετατρέπεται ως εξής :

$$f_{nk} = 0,5 * f_{nk0} + 0,4 * \sigma_d \quad (\text{Εξ.2-6})$$

Απ' όσα έχουν αναφερθεί ήδη, γίνεται εμφανές ότι οι τοιχοποιίες χωρίς κατακόρυφη φόρτιση έχουν μειωμένη διατμητική αντοχή καθώς δεν υφίσταται σε αυτές θλιπτικές τάσεις .

Πίνακας 2.5- Τιμές της f_{tk0} (Eurocode , 1998)

Υλικό λιθοσώματος	f_{tk0} (N/mm ²)		
	Κονίαμα γενικής εφαρμογής, δεδομένης κατηγορίας αντοχής	Κονίαμα λεπτής στρώσεως (οριζόντιος αρμός ≤3mm)	Ελαφροκονίαμα
Αργίλος	M10-M20	0,30	0,30
	M2,5-M9	0,20	
	M1-M2	0,10	
Πυριτικό ασβέστιο	M10-M20	0,20	0,40
	M2,5-M9	0,15	
	M1-M2	0,10	
Σκυρόδεμα με αδρανή	M10-M20	0,20	0,30
Αυτόκλειστο κυψελωτό σκυρόδεμα	M2,5-M9	0,15	
Τεχνητοί λίθοι			
Λαζευτοί φυσικοί λίθοι	M1-M2	0,10	0,15

2.4 Μέτρο Ελαστικότητας και Συντελεστής Ερπυσμού

2.4.1 Μέτρο Ελαστικότητας E

Καθώς η τοιχοποιία είναι ένα σύνθετο και τεχνητό υλικό, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια το μέτρο Ελαστικότητας (Μέτρο Young) . Επιπλέον οι πειραματικές μελέτες που έχουν διεξαχθεί δίνουν ένα εύρος τιμών με μεγάλη διασπορά πράγμα που δεν μπορεί να οδηγήσει σε ασφαλή συμπεράσματα . Παρ' όλα αυτά έχουν προταθεί από μελετητές, διάφορες σχέσεις για τον υπολογισμό του, με επικρατέστερες εκείνες που το ορίζουν ως πολλαπλάσιο της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας.

Όπως και με τα προηγούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν, ο Ευρωκώδικας 6 συνιστά τη πειραματική διερεύνηση . Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό η σχέση που προτείνεται είναι η εξής :

$$E = 1000 * f_k \quad (\text{Εξ. 2-7})$$

Σε περίπτωση που ζητείται το μακροχρόνιο μέτρο Ελαστικότητας τότε αυτό μπορεί να υπολογιστεί από την Εξ.2-8 η οποία περιλαμβάνει και τον τελικό συντελεστή ερπυσμού φ_{∞} (βλ. Πίνακας 2.6):

$$E_{μακρ} = \frac{E}{1+\varphi_{\infty}} \quad (\text{Εξ.2-8})$$

2.4.2 Συντελεστές Ερπυσμού, Συστολής Ξήρανσης

Πίνακας 2.6- Συντελεστές Ερπυσμού, Συστολής Ξήρανσης και Θερμικής Διαστολής
(Eurocode, 1998)

Τύπος λιθοσώματος	Τελικός συντελεστής ερπυσμού (βλέπε σημ. 1) φ_{∞}	Μακροχρόνια διαστολή λόγω υγρασίας ή συστολή ξηράνσεως (βλέπε σημ. 2) mm/m	Συντελεστής θερμικής διαστολής, α , $10^{-6}/\text{K}$
	Εύρος τιμών	Εύρος τιμών	Εύρος τιμών
Αργίλος	0,5 ÷ 1,5	-0,2 ÷ +1,0	4 ÷ 8
Πυριτικό ασβέστιο	1,0 ÷ 2,0	-0,4 ÷ -0,1	7 ÷ 11
Σκυρόδεμα με συνήθη αδρανή και τεχνητοί λίθοι	1,0 ÷ 2,0	-0,6 ÷ -0,1	6 ÷ 12
Σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή	1,0 ÷ 3,0	-1,0 ÷ -0,2	8 ÷ 12
Αυτόκλειστο κυνελωτό σκυρόδεμα	0,5 ÷ 2,0	-0,4 ÷ +0,2	7 ÷ 9
Φυσικοί λίθοι (ηφαιστειογενείς, ιζηματογενείς, μεταμορφωσιγενείς)	(βλέπε σημ. 3)	-0,4 ÷ +0,7	5 ÷ 9 2 ÷ 7 1 ÷ 18

Σημειώσεις:

1. Ο τελικός συντελεστής ερπυσμού $\varphi_{\infty} = \varepsilon_{c\infty} / \varepsilon_{el}$, όπου $\varepsilon_{c\infty}$ είναι η τελική παραμόρφωση λόγω ερπυσμού και $\varepsilon_{el} = \sigma / E$.
2. Όταν η μακροχρόνια τιμή της μηκύνσεως λόγω υγρασίας ή της συστολής ξηράνσεως είναι αρνητική, δηλώνει την βράχυνση, ενώ όταν είναι θετική δηλώνει μήκυνση.
3. Οι τιμές είναι συνήθως πολύ χαμηλές.



3 Περιγραφή- Χαρακτηριστικά Φορέα

3.1 Σύντομη Περιγραφή της Μορφολογίας και της Κατασκευαστικής Δομής του μνημείου

Η κατασκευή που μελετήθηκε βρίσκεται στον οικισμό Πηγή, του Δήμου Πύλης του Νομού Τρικάλων. Υπήρξε στο παρελθόν κατοικία για Τούρκους και Γερμανούς τσιφλικάδες, ενώ η ανέγερση του κτηρίου τοποθετείται χρονολογικά στη δεκαετία του 1870. Πρόκειται για ένα κλασσικό παράδειγμα αρχιτεκτονικής του 19^{ου} αιώνα, ενώ αποτελεί σημείο αναφοράς για τον οικισμό της Πηγής, αλλά και τους κατοίκους του. Επιπλέον έχει χαρακτηριστεί από το Υπουργείο Πολιτισμού και Αθλητισμού ως «Ιστορικό διατηρητέο μνημείο που χρειάζεται ειδική κρατική προστασία» σύμφωνα με την ΥΑ ΥΠΠΟ/ΔΙΛΑΠ/Γ/34/288/17-1-1986 που δημοσιεύτηκε στον ΦΕΚ 66/Β/21-2-1986 διότι, ως αναφέρεται στην ΥΑ: «αποτελεί αξιόλογο και αντιπροσωπευτικό δείγμα αρχιτεκτονικής του περασμένου αιώνα, μοναδικό στην Πηγή Τρικάλων, απαραίτητο για την μελέτη της εξέλιξης της αρχιτεκτονικής στην περιοχή αυτή. Επίσης αποτελεί σημείο αναφοράς συνδεδεμένο με την μνήμη των κατοίκων της περιοχής.»

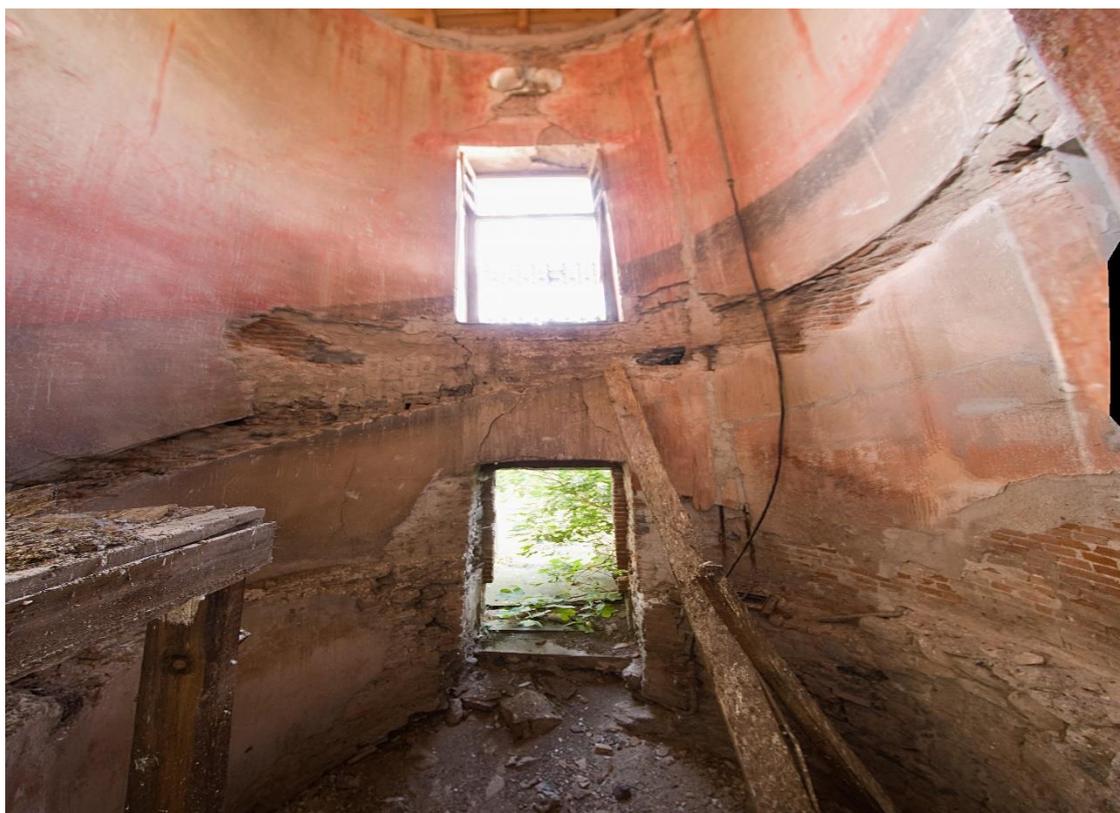
Η είσοδος βρίσκεται στον άξονα της νότιας όψης, διαμορφώνεται σε εσοχή και η υψομετρική της διαφορά με το επίπεδο του εδάφους καλύπτεται με οκτώ μαρμάρινα σκαλοπάτια. Στο αριστερό μέρος της εισόδου υπάρχει εντοιχισμένη επιγραφή που αναφέρει ότι "ΑΙ ΕΠΑΥΛΕΙΣ ΠΟΥΛΙΑΝΑ ΚΑΙ ΓΟΥΡΤΖΗ ΗΓΟΡΑΣΘΗΣΑΝ ΥΠΟ ΚΩΝΣΤ. ΤΣΙΤΣΟΠΟΥΛΟΥ ΤΟΥ ΕΚ ΚΑΡΠΕΝΗΣΙΟΥ ΕΤΕΙ 1893 ΜΑΪΟΥ 31". Οι όψεις του είναι απλές, χωρίς διακοσμητικά στοιχεία εκτός από τις οριζόντιες ταινίες που χωρίζουν αισθητικά τους ορόφους στην πρόσοψη και τις περίτεχνες λιτές σιδεριές με απόληξη λόγχης, των παραθύρων του ισόγειου. Στο κέντρο της δυτικής πλευράς βρίσκεται το κλιμακοστάσιο που είχε κυκλική διαμόρφωση και αναπτύσσεται από το ημιυπόγειο μέχρι τον όροφο. Στον όροφο το μεγαλύτερο μέρος του νότιου τοίχου υποχωρεί προς τα πίσω δημιουργώντας μεγάλη βεράντα. Επίσης η περίφραξη του κτιρίου είναι αξιόλογη, κατασκευασμένη από λιθοδομή από τετράγωνους πεσσούς πάνω στους οποίους στηρίζονται περίτεχνες χυτές λογχόμορφες σιδεριές".

Πρόκειται για μια διώροφη κατασκευή με ημιυπόγειο, κατασκευασμένη με λίθους στο εξωτερικό της και οπτόπλινθους στο εσωτερικό ώστε να γίνει κατάλληλα διαχωρισμός των χώρων. Στη στάθμη του υπογείου χωροθετούνταν αποθηκευτικοί χώροι ενώ στο ισόγειο και τον όροφο υπήρχαν χώροι διημέρευσης. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκε μια πολυκλινής ξύλινη στέγη ώστε να προστατευθεί ο φορέας και το εσωτερικό του από τα καιρικά φαινόμενα, καθώς ήδη για αρκετά χρόνια η ακάλυπτη οροφή προκαλούσε σημαντικές φθορές τόσο στα εσωτερικά

επιχρίσματα όσο και στο φέρον οργανισμό. Η στέγη εδράζεται σε διαζώματα οπλισμένου σκυροδέματος (σενάζ) τα οποία με τη σειρά τους εδράζονται σε όλους τους περιμετρικούς και εσωτερικούς τοίχους του ορόφου.

Η κατασκευή φέρει αρκετά ανοίγματα που λειτουργούν είτε ως θύρες είτε ως παράθυρα με τα περισσότερα από αυτά να καλύπτονται από ξύλινα κουφώματα τα οποία λόγω της φθοράς που έχουν υποστεί εξαιτίας των καιρικών φαινομένων, είναι πλέον κατεστραμμένα.

Τα πατώματα τα οποία αποτελούνται στη πλειονότητα τους από ξύλινες σανίδες μονής διεύθυνσης, βρίσκονται σε κακή κατάσταση ενώ σε κάποιους από τους εσωτερικούς χώρους υπάρχουν σημαντικές αστοχίες. Στο ημιυπόγειο της κατασκευής, σε έναν από του διαθέσιμους χώρους που χρησιμοποιούνταν ως αποθήκες, υπάρχει μια θολωτή οροφή μικρού ύψους, κατασκευασμένη από λίθους και οπτόπλινθους. Επιπλέον οφείλει να αναφερθεί ότι το εσωτερικό ξύλινο κλιμακοστάσιο που υπήρχε και ένωνε τις στάθμες μεταξύ τους, έχει πλέον καταρρεύσει και δεν υπάρχει διαθέσιμος τρόπος πρόσβασης στον όροφο της κατασκευής (βλ. Σχήμα 3.1)



Σχήμα 3.1- Θέση ξύλινου κλιμακοστασίου

Επιπροσθέτως η κατασκευή διαθέτει ανάμεσα στις στάθμες τις, ξύλινες δοκούς διαστάσεων 15 x 15 εκ. ενωμένες μεταξύ τους περιμετρικά (Ξυλοδεσιές) ώστε να επιτυγχάνεται εγκιβωτισμός και καλύτερη διαφραγματική λειτουργία σε περίπτωση σεισμικών διεγέρσεων. Επιπρόσθετα, στη στάθμη του ισογείου και στην ανατολική

πλευρά του κτηρίου, υπάρχουν δυο μεγάλα τόξα κατασκευασμένα από ξύλο, τα οποία λειτουργούν ως αρχιτεκτονική επικάλυψη για δύο μεγάλες ξύλινες δοκούς διαστάσεων 65 x 40 εκ. που ενισχύουν σημαντικά τη συνολική διαφραγματική λειτουργία.

Η κάτοψη του κτηρίου είναι ορθογωνική, με τη δυτική πλευρά να παρουσιάζει αρκετές εσοχές και διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις υπόλοιπες πλευρές του δομήματος. Όπως θα δούμε και στο Κεφάλαιο 5 όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της γραμμικής μη-ανελαστικής ανάλυσης, αυτό αναμένεται να προκαλέσει προβλήματα στην ανάλυση. Ωστόσο τα φέροντα στοιχεία, δηλαδή η λιθοδομή και η οπτοπλινθοδομή που είναι ο σκελετός της κατασκευής παραμένουν σε καλή κατάσταση, με τα περισσότερα προβλήματα να εντοπίζονται κυρίως στην απουσία του συνδετικού κονιάματος από τους αρμούς πλήρωσης κυρίως στα άκρα των τοίχων. Η γενική εικόνα της τοιχοποιίας είναι καλή με εξαιρέσεις τη σημαντική φθορά εσωτερικών και εξωτερικών επιχρισμάτων, καθώς και τη μερική αποδιοργάνωση των τοξοτών ανωφλιών των ανοιγμάτων (βλ. Σχήμα 3.2)



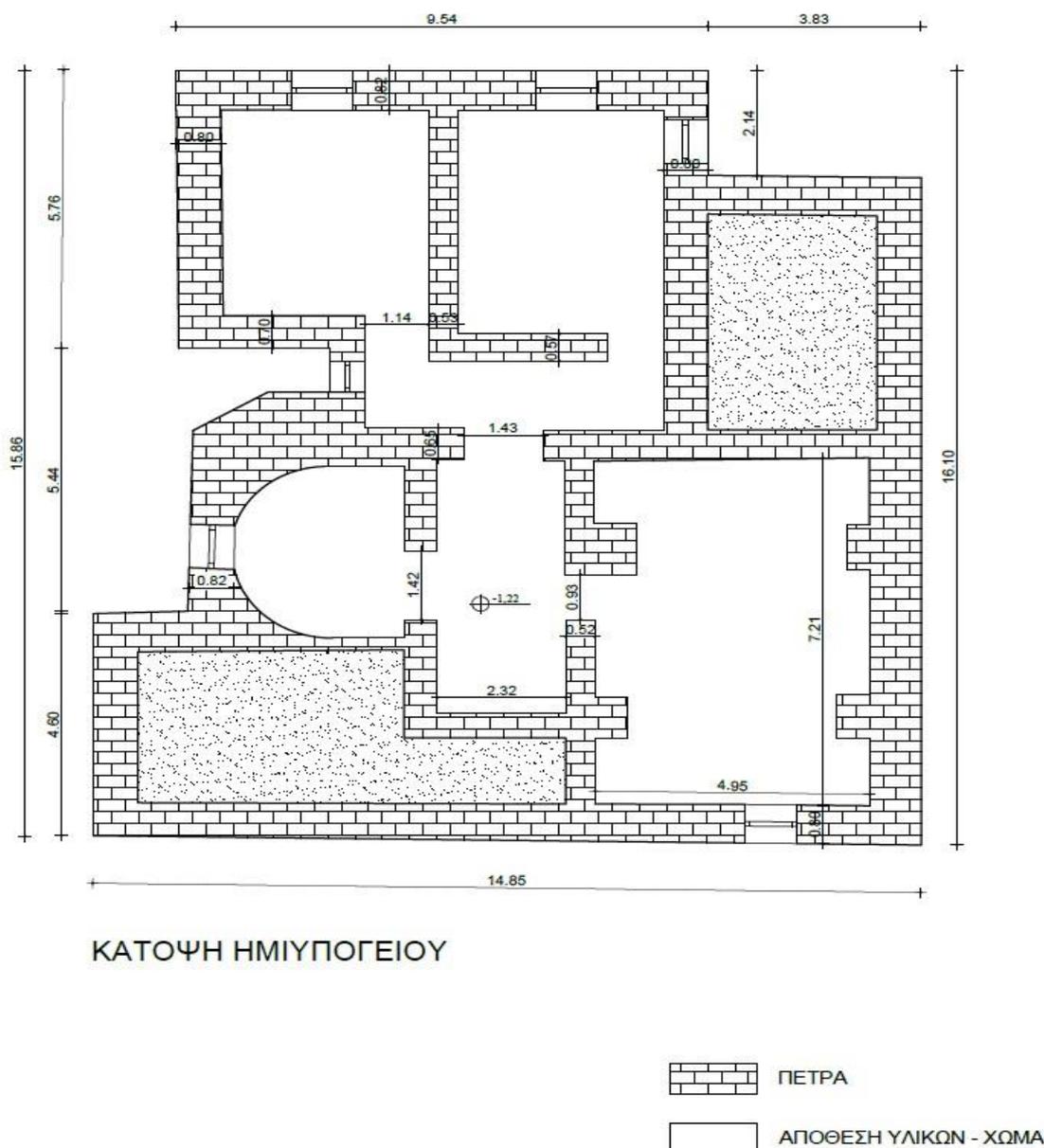
Σχήμα 3.2- Έλλειψη υλικού από ανώφλι σε άνοιγμα υπογείου

Το πάχος της λιθοδομής από την οποία απαρτίζονται οι εξωτερικοί τοίχοι όλων των στάθμων, κυμαίνεται από 80 εκ. στη στάθμη της θεμελίωσης και καταλήγει σε 50 εκ. στη στάθμη του ορόφου. Η οπτοπλινθοδομή έχει αρκετά μεγάλο πάχος ώστε να θεωρηθεί ως φέρον στοιχείο που επηρεάζει τη δυσκαμψία του φορέα. Πιο συγκεκριμένα συναντάμε οπτοπλινθοδομές στη στάθμη του ισόγειου και του ορόφου με το πάχος τους να κυμαίνεται μεταξύ 50 εκ έως και 25 εκ. .

3.2 Γεωμετρία του Φορέα

Τα αρχιτεκτονικά σχέδια κατόψεων παρουσιάζονται στις εικόνες όπου φαίνονται αναλυτικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα και το υλικό της τοιχοποιίας .

3.2.1 Κάτοψη Ημιυπόγειου

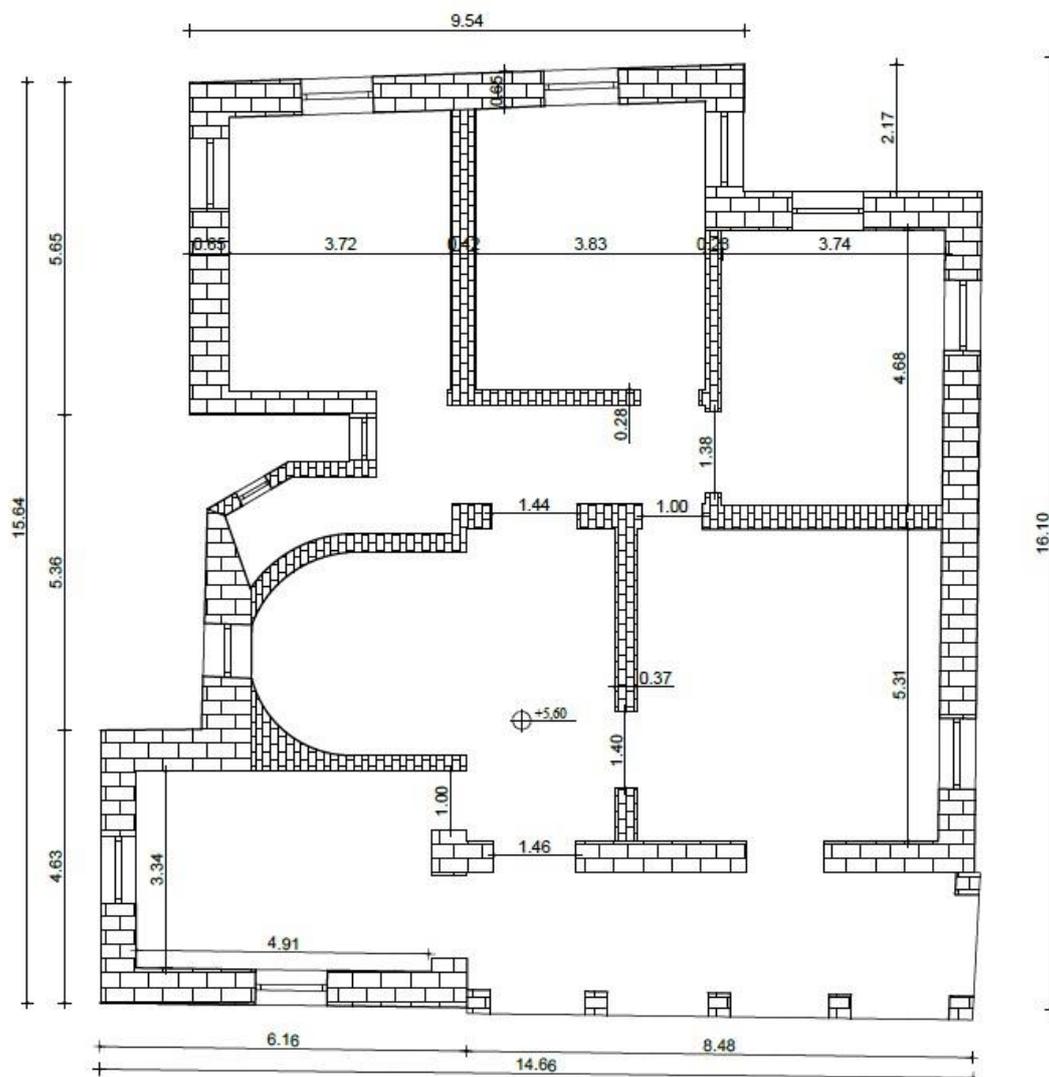


Σχήμα 3.3- Κάτοψη Ημιυπόγειου

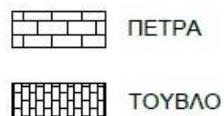
Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η κάτοψη του ημιυπόγειου. Τα σημεία της κάτοψης όπου φαίνονται εξ' ολοκλήρου καλυμμένα από τοιχοποιία, είναι σημεία όπου δεν ήταν προσβάσιμα καθώς έχει αποθεθεί εδαφικό υλικό. Επομένως το πάχος της τοιχοποιίας για αυτούς τους χώρους, θεωρήθηκε το ίδιο με την υπόλοιπη περιμετρική τοιχοποιία της στάθμης του ημιυπόγειου, δηλαδή 80 cm.

3.2.3 Κάτοψη Ορόφου

Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η κάτοψη του ορόφου, η οποία ακολουθεί την αρχιτεκτονική του ισογείου με βασική διαφορά την ύπαρξη εξώστη στο νότιο τμήμα του κτιρίου.



ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



Σχήμα 3.5- Κάτοψη Ορόφου

3.3 Φωτογραφική Τεκμηρίωση του Φορέα

Στα Σχήματα 3.6 έως και 3.8 παρουσιάζονται φωτογραφίες της Νότιας, Ανατολικής, και Βόρειας όψης του κτίσματος αντίστοιχα. Οι φωτογραφίες δείχνουν την υφιστάμενη κατάσταση του κτιρίου το οποίο δεν συντηρείται και τα κουφώματά του βρίσκονται σε πολύ άσχημη κατάσταση. Χαρακτηριστικό είναι ότι πολλά κουφώματα δε λειτουργούν με αποτέλεσμα να μη προστατεύεται το εσωτερικό του κτιρίου από τα καιρικά φαινόμενα.



Σχήμα 3.6-Νοτια Όψη του κτηρίου



Σχήμα 3.7- Ανατολική όψη του κτηρίου



Σχήμα 3.8- Βόρεια όψη του κτηρίου



Σχήμα 3.9- Δυτική όψη του κτηρίου

4 Περιγραφή Μοντέλου Προσομοίωσης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση και περιγραφή του μοντέλου προσομοίωσης καθώς και όλων των υπολογιστικών παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψιν του μελετητή ως προς το τελικό αποτέλεσμα. Το στατικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται 3MURI. Πρόκειται για ένα υπολογιστικό πρόγραμμα, το οποίο εξειδικεύεται στη αναλυτικότερη προσομοίωση κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία, μέσω της χρήσης πεπερασμένων μακροστοιχείων τα οποία υποβάλλονται σε μια γραμμική αλλά μη-ανελαστική ανάλυση (PUSHOVER) . Το μαθηματικό προσομοίωμα του κτιρίου αυτού έγινε με την εισαγωγή τοίχων, οι οποίοι διακριτοποιούνται με μακρο-στοιχεία, τα οποία αντιπροσωπεύουν τους αντίστοιχους πεσσούς και τις παραμορφώσιμες υπέρθυρες δοκούς. Τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε από την ανάλυση παρουσιάζονται γραφικά μέσω μιας καμπύλης παροχής ικανότητας η οποία εκφράζει τη δυνατότητα μετακίνησης και παραμόρφωσης της κατασκευής σε σχέση με την σεισμική διέγερση . Αυτό το είδος ανάλυσης έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα επικερδές για τους μελετητές καθώς έχει μικρές υπολογιστικές απαιτήσεις και επομένως απαιτεί μικρότερο χρονικά διάστημα για την ολοκλήρωση του. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τον Ευρωκώδικα 8 (EN-1998), στον οποίο και καθορίζονται οι απαιτήσεις σε έλεγχο μιας κατασκευής σε σεισμό. Ακόμα η κατασκευή ελέγχθηκε σε όλους τους στατικούς ελέγχους, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 6 (EN-1996), ο οποίος αναφέρεται στις κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία.

4.1 Προσομοίωση υλικών Τοιχοποιίας

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3 η περιμετρική τοιχοποιία αποτελείται από ελαφρώς λαξευμένη λιθοδομή ασβεστόλιθων. Θεωρήθηκε ότι η λιθοδομή έχει ως συνδετικό υλικό κονίαμα γενικής εφαρμογής και ιδιαίτερα χαμηλής αντοχής. Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες της τοιχοποιίας, αυτές δεν ήταν δυνατό να καταγραφούν χωρίς τη χρήση καταστροφικών μεθόδων. Επομένως οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας, λήφθηκαν μέσω βιβλιογραφίας με γνώμονα την υποβαθμισμένη κατάσταση στην οποία έχουν επέλθει τα τοιχοσώματα αλλά και το κονίαμα. Το ίδιο θεωρήθηκε για την οπτοπλινθοδομή που εντοπίζεται στο εσωτερικό του φορέα, η οποία επίσης λειτουργεί ως φέρον στοιχείο.

- Λίθοι :
Ειδικό Βάρος : $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
Ανηγμένη θλιπτική αντοχή : $f_b = 9 \text{ MPa}$
- Οπτόπλινθοι :
Ειδικό Βάρος : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Ανηγμένη θλιπτική αντοχή : $f_b = 6,75 \text{ MPa}$
- Κονίαμα :
Μέση θλιπτική αντοχή : $f_m = 1 \text{ MPa}$ (Κατηγορία M1)

Οι παραπάνω τιμές τοποθετούνται στην εξίσωση (2-1) της χαρακτηριστικής θλιπτικής αντοχής που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2 .

Στα Σχήματα 4.1 και 4.2 παρουσιάζονται ενδεικτικές εικόνες από το πρόγραμμα 3MURI με την αναλυτική περιγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών των δύο ειδών τοιχοποιίας που υπάρχουν στη κατασκευή.

Ιδιότητες υλικών

Τύπος Τοιχοποιία

Όνομα

Χρώμα υλικού

Μοτίβο

E [N/mm ²]	2094,99
G [N/mm ²]	838
w [kN/m ³]	26
f _m [N/mm ²]	2,99
f _{vm0} [N/mm ²]	0,14
f _{vlim} [N/mm ²]	0,6
f _k [N/mm ²]	2,09
FC	1,35
γ _m	3
Μετακίνηση από τέμ...	0,004
Μετακίνηση από κάμψη	0,008
φ ∞	0

Τροποποίηση

Η κατάσταση του υλικού

Υφιστάμενη Νέο

Δυσκαμψία (ρηγμάτωσης)

Χρήστη

Καταστατικός νόμος

Mohr/Coulomb

Παράμετροι τοιχοποιίας

Σχήμα 4.1 – Μηχανικές χαρακτηριστικά της Λιθοδομής

Ιδιότητες υλικών

Τύπος Τοιχοποιία

Όνομα

Χρώμα υλικού

Μοτίβο

E [N/mm ²]	2104,35
G [N/mm ²]	841,74
w [kN/m ³]	18
f _m [N/mm ²]	3,01
f _{vm0} [N/mm ²]	0,14
f _{vlim} [N/mm ²]	0,4
f _k [N/mm ²]	2,1
FC	1
γ _m	3
Μετακίνηση από τέμ...	0,004
Μετακίνηση από κάμψη	0,008
φ ∞	0

Τροποποίηση

Η κατάσταση του υλικού

Υφιστάμενη Νέο

Δυσκαμψία (ρηγμάτωσης)

Χρήστη

Καταστατικός νόμος

Mohr/Coulomb

Παράμετροι τοιχοποιίας

Σχήμα 4.2- Μηχανικά Χαρακτηριστικά της Οπτοπλινθοδομής

4.2 Πατώματα

Στη κατασκευή συναντώνται 3 διαφορετικά είδη πατωμάτων, που απαιτούν διαφορετικό τρόπο προσομοίωσης στο μοντέλο. Αυτά είναι :

- Ξύλινα Πατώματα
- Θόλος
- Συνδυασμός Μεταλλικών Δοκίδων και Πλίνθων

Λόγω της μεγάλης φθοράς που έχουν υποστεί τα ξύλινα πατώματα της κατασκευής, γίνεται η παραδοχή ότι μια από τις απαιτούμενες ενισχύσεις είναι και η αντικατάστασή τους. Επομένως δεν προσομοιώθηκαν πατώματα με απομειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Γι' αυτόν τα φορτία που τους ανατέθηκαν είναι ίδια με αυτά που αναθέτονται σε μια καινούργια κατασκευή. Εξάιρεση αποτελεί η θολωτή οροφή που υπάρχει στη στάθμη του υπογείου όπου λόγω του υλικού κατασκευής, το ίδιο βάρος ήταν σημαντικά αυξημένο σε σύγκριση με εκείνο των ξύλινων πατωμάτων.

Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών καθώς και τα φορτία που αναλαμβάνουν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.3 :

Δάπεδο

Φορτία

Qk
Πρόσθ
Gk

Τροποποίηση

Απόλυτο ύψ [cm]

Gk [kN/m²]

Πρόσθ. Gk [kN/m²]

Qk [kN/m²]

Επίδραση στο στατικό έλεγχο

Στέγη Πλάτος στήριξης [cm]

EC

ψ_2 ψ_0 ψ

Τύπος

Ξύλινο δάπεδο μιας διεύθυνσης (μονές α)

Πάχος [cm]

G [N/mm²]

E_x [N/mm²]

E_y [N/mm²]

ν

Μάζες από φορτία

Μίας κατεύθυνσης Διπλής κατεύθυνσης

Κύρια διεύθυνση κατανομής φορτίων %

Σχήμα 4.3- Φορτία Ξύλινων Πατωμάτων

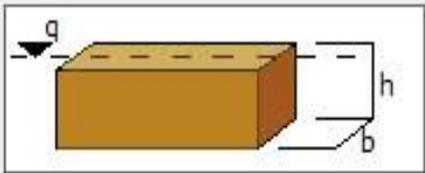
4.3 Ξυλοδεσιές και Σενάζ Σκυροδέματος

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, τα διαφράγματα επιτελούν καθοριστικό ρόλο στη σεισμική συμπεριφορά μιας κατασκευής. Με τα οριζόντια ή κάθετα διαφράγματα επιτυγχάνεται η λειτουργία του εγκιβωτισμού της κατασκευής. Ξυλοδεσιές τοποθετήθηκαν στους περιμετρικούς τοίχους του μοντέλου, στις στάθμες 1 (ημιυπόγειο) και 2 (ισόγειο). Υποτέθηκαν δοκοί διαστάσεων 15 x 15 cm με απομειωμένη αντοχή λόγω της φθοράς και της υγρασίας που είναι εμφανής στο υλικό (βλ. Σχήμα 4.4). Στη συνέχεια προσομοιώθηκαν τα σενάζ οπλισμένου σκυροδέματος σε ολόκληρη τη στάθμη 3, σε περιμετρικούς και εσωτερικούς τοίχους. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό.

Χαλύβδινο/Ξύλινο δοκάρι

Ξύλο Χαλύβας

b	<input type="text" value="12,0"/>	[cm]
h	<input type="text" value="12,0"/>	[cm]
Απόλυτο ύψος	<input type="text" value="667"/>	[cm]
Επιφ.	<input type="text" value="100,00"/>	[cm ²]
J	<input type="text" value="1.728,00"/>	[cm ⁴]
Πλαστική ροπή W	<input type="text" value="288,00"/>	[cm ³]



υλικό

Σχήμα 4.4- Προσομοίωση Ξυλινών Δοκών ανάμεσα στις στάθμες

Δοκός σκυροδέματος

Απόλυτο ύψος [cm]
 b [cm]
 h [cm]
 Επιφ. [cm²]
 J [cm⁴]

καμπτόμενο τμήμα

Εξωτ.οπλ.σύν.Ασ [cm²] Άνω οπλισμός [cm]
 Εσωτ.οπλ.σύν.Ασ [cm²] Κάτω οπλισμός [cm]
 Επικάλυψη [cm] Με ραβδώσεις
 Ανεπαρκής αγκύρωση Λείος

Συνδετήρας
 Διάμετρος [mm] Απόσταση στο μέσο [cm]
 Τμήσεις Απόσταση στο άκρο [cm]

Σεισμικά χαρακτηριστικά

υλικό
 Σκυροδέμα
 Χάλυβας

Σχήμα 4.5- Προσομοίωση Δοκών Σκυροδέματος

4.4 Πολυκλινής Στεγή

Έχει ήδη αναφερθεί ότι η στέγη που υπάρχει στη κατασκευή , αποτελεί προσθήκη των νεότερων χρόνων και είναι κατασκευασμένη από δομικό ξύλο άγνωστης ποιότητας και αντοχής . . Για την προσομοίωση θεωρήθηκε ποιότητα δομικής ξυλείας ανάλογη με C30, που ισοδυναμεί με $E= 15 \text{ GPa}$ (Σχήμα 4.6). Λόγω τεχνικών δυσκολιών, δεν ήταν εφικτή η πλήρης αποτύπωση και μελέτη της και επομένως το η διατομή του Σχήματος 4.6 αλλά και η προσομοίωση του σχήματος 4.7 έγινε κατά εικόνα. Η στέγη αποτελείται από ξύλινα δικτυώματα δοκών με διαστάσεις 20x20 cm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.7.

Χαλύβδινο/Ξύλινο δοκάρι

Ξύλο Χάλυβας

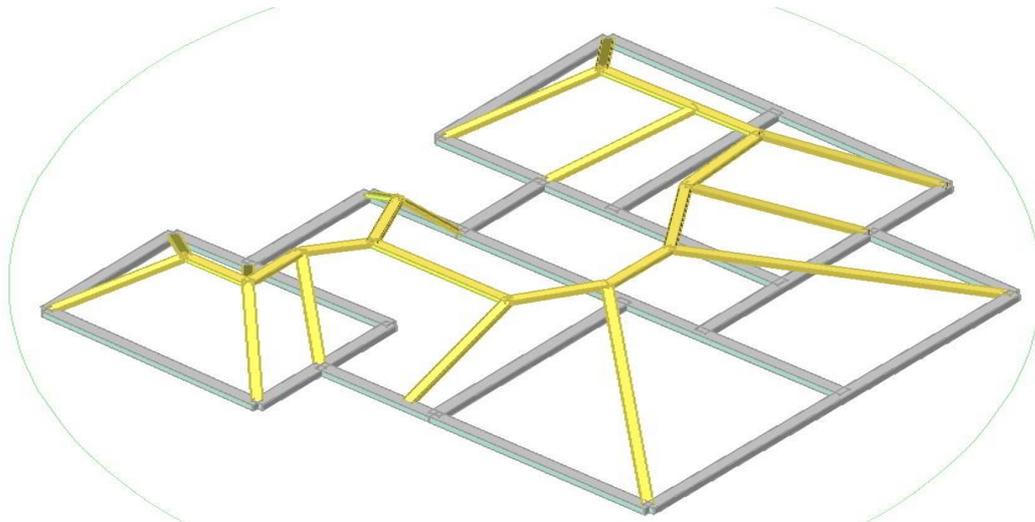
b [cm]
 h [cm]

Επιφ. [cm²]
 J [cm⁴]
 Πλαστική ροπή W [cm³]

Αρθρωση.Ι Αρθρωση.ΙΙ
 Αξονική ασυνδετ.

υλικό

Σχήμα 4.6-Διατομή Ξύλινων Δοκών Στέγης



Σχήμα 4.7-Τρισδιάστατη απεικόνιση της στέγης

4.5 Ξύλινες Δοκοί

Στην οροφή του ισογείου εντοπίζονται δυο τοξωτές κατασκευές από ξύλο, οι οποίες λειτουργούν ως αισθητικό κάλυμμά για δυο ξύλινες δοκούς μεγάλης διατομής. Εικάζεται ότι πρόκειται για κορμούς δέντρων που χρησιμοποιήθηκαν για να στηριχθεί το πάτωμα του ορόφου. Επίσης παρατηρείται ότι στη 3^η στάθμη της κατασκευής, στο σημείο ύπαρξης της ξύλινης δοκού υπάρχει λιθοδομή. Ακόμη θεωρήθηκε ότι το υλικό, λόγω ελλιπούς προστασίας και επικάλυψης, δε βρίσκεται πλέον στη δομική κατάσταση του παρελθόντος και συνεπώς η αντοχή του είναι σημαντικά απομειωμένη. Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζεται η διατομή των δοκών που προσομοιώθηκε το μοντέλο :

Καλύβδινο/Ξύλινο δοκάρι

Ξύλο Χάλυβας

b	<input type="text" value="65,0"/>	[cm]	
h	<input type="text" value="30,0"/>	[cm]	
Απόλυτο ύψος	<input type="text" value="667"/>	[cm]	
Επιφ.	<input type="text" value="2.000,00"/>	[cm ²]	
J	<input type="text" value="146.250,0"/>	[cm ⁴]	<input type="checkbox"/> Αρθρωση.Ι <input type="checkbox"/> Αρθρωση.ΙΙ
Πλαστική ροπή W	<input type="text" value="9.750,00"/>	[cm ³]	

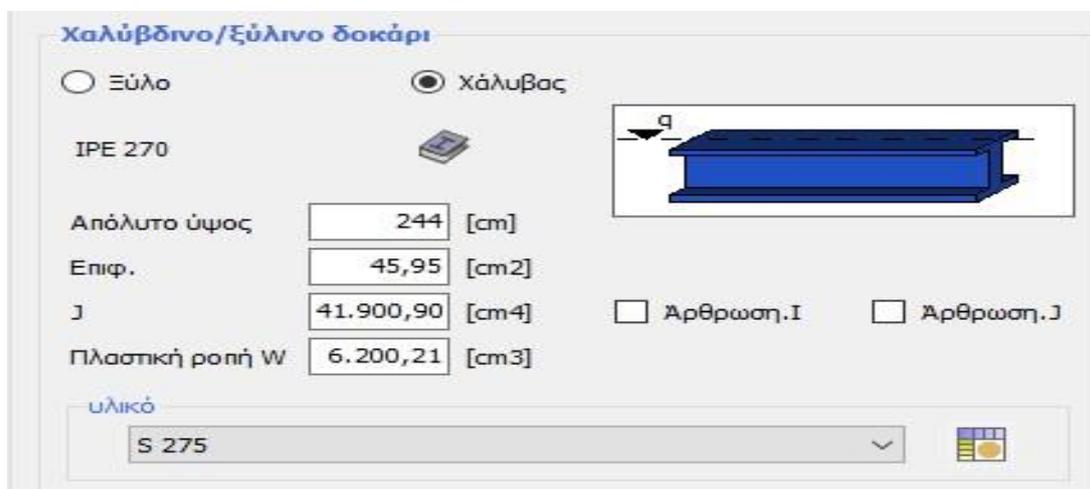
υλικό

▼

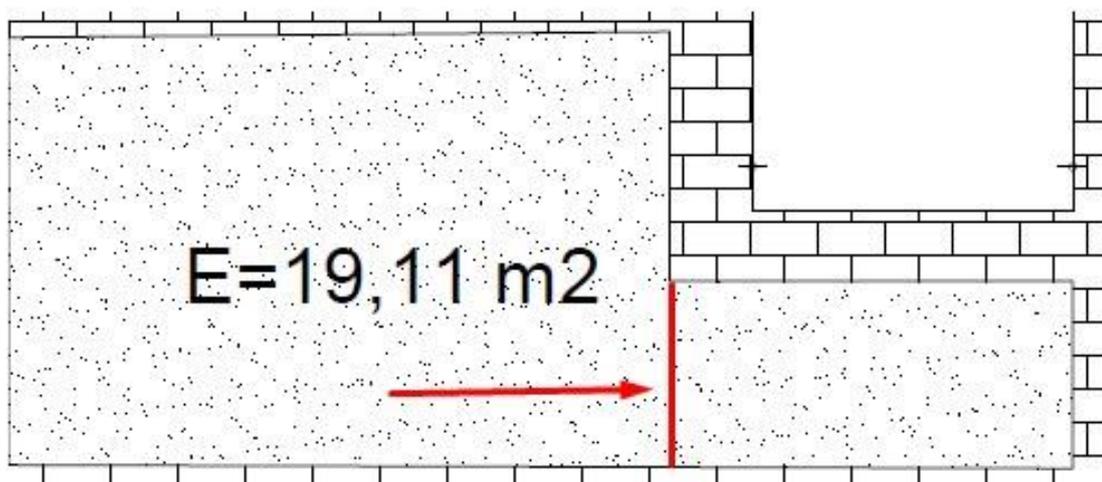
Σχήμα 4.8- Διατομή Ξύλινων Δοκών

4.6 Προσομοίωση ‘Μπαζωμένων’ τμημάτων

Κατά τη διαδικασία της αποτύπωσης, δεν ήταν δυνατή η πρόσβαση σε τμήματα του ημιυπόγειου διότι στους συγκεκριμένους χώρους υπήρχαν εδαφικές αποθέσεις. Στο σημείο της κάτοψης του ημιυπόγειου που φαίνεται την εικόνα 4-9, είναι εμφανές ότι δεν υπάρχει συνέχεια της τοιχοποιίας του ορόφου. Αντ’ αυτού η πλινθοδομή έχει ως υποκείμενη στήριξη ένα φραγμένο από εδαφικές αποθέσεις χώρο. Προκειμένου να προσομοιωθεί στο στατικό πρόγραμμα η συγκεκριμένη παραδοχή, τέθηκε ως υποκείμενο στοιχείο μια μεταλλική δοκός διατομής IPE 270 με σημαντικά αυξημένη δυσκαμψία. Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η διατομή που τέθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης, ενώ στο Σχήμα 4.10 υποδεικνύεται το σημείο που τοποθετείται η υποτιθέμενη δοκός σε κάτοψη καθώς και το εμβαδόν των συνολικών αποθέσεων.



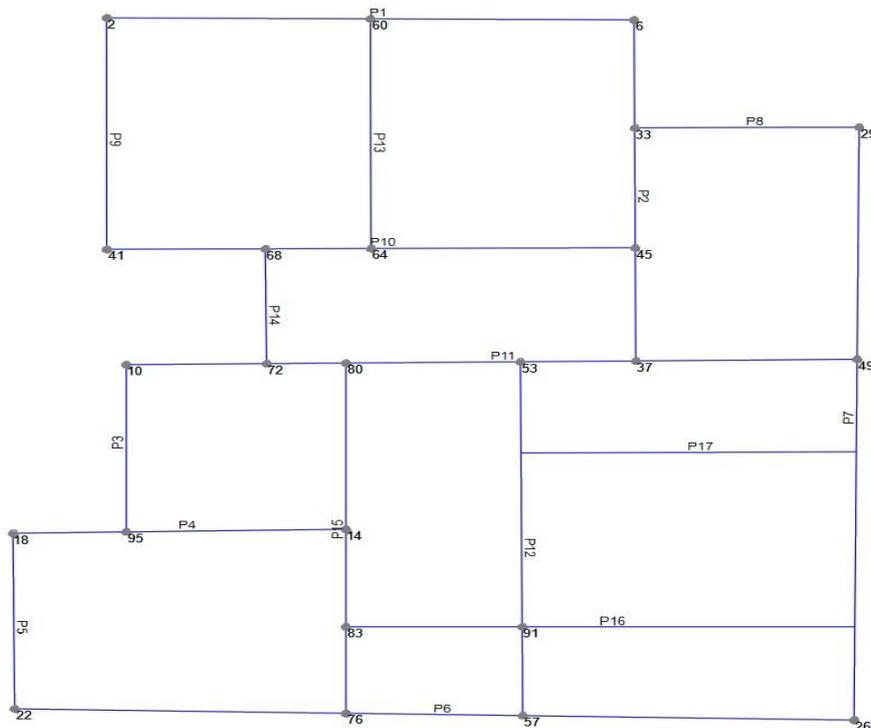
Σχήμα 4.9- Μεταλλική Διατομή Προσομοίωσης



Σχήμα 4.10-Υπόδειξη σημείου υποτιθέμενης δοκού

4.7 Μοντέλο Προσομοίωσης

Στο σημείο αυτό, παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11 η κάτοψη του μοντέλου προσομοίωσης όπως κατασκευάστηκε στο πρόγραμμα 3MURI. Τα κάθετα και οριζόντια στοιχεία αναπαριστούν τοιχοποιίες στις οποίες τα χαρακτηριστικά τους καθορίζονται με τον τρόπο που περιγράφεται στην παράγραφο 4.1 .



Σχήμα 4.11- Κάτοψη Μοντέλου Προσομοίωσης στο 3MURI

Είναι εμφανές ότι έχει πραγματοποιηθεί μια γεωμετρική αλλαγή στο μοντέλο, σε σχέση με τη πραγματική κάτοψη της κατασκευής. Η αλλαγή αυτή παρατηρείται στο στη δυτική πλευρά του κτηρίου όπου το κυκλικό τόξο που υπάρχει στη πραγματικότητα , προσομοιώνεται με τον τρόπο που φαίνεται στο Σχήμα 4.9. Αυτή η επιλογή προσομοίωσης έγινε με γνώμονα την καλύτερη παραδοχή της κατάστασης. Αρχικά η παραδοχή της τοξοτής τοιχοποιίας δε θα αλλάξει σημαντικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης και επομένως η χρήση ορθής γωνίας στο συγκεκριμένο σημείο της κατασκευής αποτελούσε τη τετριμμένη λύση. Ακόμα, η επιλογή αυτή προτιμήθηκε καθώς στο σχεδιαστικό κομμάτι του 3MURI δεν είναι δυνατό να σχεδιαστεί ημικυκλικός ή τοξοτή τοιχοποιία και επομένως η μόνη διαθέσιμη λύση θα ήταν οι συνεχόμενες μικρά ευθύγραμμα τμήματα που τείνουν να αποτυπώσουν τη καμπυλότητα της πραγματικής κατασκευής.

4.8 Σεισμικό Φορτίο

Στο σχήμα 4.12 παρουσιάζεται το σεισμικό φορτίο με βάση το οποίο πραγματοποιήθηκαν όλες οι αναλύσεις στην υφιστάμενη αλλά και αργότερα στην ενισχυμένη κατάσταση.

Σεισμική δύναμη

Σχήμα φάσματος: Παραμετρικό

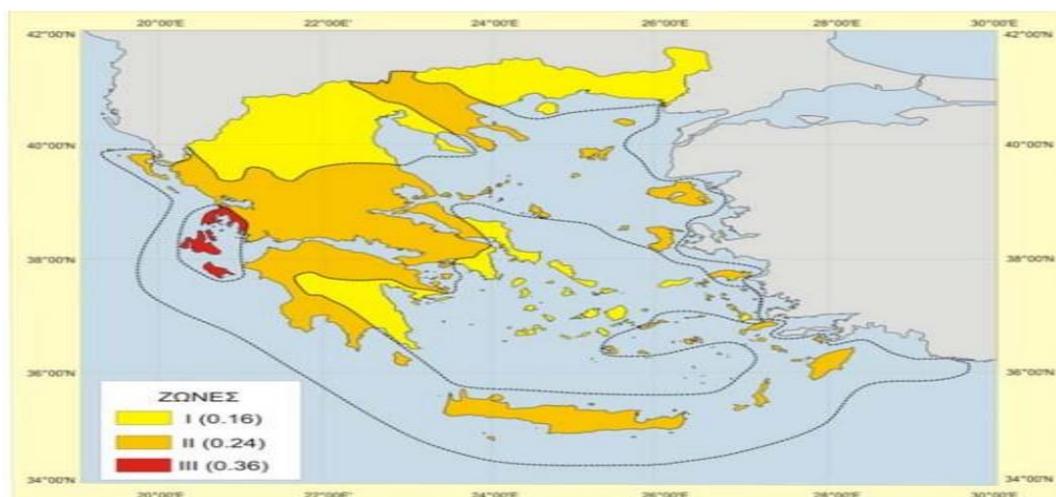
Φόσμα απόκρισης

	NC	SD	DL
Επαλήθευση	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
a_{gR} [m/s^2]	1,56	1,00	0,00
Τύπος εδάφους	B	B	B
S	1,20	1,20	1,20
T_B [s]	0,15	0,15	0,15
T_C [s]	0,50	0,50	0,50
T_D [s]	2,00	2,00	2,00

Συντελεστής σπουδαιότητας: 1,00

Σχήμα 4.12 - Σεισμικά φορτία και Οριακές Καταστάσεις

Από το Σχήμα 4.12 είναι εμφανές ότι η κατασκευή ελέγχεται με βάση της οριακές καταστάσεις του EN-1998. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος σε κατάσταση SD (Significant Damage) και στη NC (Near Collapse) . Σύμφωνα με το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (Τ.Ε.Ε), ο Δήμος Πύλης όπου και ανήκει η κοινότητα Πηγή και όπου τοποθετείται και η κατασκευή, ανήκει στη σεισμική ζώνη ένα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.13 και ο συντελεστής εδαφικής επιτάχυνσης είναι 0,16 . Συνεπώς στις παραμέτρους του Σχήμα 4.12 ως $a_{gR} \left[\frac{m}{s^2} \right] = 0,16 * 9,81 = 1,56 m/s^2$ ως εδαφική επιτάχυνση για τη κατάσταση οριακής αστοχίας NC



Σχήμα 4.13- Σεισμικές ζώνες Ελλάδος

4.9 Επιλογές Ανάλυσης

Στην ενότητα αυτή θα αναλυθούν συντόμως οι επιλογές και οι παράμετροι που λήφθηκαν για την εκτέλεση της Γραμμικής Ανελαστικής Ανάλυσης (Pushover) για τη προσομοίωση της υφιστάμενης κατάστασης της κατασκευής. Το 3MURI παράγει αυτόματα 24 διαφορετικά σενάρια δυναμικών αναλύσεων, τα οποία ταξινομούνται με τα παρακάτω κριτήρια :

- Τη φορά της σεισμικής διέγερσης $\pm X$, $\pm Y$ (σε ένα ορθοκανονικό σύστημα αξόνων)
- Το είδος της σεισμικής διέγερσης δηλαδή τη μεταφορά των μαζών ή τις Ιδιομορφές
- Την τυχηματική εκκεντρότητα φόρτισης που ασκείται στα στοιχεία της τοιχοποιίας.

Πιο συγκεκριμένα παράγονται 2 εκκεντρότητες, οι οποίες ασκούνται σε θετική και αρνητική κατεύθυνση

Στο Σχήμα 4.14 παρουσιάζεται στιγμιότυπο από το 3MURI όπου είναι διακριτά τα παραπάνω κριτήρια που αναφέρθηκαν:

Ανάλυση

Κόμβος ελέγχου

Στάθμη [3] Στάθμη 3 Κόμβος 4

Μετατόπιση Χρήση μέσης μετακίνησης

No.	Υπολογισμός ανάλυσης	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	εκκεντρότητα [cm]
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,0
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,1
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,1
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,1
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,1
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,1
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,1
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,1
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,1
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,3
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,3
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,3
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,3
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,3
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,3
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,3
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,3

Καθορισμός γωνίας κατεύθυνσης σεισμού

Γωνία στροφής 0 [°]

Προσθήκη -- Κανένα --

Προσθήκη-Εξήμα

Διαγραφή

Γενικά δεδομένα

Στάθμη επιφ.εδόφ. 0,0000 [cm]

Max πλήθος ελιαναλ. 100

Ακρίβεια I.B. 0,0050

Παράμετροι υπολογισμού

Εφαρμογή σε όλα

Επιμέρους βήματα 100

Ακρίβεια 0,0050

Μέγιστη μετακίνηση 10 [cm]

Εκκεντρότητες [cm]

Επιλογή ανάλυσης

Κατεύθυνση σεισμού

Σεισμική δύναμη

Εκκεντρότητες

Επιλογή όλων Αποεπιλογή όλων

Σεισμική δύναμη

Proportional static forces

Modal distribution

OK ?

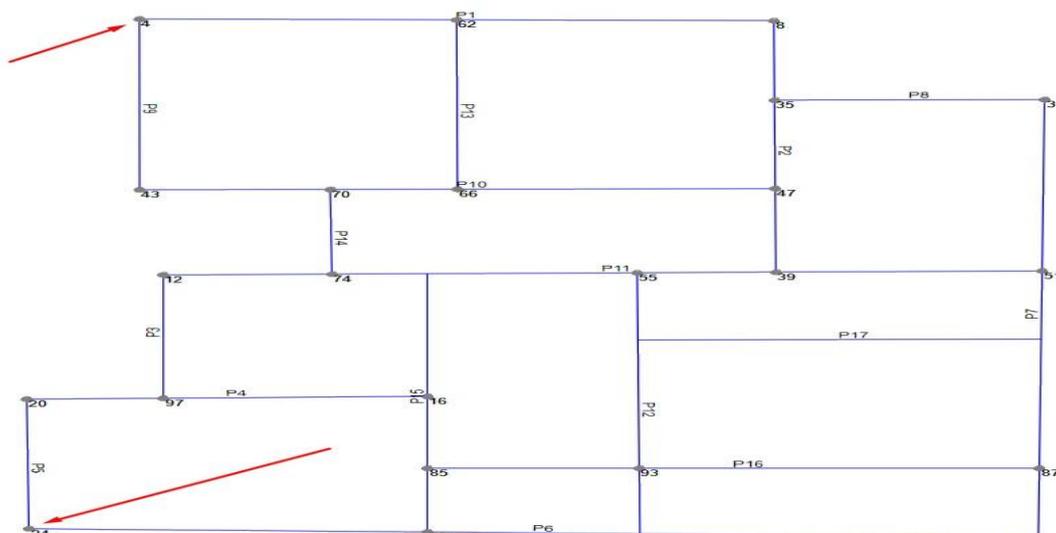
Σχήμα 4.14- Σενάρια και Παράμετροι ανάλυσης από 3MURI

4.9.1 Επιλογή Κόμβου Ελέγχου

Η επιλογή του κόμβου ελέγχου τόσο σε κάτοψη όσο και σε στάθμη, είναι πολύ σημαντική για τη σύγκλιση των αποτελεσμάτων της Pushover ανάλυσης. Ανάλογα με τον κόμβο ελέγχου που θα επιλεγθεί, ικανοποιούνται διαφορετικά σενάρια αναλύσεων. Σύμφωνα με τον ελληνικό Κανονισμό Επεμβάσεων (ΚΑΝ. ΕΠΕ.) και όσον αφορά την εκτέλεση ανάλυσης Pushover, προτείνεται ο κόμβος ελέγχου να επιλέγεται στην υψηλότερη στάθμη της κατασκευής όπου υπάρχει διαφραγματική λειτουργία (ΚΑΝ. ΕΠΕ., 2017).

Όσον αφορά τη θέση του κόμβου ελέγχου σε κάτοψη, συνήθης επιλογή αποτελούν οι κόμβοι που βρίσκονται σχεδόν στο κέντρο της μάζας της στάθμης. Στη περίπτωση όμως των κτηρίων από φέρουσα τοιχοποιία, τα οποία περιέχουν μαλακά διαφράγματα όπως ξύλινα πατώματα και θόλους, έχει παρατηρηθεί ότι υπάρχει μεγαλύτερη σύγκλιση των αποτελεσμάτων αν επιλεγθεί κόμβος που βρίσκεται σε στοιχείο τοιχοποιίας που έχει πρόωμη αστοχία (Sergio Lagomarsino, 2015). Η διαφορά με τις αναλύσεις σε κτήρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, έγκειται στο γεγονός πως τα διαφράγματα λειτουργούν πολύ καλύτερα σε σύγκριση με μια κατασκευή από τοιχοποιία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλα οι κόμβοι της κατασκευής να έχουν ίδια μετακίνηση λόγω της ακαμψίας των διαφραγμάτων, κάτι που δεν μπορεί να συμβεί σε κατασκευές από φέρουσα τοιχοποιία.

Για τη πληρέστερη επίλυση του προβλήματος έγινε η επιλογή δύο ακραίων κόμβων οι οποίοι και παρέχουν διαφορετικά αποτελέσματα σχετικά με την ικανοποίηση ή όχι των σεναρίων ανάλυσης που παρείχε το 3MURI. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν ο κόμβος 4 και ο κόμβος 24, οι οποίοι βρίσκονται στη στάθμη 3 της κατασκευής και υποδεικνύονται στη στο Σχήμα 4.15. Η επιλογή αυτών των κόμβων έγινε με κριτήριο τη πρόωρη αστοχία των στοιχείων τοιχοποιίας στα οποία ανήκουν. Επιπλέον θεωρήθηκε απαραίτητο να παρουσιαστεί η διαφορά ανάμεσα στα αποτελέσματα των αναλύσεων που προκύπτουν με βάση αυτούς τους δυο κόμβους αλλά και να αναδειχθεί η σημασία της επιλογής του κόμβου ελέγχου σε μια ανελαστική ανάλυση κατασκευής από υφιστάμενη τοιχοποιία.



Σχήμα 4.15-Υπόδειξη Κόμβων Ελέγχου στο μοντέλο

4.9.2 Επιλογή Τρόπου Ανάλυσης

Το 3MURI προσφέρει 3 πιθανούς τρόπους ανάλυσης της κατασκευής, όσον αφορά τα διαγράμματα της Pushover καμπύλης. Η επιλογή που κάνει ο μελετητής αντικατοπτρίζεται στο μέγεθος των μετακινήσεων που εμφανίζονται στο διάγραμμα ικανότητας. Οι διαθέσιμες επιλογές ήταν :

- Χρήση της μετατόπισης του κόμβου ελέγχου
- Χρήση της μέσης μετακίνησης των κόμβων της στάθμης όπου βρίσκεται ο κόμβος ελέγχου
- Χρήση της μέσης μετακίνησης των κόμβων της στάθμης του κόμβου ελέγχου αναλόγως με τον διαμοιρασμό των μαζών των στοιχείων

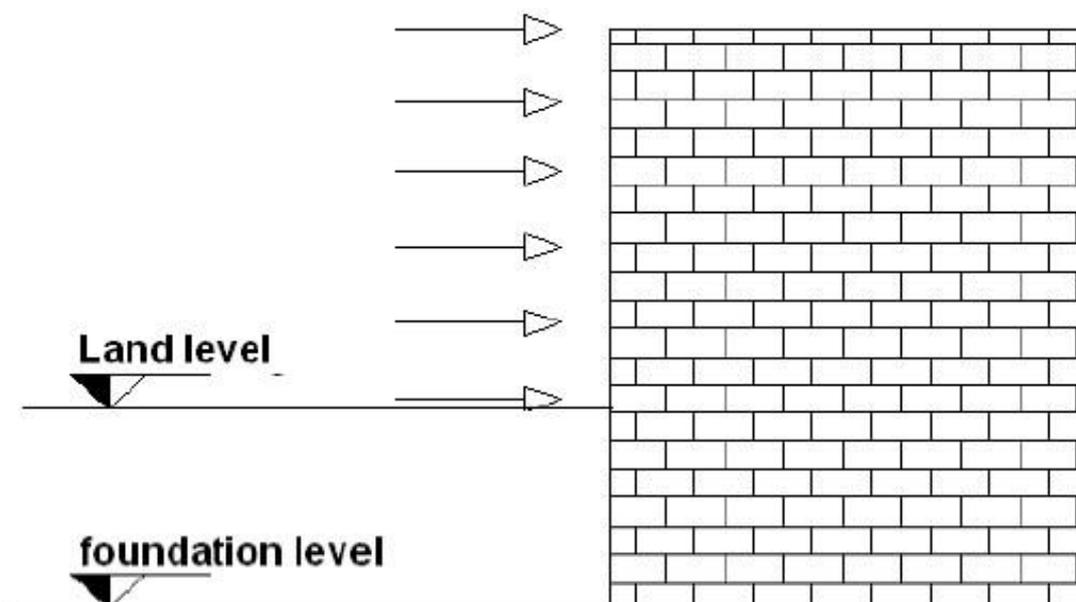
Φυσικά, αναλόγως την επιλογή μεθόδου το αποτέλεσμα των αναλύσεων διέφερε καθώς υπήρχαν διαφορετικές απαιτήσεις προκειμένου να ικανοποιηθεί τα είκοσι-τέσσερα (24) σενάρια που προκύπτουν για επίλυση από το πρόγραμμά.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν διεξαχθεί πάνω σε αυτό το είδος κατασκευών (Lagomarsino, Galasco, & Penna, 2006), η δεύτερη από τις παραπάνω αναφερόμενες μεθόδους έχει δείξει ότι προσφέρει αποτελέσματα που συγκλίνουν περισσότερο μεταξύ τους και επομένως είναι περισσότερο αξιόπιστη. Επομένως θεωρήθηκε καλύτερο να επιλεγθεί η χρήση της μέσης μετακίνησης των κόμβων της στάθμης όπου βρίσκεται ο κόμβος ελέγχου. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι έγιναν αρκετές δοκιμαστικές επιλύσεις με όλες τις μεθόδους και στη συνέχεια αποφασίστηκε η χρήση της 2^{ης} μεθόδου.

4.9.3 Προσομοίωση της Στάθμης του Εδάφους

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, η κατασκευή αποτελείται από 3 στάθμες από τις οποίες το ημιυπόγειο βρίσκεται 1,42 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό συνεπάγεται ότι η τέμνουσα βάσης που προκύπτει από τη σεισμική διέγερση, θα ασκηθεί στη πραγματικότητα σε απόσταση 1,42 m από την βάση των θεμελίων της κατασκευής. Επιλέχθηκε η προσομοίωση της στάθμης του εδάφους να γίνει στη βάση της κατασκευής κι όχι πιο πάνω έτσι ώστε να έχουμε δυσμενέστερα αποτελέσματα αναλύσεων και να γίνουν οι κατάλληλες επεμβάσεις υπέρ της ασφάλειας.

Στη περίπτωση που η προσομοίωση γινόταν στο πραγματικό ύψος της επιφάνειας του εδάφους, θα προκύπταν μικρότερες μετακινήσεις στη 3^η στάθμη όπου και επιλέχθηκε ο κόμβος ελέγχου και επομένως η κατασκευή μπορεί να εμφανίζονταν περισσότερο ανελαστική απ' όσο είναι στη πραγματικότητα. Η συγκεκριμένη επιλογή, εντάσσεται σε ένα γενικότερο πλαίσιο δυσμενών επιλογών σχετικά με τη προσομοίωση του κτηρίου, διότι δεν ήταν δυνατή η λεπτομερής καταγραφή των μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών μέσω δοκιμών εργαστηρίου όπου και θα εκτιμούνταν καλύτερα η συνολική κατάσταση του φορέα. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι το 3MURI προσομοιώνει τη θεμελίωση της κατασκευής ως πακτωμένους κόμβους.



Σχήμα 4.16-Υπόδειγμα Προσομοίωσης Εδάφους σε 3MURI (ERGOCAD, 2018)



5 Αποτελέσματα – Υφιστάμενη Κατάσταση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4 καθώς και μια σύντομη περιγραφή των όρων και εννοιών που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν χωρίζονται σε αναλύσεις που έγιναν με βάση τον κόμβο ελέγχου 4 και σε αναλύσεις που έγιναν με βάση τον κόμβο ελέγχου 24 οι οποίοι και υποδεικνύονται στην ενότητα 4.9.1 του προηγούμενου κεφαλαίου. Στα σχήματα που ακολουθούν, τα οποία λήφθηκαν από το πρόγραμμα 3MURI γίνεται σαφές για το ποια σενάρια αναλύσεων ικανοποιούνται και ποια όχι. Πιο συγκεκριμένα με πράσινο χρώμα υποδεικνύονται τα σενάρια που ικανοποιούνται ενώ με κόκκινο χρώμα αυτά που δεν ικανοποιούνται.

Η ικανοποίηση ενός σεναρίου ανάλυσης πηγάζει από το γεγονός ότι η θεωρητικά απαιτούμενη μετακίνηση που έχει υπολογιστεί από τις παραμέτρους του σεισμικού φορτίου και από το φάσμα του Ευρωκώδικα 8, είναι μικρότερη της μέγιστης μετακίνησης που μπορεί να προσφέρει η κατασκευή σε αυτή τη κατάσταση.

Η θεωρητικά απαιτούμενη μετακίνηση ορίζεται ως :

$$dt = d^*t * \Gamma \quad (\text{Εξ. 5-1})$$

Η μέγιστη μετακίνηση που παρέχει η κατασκευή ορίζεται ως : dm

και υπολογίζεται μέσω της επίλυσης του πολυβάθμιου συστήματος δυσκαμψίας.

Ζητούμενο στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν το $dt < dm$

Ακόμα, στους συνοπτικούς πίνακες αποτελεσμάτων που ακολουθούν, πέρα από τις απαιτούμενες αλλά και μέγιστες μετακινήσεις, εμφανίζεται και ο αδιάστατος συντελεστής a ο οποίος ορίζεται ως :

$$a = PGA/a_{gR} \quad (\text{Εξ.5-2})$$

Όπου :

PGA : οριακή ικανότητα φασματικής επιτάχυνσης

a_{gR} : επιτάχυνση σεισμικής φόρτισης που έχει ορίσει ο μελετητής

Ο συντελεστής a θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας προκειμένου να ικανοποιείται το συγκεκριμένο σενάριο φόρτισης.

5.1 Αποτελέσματα από Κόμβο Ελέγχου 4

5.1.1 Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα από αναλύσεις που έγιναν με βάση τον κόμβο ελέγχου 4. Παρουσιάζονται οι απαιτούμενες μετακινήσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 καθώς και οι μέγιστες δυνατές μετατοπίσεις του φορέα για όλα τα σενάρια και για τις δυο οριακές καταστάσεις που εξετάζονται (NC , SD). Επιπλέον εμφανίζονται οι συντελεστές ικανοποίησης α που ορίστηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, καθώς και το είδος ,η κατεύθυνση και η εκκεντρότητα της φόρτισης . Η τελευταία στήλη αποτελεί τον λόγο της μέγιστης μετακίνησης dm προς τη θεωρητικά απαιτούμενη μετακίνηση dt για την κατάσταση της οριακής αστοχίας.

Πίνακας 5.1- Αποτελέσματα Ανάλυσης με Κόμβο Ελέγχου 4

Έλεγχος ανάλυσης

No.	Εισαγωγή στο τεύχος	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	εκκεντρότητα [cm]	dt NC [cm]	dm NC [cm]	dt SD [cm]	dm SD [cm]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,00	1,27	1,20	0,81	0,90	0,947	1,108	0,945
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,02	1,29	1,30	0,97	0,638	0,747	0,639
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,00	1,26	2,06	0,72	1,54	1,384	1,774	1,635
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,54	2,60	1,52	1,95	1,020	1,256	1,024
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,00	0,98	2,83	0,50	2,13	2,058	2,580	2,888
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,94	3,65	1,05	2,73	1,690	2,063	1,881
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,00	1,12	4,59	0,63	3,44	2,757	3,396	4,098
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,91	4,38	1,02	3,29	1,989	2,421	2,293
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,15	1,32	1,30	0,82	0,98	0,993	1,191	0,985
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,15	0,94	0,81	0,50	0,61	0,925	1,222	0,862
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	1,98	1,53	1,27	1,15	0,775	0,907	0,773
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	2,41	1,89	1,54	1,42	0,784	0,918	0,784
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,15	1,02	2,08	0,49	1,56	1,613	2,045	2,039
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,15	1,06	2,19	0,68	1,64	1,564	2,019	2,066
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	2,32	2,78	1,31	2,08	1,163	1,429	1,198
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	2,82	3,03	1,75	2,27	1,064	1,296	1,074
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,29	0,98	2,40	0,55	1,80	1,775	2,260	2,449
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,29	1,02	2,98	0,49	2,23	2,125	2,647	2,922
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	2,61	3,09	1,62	2,32	1,150	1,413	1,184
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,66	3,98	0,88	2,99	2,079	2,523	2,398
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,29	1,10	4,08	0,64	3,06	2,500	3,100	3,709
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,29	1,02	4,66	0,53	3,49	3,028	3,712	4,569
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	2,44	3,21	1,47	2,41	1,256	1,543	1,316
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,89	5,10	1,01	3,82	2,309	2,791	2,698

Όπως προαναφέρθηκε τα σενάρια που ικανοποιούνται εμφανίζονται με πράσινο χρώμα και εκείνα που δεν ικανοποιούνται με κόκκινο. Δεδομένου της κατάστασης που βρίσκεται η κατασκευή καθώς και λαμβάνοντας υπόψιν τις παραδοχές που έγιναν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, είναι εμφανές ότι εμφανίζεται μια αρκετά καλή συμπεριφορά έναντι σε σεισμική διέγερση.

Ενδεικτικό είναι ότι η πλειοψηφία των σεναρίων ικανοποιούνται με εξαίρεση τα σενάρια 1,2,9,10,11,12 όπου έχουμε $dt > dm$. Η κίτρινη ένδειξη στα σενάρια 2 και 19, τα υποδεικνύει ως τα πιο σημαντικά από τις διευθύνσεις $\pm X$, $\pm Y$. Αυτό σημαίνει ότι σε σύγκριση με τα υπόλοιπα σενάρια της ανάλυσης το 2 και το 19, παρουσιάζουν τους μικρότερους συντελεστές α και επομένως είναι τα πιο κρίσιμα ως προς κάθε κατεύθυνση. Περισσότερες λεπτομέρειες για την ανάλυση αυτή θα αναλυθούν και θα σχολιαστούν στη συνέχεια όπου και παρουσιάζεται η ζητούμενη καμπύλη ικανότητας (Pushover Curve) και η παραμόρφωση των στοιχείων της τοιχοποιίας σε κάτοψη αλλά και σε όψη.

Στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης που προέκυψαν με βάση τη μέση μετακίνηση των κόμβων της στάθμης όπου βρίσκεται ο κόμβος ελέγχου, αναλογικά με το βάρος των στοιχείων τους. Έχει ήδη αναφερθεί ότι η δεύτερη μέθοδος προσδίδει αποτελέσματα που συγκλίνουν περισσότερο αριθμητικά απ' όσο η τρίτη. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια υποβάλλεται ο αντίστοιχος πίνακας αποτελεσμάτων βασισμένος στις ίδιες επιλογές ανάλυσης εκτός της μεθόδου :

Πίνακας 5.2- Πίνακας αποτελεσμάτων με βάση τον κόμβο 4 και με τη 3η μέθοδο

Ελεγχος ανάλυσης											
No.	Εισαγωγή στο τεύχος	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	κκεντρότητα [cm]	dt NC [cm]	dm NC [cm]	dt SD [cm]	dm SD [cm]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,00	1,21	1,24	0,78	0,93	1,025	1,200	1,025
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,81	1,15	1,16	0,86	0,637	0,745	0,635
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,00	1,31	2,17	0,79	1,63	1,401	1,792	1,656
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,45	2,62	1,48	1,97	1,059	1,305	1,069
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,00	0,85	2,28	0,44	1,71	1,908	2,412	2,682
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,52	2,89	0,78	2,16	1,668	2,052	1,901
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,00	0,95	3,40	0,53	2,55	2,412	2,998	3,579
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,58	3,91	0,82	2,93	2,080	2,538	2,475
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,15	1,00	1,06	0,64	0,79	1,051	1,230	1,060
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,15	1,18	1,42	0,76	1,06	1,200	1,404	1,203
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	1,73	1,18	1,11	0,88	0,679	0,795	0,682
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	1,97	1,93	1,27	1,45	0,979	1,145	0,980
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,15	1,00	2,26	0,50	1,69	1,737	2,192	2,260
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,15	1,84	3,38	1,18	2,53	1,599	1,993	1,837
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	2,41	2,66	1,39	2,00	1,089	1,334	1,104
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	2,60	2,91	1,62	2,18	1,101	1,348	1,119
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,29	0,81	1,93	0,43	1,45	1,713	2,192	2,383
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,29	0,94	2,59	0,43	1,94	2,053	2,560	2,755
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	2,09	2,53	1,25	1,90	1,164	1,446	1,211
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,44	3,55	0,77	2,66	2,116	2,567	2,465
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,29	1,03	3,09	0,60	2,32	2,113	2,645	3,000
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,29	0,91	3,78	0,46	2,84	2,778	3,422	4,154
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	1,85	2,51	1,06	1,88	1,270	1,584	1,357
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,56	4,93	0,81	3,70	2,619	3,162	3,160

Παρατηρείται ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα των δυο διαφορετικών ως προς τη μέθοδο αναλύσεων είναι συγκλίνουν μεταξύ τους με τη διαφορά όμως ότι στην ανάλυση που προηγήθηκε δεν ικανοποιούνται συνολικά 6 υποθετικά σενάρια ενώ σε αυτή δεν υπάρχει ικανοποίηση για συνολικά 3 .

5.1.2 Διαγράμματα Καμπύλης Ικανότητας

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα της Καμπύλης Ικανότητας Παραμόρφωσης, δηλαδή το διάγραμμά ανάμεσα σε τέμνουσα βάση που ασκείται και της μέσης μετακίνησης των κόμβων της στάθμης όπου βρίσκεται ο κόμβος ελέγχου. Η καμπύλη ικανότητας χωρίζεται σε 3 φάσεις :

1. Ελαστική Φάση
2. Πλαστική Φάση
3. Κατάρρευση



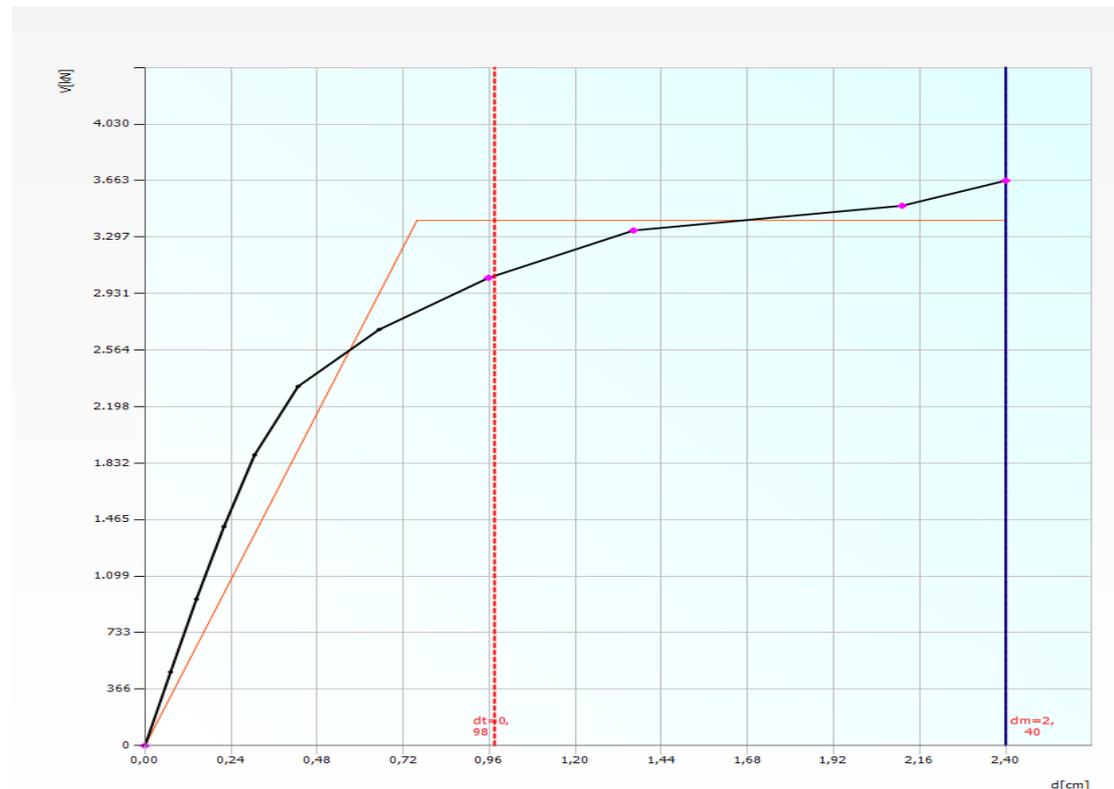
Σχήμα 5.1-Γενικό Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας Παραμόρφωσης (ERGOCAD, 2018)

Στο διάγραμμα του Σχήματος 5.1 δίνονται κάποιες γενικές κατευθύνσεις που αφορούν τις φάσεις παραμόρφωσης που βρίσκεται μια κατασκευή υπό σεισμική διέγερση. Η μεγάλη κλίση της καμπύλης σηματοδοτεί την έναρξη της φάσης της ελαστικής παραμόρφωσης όπου η κατασκευή είναι σε θέση να δέχεται παραμορφώσεις χωρίς όμως να έχει επέλθει κάποιου είδους βλάβη ή πρόβλημα στη λειτουργία της. Η μείωση της κλίσης της καμπύλης ή ακόμα και η ευθυγράμμιση της με τον άξονα της μετακίνησης, σηματοδοτεί την έναρξη της φάσης πλαστικής παραμόρφωσης του φορέα όπου υπάρχει συνεχόμενη αύξηση της παραμόρφωσης αλλά για μια σταθερή τιμή της δύναμης της τέμνουσας βάσης. Τέλος, η απότομη αλλαγή κλίσης με κατακόρυφη πτώση της δύναμης, αποτελεί ένδειξη αστοχίας του

υλικού και του φορέα μας. Η τοιχοποιία γενικότερα σαν υλικό δόμησης, έχει πολύ μικρή ελαστική φάση παραμόρφωσης σε διάρκεια, κάτι που είναι αναμενόμενο και λόγω της φύσης του υλικού αλλά και λόγω της ψαθυρής του αστοχίας.

Επιλέχθηκαν σενάρια που αντικατοπτρίζουν τη γενική εικόνα της σεισμικής συμπεριφοράς της κατασκευής κι όχι μεμονωμένες περιπτώσεις με υπερβολικές μετακινήσεις κόμβων και παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων της κατασκευής.

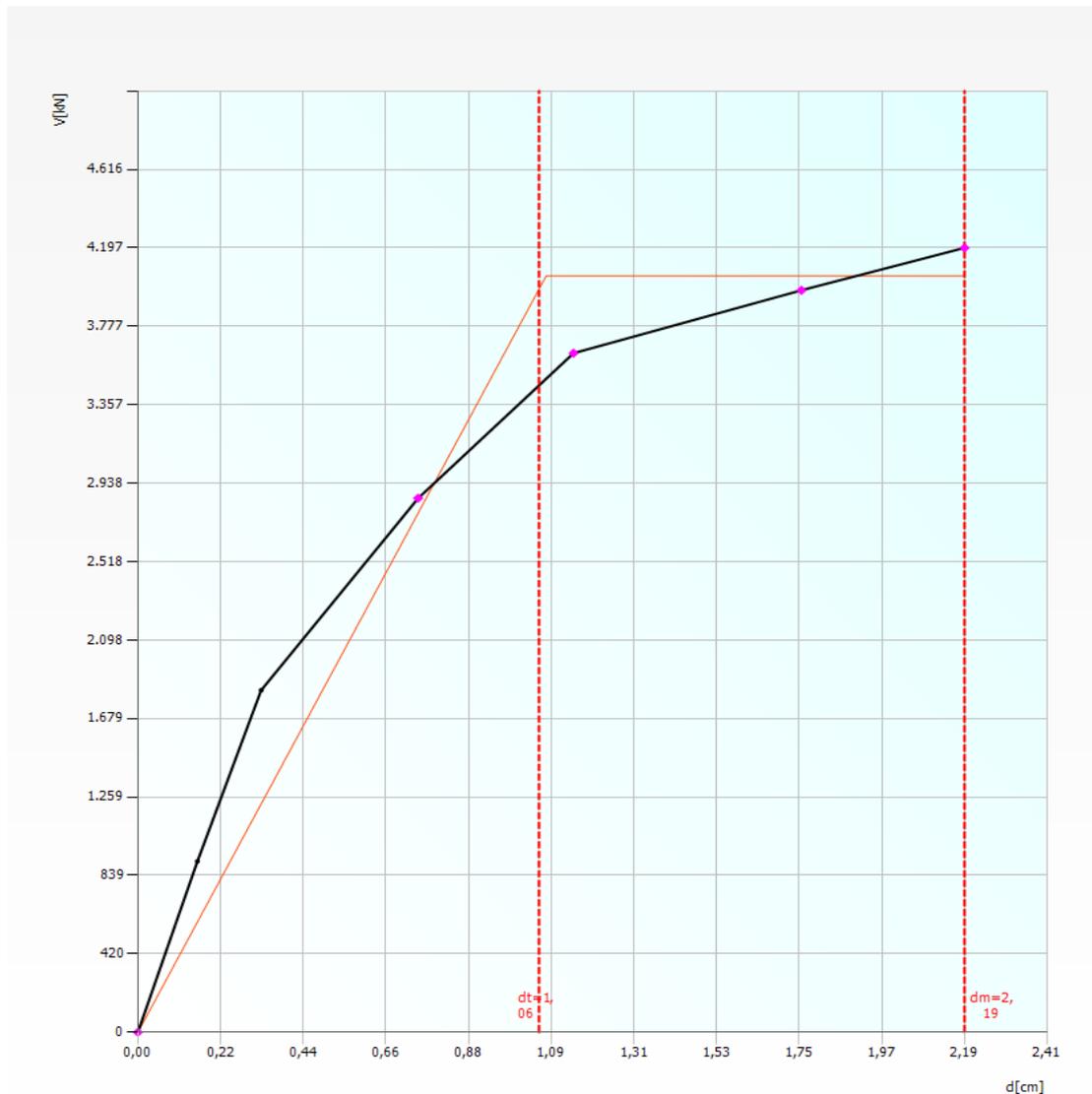
Στο Σχήμα 5.2 η καμπύλη ικανότητας με βάση το σενάριο 17 όπου υπάρχει φόρτιση κατά τη διεύθυνση +Y και εκκεντρότητα στο φορτίο της τοιχοποιίας κατά +70,29 cm



Σχήμα 5.2- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας για σενάριο 17 υφιστάμενης κατάστασης και κόμβος 4

Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αποτυπώνει την απαιτούμενη μετακίνηση που προκύπτει μετά από υπολογισμούς με βάση τον EN-1998, η οποία είναι $dt=0,98$ cm. Η μπλε κατακόρυφη γραμμή αποτυπώνει την αστοχία του φορέα στη μέγιστη μετακίνηση $dm=2,4$ cm και σε τέμνουσα βάσης $V=3.663$ kN. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, μπορεί να επισημανθεί ότι η ελαστική φάση παραμόρφωσης της κατασκευής είναι σχετικά μικρή καθώς παρατηρείται αλλαγή της κλίσης της καμπύλης σχετικά νωρίς. Στη συνέχεια παρατηρείται ταυτόχρονη αύξηση της δύναμης και της μετατόπισης μέχρις ότου σταθεροποιηθεί για λίγο η τέμνουσα βάσης και ο φορέας εισέλθει στη πλαστική φάση παραμόρφωσης, η οποία θα είναι σύντομη καθώς έπειτα φτάνει σε αστοχία.

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας με βάση το σενάριο 14 όπου υπάρχει φόρτιση κατά τη διεύθυνση $-X$ και εκκεντρότητα στο φορτίο της τοιχοποιίας κατά $-76,15$ cm



Σχήμα 5.3- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας για σενάριο 14 υφιστάμενης κατάστασης και κόμβος 4

Παρατηρείται ότι στη κατεύθυνση $-X$ υπάρχει αύξηση της τέμνουσα βάσης κατά 500 kN . Επιπλέον πρέπει να επισημανθεί ότι στη υφισταμένη κατάσταση, οι τοιχοποιίες του φορέα έχουν αρκετά μικρό μέτρο ελαστικότητας και συνεπώς η ελαστική φάση διαρκεί λίγο. Όπως διακρίνεται κι από το σχήμα, κατά τη διάρκεια της φόρτισης η καμπύλη περνάει από τη ελαστική φάση παραμόρφωσης σε αστοχία καθώς το υλικό δεν παραμορφώνεται περισσότερο.

5.2 Αποτελέσματα από Κόμβο Ελέγχου 24

5.2.1 Συνοπτική Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Στον Πίνακα 5.3 παρουσιάζονται τα συνοπτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση του φορέα σε υφιστάμενη κατάσταση με βάση το κόμβο ελέγχου 24.

Πίνακας 5.3- Πίνακας Αποτελεσμάτων σε υφιστάμενη κατάσταση με βάση τον κόμβο ελέγχου 24

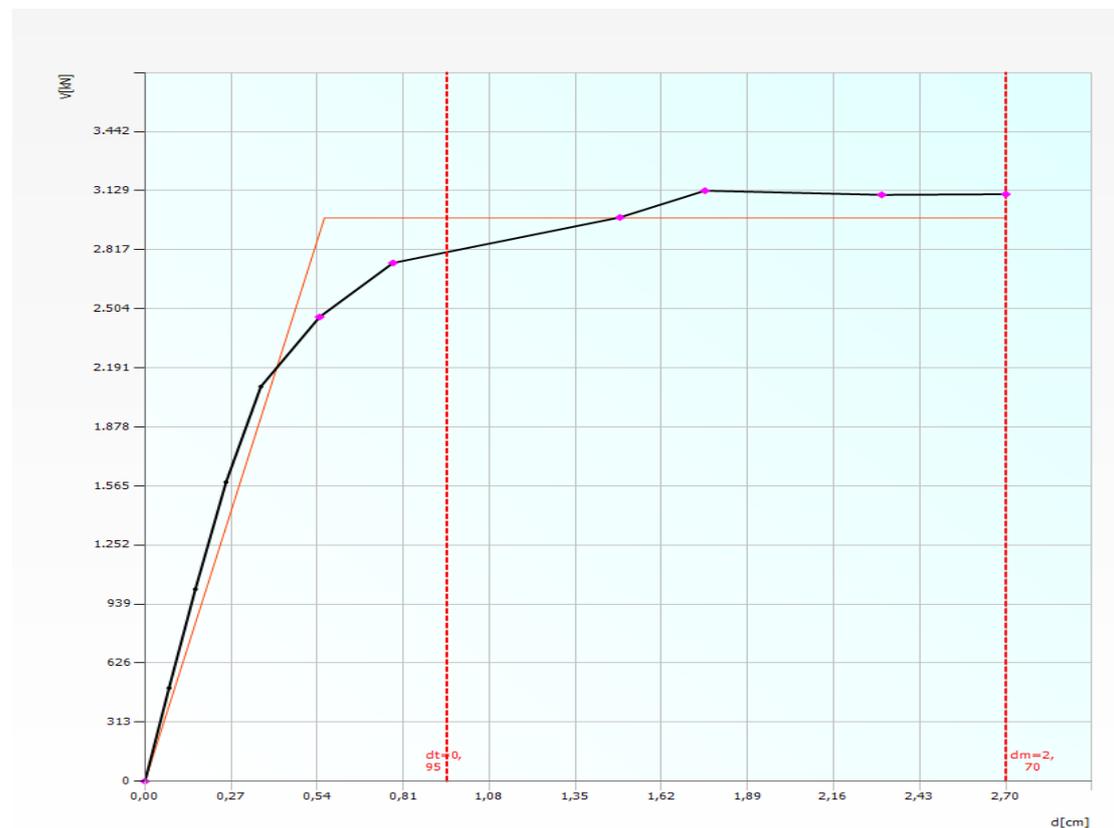
Ελεγχος ανάλυσης											
No.	Εισαγωγή στο τεύχος	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	κκεντρότητα [cm]	dt NC [cm]	dm NC [cm]	dt SD [cm]	dm SD [cm]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,00	1,30	1,38	0,80	1,03	1,036	1,289	1,062
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,74	2,12	1,76	1,59	0,774	0,906	0,774
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,00	1,69	2,41	1,07	1,81	1,285	1,633	1,426
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,55	2,70	1,50	2,02	1,047	1,283	1,059
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,00	0,99	3,40	0,42	2,55	2,491	3,066	3,434
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,54	7,70	0,86	5,78	4,251	5,047	5,000
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,00	1,02	5,83	0,44	4,37	3,964	4,783	5,716
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,59	44,76	0,89	33,57	23,308	27,340	28,151
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,15	1,32	13,70	0,74	10,28	6,880	8,196	10,379
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,15	2,31	2,80	1,48	2,10	1,212	1,419	1,212
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	2,05	1,65	1,31	1,24	0,804	0,941	0,805
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	3,60	3,22	2,28	2,42	0,896	1,059	0,894
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,15	1,29	2,06	0,72	1,54	1,367	1,747	1,597
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,15	1,84	4,78	1,04	3,59	2,173	2,646	2,598
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	2,29	11,92	1,29	8,94	4,455	5,282	5,205
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	3,11	4,24	1,90	3,18	1,338	1,594	1,363
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,29	0,93	1,75	0,47	1,31	1,486	1,916	1,882
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,29	1,08	6,56	0,50	4,92	4,397	5,273	6,074
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	1,49	168,63	0,81	126,47	88,399	103,512	113,174
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,61	6,10	0,93	4,57	3,339	3,968	3,789
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,29	0,95	2,70	0,47	2,02	2,034	2,552	2,842
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,29	1,12	8,28	0,53	6,21	5,421	6,464	7,393
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	1,52	15,36	0,81	11,52	7,996	9,446	10,105
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,60	9,50	0,91	7,12	5,116	6,050	5,938

Παρατηρείται ότι η ανάλυση με βάση τον κόμβο ελέγχου 24 ο οποίος βρίσκεται στο νοτιοδυτικό τμήμα της κάτοψης του ορόφου, εμφανίζει πανομοιότυπα αποτελέσματα με την ανάλυση που πρόκυψε από τον κόμβο ελέγχου 4, όσον αφορά την ικανοποίηση των σεναρίων αλλά και τις μέσες μετατοπίσεις των κόμβων της στάθμης 3. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, υπάρχει προβληματική συμπεριφορά της κατασκευής στη κατεύθυνση φόρτισης +X καθώς δεν ικανοποιούνται τα σενάρια 2,11,12. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι ο τρόπος κατασκευής του φορέα κυρίως στη δυτική του πτέρυγα εμφανίζει μη κανονικό σε κάτοψη σχήμα καθώς και αρκετές εσοχές-‘σπασίματα’ τα οποία σύμφωνα με τη κατασκευαστική εμπειρία δεν βοηθούν στην αντιμετώπιση της σεισμική φόρτισης. Γίνεται κατανοητό επομένως από δυο διαφορετικές αναλύσεις ότι η κατασκευή εμφανίζει προβλήματα δυσκαμψίας κατά τη διεύθυνση X τα οποία θα πρέπει να επιλυθούν.

Επιπροσθέτως, αξιοσημείωτη είναι η μετατόπιση και αντίστοιχα ο συντελεστής α που παρουσιάζονται στο σενάριο 19 (επιλεγμένο με μπλε ένδειξη) αλλά και στο σενάριο 8. Η διαφορά στη τάξη μεγέθους της απαιτούμενης και της μέγιστης μετακίνησης που προκύπτει από την επιλογή του κόμβου ελέγχου. Συνεπώς με μια διαφορετική επιλογή κόμβου είναι πολύ πιθανό στο σενάριο 19 , οι μετατοπίσεις να εμφανίζονται διαφορετικές , γεγονός που γίνεται κατανοητό από τους πίνακες αποτελεσμάτων της ενότητας 5.1. Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για μια αριθμητική ανωμαλία που σχετίζεται καθαρά με τις επιλογές του μελετητή μηχανικού κι όχι με τις πραγματικές δυνατότητες μετακίνησης της κατασκευής.

5.2.2 Διαγράμματα Καμπύλης Ικανότητας

Στο Σχήμα 5.4 παρουσιάζεται η καμπύλη ικανότητας με βάση το σενάριο 21 όπου υπάρχει φόρτιση κατά τη διεύθυνση $-Y$ και εκκεντρότητα στο φορτίο της τοιχοποιίας κατά $+70,29$ cm.



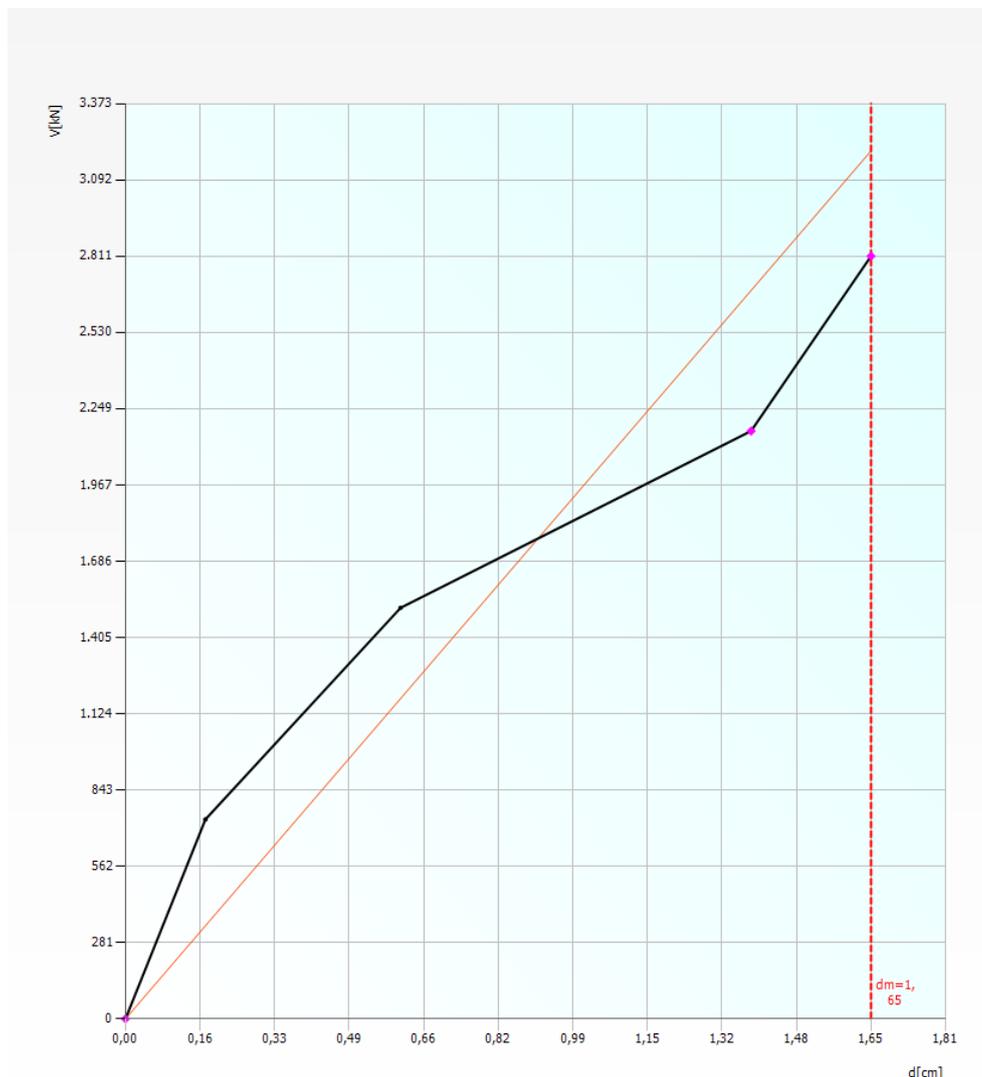
Σχήμα 5.4- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας για σενάριο 21 υφιστάμενης κατάστασης και κόμβος 24

Σε σύγκριση με το Σχήμα 5.2 όπου παρουσιάζεται διάγραμμα καμπύλης ικανότητας στη κατεύθυνση $-Y$, παρατηρείται ότι στο Σχήμα 5.4 εμφανίζεται μειωμένη η τιμή της δύναμης τέμνουσας βάσης στη οποία επέρχεται η αστοχία του φορέα.

Συγκεκριμένα υπάρχει διαφορά της τάξης των 400 kN. Η πορεία της καμπύλης παραμένει όμοια σε σχέση με τα προηγούμενα διαγράμματα που εξετάστηκαν στις προηγούμενες ενότητες δηλαδή εμφανίζει τη τυπική μορφή ελαστικής και πλαστικής παραμόρφωσης που περιεγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες.

Τέλος, θα παρουσιαστεί ένα διάγραμμα καμπύλης ικανότητας από σενάριο που δεν ικανοποιείται η απαίτηση ασφαλείας και δεν επιτυγχάνεται η απαιτούμενη μετακίνηση προκειμένου να υπάρξει σαφής εικόνα της διαφοράς που θα επέλθει εξαιτίας των δομικών επεμβάσεων που θα προταθούν στο Κεφάλαιο 6.

Στο Σχήμα 5.5 η καμπύλη ικανότητας με βάση το σενάριο 11 όπου υπάρχει φόρτιση κατά τη διεύθυνση +X και εκκεντρότητα στο φορτίο της τοιχοποιίας κατά +76,15 cm.

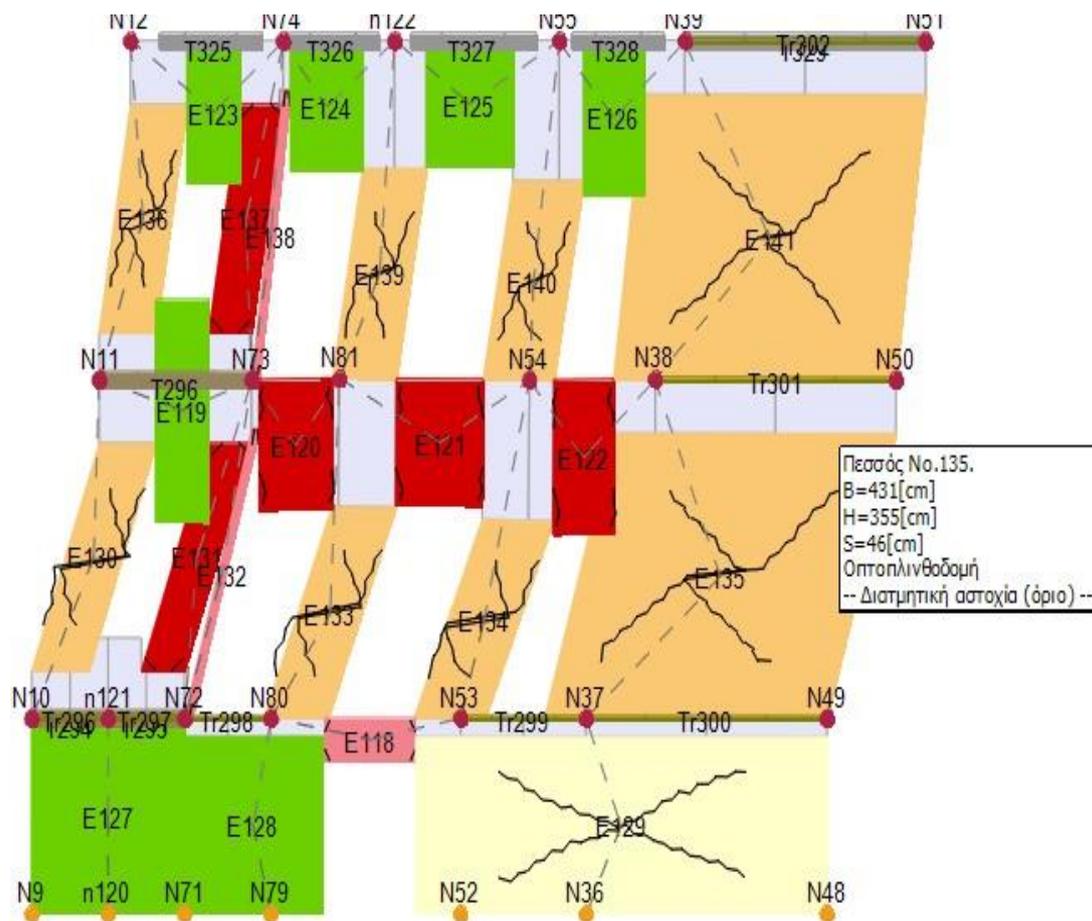


Σχήμα 5.5- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας σεναρίου 12 και κόμβος 24

Είναι εμφανές από το Σχήμα 5.5 ότι ο φορέας δεν φτάνει στην επιζητούμενη μετακίνηση η οποία είναι $dt=2,05$ cm ενώ η μέγιστη μέση μετακίνηση που μπορεί να αποδώσει η κατασκευή στην υφιστάμενη κατάσταση είναι $dm=1,65$ cm . Επιπλέον,

διακρίνεται ότι λόγω ψαθυρότητας του υλικού, η καμπύλη παρουσιάζει πλήρως ελαστική συμπεριφορά.

Στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η κατάσταση της κεντρικής τοιχοποιίας, κατά το τελευταίο βήμα της ανάλυσης. Η τοιχοποιία βρίσκεται στο κέντροκέντρο της κατασκευής και είναι παράλληλη στη διεύθυνση X. Είναι εμφανής η παραμόρφωση των στοιχείων της τοιχοποιίας ενώ επίσης υπάρχει χρωματισμός των στοιχείων ανάλογα με το μέγεθος και το είδος της ζημιάς που έχουν υποστεί εξαιτίας της σεισμικής φόρτισης.



Σχήμα 5.6- Όψη κεντρικής τοιχοποιίας σε αστοχία του σεναρίου 11

Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται τα στοιχεία όπου δεν έχουν υποστεί βλάβες. Με έντονο κόκκινο τα στοιχεία στα οποία έχει προκληθεί αστοχία λόγω ροπής κάμψης. Βλέπουμε ότι πέρα από τους πεσσούς E131 και E137, τα στοιχεία E120-122 έχουν αστοχήσει ενώ το E118 είναι σε οριακό σημείο. Επομένως παρατηρούνται προβλήματα στα υπέρθυρα της κατασκευής. Έπειτα με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται τα στοιχεία όπου βρίσκονται στο όριο της διατμητικής τους αντοχής προτού επέλθει η αστοχία.

6 Προτεινόμενες Ενισχύσεις

Στο παρόν Κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των μεθόδων ενίσχυσης της κατασκευής. Προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη αντοχή του συγκεκριμένου κτίσματος αλλά και η ανάδειξη τους σε πολιτιστικό κέντρο της κοινότητας, είναι απαραίτητες σημαντικές επεμβάσεις που θα βελτιώσουν σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια της κατασκευής. Προτού ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις για τις δομικές ενισχύσεις, λήφθηκε υπόψιν η σημασία του φορέα ως αρχιτεκτονικά προστατευόμενο μνημείο και επομένως αποφεύχθηκαν λύσεις που είναι μη αναστρέψιμες και ταυτόχρονα υλικά ασύμβατες με το είδος και το τύπο της κατασκευής. Συνεπώς, δεδομένων των προβλημάτων που εμφανίστηκαν κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του φορέα, προτείνονται οι παρακάτω εργασίες ενίσχυσης :

- Βαθύ Αρμολόγημα σε όλη την τοιχοποιία
- Ενίσχυση των υπερθύρων (ανώφλια) με προσθήκη μεταλλικής διατομής UPN ενισχύοντας τα υπάρχοντα ξύλινα ανώφλια χωρίς αυτά να αντικατασταθούν.
- Προσθήκη μιας μεταλλικής δοκού σε ασθενές σημείο στη στάθμη 3 της κατασκευής για να ενισχυθεί η διαφραγματική λειτουργία των διαζωμάτων.
- Αλλαγή όλων των ξυλοδεσιών που δεν βρίσκονται σε καλή κατάσταση και αντικατάστασή τους, και αντικατάσταση όλων των ξύλινων δαπέδων.

Στη συνέχεια επεξηγούνται αναλυτικά όλες οι παραπάνω επιλογές ενίσχυσης, ενώ τα διαγράμματα και τα αναλυτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αλλαγές στο μοντέλο προσομοίωσης θα παρουσιαστούν στο Κεφάλαιο 7.

6.1 Βαθύ Αρμολόγημα

Αρμολόγημα ονομάζεται η διαδικασία αντικατάστασης του συνδετικού κονιάματος ανάμεσα στους αρμούς της τοιχοποιίας, με ένα πιο ισχυρό σε αντοχή κονίαμα. Είναι μια πρακτική η οποία ασκείται συνήθως σε παλιές κατασκευές όπου οι τοιχοποιίες τους έχουν υποστεί έντονη διάβρωση και επομένως το κονίαμα χάνει τις μηχανικές τους ιδιότητες. Αποτελεί μια συνήθης πρώτη εργασία αποκατάστασης σε μνημεία που έχουν ως κύριο υλικό τη τοιχοποιία καθώς είναι μια σχετική φθηνή αλλά και ταυτόχρονα αποτελεσματική λύση. Ο πρόσθετος όρος 'βαθύ', έχει να κάνει με το πάχος της τοιχοποιίας, όπου το συνδετικό κονίαμα θα αφαιρεθεί και θα αντικατασταθεί από καινούργιο (Καραντώνη, 2012).

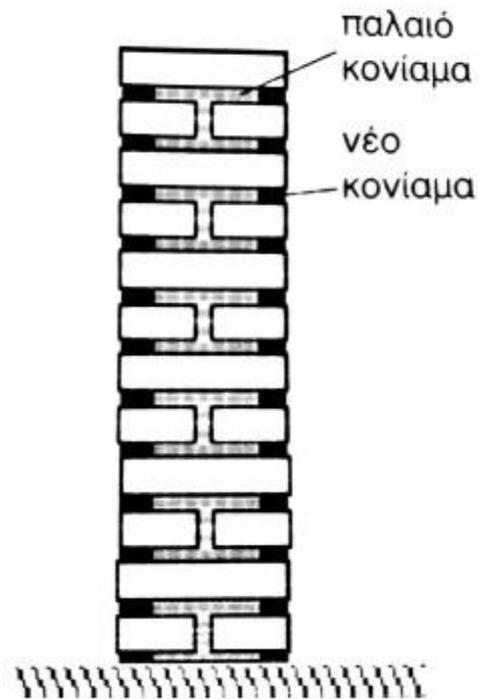
Η αφαίρεση του παλιού κονιάματος μπορεί να επιτευχθεί είτε χειρωνακτικά είτε με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα ή νερού (βλ. Σχήμα 6.1). Η επιλογή έχει να κάνει με το διαθέσιμο χρόνο εργασιών αλλά και με τη κατάσταση στην οποία βρίσκεται η τοιχοποιία στο σύνολο της.



Σχήμα 6.1- Διαδικασία αφαίρεσης του παλιού κονιάματος με τη βοήθεια νερού υπό πίεση

Είναι αναμενόμενο ότι το κονίαμα δεν μπορεί να αντικατασταθεί εξ' ολοκλήρου κατά πάχος της τοιχοποιίας. Το μέγιστο βάθος αντικατάστασης δε μπορεί να ξεπερνά τα επτά εκατοστά σε κάθε πλευρά της τοιχοποιίας (Σχήμα 6.2). Αυτό σημαίνει ότι σε ένα τείχος πάχους 30 εκατοστών ένα ποσοστό της τάξης του 50% θα έχει πολύ χαμηλότερη αντοχή από το καινούργιο ενισχυμένο κονίαμα που θα πληρώσει τους αρμούς. Συνεπώς επιλέγοντας μια αντοχή ποιότητας M15 ως καινούργιο συνδετικό υλικό και έχοντας ήδη υποθέσει αντοχή M1, καταλήγουμε στο ότι η νέα αντοχή της περιμετρικής τοιχοποιίας θα προσδιορίζεται από κονίαμα αντοχής M5. Επιπλέον σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα, κάποιες κατηγορίες αντοχής

κονιαμάτων δεν μπορούν να συνδυαστούν με συγκεκριμένους τύπους τοιχοσωμάτων όπως είναι οι φυσικά κατεργασμένοι λίθοι.



Σχήμα 6.2- Ενδεικτική τομή τοιχοποιίας κατά τη διάρκεια αρμολογήματος (Καραντώνη, 2012)

Τύπος Τοιχοποιία	
Όνομα	Λιθοδομή
Χρώμα υλικού	
Μοτίβο	
E [N/mm ²]	2579,24
G [N/mm ²]	1031,7
w [kN/m ³]	26
f _m [N/mm ²]	3,68
f _{m0} [N/mm ²]	0,14
f _{vlm} [N/mm ²]	0,6
f _k [N/mm ²]	2,58
FC	1,35
γ _m	3
Μετακίνηση από τέμ...	0,004
Μετακίνηση από κάμψη	0,008
φ ∞	0

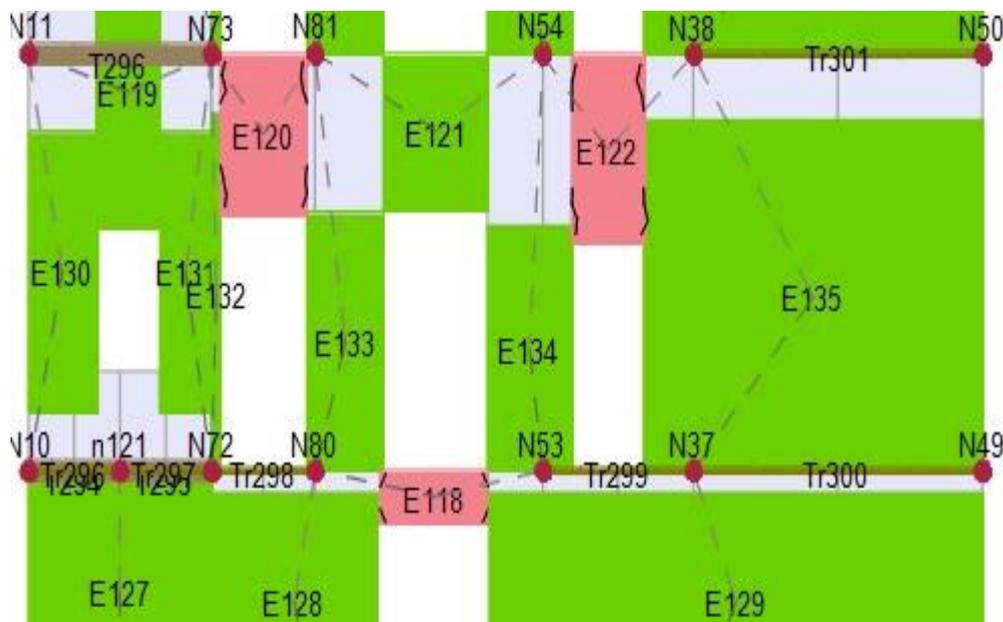
Σχήμα 6.3-Νέα μηχανικά χαρακτηριστικά λιθοδομής έπειτα από αρμολόγηση

Στο Σχήμα 6.3 παρουσιάζονται τα νέα μηχανικά χαρακτηριστικά της λιθοδομής μετά από το βαθύ αρμολόγημα. Είναι ενδεικτική η αύξηση που επήλθε στο μέτρο ελαστικότητας κατά 500 MPa, γεγονός που θα επηρεάσει σημαντικά τη δυσκαμψία του κτηρίου καθώς και τη σεισμική του συμπεριφορά

6.2 Ενίσχυση υπερθύρων

Σε όλα τα ανοίγματα της κατασκευής έχουν τοποθετηθεί οριζόντιες ξύλινες δοκοί στο πάνω μέρος. Τα ανώφλια όπως είναι ευρέως γνωστά, έχουν ανάγκη από μέτρα στήριξης κατά της καμπτικής αστοχίας. Παρ' όλα αυτά η εμπειρία τεχνητών και μηχανικών στις κατασκευές από τοιχοποιία, έχει δείξει ότι το ξύλο ως υλικό ενίσχυσης παύει να είναι αποτελεσματικό λόγω της τρωτότητας του στην έκθεση στο περιβάλλον αλλά και λόγω τη μειωμένης αντοχής του σε σχέση με τον δομικό χάλυβα.

Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης της υφιστάμενης κατάστασης, έγινε αντιληπτό το πρόβλημα που εμφανίζεται σχεδόν σε όλα τα υπέρθυρα της κατασκευής λόγω αδυναμίας διαχείρισης της καμπτικής ροπής που τους επιβάλλεται. Ήδη από το πρώτο βήμα της ανελαστικής ανάλυσης παρατηρείται ότι τα ανώφλια καμπτικές βλάβες ικανές ώστε να οδηγήσουν ολόκληρη τη τοιχοποιία σε αστοχία. Λύση σε αυτό το πρόβλημα αποτελεί η ενίσχυση των ανοιγμάτων είτε με στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα είτε με διατομές δομικού χάλυβα. Για την επίλυση του προβλήματος αποφασίστηκε η χρήση διατομών τύπου UPN (βλ. Σχήμα 6.5)ως ενίσχυση του άνω μέρους των ανοιγμάτων .



Σχήμα 6.4- Καμπτικές βλάβες στα υπέρθυρα

Στο Σχήμα 6.4 παρουσιάζεται ένας τοίχος της κατασκευής σε αρχικό στάδιο φόρτισης. Με ροζ χρώμα διακρίνονται τα υπέρθυρα στοιχεία E118, E120, E122 που παρουσιάζουν καμπτικές βλάβες ακόμα και υπό μικρά σχετικά φορτία. Η εικόνα αυτή είναι ενδεικτική για το σύνολο της κατασκευής όπου παρατηρούνται παρόμοιας φύσεως προβλήματα στα αρχικά βήματα της Pushover ανάλυσης.



Σχήμα 6.5- Διατομές τύπου UPN (ΣΙΑΕΝΟΡ, 2019)



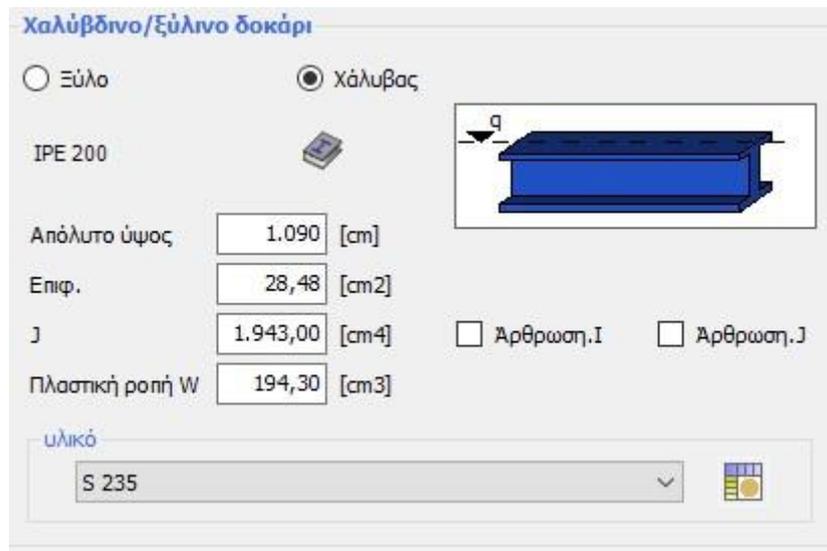
Σχήμα 6.6- Τρισδιάστατη τομή της τοιχοποιίας και τοποθέτηση της διατομής UPN στο υπέρθυρο

6.3 Εισαγωγή Μεταλλικής Διατομής σε ασθενές σημείο

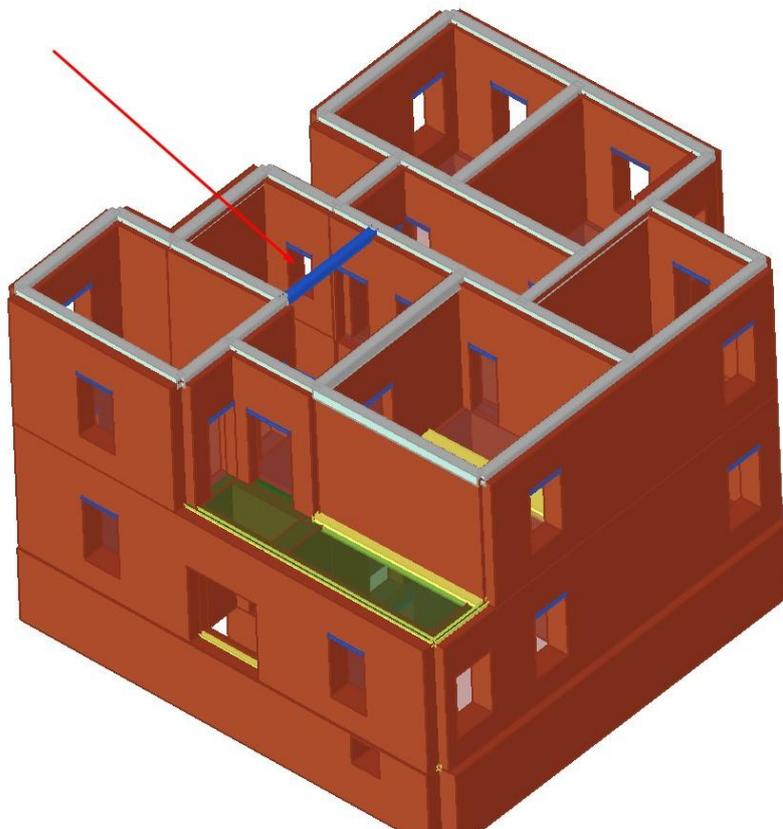
Οι μέθοδοι ενίσχυσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αποδείχθηκαν αποτελεσματικές στη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του κτηρίου. Όμως κάποια από τα σενάρια της ανάλυσης συνεχίζουν να μη ικανοποιούνται και επομένως έπρεπε να ληφθούν πρόσθετα μέτρα επεμβάσεων. Η λογική που κυριαρχεί στην εν λόγω ενίσχυση, σχετίζεται με τη προβληματική λειτουργία του δυτικού κομματιού της κατασκευής που παρατηρήθηκε κατά την ανασκόπηση των σεναρίων των προηγούμενων αναλύσεων. Αυτό θα μπορούσε να αποδοθεί στη μη κανονικότητα της κάτοψης του φορέα καθώς και στη δημιουργία εσοχών στη δυτική πλευρά.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια, η διαφραγματική λειτουργία της κατασκευής σε όλες τις στάθμες και κυρίως στη στάθμη του ορόφου είναι πολύ σημαντική για την αντιμετώπιση της εδαφικής διέγερσης. Συνεπώς έγινε προσπάθεια βελτίωσης της διαφραγματικής λειτουργίας στη σημείο του κλιμακοστασίου, με τη προσθήκη μια μεταλλικής διατομής IPE200 (βλ.Σχήμα 6.7), η οποία θα ενώνει το αποκομμένο από τον υπόλοιπο φορέα (στα πλαίσια του διαφράγματος) νοτιοδυτικό δωμάτιο (βλ Σχήμα 6.8). Κατά αυτόν τον τρόπο θα ενισχυθεί η συνοχή που πρέπει να παρουσιάζει ο φορέας ενώ επίσης δεν καλύπτεται η είσοδος/έξοδος στο κλιμακοστάσιο. Η μεταλλική διατομή μπορεί να αγκυρωθεί πάνω

στο ήδη υπάρχον διάζωμα οπλισμένου σκυροδέματος που κατασκευάστηκε πριν μερικά χρόνια για τη στήριξη της πολυκλινούς στέγης.



Σχήμα 6.7-Διατομή πρόσθετης μεταλλικής δοκού τύπου IPE200



Σχήμα 6.8-Υπόδειξη ασθενούς σημείου και εισαγωγή μεταλλικής δοκού IPE200



6.4 Αντικατάσταση ξυλοδεσιών και Πατωμάτων

Οι προηγούμενες μέθοδοι ενισχύσεων αποτελούν κρίσιμες παρεμβάσεις που είναι απαραίτητες προκειμένου να εξασφαλιστεί η αντοχή και η λειτουργικότητα του φορέα καθώς και η επιθυμητή αλλαγή χρήσης του. Η αντικατάσταση των ξύλινων διαζωμάτων καθώς και η αντικατάσταση των κατεστραμμένων τμημάτων των ξύλινων δαπέδων, και του κλιμακοστασίου κρίνονται αναγκαίες.

Έχει παρατηρηθεί ότι η ύπαρξη οριζοντίων είτε κατακόρυφων διαζωμάτων παίζει καθοριστικό παράγοντα στη σεισμική απόκριση των κατασκευών. Ο φορέας όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, διαθέτει 3 διαφορετικά διαζώματα σε 3 διαφορετικές στάθμες. Το διάζωμα οπλισμένου σκυροδέματος το οποίο έχει κατασκευαστεί στη κορυφή της στάθμης 3 παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη σεισμική απόκριση του φορέα. Το ίδιο θα μπορούσε να θεωρηθεί και για τα διαζώματα από ξύλο που βρίσκονται ανάμεσα στη στάθμες 1-2 και 2-3 και προσθέτουν στο οικοδόμημα την ιδιότητα του εγκιβωτισμού. Όμως λόγω της μεγάλης τους ηλικίας και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι σημαντικό να ελεγχθούν και να αντικατασταθούν με καινούρια ξύλινα δομικά στοιχεία δεδομένων μηχανικών ιδιοτήτων.

7 Αποτελέσματα επεμβάσεων – Ενισχυμένη Κατάσταση

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων έπειτα από την χρησιμοποίηση των μεθόδων ενίσχυσης που αναφέρθηκαν προηγουμένως (πλην της παραγράφου 6.4). Μετά την επιβολή των δομικών ενισχύσεων, ο φορέας απέκτησε πλήρως ικανοποιητική συμπεριφορά απέναντι στις σεισμικές φορτίσεις. Όλες οι αλλαγές που προτάθηκαν στο Κεφάλαιο 6, αποδείχτηκαν καθοριστικές στην επίτευξη των απαιτούμενων μετακινήσεων. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί η επιλογή του κόμβου 4 ως του κύριου κόμβου εξαγωγής συμπερασμάτων. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.9.2, η επιλογή του κόμβου ελέγχου είναι πολύ σημαντική καθώς υπάρχουν διαφορετικά αποτελέσματα στα πλαίσια της ικανοποίησης των σεναρίων φόρτισης. Ο κόμβος 4 συνεπώς επιλέχθηκε διότι συγκλίνει σε πιο ρεαλιστικά αριθμητικά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό όμως δεν προεξοφλεί τη επιλογή του κόμβου 24 ως λάθος καθώς πρόκειται επίσης για έναν κόμβο σε στοιχείο με πρώιμη αστοχία όπως και ο κόμβος 4.

7.1 Αποτελέσματα μετά από βαθύ αρμολόγημα

Η κατασκευή αναλύθηκε μετά από βαθύ αρμολόγημα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1. Στον Πίνακα φαίνονται οι 24 διαφορετικές επιλύσεις που έγιναν σε δύο ομάδες των 12 βάσει του τύπου της

φόρτισης (ιδιομορφικής ή κατανομής μαζών). Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται οι απαιτούμενες μετακινήσεις σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 καθώς και οι μέγιστες δυνατές μετατοπίσεις του φορέα για όλα τα σενάρια και για τις δυο οριακές καταστάσεις που εξετάζονται (NC , SD). Επιπλέον εμφανίζονται οι συντελεστές ικανοποίησης α που ορίστηκαν στη Παράγραφο 5.1.1 καθώς και το είδος ,η κατεύθυνση και η εκκεντρότητα της φόρτισης .

Πίνακας 7.1- Συνοπτικός πίνακας αποτελεσμάτων μετά από αρμολόγημα και με βάση τον κόμβο 4

Έλεγχος ανάλυσης

No.	Εισαγωγή στο τεύχος	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	εκκεντρότητα [cm]	dt NC [cm]	dm NC [cm]	dt SD [cm]	dm SD [cm]	α NC	α SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,00	0,66	2,31	0,42	1,73	2,116	2,735	3,500
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,28	1,00	0,82	0,75	0,781	0,914	0,781
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,00	1,23	3,08	0,75	2,31	1,869	2,352	2,504
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	2,00	3,27	1,14	2,45	1,484	1,830	1,635
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,00	0,76	2,94	0,41	2,21	2,392	3,001	3,868
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,37	3,95	0,67	2,96	2,314	2,824	2,883
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,00	0,77	4,92	0,45	3,69	3,518	4,325	6,390
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,52	4,89	0,79	3,67	2,538	3,088	3,217
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,15	1,16	1,43	0,74	1,07	1,236	1,446	1,233
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,15	0,65	1,03	0,42	0,77	1,249	1,696	1,585
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	1,62	1,40	0,86	1,05	0,901	1,166	0,864
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	1,34	1,54	0,79	1,16	1,094	1,431	1,149
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,15	1,24	2,62	0,68	1,96	1,681	2,120	2,113
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,15	0,88	2,13	0,56	1,60	1,678	2,167	2,420
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	2,14	2,99	1,19	2,24	1,314	1,616	1,397
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	1,86	2,73	1,10	2,05	1,338	1,675	1,468
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,29	2,58	3,59	1,66	2,69	1,391	1,628	1,391
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,29	0,82	3,79	0,38	2,84	2,943	3,625	4,622
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	2,05	3,09	1,21	2,32	1,382	1,713	1,507
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,41	4,94	0,71	3,70	2,821	3,408	3,504
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,29	0,79	3,77	0,49	2,83	2,729	3,405	4,772
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,29	0,84	6,91	0,44	5,18	4,698	5,686	8,226
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	1,82	4,20	1,06	3,15	1,938	2,379	2,308
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,55	7,92	0,78	5,94	3,972	4,756	5,110

Παρατηρείται ότι ήδη υπάρχει ικανοποίηση 4 σεναρίων που δεν ικανοποιούνταν στην υφιστάμενη κατάσταση. Πρόκειται για τα σενάρια 1,9,10,12 στα οποία η αλλαγή κονιάματος ήταν καθοριστική ώστε καλυφθούν οι απαιτούμενες μετακινήσεις. Επιπλέον υπήρξε βελτίωση των συντελεστών α ακόμη και στα υπόλοιπα σενάρια που ήδη ικανοποιούνταν οι απαιτούμενες μετακινήσεις.



7.2 Αποτελέσματα ύστερα από τη προσθήκη μεταλλικών διατομών

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα τελικά αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν σε συνέχεια της προσθήκης μεταλλικών διατομών UPN80 στα ανώφλια καθώς και μια διατομή IPE200 στην στάθμη 3. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω οι αλλαγές αυτές οδήγησαν στο ζητούμενο αποτέλεσμα το οποίο είναι η συνολική βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς.

Ακολουθεί ο Πίνακας 7.2 όπου παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης με βάση τον κόμβο 4 ύστερα από τη προσθήκη των προαναφερθέντων μεταλλικών διατομών:

Πίνακας 7.2- Συνοπτικός Πίνακας Τελικών Αποτελεσμάτων με βάση τον κόμβο ελέγχου

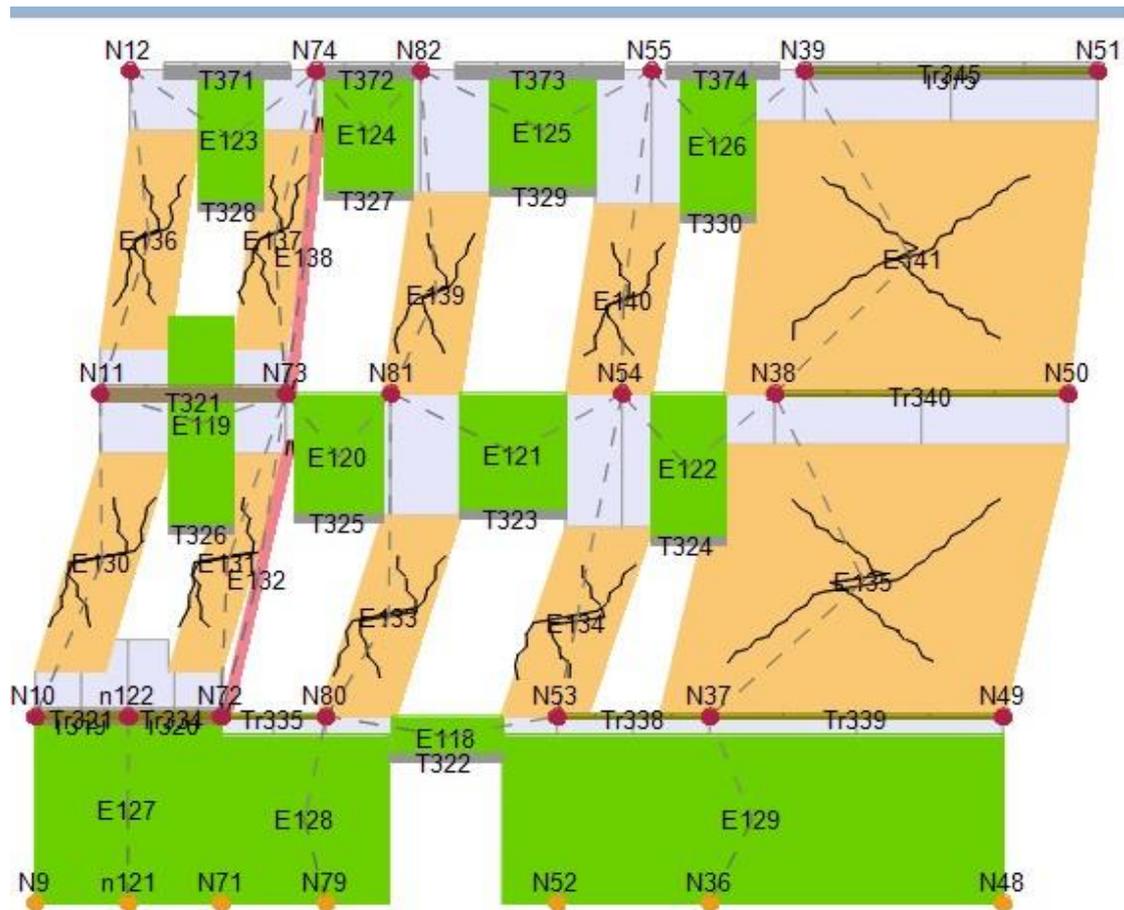
4

Ελεγχος ανάλυσης

No.	Εισαγωγή στο τεύχος	Κατεύθυνση σεισμού	Σεισμική δύναμη	κκεντρότητα [cm]	dt NC [cm]	dm NC [cm]	dt SD [cm]	dm SD [cm]	a NC	a SD	dm/dt NC
1	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	0,00	0,62	1,79	0,40	1,34	1,870	2,465	2,887
2	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	0,98	1,85	0,59	1,39	1,465	1,902	1,888
3	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	0,00	1,16	2,18	0,75	1,64	1,513	1,958	1,879
4	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,82	2,79	1,09	2,09	1,376	1,722	1,533
5	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	0,00	0,60	3,35	0,33	2,51	2,932	3,657	5,583
6	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	1,81	4,78	0,97	3,59	2,209	2,687	2,641
7	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	0,00	2,85	4,58	1,83	3,44	1,567	1,882	1,607
8	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	0,00	4,86	6,70	3,12	5,02	1,377	1,611	1,379
9	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	76,15	0,59	1,44	0,38	1,08	1,606	2,132	2,441
10	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Μάζες	-76,15	0,59	2,19	0,38	1,64	2,184	2,841	3,712
11	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	1,13	1,25	0,54	0,94	1,064	1,391	1,106
12	<input checked="" type="checkbox"/>	+X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	1,09	2,17	0,70	1,63	1,535	1,980	1,991
13	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	76,15	0,70	1,63	0,35	1,23	1,647	2,129	2,329
14	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Μάζες	-76,15	0,71	19,06	0,45	14,30	12,181	14,493	26,845
15	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	76,15	1,79	2,14	0,99	1,61	1,144	1,443	1,196
16	<input checked="" type="checkbox"/>	-X	Πρώτη ιδιομορφή	-76,15	1,45	2,51	0,90	1,88	1,457	1,852	1,731
17	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	70,29	0,62	3,11	0,40	2,33	2,609	3,296	5,016
18	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Μάζες	-70,29	0,85	4,17	0,46	3,13	2,963	3,661	4,906
19	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	3,68	4,57	2,36	3,43	1,240	1,450	1,242
20	<input checked="" type="checkbox"/>	+Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	1,21	20,53	0,58	15,40	11,991	14,151	16,967
21	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	70,29	2,43	20,20	1,54	15,15	6,750	7,981	8,313
22	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Μάζες	-70,29	1,57	5,66	0,95	4,24	2,682	3,275	3,605
23	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	70,29	3,51	3,93	2,25	2,95	1,120	1,310	1,120
24	<input checked="" type="checkbox"/>	-Y	Πρώτη ιδιομορφή	-70,29	4,28	9,14	2,75	6,86	2,134	2,496	2,136

Είναι φανερό ότι όλα τα σενάρια της ανάλυσης ικανοποιούνται. Παρατηρείται μεγάλη αύξηση στον συντελεστή a του σεναρίου 2 το οποίο και δεν ικανοποιούνταν ακόμη και μετά τη προσθήκη όπου στην υφιστάμενη κατάσταση βρισκόταν στο 0,632 ενώ πλέον μετά τις ενισχύσεις βρίσκεται στο 1,465. Όσον αφορά τα υπόλοιπα σενάρια της ανάλυσης, είναι εμφανές ότι ικανοποιήθηκε πλέον το σενάριο 11 όπου συνέχιζε να μην ικανοποιείται ακόμη και μετά το αρμολόγημα που πραγματοποιήθηκε. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί η περαιτέρω αύξηση που σημειώθηκε στους συντελεστές a των υπόλοιπων σεναρίων.

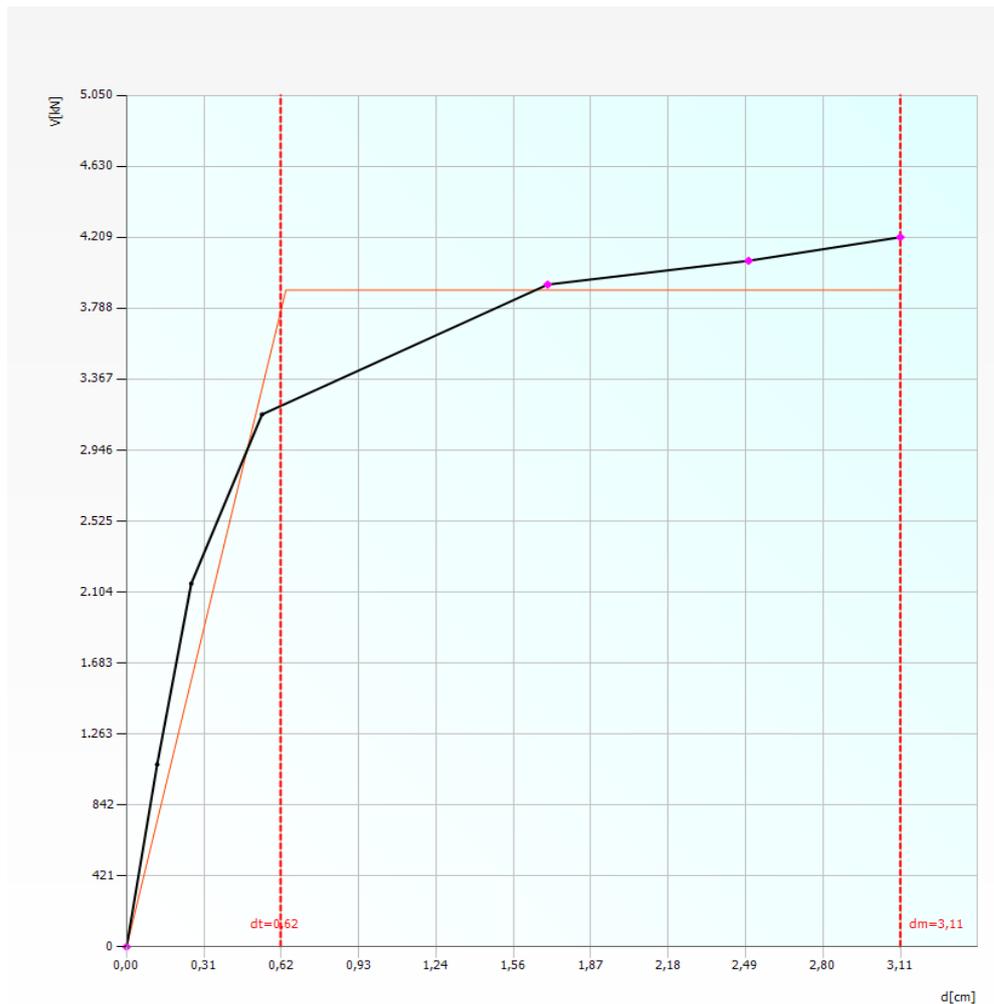
Επιπροσθέτως ένα ακόμη στοιχείο που αξίζει να αναφερθεί, είναι η αποφυγή των βλαβών που προέρχονται από καμπτική ροπή, σε όλα τα υπέρθυρα της κατασκευής. Η ενίσχυση με μεταλλικές διατομές τύπου UPN80 αποδείχτηκε αρκετή προκειμένου να επιλυθούν τα προβλήματα. Χαρακτηριστικό είναι το στιγμιότυπο που ακολουθεί, όπου είναι εμφανής η αποδοτική λειτουργία της ενίσχυσης προς όφελος του στοιχείου τοιχοποιίας ακόμα και κατά τη στιγμή αστοχίας που επέρχεται.



Σχήμα 7.1- Ενίσχυση υπερθύρων με μεταλλικές διατομές τύπου UPN80

Το στιγμιότυπο που εμφανίζεται στο Σχήμα 7.1 λήφθηκε κατά τη στιγμή αστοχίας του φορέα. Είναι εμφανές πώς όλα τα υπέρθυρα στη συγκεκριμένη όψη αλλά και στην υπόλοιπη κατασκευή, παραμένουν χωρίς βλάβη σε αντίθεση με τους πεσσούς της στάθμης 2 και 3 οι οποίοι βρίσκονται σε οριακή κατάσταση διατμητικής αστοχίας.

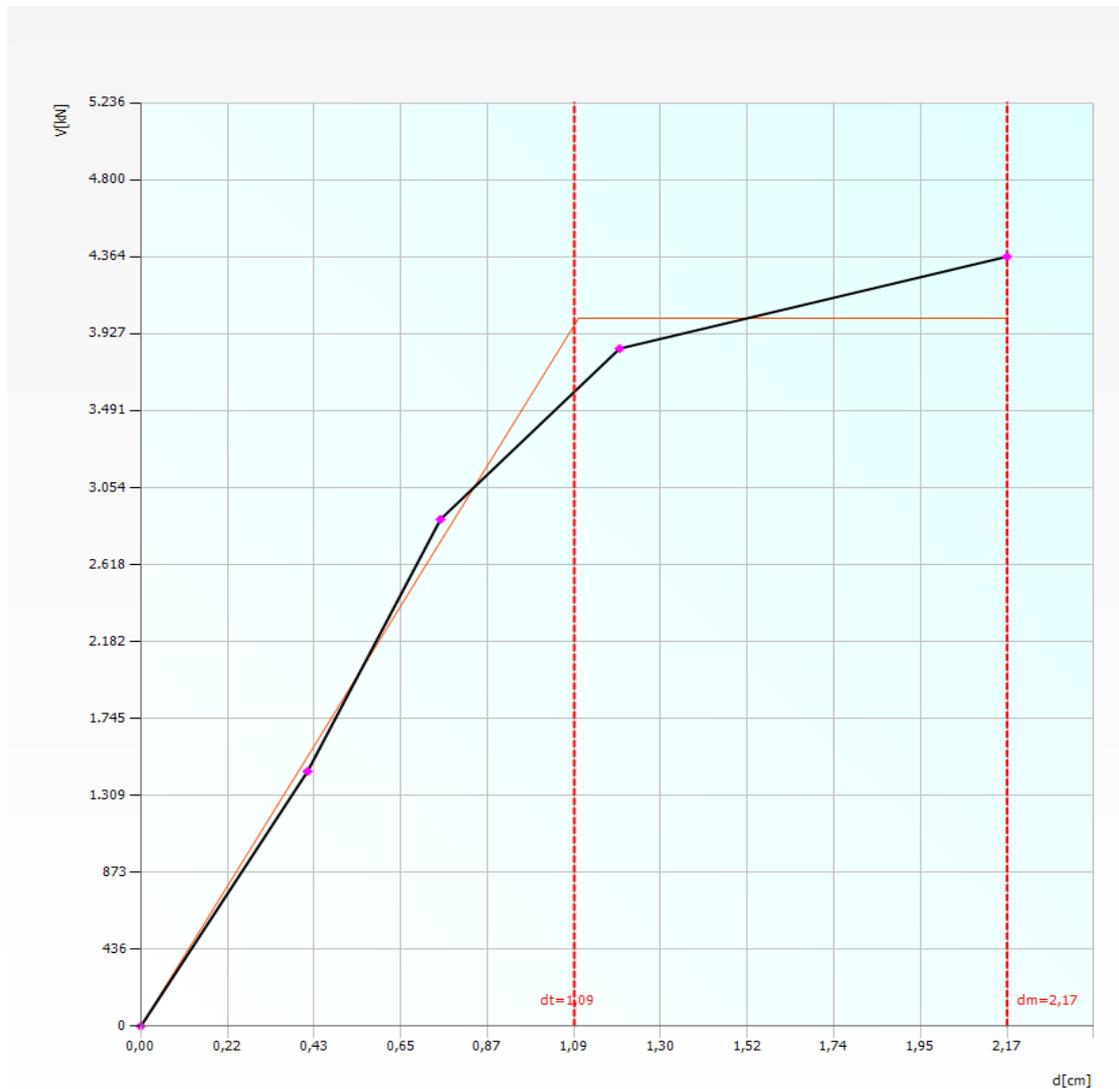
Ακόμα, παρουσιάζονται τα διαγράμματα καμπύλης ικανότητας των σεναρίων 17 και 12 προκειμένου να γίνει σύγκριση της συμπεριφοράς της καμπύλης και της μέγιστης τέμνουσας βάσης, με τα αντίστοιχα διαγράμματα ικανότητας που παρουσιάστηκαν στις παραγράφους 5.1 και 5.2 .



Σχήμα 7.2- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας σεναρίου 17 με βάση την ενισχυμένη κατάσταση και τον κόμβο 4

Στο Σχήμα 7.2 είναι εμφανής η ύπαρξη και των δυο φάσεων της παραμόρφωσης . Παρατηρείται ότι η ελαστική φάση παραμόρφωσης διήρκησε αρκετά και συγκεκριμένα μέχρι τα 3100 kN όπου υπάρχει έντονη αλλαγή στη κλίση της καμπύλης. Στη συνέχεια η πλαστική φάση παραμόρφωση φτάνει μέχρι τα 4269 kN όπου επέρχεται η αστοχία. Πολύ σημαντικό κρίνεται το γεγονός ότι η τέμνουσα βάσης έχει ανέλθει σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση (παράγραφο 5.1.2) κατά 558 kN ενώ έχει παραταθεί η διάρκεια της πλαστικής παραμόρφωσης που εντάσσεται ο φορέας.

Επιπλέον, στο Σχήμα 7.3 παρουσιάζεται το διάγραμμα καμπύλης ικανότητας παραμόρφωσης από το σενάριο 12 στο οποίο υπάρχει σεισμική φόρτιση κατά τη διεύθυνση +X και το οποίο κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης δεν ικανοποιούνταν.



Σχήμα 7.3- Διάγραμμα Καμπύλης Ικανότητας σεναρίου 12 από ανάλυση ενισχυμένης κατάστασης και με βάση τον κόμβο ελέγχου 4

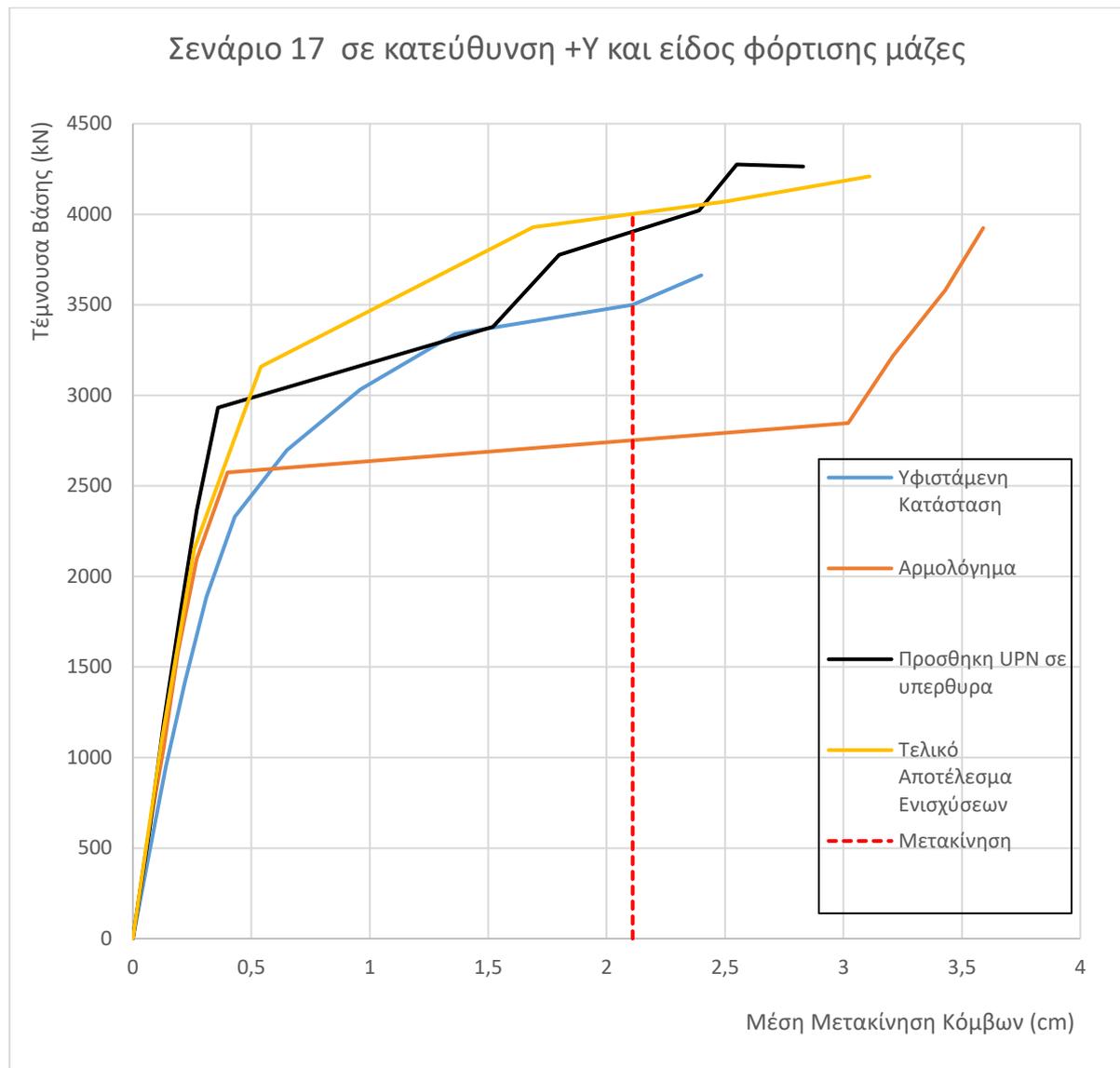
Στη περίπτωση του σεναρίου 12 υπάρχει επίσης σαφής βελτίωση της συμπεριφοράς του φορέα καθώς είναι διακριτή η αύξηση στη δύναμη τέμνουσας βάσης όπου από 2600 kN όριο αστοχίας στην υφιστάμενη κατάσταση, πλέον αστοχεί στα 4364 kN. Ακόμη, παρατηρείται η αύξηση της ελαστικής φάσης παραμόρφωσης ενώ παράλληλα υπάρχει και φάση πλαστικής παραμόρφωσης κάτι το οποίο δεν ήταν δυνατό στην υφιστάμενη κατάσταση εξαιτίας των πολύ χαμηλών μέτρων ελαστικότητας που υπήρχαν στη τοιχοποιία της κατασκευής.

8 Συζήτηση- Συγκρίσεις

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκριτικά διαγράμματα καμπύλης ικανότητας, ανάμεσα σε όλα τα στάδια ενισχύσεων και της υφιστάμενης κατάστασης του φορέα.

Επίσης παρουσιάζονται διαγράμματα που καταδεικνύουν τη μεταβολή των συντελεστών α που παρατηρείται έπειτα από την πραγματοποίηση των μεθόδων ενίσχυσης.

Στο Σχήμα 8.1 που ακολουθεί, παρατίθεται ένα συγκεντρωτικό και συγκριτικό διάγραμμα όλων των αλλαγών που υπέστη η καμπύλη ικανότητας στο σενάριο 17 λόγω των ενισχύσεων που επιβλήθηκαν :



Σχήμα 8.1- Συγκεντρωτικό συγκριτικό διάγραμμα καμπύλης ικανότητας του σεναρίου 17 με βάση τον κόμβο 4

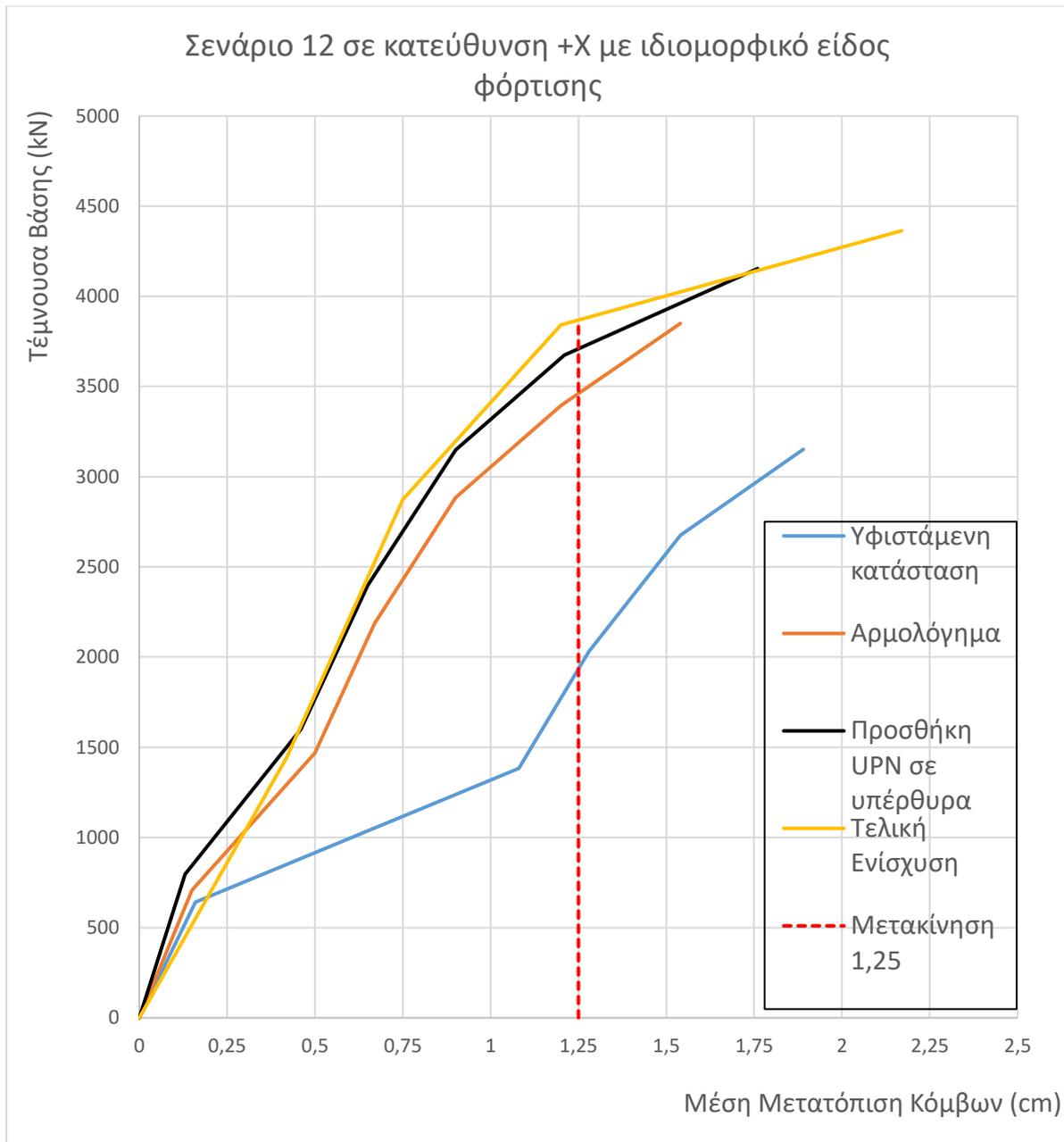
Στο Σχήμα 8.1 παρουσιάζονται με διαφορετική απόχρωση τα διαγράμματα καμπύλης ικανότητας παραμόρφωσης του σενάριο 17 σε όλες τις καταστάσεις στις οποίες υποβλήθηκε ο φορέας. Παρατηρείται ότι στην υφιστάμενη κατάσταση ο φορέας δείχνει εξ' ολοκλήρου ελαστική συμπεριφορά μέχρι και τη κατάρρευση του. Στη συνέχεια, είναι εμφανής η αλλαγή στη καμπύλη του διαγράμματος μετά την ενίσχυση με αρμολόγημα, καθώς υπάρχει μια παρατεταμένη φάση πλαστικής



παραμόρφωσης μέχρι τη μετακίνηση $dm=3\text{cm}$. Επίσης σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η διαδικασία του αρμολογήματος δεν αύξησε στην ουσία την ανάληψη τέμνουσας βάσης αλλά κυρίως τη πλαστική παραμόρφωση του φορέα. Αυτό το γεγονός αποδίδεται στην αύξηση του μέτρου Ελαστικότητας κατά 500 MPa στην περιφερειακή λιθοδομή και 900 MPa στην εσωτερική φέρουσα οπτοπλινθοδομή.

Έπειτα, η προσθήκη διατομών UPN ως μέτρο αντιμετώπισης των καμπτικών βλαβών, αποδεικνύεται σημαντική καθώς υπάρχει αύξηση στην δύναμη τέμνουσας βάσης κατά 460 kN. Μπορεί να υπάρχει μείωση στη μέγιστη μετακίνηση των κόμβων όμως παρατηρείται ότι για την μετακίνηση 2,11 cm (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή), ο φορέας είναι σε θέση να παραλάβει μεγαλύτερη δύναμη τέμνουσας βάσης. Τέλος, η προσθήκη της μεταλλικής διατομής IPE200 φέρνει το διάγραμμα στη τελική του μορφή όπου διακρίνεται μικρή αύξηση στην ανάληψη τέμνουσας βάσης καθώς και αύξηση στη μέγιστη μετακίνηση . Πλέον η κατασκευή παρουσιάζει μια αυξημένη ελαστική φάση παραμόρφωσης καθώς και μεγαλύτερη αντοχή σε πλαστικές παραμορφώσεις.

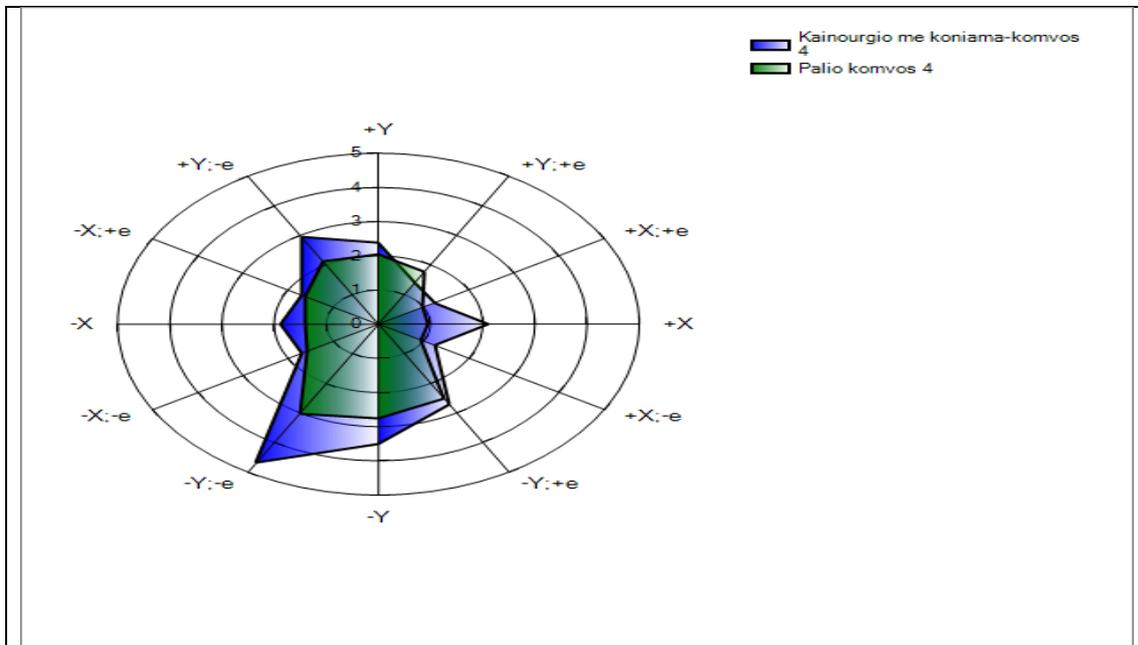
Όπως φάνηκε και από τα συνοπτικά αποτελέσματα των αναλύσεων και ανεξάρτητα από την επιλογή του κόμβου ελέγχου, παρουσιαζόταν μικρή δυσκαμψία της κατασκευής κατά τη σεισμική φόρτιση σε διεύθυνση X . Για το λόγο αυτό και προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η προσφορά των ενισχύσεων σε δυσκαμψία και δυνατότητα παραμόρφωσης, στο Σχήμα 8.2 παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό και συγκριτικό διάγραμμα καμπύλης ικανότητας του σεναρίου 12 το οποίο δεν ικανοποιούνται κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης.



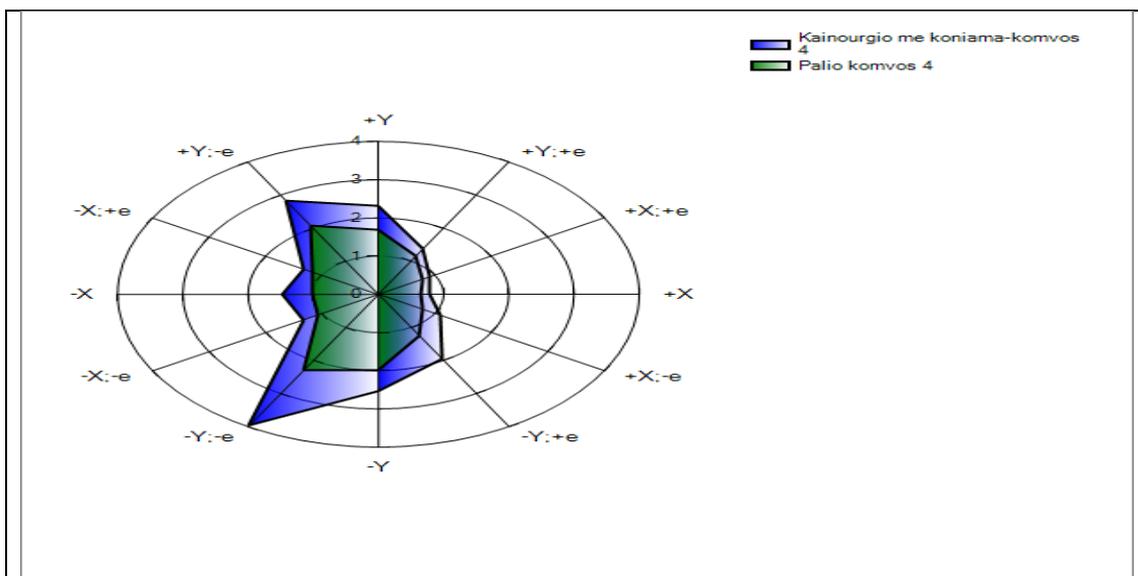
Σχήμα 8.2-Συγκεντρωτικό συγκριτικό διάγραμμα καμπύλης ικανότητας του σεναρίου 12 με βάση τον κόμβο 4

Στο Σχήμα 8.2 παρατηρείται η ελαστική παραμόρφωση του φορέα κατά την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης. Είναι ενδεικτικό ότι για μέση μετακίνηση κόμβων $d_m=1,25$ cm υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά στη δύναμη τέμνουσας βάσης που μπορεί να δεχτεί η κατασκευή. Πιο συγκεκριμένα για την υφιστάμενη κατάσταση η μέση μετακίνηση 1,25 cm απαιτεί Τέμνουσα βάσης 1946 kN ενώ μετά τις τελικές ενισχύσεις απαιτείται 3750 kN . Συνεπώς υπάρχει σημαντική αύξηση κατά 92% της τέμνουσας βάσης. Επίσης διακρίνεται ότι η επιβολή των ενισχύσεων άλλαξε τη μέγιστη μετακίνηση των κόμβων κατά 0,3 cm , ενώ επίσης σημαντικό χαρακτηρίζεται το γεγονός πως η αστοχία επέρχεται πλέον στα 4364 kN κι όχι στα 3152 kN.

Από τα Σχήματα 8.1 και 8.2 . μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πώς η διαδικασία του αρμολογήματος οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της σεισμικής απόκρισης του φορέα. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα στα Σχήματα 8.3 και 8.4 όπου εμφανίζεται αύξηση των συντελεστών ικανοποίησης α σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση.



Σχήμα 8.3- Συγκριτικό διάγραμμα ανάμεσα σε υφιστάμενη (πράσινο) και νέα (μπλε) κατάσταση όσον αφορά τη φόρτιση με κατανομή των μαζών



Σχήμα 8.4- Συγκριτικό διάγραμμα ανάμεσα σε υφιστάμενη (πράσινο) και νέα (μπλε) κατάσταση όσον αφορά τη φόρτιση με ιδιόμορφες



Το πράσινο χρώμα αντιπροσωπεύει την υφιστάμενη κατάσταση του φορέα ενώ το μπλε τη κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται έπειτα από τη διαδικασία του αρμολογήματος. Είναι εμφανές ότι οι συντελεστές α αυξήθηκαν λίγο έως πολύ ανάλογα τη κατεύθυνση της φόρτισης και την εκκεντρότητα. Αναλυτικότερα, για την ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης ο υψηλότερος συντελεστής α είχε τιμή που μόλις αγγίζει το 3 ενώ στη συνέχεια για την ίδια κατεύθυνση και εκκεντρότητα φόρτισης και έπειτα από την ενίσχυση με αρμολόγημα, ο ίδιος συντελεστής φτάνει τιμή μεγαλύτερη του 4. Συνεπώς η αλλαγή κονιάματος αποδεικνύεται καθοριστική στη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς μιας κατασκευής από φέρουσα τοιχοποιία καθώς επιτυγχάνεται μεγαλύτερη δυνατότητα παραμόρφωσης των πεσών μέσω της σημαντικής αύξησης του μέτρου Ελαστικότητας.



9 Συμπεράσματα

Μετά τη διαδικασία ανάλυσης και εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής προέκυψαν τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα :

1. Η υφιστάμενη κατάσταση της κατασκευής απαιτεί μέτρα ενίσχυσης της προς όλες τις διευθύνσεις
2. Οι εσοχές στη δυτική πτέρυγα σε συνδυασμό με την χαμηλή αντοχή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν καθιστούν την κατασκευή ευάλωτη σε σεισμικές φορτίσεις ιδίως κατά την διεύθυνση Χ.
3. Τα διαζώματα από ξύλο (-ξυλοδεσιές) καθώς και το διάζωμα οπλισμένου σκυροδέματος όπου βρίσκεται στη κορυφή του ορόφου αποτελούν αποτρεπτικό παράγοντα για όποιες μετακινήσεις προκύψουν εξαιτίας της εδαφικής διέγερσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι έγινε προσπάθεια επίλυσης του φορέα χωρίς το διάζωμα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία όμως ήταν ανεπιτυχής λόγω των ιδιαίτερα μεγάλων μετακινήσεων της τοιχοποιίας.
4. Η επιλογή του κόμβου ελέγχου καθώς και της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανελαστική γραμμική ανάλυση Pushover, είναι μείζονος σημασίας για ανάλυση σε επίπεδο ικανοποίησης των σεναρίων φόρτισης.
5. Είναι σαφής η ανάγκη αντικατάστασης των σαθρών πατωμάτων καθώς και η εγκατάσταση νέων κουφωμάτων προκειμένου να προστατευθεί το μνημείο από φυσικά φαινόμενα.
6. Οι προτάσεις ενίσχυσης οδήγησαν σε ουσιαστική βελτίωση της συμπεριφοράς της κατασκευής.
7. Καθοριστική είναι η συνεισφορά του αρμολογήματος στην αντοχή και παραμορφωσιμότητα των πεσσών.
8. Η καθαρά ψαθυρή αστοχία που παρατηρήθηκε σε αρκετά σενάρια φόρτισης της υφιστάμενης κατασκευής, μετατράπηκε σε ψευδοπλάσטיμη αστοχία λόγω της αυξημένης αντοχής της τοιχοποιίας.



Βιβλιογραφία

Annex B-B5. (1998). Στο *Eurocode-1*.

ERGOCAD. (2018). *3MURI 12.0 - User Manual*.

Lagomarsino, S., Galasco, A., & Penna, A. (2006). On the use of pushover analysis for existing masonry buildings. *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, (σ. 11). Geneva.

NTUA. (2019). *ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΩΝ ΚΤΗΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΩΝ*. Ανάκτηση από arch.ntua.gr.

Sergio Lagomarsino, S. C. (2015). Seismic Performance of Historical Masonry Structures Through Pushover and Non-Linear Analysis. Στο *Ansal, Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology*, Chapter 2 (σσ. 270-276). Constantinople: Springer.

Eurocode . (1998).

KAN. ΕΠΕ. (2017). ΑΘΗΝΑ.

Καραντώνη, Φ. (2012). *Κατασκευές από Τοιχοποιία* . Παπασωτηρίου .

Πελοποννήσου, Π. (2015). *Απαιτήσεις Προστασίας Τοιχοποιίας*. Ανάκτηση από <http://epri.korinthos.uop.gr/openwebquest/view/introduction.php?wq=1201>.

ΣΙΔΕΝΟΡ. (2019, April).