



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

**ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ
ΛΟΠΛΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ ΜΕ ΙΝΟ-ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γιαννουσά Μαρία

**Επιβλέπων: Καττής Μαρίνος
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π**

Αθήνα, Νοέμβριος 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επαναδιατυπώνονται οι εξισώσεις καμπτικής αντοχής φέρουσας τοιχοποιίας ενισχυμένης με ελάσματα FRP εισάγοντας την ρεαλιστική υπόθεση ότι τα ελάσματα αδυνατούν να παραλάβουν θλιπτικές τάσεις. Οι εξισώσεις εξάγονται για αντιεπίπεδη και συνεπίπεδη κάμψη της τοιχοποιίας παρουσία αξονικής δύναμης, υιοθετώντας για τα υλικά τις βασικές παραδοχές και υποθέσεις του Ευρωκώδικα 2. Με βάση αυτές τις εξισώσεις, συντάχθηκαν νομογραφήματα για τον άμεσο και γρήγορο υπολογισμό της καμπτικής αντοχής της ενισχυμένης τοιχοποιίας από τον μηχανικό της πράξης. Επίσης, προτείνεται μια γενική μεθοδολογία ενίσχυσης κατασκευών με άοπλη φέρουσα τοιχοποιία, που στηρίζεται στα πεπερασμένα στοιχεία, είναι συμβατή με τους EC2 και EC8 και συμπεριλαμβάνει τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας. Τέλος, παρουσιάζονται αριθμητικές εφαρμογές των αποτελεσμάτων που αποκτήθηκαν και γίνεται μία εφαρμογή της μεθόδου σε ένα παραδοσιακό κτίριο.

ABSTRACT

In this work, the equations of the flexural strength of a bearing unreinforced masonry wall strengthened with FRP plates are re-reformulated by including the realistic assumption that FRP plates cannot withstand compressive stress. The flexure equations for out-of-plane and in-plane bending of the masonry wall are developed adopting the basic principles and rules of Eurocodes. For calculation purposes, non-dimensional nomographs for the flexure strength of a masonry wall reinforced with FRP in terms of the relative design parameters are provided. Furthermore, a general procedure for the strengthening of an existing structure, whose structural system is unreinforced masonry wall, is proposed. This procedure, which involves finite element analysis, is compatible with EC2 and EC8 and incorporates the results obtained in the present work. Finally, the use of the flexure strength equations obtained in the present work is demonstrated by numerical examples and an application of the general procedure to a traditional building is presented.

Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	Π
ABSTRACT.....	III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
Κεφάλαιο I	8
ΤΑ FRP ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.....	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ FRP	11
1.3 ΤΑ FRP ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	12
1.4 ΤΑ FRP ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	13
Κεφάλαιο II.....	15
ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ	15
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΕΠΙΠΕΔΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	16
2.2.1 Περιγραφή του μοντέλου ανάλυσης.....	16
2.2.2 Η ισόρροπη διατομή της σπλισμένης τοιχοποιίας για εκτός επιπέδου κάμψη με αξονική δύναμη	18
2.2.3 Η αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας για καμπτική καταπόνηση με αξονική δύναμη	21
2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΠΙΠΕΔΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	23
2.3.1 Η ισόρροπη διατομή για συνεπίπεδη καμπτική καταπόνηση παρουσία αξονικής δύναμης.....	23
2.3.2 Η καμπτική αντοχή της διατομής.....	26
Κεφάλαιο III	29

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ	29
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	29
3.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ.....	29
3.3 Ο ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ	33
3.4 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ	36
3.5 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	36
Κεφάλαιο IV.....	40
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	40
4.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	40
4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	41
4.2.1 Χρησιμοποιούμενοι κανονισμοί και προσομοίωση του κτιρίου με πεπερασμένα στοιχεία	41
4.2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών και στατικά φορτία	41
4.2.3 Σεισμικά στοιχεία του κτιρίου.....	43
4.2.4 Συνδυασμοί φορτίων	45
4.3 ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ.....	46
4.3.1 Αστοχία από κάμψη & θλιπτική δύναμη.....	46
4.3.2 Αστοχία από διάτμηση	47
4.4 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	48
4.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΛΩΡΙΔΕΣ FRP	49
4.5.1 Γενικά	49
4.5.2 Υπολογισμός του οπλισμού ενίσχυσης της ισόρροπης κατάστασης	50
Κεφάλαιο V	54

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	94
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI.....	117

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα FRP ως υλικό ενίσχυσης ιστορικών και παραδοσιακών κτιρίων

Στη χώρα μας, οι κατασκευές από τοιχοποιία, πολλές από τις οποίες έχουν μεγάλη ιστορική και αρχιτεκτονική σημασία, αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της αρχιτεκτονικής μας κληρονομιάς. Τέτοιες κατασκευές, που έχουν ως βασικό δομικό υλικό την πέτρα, είναι παραδοσιακές κατοικίες σε όλες τις περιοχές της χώρας μας, ιστορικοί ναοί και κάστρα ακόμα, από την βυζαντινή περίοδο, και άλλα. Πολλές από αυτές τις κατασκευές, πέρα από την φθορά του χρόνου, έχουν υποστεί σημαντικές συσσωρευμένες βλάβες που προέρχονται από καταπονήσεις λόγω σεισμών, ανέμων, εδαφικών καθιζήσεων και άλλα. Έτσι, για τις κατασκευές αυτές, έχει δημιουργηθεί η ανάγκη για την στατική τους αναβάθμιση με ενισχύσεις του φέροντα οργανισμού τους. Οι στατικές παρεμβάσεις όμως, στις κατασκευές αυτές, πρέπει να παίρνουν υπόψη της παραμέτρους που δεν θα μεταβάλλουν ούτε θα αλλοιώνουν τον παραδοσιακό και ιστορικό τους χαρακτήρα. Η ιδιαιτερότητα των αναγκαίων αυτών παρεμβάσεων στις κατασκευές αυτές έχει οδηγήσει στην αναζήτηση νέων τεχνικών και νέων υλικών, που θα παίρνουν υπόψη τις παραπάνω απαιτήσεις. Ένα τέτοιο υλικό ενίσχυσης είναι τα ινο-οπλισμένα πολυμερή, που έχουν ήδη διεισδύσει στην δομική βιομηχανία. Τα υλικά αυτά συντίθενται συνήθως από ίνες άνθρακα (CFRP), γυαλιού (GFRP), ή αραμιδίου (AFRP), που είναι ενσωματωμένες σε μία πολυμερική μήτρα, που μπορεί να είναι από εποξειδικό πολυεστέρα, βινυλεστέρα και άλλα. Τα σύνθετα αυτά υλικά προσφέρουν έναν ξεχωριστό συνδυασμό ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής αντοχής και της ακαμψίας στην διεύθυνση των ινών, την ανθεκτικότητα στην διάβρωση, το χαμηλό βάρος και τη μεγάλη διαθεσιμότητα σε μορφή ελασμάτων, υφασμάτων, και τενόντων πρακτικά απεριορίστων διαστάσεων.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Μία από τις πρώτες μελέτες πάνω στη χρήση μη μεταλλικού οπλισμού στην ενίσχυση τοιχοποιίας, ήταν αυτή των Croci et al.. Η ομάδα αυτή διεξήγαγε πειράματα διάτμησης πάνω σε δοκίμια τοιχοποιίας που ήταν ενισχυμένα με κατακόρυφο ή κεκλιμένο οπλισμό από πλέγματα πολυπροπυλενίου με μικρό μέτρο ελαστικότητας [31]. Λίγα χρόνια αργότερα, ο Sweidan περιέγραψε με αναλυτικές τεχνικές την υψηλή αποτελεσματικότητα ενός κολλημένου υπό ένταση συστήματος FRP σε τοιχοποιία [40]. Διασαφηνίσεις εννοιών και αναλυτικά αποτελέσματα στην δυνατότητα εφαρμογής και στην αποτελεσματικότητα των τενόντων FRP, που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές τοιχοποιίας με ιστορική σημασία, δίνονται από τον Τριανταφύλλου και τον Φαρδή [41,42]. Ο Schwegler ήταν ο πρώτος που πρότεινε και μελέτησε τη χρήση πολυστρωματικών FRP από άνθρακα (CFRP) ως αντισεισμικά στοιχεία ενίσχυσης της φέρουσας τοιχοποιίας. Τα στοιχεία αυτά συγκολλούνται με εποξειδική ρητίνη στην επιφάνεια της τοιχοποιίας και παίζουν τον ρόλο του εφελκυσμένου οπλισμού. Ο Schwegler περιέγραψε την αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής με μία δοκιμή πραγματικής κλίμακας σε μονώροφη τοιχοποιία που υποβλήθηκε σε συνεπίπεδη και αντιεπίπεδη κυκλική φόρτιση. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα από την δοκιμή αυτή, ανέπτυξε ένα αναλυτικό μοντέλο για την συνεπίπεδη συμπεριφορά των τοίχων με ενίσχυση CFRP, στα πλαίσια της μηχανικής των συνεχών μέσων [36, 37]. Μία από τις πρώτες εφαρμογές της τεχνικής αυτής, ήταν σε φέροντες τοίχους ενός εξώροφου κτιρίου κατοικιών στη Ζυρίχη. Το έργο του Saadatmanesh, του Ehsani, και του Ehsani et al. επικεντρώνεται σε πειραματικές μελέτες, που περιλαμβάνουν μονότονες στατικές φορτίσεων, πάνω σε δοκίμια άοπλης τοιχοποιίας ενισχυμένης με υαλοϋφάσματα εμποτισμένα σε εποξειδική ρητίνη. Τα αποτελέσματα αυτά οδήγησαν στην εφαρμογή της τεχνικής αυτής σε μία από τις εξωτερικές τοιχοποιίες ενός μονώροφου εμπορικού κτιρίου στην πόλη Glendale στην Καλιφόρνια [35, 32, 33]. Μια αντίστοιχη ιδέα, που εμπλέκει επιστρώσεις από ίνες άνθρακα σε εποξειδικές ρητίνες τοποθετημένες σε μία διεύθυνση, αποτέλεσε την βάση της ερευνητικής εργασίας των Laursen et al.. Η ομάδα αυτή πραγματοποίησε κυκλικές δοκιμές πάνω σε φατνώματα τοιχοποιίας [34]. Παρόμοιες επιστρώσεις μελετήθηκαν επίσης από τον Seible για την ενίσχυση κάποιων τοίχων σε ένα κτίριο- δοκίμιο φυσικής κλίμακας και απέδειξε μέσω προσομοίωσης της σεισμικής φόρτισης ότι οι επιστρώσεις αυτές είναι πολύ αποτελεσματικές στην αύξηση της αντοχής [39]. Τα αποτελέσματα που αποκτήθηκαν από τις παραπάνω μελέτες οδηγούν στο

συμπέρασμα ότι, για χάρη της οικονομίας και της μηχανικής απόκρισης, η μονοδιάστατη ενίσχυση με FRP στην μορφή των επιστρώσεων ή ελασμάτων είναι προτιμότερη από τα δισδιάστατα υφάσματα, που καλύπτουν όλη την επιφάνεια της τοιχοποιίας.

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Σε μία δημοσίευση του 1998, ο Τριανταφύλλου πρότεινε μία μεθοδολογία ανάλυσης της μηχανικής συμπεριφοράς της άοπλης τοιχοποιίας ενισχυμένης με επιστρώσεις FRP συγκολλημένες στο εξωτερικό της επιφάνειας, που είναι συμβατή με τις αρχές του σχεδιασμού των σύγχρονων κωδικών για κατασκευές από τοιχοποιία. Η θεωρία ανάλυσης που προτείνει, αναφέρεται στις τρεις πιο συχνά απαντώμενες περιπτώσεις φορτίσεων τοιχοποιίας :

- εκτός επιπέδου κάμψη με αξονική δύναμη
- συνεπίπεδη κάμψη με δύναμη αξονικής φόρτισης
- συνεπίπεδη διάτμηση με αξονική δύναμη

Η θεωρία αυτή στηρίζεται στην αναλυτική εξαγωγή των καμπτικών, αξονικών και διατμητικών αντοχών, στην αλληλεπίδραση αυτών των αντοχών και στην πειραματική επιβεβαίωση αυτής της θεωρίας με τυποποιημένες δοκιμές πάνω σε δοκίμια τοιχοποιίας για διάφορες φορτίσεις [43].

Η ανάπτυξη των εξισώσεων καμπτικής αντοχής από τον Τριανταφύλλου βασίζεται στην υπόθεση ότι τα υλικά FRP μπορούν να παραλάβουν και θλίψη. Η υπόθεση αυτή, μπορεί να διευκολύνει την μαθηματική ανάπτυξη των εξισώσεων, όμως, είναι μία μη ρεαλιστική υπόθεση, που επηρεάζει δραστικά το μέγεθος της καμπτικής αντοχής με αξονική φόρτιση για την συνεπίπεδη φόρτιση.

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η επαναδιατύπωση των εξισώσεων καμπτικής αντοχής, στηριζόμενη στην επιπρόσθετη υπόθεση ότι τα ελάσματα FRP δεν μπορούν να παραλάβουν θλιπτικές τάσεις.

Δομή της εργασίας

Στο Κεφάλαιο I της παρούσας εργασίας γίνεται μια ιστορική αναδρομή της χρήσης των υλικών FRP στη δομική βιομηχανία, και μία συνοπτική παρουσίαση των μηχανικών τους ιδιοτήτων.

Στο Κεφάλαιο II, γίνεται η επαναδιατύπωση των εξισώσεων καμπτικής αντοχής της ενισχυμένης με FRP τοιχοποιίας για τις δύο περιπτώσεις καμπτικής καταπόνησης.

Στο Κεφάλαιο III, προτείνεται μία γενική μεθοδολογία που μπορεί να ακολουθηθεί για την ανάλυση και τον σχεδιασμό ενίσχυσης μίας υφιστάμενης κατασκευής με φέρουσα τοιχοποιία. Η μεθοδολογία αυτή είναι συμβατή με τους EC2 και EC8, που αφορούν, αντίστοιχα, στον σχεδιασμό κατασκευών με φέρουσα τοιχοποιία και στον αντισεισμικό σχεδιασμό. Στην μεθοδολογία αυτή έχουν ενταχθεί και τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

Στο Κεφάλαιο IV, γίνεται εφαρμογή της προτεινόμενης μεθόδου για ένα παραδοσιακό κτίριο, του οποίου η ανάλυση έχει γίνει με πεπερασμένα στοιχεία.

Στο Κεφάλαιο V, καταγράφονται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Τέλος, σε σχετικά παραρτήματα έχουν καταχωρηθεί αδιάστατα νομογραφήματα για την εύκολη και γρήγορη εφαρμογή των σχέσεων που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Κεφάλαιο I

ΤΑ FRP ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΥΛΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα σύνθετα υλικά έχουν προκύψει ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης της γνώσης της τεχνολογίας των υλικών και της ανάγκης σχεδιασμού υλικών με βάση τις ανάγκες που καθορίζουν οι εκάστοτε υψηλών απαιτήσεων εφαρμογές. Σχηματίζονται με τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων διακριτών υλικών, αποκτώντας με αυτό τον τρόπο βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με τις ιδιότητες των συστατικών υλικών του για ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών. Ένας τύπος σύνθετου υλικού είναι τα FRP (Fiber Reinforced Polymers), τα οποία αποτελούνται από μία δέσμη ινών που είναι ενσωματωμένη σε μία μήτρα ρητίνης. Ο όρος FRP περιγράφει μια ομάδα υλικών τα οποία κατασκευάζονται από συνθετικές και οργανικές ίνες συγκολλημένες με ρητίνη. Οι ίνες, οι οποίες αναλαμβάνουν κυρίως εφελκυστικές τάσεις παράλληλα στη διεύθυνση τους, είναι εμποτισμένες με κάποιο θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές (εποξειδική ρητίνη, πολυεστέρας κ.α.). Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες αυτού του σύνθετου υλικού είναι τα FRP από άνθρακα (CFRP), από αραμίδιο (AFRP) και από γυαλί (GFRP). Οι ίνες παρέχουν αντοχή και ακαμψία στο σύνθετο υλικό και γενικά φέρουν τα περισσότερα από τα εφαρμοζόμενα φορτία. Η μήτρα ενεργεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να συνδέει και να προστατεύει τις ίνες καθώς και να φροντίζει για τη μεταφορά της τάσης από ίνα σε ίνα μέσω διατμητικών τάσεων. Παρατηρούμε λοιπόν ότι στη δημιουργία σύνθετων υλικών, ένα άκαμπτο, ανθεκτικό και υψηλής αντοχής υλικό, εμβαπτίζεται σε ένα εύκαμπτο και πλαστικό υλικό. Το πρώτο, αποτελεί τον «οπλισμό» και λειτουργεί ως φορέας παραλαβής

των φορτίων, ενώ το δεύτερο αποτελεί τη μήτρα που προσδίδει συνοχή στο σύνθετο υλικό και μεταβιβάζει τα ασκούμενα φορτία στον οπλισμό [1].

Η ιδέα για κατασκευή κτιρίων με σύνθετα υλικά προϋπήρχε από τα αρχαία χρόνια. Πολιτισμοί σε όλο τον κόσμο έχουν χρησιμοποιήσει βασικά στοιχεία του περιβάλλοντα χώρου στη δημιουργία οικημάτων, συμπεριλαμβανομένης της λάσπης (ιλύς), του άχυρου, του ξύλου και του πηλού (άργιλος). Οι πλίνθοι κατασκευάζονταν από λάσπη και άχυρο, με τη λάσπη να ενεργεί όπως η ρητίνη στη σύνθετη κατασκευή FRP και το άχυρο να ενεργεί ως «οπλισμός». Ο «οπλισμός» αυτός συγκρατεί την πλίνθο αρηγμάτωτη κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ξήρανσης και συστολής του [1].

Ενώ η ιδέα των σύνθετων υλικών υπήρχε για αρκετές χιλιετίες, η ένταξη της τεχνολογίας των σύνθετων FRP στον βιομηχανικό κόσμο έγινε περίπου πριν από έναν αιώνα. Τα υλικά αυτά εμφανίστηκαν στο προσκήνιο αμέσως μετά το 1900, με τη χημική βιομηχανία να κάνει μεγάλα βήματα ώστε να δημιουργήσει πλαστικά υλικά από ίνες (βινύλιο, πολυεστέρας και ίνες γυαλιού) με υψηλότερη αντοχή, μεγαλύτερη ακαμψία και μικρότερη πυκνότητα. Η ραγδαία ανάπτυξή τους οφείλεται κυρίως στις μεγάλες ανάγκες που δημιουργήθηκαν στην αεροναυπηγική για την εξερεύνηση του διαστήματος [7].

Με κίνητρο τις ανάγκες της ηλεκτρονικής και αμυντικής τεχνολογίας και των τεχνολογιών του διαστήματος, οι ερευνητές δημιούργησαν προϊόντα από τα υλικά αυτά με ιδιαίζουσες ιδιότητες, όπως το αλεξίσφαιρο γιλέκο Kavelan. Το πρώτο γνωστό προϊόν με υλικά FRP ήταν ένα κάλυμμα βάρκας, το οποίο κατασκευάστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1930 [27].

Από αυτή την αφετηρία, οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών FRP δημιούργησαν στη συνέχεια ένα επαναστατικό κύμα στη δομική βιομηχανία. Τα σύνθετα υλικά FRP κάνουν ουσιαστικά την εμφάνισή τους στις αρχές της δεκαετίας του 1940, με εφαρμογές κυρίως στην αεροναυπηγική και στο πολεμικό ναυτικό. Η αεροπορία και το ναυτικό των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής επένδυσαν σε σύνθετα FRP, με υψηλό λόγο αντοχής βάρους, και με μεγάλη αντοχή σε περιβάλλον διάβρωσης, όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η θάλασσα και γενικά το υφάλμυρο περιβάλλον. Από το 1945 και μετά, πάνω από 3.2 εκατομμύρια kg από ίνες γυαλιού χρησιμοποιήθηκαν σε στρατιωτικές εφαρμογές [27].

Σύντομα, τα οφέλη των FRP, ιδιαίτερα των ικανοτήτων αντοχής τους στη διάβρωση, έγιναν ευρέως γνωστά. Σωλήνες από ίνες γυαλιού, για παράδειγμα, πρωτοεμφανίστηκαν το 1948 και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως από τις πετρελαιοβιομηχανίες [27]. Τα σύνθετα FRP αποδείχθηκαν μία αξιόλογη εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα παραδοσιακά

υλικά, ακόμα και σε συνθήκες υψηλής πίεσης και με μεγάλες διαμέτρους σε περιπτώσεις χημικών επεξεργασιών. Εκτός από την υψηλή αντοχή σε διάβρωση, ο σωλήνας FRP προσφέρει επίσης διάρκεια στο χρόνο και αντοχή, συνεπώς ελαχιστοποιεί την ανάγκη για εσωτερική επένδυση, εξωτερική επίστρωση και καθοδική προστασία.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, τα FRP χρησιμοποιήθηκαν ευρέως ως εξοπλισμός σε χημικές επεξεργασίες, σε πολτοποίηση χαρτιού, σε επεξεργασία αποβλήτων, και σε βιομηχανίες κατασκευών [27]. Πάρα πολλά προϊόντα και εγκαταστάσεις από FRP βοήθησαν στο να γίνει μία αποδοτική αρχή σε αυτά τα πεδία εφαρμογής.

Στις μετέπειτα από το 1940 δεκαετίες, εισήχθησαν νέες και συχνά επαναστατικές εφαρμογές των FRP. Η ίδια τεχνολογία, η οποία παρήγαγε τους πλαστικούς οπλισμούς που απαιτήθηκαν για το πυρηνικό ερευνητικό έργο του Manhattan στον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, οδήγησε στην εξέλιξη των υψηλής απόδοσης σύνθετων υλικών για κινητήρες πυραύλων και για δεξαμενές, τις δεκαετίες του 1960 και 1970. Πιο συγκεκριμένα, δεξαμενές με τοιχώματα από ίνες γυαλιού χρησιμοποιήθηκαν από το εργαστήριο Skylab ώστε να παρέχουν οξυγόνο σε αστροναύτες [1]. Το 1953, το πρώτο αυτοκίνητο Chevrolet Corvette με πλαίσια γυαλιού, μπήκε στη γραμμή παραγωγής [27].

Τη δεκαετία του 1960 το ναυτικό της Βρετανίας και των Ηνωμένων Πολιτειών χρησιμοποίησε ναρκαλιευτικά σκάφη βασισμένα στα FRP, επειδή τα υλικά αυτά είναι αντιμαγνητικά και συμπεριφέρονται καλύτερα από άλλα όταν καλούνται να λειτουργήσουν σε έντονα διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον. Στις εφαρμογές αυτές παρατηρήθηκε ότι ένα από τα χαρακτηριστικά των FRP είναι η ικανότητά τους να μειώνουν τη δυνατότητα ανίχνευσης με radar ενός πλοίου ή αεροσκάφους. Υψηλής απόδοσης σύνθετα υλικά χρησιμοποιήθηκαν σε αεροσκάφη προηγμένης τεχνολογίας, όπως είναι τα F-117 Stealth Fighter και B-2 Bomber. Επί του παρόντος, σύνθετα FRP χρησιμοποιούνται σε διαστημικές εφαρμογές και συμπεριλαμβάνονται σε διάφορες προκαταρκτικές δοκιμές της NASA [27].

Ως προς τη ζήτηση των σύνθετων υλικών, η ναυτιλιακή αγορά ήταν ο μεγαλύτερος καταναλωτής τη δεκαετία του 1960. Τη δεκαετία του 1970, η αγορά αυτοκινήτων, ξεπερνώντας τη ναυτιλιακή αγορά, κατέλαβε την πρώτη θέση την οποία και διατήρησε [27].

1.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ FRP

Η χρήση των FRP ως υλικά οπλισμού έχει τα πλεονεκτήματα του μικρού βάρους, της υψηλής εφελκυστικής αντοχής, της αντοχής στη διάβρωση, της ελαστικότητας και της ηλεκτρομαγνητικής αντίστασης. Τα μειονεκτήματα των FRP είναι το μικρό μέτρο ελαστικότητας, το υψηλό κόστος, η μικρή αστοχία παραμόρφωσης, οι μέθοδοι αγκύρωσής του, η συνάφεια με το σκυρόδεμα και η ευαισθησία του στην υπεριώδη ακτινοβολία [8].

Τα FRP από ίνες άνθρακα και αραμιδίου έχουν υψηλά χαρακτηριστικά κόπωσης, τα τριπλάσια αυτών του χάλυβα, ενώ τα χαρακτηριστικά κόπωσης του FRP από ίνες γυαλιού είναι γενικά μικρότερα από του χάλυβα. Η κόπωση των ράβδων οπλισμού GFRP είναι περίπου η μισή από την αντοχή τους [26]. Από τους τρεις τύπους FRP που αναφέρθηκαν εδώ, το CFRP (ινο-οπλισμένο πολυμερές από άνθρακα) έχει τη μεγαλύτερη εφελκυστική ικανότητα. Το FRP από αραμίδιο (AFRP) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αστοχία παραμόρφωσης και επηρεάζεται πολύ από το νερό. Τα υλικά FRP αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 225F (107 °C). Στη θερμοκρασία των 400F (752 °C), ο οπλισμός από FRP χάνει μερική από την ελαστική ικανότητά του [22].

Η οριακή αντοχή των ράβδων FRP είναι μεγαλύτερη από αυτή του χάλυβα για την ίδια διάμετρο, ωστόσο αντίθετα από το χάλυβα, η θλιπτική αντοχή τους είναι μικρότερη από την εφελκυστική. Τα διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης για τα FRP δείχνουν ότι είναι γραμμικώς ελαστικά υλικά μέχρι τη θραύση. Οι τάσεις στις ράβδους FRP με ίνες από γυαλί, είναι αρκετά μικρότερες της οριακής, όταν προκύψει αστοχία.

Το μέτρο ελαστικότητάς τους ισούται με το ένα τέταρτο του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα και μπορεί να οδηγήσει στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Η μικρότερη ακαμψία μπορεί να οδηγήσει σε εκτροπή του φορτίου, η οποία είναι σχεδόν γραμμική. Στην οριακή φόρτιση, η εκτροπή στα GFRP είναι η διπλάσια αυτής του χάλυβα, αλλά λόγω της μεγαλύτερης αντοχής και ολκιμότητας κατά την αστοχία, η εκτροπή του οπλισμού από χάλυβα είναι μεγαλύτερη [9].

Το ειδικό βάρος των FRP είναι το ένα τέταρτο του ειδικού βάρους του χάλυβα και επιπλέον τα υλικά αυτά έχουν τους ίδιους συντελεστές θερμικής διαστολής με το σκυρόδεμα, ιδιότητες που τα καθιστούν ευκολότερα στο χειρισμό. Η αντοχή συνάφειας των ράβδων οπλισμού FRP δεν είναι τόσο υψηλή, όσο αυτή των ράβδων από χάλυβα. Συγκεκριμένα έχει προσδιοριστεί ότι είναι τα 2/3 αυτής [9, 21].

Λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων τους, καθώς και των προβλημάτων διάβρωσης που δημιουργεί η χρήση χάλυβα στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, τα FRP επιλέχθηκαν ως υλικά οπλισμού στην κατασκευή έργων από τις ΗΠΑ, κάποιες Ασιατικές και Ευρωπαϊκές χώρες. Στα πλαίσια του πεδίου κατασκευών μεγάλων έργων, διάφορα νέα κατασκευαστικά συστήματα με υλικά FRP έχουν προταθεί, σχεδιαστεί και πειραματικά επαληθευτεί. Αυτά περιλαμβάνουν καταστρώματα γεφυρών προς αποκατάσταση και επανακατασκευή υφισταμένων καθώς και κατασκευή νέων [19, 20]. Ωστόσο, στα προηγούμενα χρόνια δόθηκε μεγαλύτερο ενδιαφέρον στα καταστρώματα γεφυρών, λόγω των εγγενών πλεονεκτημάτων τους στην αντοχή και ακαμψία ανά μονάδα βάρους, σε σύγκριση με τα καταστρώματα γεφυρών από σκυρόδεμα, οπλισμένων με χάλυβα. Μειώνοντας το βάρος των προς αποκατάσταση καταστρωμάτων στις εργασίες επισκευής, εμφανίζεται η δυνατότητα γρήγορης αντικατάστασης και μείωσης του νεκρού φορτίου, με συνέπεια να αυξάνεται η τιμή του ωφέλιμου φορτίου της κατασκευής.

1.3 ΤΑ FRP ΩΣ ΔΟΜΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Ενώ η πλειοψηφία των ιστορικών δεδομένων σχετικά με τις κατασκευές από FRP προέρχεται από τις αεροναυπηγικές, τις ναυτιλιακές καθώς και τις βιομηχανίες που σχετίζονται με αντιδιαβρωτικά υλικά, τα FRP χρησιμοποιούνται ως υλικά κατασκευών εδώ και αρκετές δεκαετίες. Πρωτοεμφανίστηκαν ως οπλισμός σε κατασκευές από σκυρόδεμα στα μέσα της δεκαετίας του 1950, ξεκινώντας από ημιμόνιμες κατασκευές και συνεχίζοντας με την αποκατάσταση ιστορικών μνημείων και διάφορες άλλες κατασκευαστικές εφαρμογές [27]. Τα βασικά προϊόντα που αναπτύχθηκαν ήταν θόλοι, καλύμματα και εξωτερικά πλαίσια κτιρίων.

Μία σπουδαία εξέλιξη των FRP, αναφορικά με την επιστήμη του πολιτικού μηχανικού, ήταν η εφαρμογή τους σε αποκαταστάσεις και ενισχύσεις κατασκευών από σκυρόδεμα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές του 1980, πολλές εφαρμογές με οπλισμό FRP πραγματοποιήθηκαν σε Ευρώπη και Ασία. Κατά το τέλος της δεκαετίας του 1980 και στις αρχές του 1990, καθώς το κόστος των υλικών FRP μειωνόταν συνεχώς και η ανάγκη για ανταγωνιστική ανανέωση των υποδομών γινόταν όλο και πιο ξεκάθαρη στον ανεπτυγμένο κόσμο, αυξήθηκε η πίεση για χρήση τέτοιων νέων υλικών, ώστε να δημιουργηθούν μεγαλύτερες προσδοκίες αναφορικά με τη λειτουργικότητα των υποδομών. Με την υποστήριξη ερευνητικών προγραμμάτων, τα οποία

χρηματοδοτήθηκαν από βιομηχανίες και κυβερνήσεις ανά τον κόσμο, τα υλικά από FRP βρήκαν ευρεία αποδοχή από τη χαρακτηριστικά συντηρητική βιομηχανία των κατασκευών σε περιπτώσεις ειδικών απαιτήσεων, όπως σε κατασκευές οι οποίες υπόκειντο σε έντονο χημικό περιβάλλον [1].

1.4 ΤΑ FRP ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

Η ενίσχυση της φέρουσας τοιχοποιίας με FRP μπορεί να περιλαμβάνει σεισμικές ή αιολικές αναβαθμίσεις, επισκευές της φθοράς, ή διόρθωση των σχεδιαστικών και κατασκευαστικών λαθών. Το FRP μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως καμπτικό ή διατμητικό στοιχείο ενίσχυσης για την αναβάθμιση της διαρθρωτικής ικανότητας, ή για να επαναφέρει την αρχική ικανότητα των κατεστραμμένων στοιχείων (συνήθως των τοίχων) που υπόκεινται σε εκτός επιπέδου και εντός επιπέδου φορτίο. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση της υφιστάμενης προέκτασης στην κατασκευή τοιχοποιίας. Ένα παράδειγμα είναι η συρραφή μεγάλων ρωγμών για την αποκατάσταση της ακεραιότητας της τοιχοποιίας όταν αυτή δεν μπορεί να επιτευχθεί με απλό "γέμισμα" ρωγμών με ένα υλικό επισκευής. Επιπλέον, το FRP μπορεί να τυλίγεται γύρω από τα στοιχεία τοιχοποιίας για την παροχή δέσμησης.

Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων φέρουσας τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής : (α) υγρής εφαρμογής (ή επιτόπου σκλήρυνση της μήτρας) και (β) προκατασκευασμένα (η σκλήρυνση της μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής) [29, 30].

Τα συστήματα υγρής ενίσχυσης είναι τα παρακάτω:

- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης, χωρίς μήτρα («ξηρή» κατάσταση). Για την εφαρμογή τους απαιτείται συνήθως η εφαρμογή «ασταρώματος» στο σκυρόδεμα και ακολούθως ο εμποτισμός των ινών με ρητίνη βάσει μιας εκ των εξής μεθόδων:
 - (i) εφαρμογή της ρητίνης στο σκυρόδεμα, τοποθέτηση των ινών απευθείας στη ρητίνη.
 - (ii) προεμποτισμός των ινών (επί τόπου στο έργο αλλά όχι επάνω στο υπό ενίσχυση στοιχείο) με ρητίνη και ακολούθως επικόλληση.
- Υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις (π.χ. 0 και 90° ή +45° σε σχέση με τον άξονα του υπό ενίσχυση μέλους, χωρίς μήτρα).

- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας κυρίως διεύθυνσης, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επιπλέον ρητίνη.
- Φύλλα ή υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή. Η εφαρμογή τους γίνεται με ή χωρίς επιπλέον ρητίνη.
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος.
- Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο ενώ τυλίγεται στο στοιχείο σκυροδέματος, ενδεχομένως να υφίσταται και πρόσθετο εμποτισμό [29, 30].

Τα συστήματα ενίσχυσης με προκατασκευασμένα υλικά είναι τα ακόλουθα:

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα (και σχετικά δύσκαμπτα ελάσματα), τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης. Τα ελάσματα διατίθενται συνήθως σε μορφή ρόλων (κουλούρες) και παράγονται με τη μέθοδο της εξέλασης ή σπανιότερα, της στρωμάτωσης. Στη μέθοδο της εξέλασης οι ίνες είναι κατά κανόνα συνεχείς και παράλληλες στη διεύθυνση των ελασμάτων, ενώ η στρωμάτωση επιτρέπει τη χρήση ινών σε διαφορετικές διευθύνσεις (π.χ. παράλληλες και κάθετες στη διεύθυνση των ελασμάτων η και υπό γωνίες $+45^\circ$ ή -45°).
- Προκατασκευασμένα κελύφη (shells), μανδύες (jackets) ή γωνιές (angles) τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης.

Γενικά τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμούνται έναντι των υφασμάτων όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών η πλακών), ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστρωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου προτιμάται [29, 30].

Κεφάλαιο II

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, οι υπάρχουσες εξισώσεις της βιβλιογραφίας για την καμπτική αντοχή της ενισχυμένης με FRP φέρουσας τοιχοποιίας επαναδιατυπώνονται, με βάση την ρεαλιστική υπόθεση ότι τα ελάσματα FRP δεν μπορούν να παραλάβουν θλιπτικές τάσεις. Η επαναδιατύπωση των εξισώσεων αυτών βασίζεται στις γενικές υποθέσεις και αρχές της μεθόδου των οριακών καταστάσεων διατομής, που αποτελούν τη βάση σχεδιασμού κατασκευών. Οι βασικές υποθέσεις που γίνονται στην παρούσα εργασία, είναι συμβατές με αυτές του EC6, που αναφέρεται στον σχεδιασμό κατασκευών με φέρουσα τοιχοποιία, και του E8, που αναφέρεται στον αντισεισμικό σχεδιασμό. Οι εξισώσεις αντοχής αναπτύσσονται για τις δυο καμπτικές καταπονήσεις που μπορεί να υποστεί λόγω σεισμού μια φέρουσα τοιχοποιία: την αντιεπίπεδη καταπόνηση και την συνεπίπεδη καταπόνηση. Οι δύο αυτές καμπτικές καταπονήσεις δείχνονται στο Σχήμα 2-1(α) και 2-1(β). Στο Σχήμα 2-1(γ) δείχνεται η διατμητική καταπόνηση, που δεν αποτελεί αντικείμενο ανάλυσης της παρούσας εργασίας.

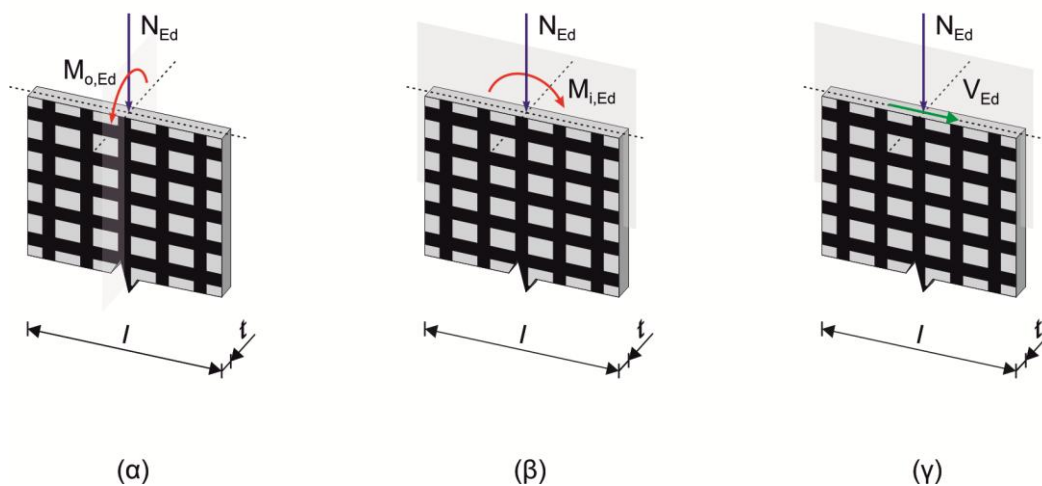
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΕΠΙΠΕΔΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

2.2.1 Περιγραφή του μοντέλου ανάλυσης

Για την ανάλυση, θεωρείται το τοίχωμα τοιχοποιίας μήκους l και πάχους t (Σχήμα 2-1α), που καταπονείται από μία καμπτική ροπή $M_{o,Rd}$ και από μία θλιπτική αξονική δύναμη N_{Ed} . Τα φορτία αυτά επενεργούν κατά τέτοιο τρόπο στο τοίχωμα, ώστε να εισάγουν μία εκτός επιπέδου καμπτική παραμόρφωση. Η εφελκυστική εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος οπλίζεται με ελάσματα FRP, που συγκολλούνται στην επιφάνεια με εποξειδική ρητίνη. Στην κατακόρυφη διαμήκη διεύθυνση, ο λόγος οπλισμού της ενίσχυσης ρ_v είναι

$$\rho_v = \frac{A_{FRP,v}}{lt}, \quad (2.1)$$

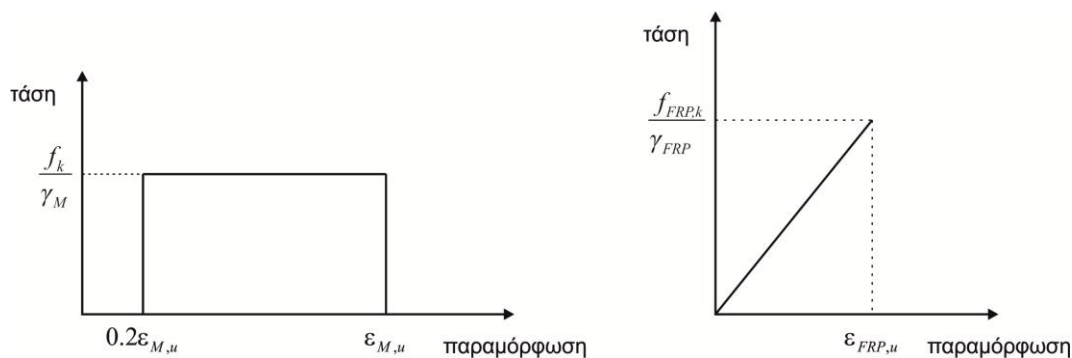
όπου $A_{FRP,v}$ είναι το εμβαδόν οπλισμού FRP που έχει τοποθετηθεί στην κατακόρυφη διεύθυνση.



Σχήμα 2-1 Η καταπόνηση της τοιχοποιίας από (α) αντιεπίπεδη κάμψη, (β) συνεπίπεδη κάμψη, και (γ) διάτμηση

Τα ελάσματα FRP, τα οποία τοποθετήθηκαν, έχουν μέτρο ελαστικότητας E_{FRP} , χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή $f_{FRP,k}$, και συνολική εφελκυστική παραμόρφωση

$\varepsilon_{FRP,u}$. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_k και η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση $\varepsilon_{M,u}$. Τα μεγέθη αυτά δείχνονται στα διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων, που υιοθετούνται στην παρούσα ανάλυση και δείχνονται στο Σχήμα 2.2. Οι μερικοί συντελεστές για το FRP και την τοιχοποιία θα δηλώνονται με γ_{FRP} και γ_M , αντίστοιχα.



Σχήμα 2-2 Τα εξιδανικευμένα διαγράμματα τάσεων- παραμορφώσεων
(α) FRP και (β) τοιχοποιίας

Για την ανάπτυξη των σχέσεων που περιγράφουν την συμπεριφορά της ενισχυμένης διατομής της τοιχοποιίας, εισάγονται οι παρακάτω απλοποιητικές παραδοχές :

- Επίπεδες διατομές της τοιχοποιίας πριν την κάμψη, παραμένουν επίπεδες και μετά την κάμψη.
- Οι εφελκυστικές αντοχές της τοιχοποιίας, της συγκόλλησης τοιχοποιίας- FRP και των FRP στην εγκάρσια διεύθυνση θεωρούνται αμελητέες.
- Τα ελάσματα FRP λειτουργούν ως στοιχεία δικτύωματος.

Η τελευταία υπόθεση για τα FRP δικαιολογείται μόνο στην περίπτωση που έχουν χρησιμοποιηθεί στενές λωρίδες και οπλισμός. Στην περίπτωση των πλατειών λωρίδων, θα πρέπει να γίνουν άλλες πιο σύνθετες προσεγγίσεις, που θα εμπλέκουν την επιφανειακή συμπεριφορά των στοιχείων αυτών.

Για την ανάπτυξη των εξισώσεων της καμπτικής αντοχής, με βάση την θεωρία των οριακών καταστάσεων, θα υποτεθεί ότι αστοχία της ενισχυμένης τοιχοποιίας επέρχεται, όταν θραυσθεί η τοιχοποιία από θλίψη. Η αστοχία του FRP είναι αδύνατο να συμβεί, επειδή το όριο αστοχίας είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο (κατά απόλυτη τιμή) από το όριο της θλιπτικής αντοχής της τοιχοποιίας. Θεωρητικά θα μπορούσε να συμβεί αστοχία από την διάρρηξη του FRP, αν είχε τοποθετηθεί μικρό ποσοστό οπλισμού FRP στην εφελκυστική επιφάνεια. Αυτό θα είχε σαν συνέπεια μεγάλες παραμορφώσεις, οι οποίες

θα δημιουργούσαν άλλα προβλήματα στην τοιχοποιία. Ενώ ο υπο-οπλισμός στις συμβατικές κατασκευές είναι η επιθυμητή κατάσταση λόγω πλαστιμότητας και οικονομίας, στην περίπτωση των FRP αποφεύγεται λόγω των αρνητικών συνεπειών που προκαλεί το μικρό μέτρο ελαστικότητας του υλικού αυτού.

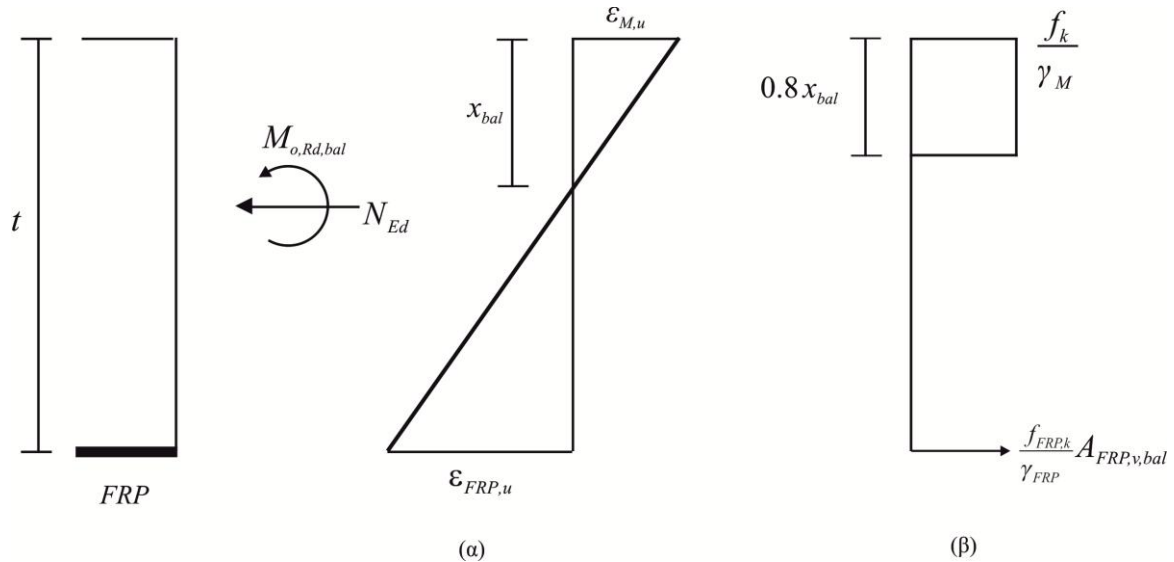
2.2.2 Η ισόρροπη διατομή της οπλισμένης τοιχοποιίας για εκτός επιπέδου κάμψη με αξονική δύναμη

Στην ανάπτυξη των εξισώσεων αντοχής διατομών στα πλαίσια της θεωρίας των οριακών καταστάσεων, ορίζεται η οριακή κατάσταση της ισόρροπης διατομής. Στην περίπτωση της διατομής της οπλισμένης τοιχοποιίας, η κατάσταση παραμόρφωσης της ισόρροπης διατομής δείχνεται στο Σχήμα 2.3. Η ισόρροπη κατάσταση της διατομής ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη της διατομής, όπου ο οπλισμός FRP έχει φθάσει το όριο αντοχής του, δηλαδή στην τιμή εφελκυστικής διάρρηξης $\varepsilon_{FRP,u}$, ενώ την ίδια στιγμή η τοιχοποιία έχει φθάσει το όριο θλιπτικής αντοχής $\varepsilon_{M,u}$.

Στις απλοποιητικές υποθέσεις που έχουν γίνει για την διατομή, θα πρέπει να συμπεριληφθούν και οι παρακάτω :

- Η διανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος του πάχους της διατομής είναι γραμμική.
- Οι αναπτυσσόμενες θλιπτικές τάσεις στην τοιχοποιία μπορούν, στην κατάσταση της ισορροπίας διατομής, να αντικατασταθούν με μία ομοιόμορφη διατομή πάνω στην θλιβόμενη ζώνη της διατομής σε ένα μήκος $0.8x$.

Οι παραπάνω δύο υποθέσεις απεικονίζονται στο Σχήμα 2.3.



Σχήμα 2-3 Οι διανομές τάσεων και παραμορφώσεων στην διατομή για την κατάσταση της ισορροπίας διατομής στην αντεπίπεδη κάμψη: (α) παραμορφώσεις (β) τάσεις

Το πάχος της θλιβόμενης ζώνης βρίσκεται από το διάγραμμα του σχήματος

$$\frac{x_{bal}}{\varepsilon_{M,u}} = \frac{t - x_{bal}}{\varepsilon_{FRP,u}},$$

από όπου

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}} t. \quad (2.2)$$

Στην κατάσταση της οριακής ισορροπίας, όπως έχει υποθεθεί, η διανομή των θλιπτικών τάσεων καλύπτει το 80% της θλιβόμενης ζώνης, και επομένως η ολική θλιβόμενη δύναμη στην τοιχοποιία θα είναι

$$F_c = 0.8 x_{bal} l \frac{f_k}{\gamma_M}. \quad (2.3)$$

Από την άλλη μεριά, ο οπλισμός FRP που έχει τεθεί στην μορφή ελασμάτων και έχει εμβαδόν $A_{FRP,v}$ θα καταπονείται με μία τάση $f_{FRP,k} / \gamma_{FRP}$, που αντιστοιχεί στην παραμόρφωση $\varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}$ του σχετικού διαγράμματος. Επομένως η εφελκυστική δύναμη που καταπονεί τον οπλισμό, θα είναι

$$F_t = \frac{f_{FRP,k}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v,bal}. \quad (2.4)$$

Από την ισορροπία των δυνάμεων, έχουμε

$$F_c + N_{Ed} = F_t. \quad (2.5)$$

Από την σχέση (2.5), με αντικατάσταση των σχετικών δυνάμεων από τις σχέσεις (2.3) και (2.4), προκύπτει

$$0.8x_{bal}l \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \frac{f_{FRP,k}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v,bal},$$

η οποία λόγω της (2.2), γίνεται

$$0.8 \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}} l \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \frac{f_{FRP,k}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v,bal}.$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει

$$A_{FRP,v,bal} = \frac{0.8\gamma_{FRP}\varepsilon_{M,u}l f_k}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})\gamma_M f_{FRP,k}} + \frac{\gamma_{FRP}N_{Ed}}{f_{FRP,k}}. \quad (2.6)$$

Η σχέση (2.1) λόγω της (2.6) γίνεται

$$\rho_{FRP,v,bal} = \frac{0.8\gamma_{FRP}\varepsilon_{M,u}f_k}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})\gamma_M f_{FRP,k}} + \frac{\gamma_{FRP}N_{Ed}}{f_{FRP,k}lt}. \quad (2.7)$$

Ορίζοντας το μηχανικό ποσοστό της ενίσχυσης ω_{bal} , με τη σχέση

$$\omega_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u}E_{FRP}\rho_{FRP,v,bal}}{f_k},$$

η σχέση (2.7) παρέχει

$$\omega_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u}\gamma_{FRP}E_{FRP}}{f_{FRP,k}} \left[\frac{0.8}{\gamma_M} \frac{\varepsilon_{M,u}}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})} + \frac{N_{Ed}}{f_k lt} \right]. \quad (2.8)$$

Όμως, επειδή $\varepsilon_{FRP,u} = \frac{f_{FRP,k}}{E_{FRP}}$, έχουμε

$$\omega_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{FRP,u}} \gamma_{FRP} \left[\frac{0.8}{\gamma_M} \frac{\varepsilon_{M,u}}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})} + \frac{N_{Ed}}{f_k lt} \right]. \quad (2.9)$$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, σε μία συγκεκριμένη διατομή, η τιμή αυτής της ποσότητας υπολογίζεται όταν είναι γνωστά τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας και του ελάσματος FRP, οι διαστάσεις της διατομής και το μέγεθος του

αξονικού φορτίου. Έχοντας υπολογίσει την τιμή αυτή, προκύπτει το ποσοστό οπλισμού $\rho_{FRP,v,bal}$ από την σχέση

$$\rho_{FRP,v,bal} = \frac{f_k}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP}} \omega_{bal}.$$

Η διατομή θα αστοχήσει από θρυμματισμό της τοιχοποιίας αν το υπάρχον ποσοστό ενίσχυσης $\rho_{FRP,v}$ είναι μεγαλύτερο από το $\rho_{FRP,v,bal}$, δηλαδή

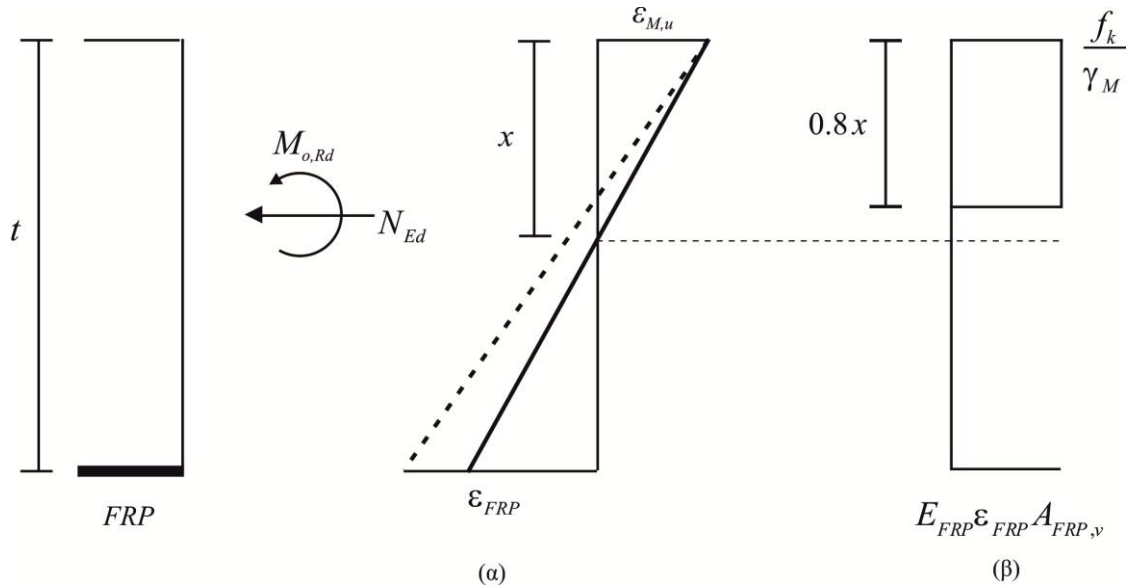
$$\rho_{FRP,v} \left(= \frac{A_{FRP,v}}{t l} \right) \geq \rho_{FRP,v,bal}.$$

2.2.3 Η αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας για καμπτική καταπόνηση με αξονική δύναμη

Στην συνέχεια, θα εξαχθεί η διατομή σε κάμψη της διατομής, όταν ο υπάρχον οπλισμός $\rho_{FRP,v}$ είναι μεγαλύτερος από την οριακή τιμή $\rho_{FRP,v,bal}$. Στην περίπτωση αυτή, η μέγιστη παραμόρφωση της τοιχοποιίας θα είναι η οριακή τιμή $\varepsilon_{M,u}$, όπως στην κατάσταση της ισόρροπης διατομής, ενώ η παραμόρφωση των FRP θα είναι $\varepsilon_{FRP} < \varepsilon_{FRP,u}$. Στην περίπτωση αυτή, το πάχος x της θλιβόμενης ζώνης στην διατομή της τοιχοποιίας θα είναι

$$x = \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} t. \quad (2.10)$$

Η σχέση αυτή εξάγεται εύκολα από το διάγραμμα παραμορφώσεων του Σχήματος 2.4.



Σχήμα 2-4 Οι διανομές τάσεων και παραμορφώσεων στην διατομή στην οριακή κατάσταση για αντιεπίπεδη κάμψη

Όπως στην περίπτωση της ισόρροπης διατομής, οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στην διατομή θα είναι

$$F_c = 0.8xl \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (2.11)$$

για το σκυρόδεμα και

$$F_t = \frac{f_{FRP}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v} \quad (2.12)$$

για το FRP. Από την ισορροπία των δυνάμεων που επενεργούν στην διατομή, προκύπτει η σχέση

$$F_c + N_{Ed} = F_t, \quad (2.13)$$

από όπου με αντικατάσταση των σχέσεων (2.11) και (2.12), η σχέση (2.13) παρέχει

$$0.8xl \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \frac{f_{FRP}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v}. \quad (2.14)$$

Η σχέση αυτή, λόγω της (2.10), γίνεται

$$0.8 \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} tl \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \frac{f_{FRP}}{\gamma_{FRP}} A_{FRP,v}. \quad (2.15)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει

$$A_{FRP,v} = 0.8lt \frac{\gamma_{FRP}}{\gamma_M} \frac{f_k}{f_{FRP}} \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} + \frac{\gamma_{FRP} N_{Ed}}{f_{FRP}}. \quad (2.16)$$

Άρα, η σχέση (2.1) λόγω της (2.16) γίνεται

$$\rho_{FRP,v} = 0.8 \frac{\gamma_{FRP}}{\gamma_M} \frac{f_k}{f_{FRP}} \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} + \frac{\gamma_{FRP} N_{Ed}}{f_{FRP} l t} \quad (2.17)$$

Ορίζοντας το μηχανικό ποσοστό οπλισμού με την σχέση

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP}}{f_k} \rho_{FRP,v},$$

από την σχέση (2.17) προκύπτει

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{FRP}} \gamma_{FRP} \left(\frac{0.8}{\gamma_M} \frac{x}{t} + \frac{N_{Ed}}{f_k l t} \right), \quad (2.18)$$

Από την παραπάνω σχέση, με δεδομένα τα μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας και του ελάσματος, επιλύοντας την σχετική δευτεροβάθμια εξίσωση, προκύπτει το πάχος της θλιβόμενης ζώνης της τοιχοποιίας

$$\frac{x}{t} = \frac{\gamma_M}{1.6 \gamma_{FRP}} \left[- \left(\omega + \frac{N_{Ed} \gamma_{FRP}}{f_k l t} \right) + \sqrt{\left(\omega + \frac{N_{Ed} \gamma_{FRP}}{f_k l t} \right)^2 + \frac{3.2 \gamma_{FRP}}{\gamma_M} \omega} \right]. \quad (2.19)$$

Έχοντας υπολογίσει το πάχος της θλιβόμενης ζώνης της τοιχοποιίας, μπορούν να υπολογισθούν και οι τιμές των δυνάμεων F_c και F_t , που καταπονούν την τοιχοποιία.

Η ροπή των δυνάμεων αυτών, ως προς τον μεσαίο άξονα των διατομών, θα είναι

$$\frac{M_{o,Rd}}{l t^2 f_k} = \frac{1}{2} \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{\left(1 - \frac{x}{t}\right)}{\frac{x}{t}} + \frac{0.4}{\gamma_{FRP}} \frac{x}{t} \left(1 - 0.8 \frac{x}{t}\right). \quad (2.20)$$

2.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΕΠΙΠΕΔΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

2.3.1 Η ισόρροπη διατομή για συνεπίπεδη καμπτική καταπόνηση παρουσία αξονικής δύναμης

Στην περίπτωση αυτή, θα αναλυθεί η συμπεριφορά της ενισχυμένης τοιχοποιίας με διατομή $t \times l$, όταν καταπονείται από μία καμπτική ροπή $M_{i,Ed}$, που επενεργεί στο

μεσαίο κατακόρυφο επίπεδο του τοιχώματος και από μία θλιπτική δύναμη N_{Ed} που εφαρμόζεται στο κέντρο βάρους της διατομής (Σχήμα 2.1β). Στην περίπτωση αυτή, ο οπλισμός της διατομής, δηλαδή τα ελάσματα, έχει τοποθετηθεί κατά μήκος της διάστασης l και σε ίσες αποστάσεις s . Επειδή, τα ελάσματα είναι κολλημένα στην εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος, κατά την κάμψη της διατομής, θα υπάρχει συμβιβαστικότητα στις παραμορφώσεις των δύο συνδεδεμένων υλικών, που σημαίνει ότι οι παραμορφώσεις των ελασμάτων και οι παραμορφώσεις του τοιχώματος στα σημεία συγκόλλησης θα είναι ίσες.

Η ανάπτυξη των εξισώσεων θα βασιστεί στην υπόθεση ότι οι παραμορφώσεις της ενισχυμένης διατομής θα διανέμονται γραμμικά κατά μήκος της μεγάλης διάστασης l .

Η κατάσταση της ισόρροπης διατομής αντιστοιχεί σε θλιπτική παραμόρφωση της τοιχοποιίας, που είναι ίση με $\varepsilon_{M,u}$ και σε εφελκυστική παραμόρφωση του ακραίου ελάσματος n , που είναι ίση με $\varepsilon_n = \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}$. Στην περίπτωση αυτή, κατά την κάμψη, σε κάθε έλασμα i αναπτύσσεται μία παραμόρφωση ε_i που αντιστοιχεί σε μία δύναμη

$$F_i = E_{FRP} \varepsilon_i A_{FRP,vi,bal}, \quad (2.21)$$

όπου

$$A_{FRP,vi,bal} = \frac{A_{FRP,v,bal}}{n}$$

είναι το εμβαδόν διατομής της κάθε λωρίδας. Το n που υπεισέρχεται στη σχέση αυτή αντιπροσωπεύει τον αριθμό των λωρίδων.

Από το Σχήμα 2.1, προκύπτει ότι η θλιβόμενη ζώνη που αντιστοιχεί στην ισόρροπη διατομή είναι ίση με

$$x_{bal} = \frac{1}{2} l (1 + g) \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}}. \quad (2.22)$$

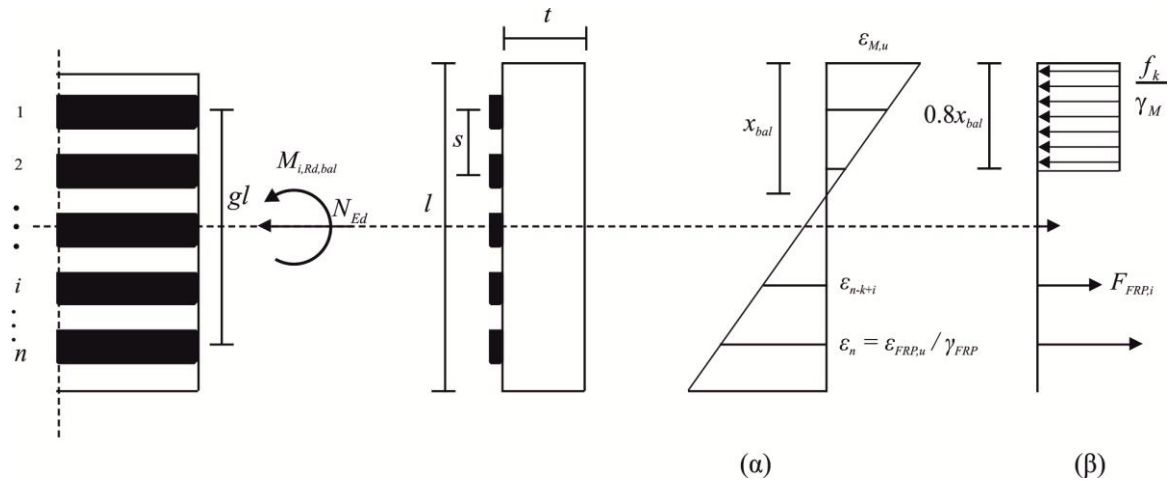
Υποθέτοντας και εδώ ότι η διανομή των θλιπτικών τάσεων είναι ομοιόμορφη και καλύπτει μία επιφάνεια $0.8x_{bal}t$ της θλιβόμενης διατομής, η θλιπτική δύναμη που αντιστοιχεί σε αυτή την διατομή είναι

$$F_c = 0.8x_{bal}t \frac{f_k}{\gamma_M}. \quad (2.23)$$

Στην συνέχεια, θα εισαχθεί η υπόθεση ότι τα ελάσματα FRP, που αντιστοιχούν στην θλιπτική περιοχή της τοιχοποιίας, δεν παραλαμβάνουν θλιπτικές δυνάμεις. Οι θετικές δυνάμεις F_i , που αναπτύσσονται στα ελάσματα, αντιστοιχούν στις εφελκυστικές

παραμορφώσεις ε_i του διαγράμματος παραμορφώσεων (βλέπε Σχήμα 2.5). Έστω k ότι είναι ο αριθμός των ελασμάτων, που αντιστοιχούν στην περιοχή της διατομής με τις εφελκυστικές παραμορφώσεις, και έστω $x_{n-k+1}, x_{n-k+2}, \dots, x_n$ ότι είναι οι αποστάσεις τους από την εξωτερική θλιβόμενη επιφάνεια του τοιχώματος. Ο αριθμός k των ελασμάτων που αντιστοιχούν στην εφελκυστική περιοχή της διατομής βρίσκεται ότι είναι

$$k = n - \text{int} \left[\frac{x_{bal}}{s} - \frac{1-g}{2} \frac{l}{s} \right].$$



Σχήμα 2-5 Οι διανομές τάσεων και παραμορφώσεων στην διατομή για την κατάσταση της ισορροπίας διατομής στην συνεπίπεδη κάμψη: (α) παραμορφώσεις, (β) τάσεις

Η δύναμη F_{n-k+i} , που αντιστοιχεί στο έλασμα που βρίσκεται στην θέση x_{n-k+i} ($i = 1, 2, \dots, k$), είναι

$$F_{n-k+i} = \frac{E_{FRP} \varepsilon_{n-k+i}}{\gamma_{FRP}} \frac{A_{FRP,v,bal}}{n}. \quad (2.24)$$

Η συνισταμένη δύναμη των δυνάμεων αυτών είναι

$$F_t = \sum_{i=1}^k F_{n-k+i}, \quad (2.25)$$

όπου λόγω της σχέσης (2.22), γίνεται

$$F_t = \varepsilon_{M,u} E_{FRP} A_{FRP,v,bal} \Delta_{bal}, \quad (2.26)$$

όπου

$$\Delta_{bal} = \frac{k}{n} \left[\frac{1-g + (2n-k-1)s/l}{2 x_{bal}/l} - 1 \right].$$

Από την ισορροπία των δυνάμεων, που επενεργούν στην διατομή, προκύπτει η σχέση

$$F_c + N_{Ed} = F_t. \quad (2.27)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή τις σχέσεις (2.23) και (2.24), έχουμε

$$0.8x_{bal}t \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \varepsilon_{M,u} E_{FRP} A_{FRP,v,bal} \Delta_{bal} \cdot \quad (2.28)$$

Η σχέση αυτή, λόγω της (2.22), γίνεται

$$0.4lt(1+g) \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}} \frac{f_k}{\gamma_M} + N_{Ed} = \varepsilon_{M,u} E_{FRP} A_{FRP} \Delta_{bal} \cdot \quad (2.29)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει

$$A_{FRP,v,bal} = 0.4lt \frac{1}{\Delta_{bal}} \frac{1+g}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}) E_{FRP}} \frac{f_k}{\gamma_M} + \frac{N_{Ed}}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta_{bal}} \cdot \quad (2.30)$$

Όμως επειδή

$$\rho_{FRP,v,bal} = \frac{A_{FRP,v,bal}}{lt},$$

η (2.30) γράφεται στην μορφή

$$\rho_{FRP,v,bal} = 0.4(1+g) \frac{1}{\Delta_{bal}} \frac{f_k / \gamma_M}{E_{FRP} (\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})} + \frac{N_{Ed}}{lt} \frac{1}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta_{bal}} \cdot \quad (2.31)$$

Αν ορισθεί το μηχανικό ποσοστό ενίσχυσης με την σχέση

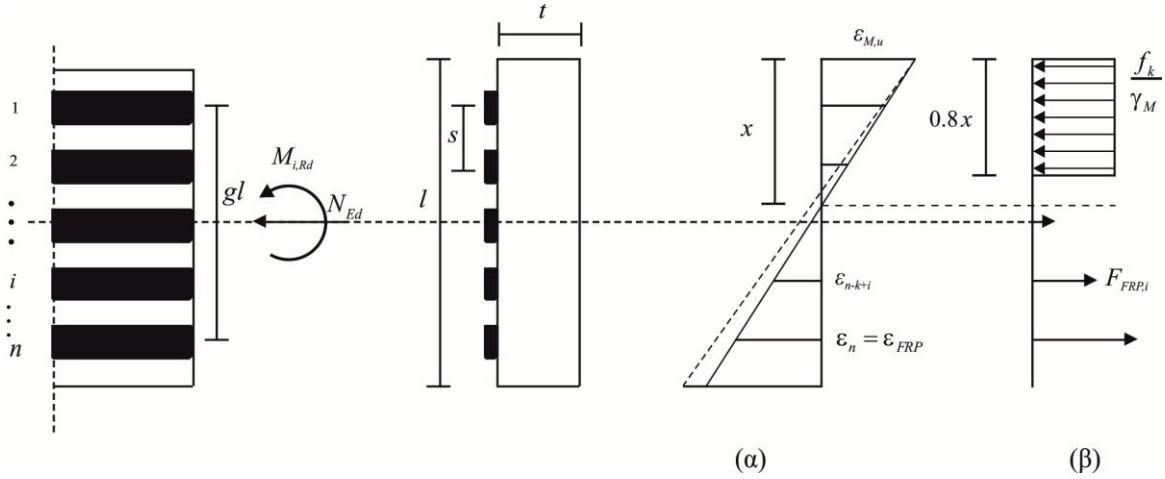
$$\omega_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \rho_{FRP,v,bal}}{f_k}, \quad (2.32)$$

τότε από την σχέση (2.31) προκύπτει

$$\omega_{bal} = \frac{0.4(1+g)}{\gamma_M \Delta_{bal}} \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}} + \frac{N_{Ed}}{lt f_k \Delta_{bal}} \cdot \quad (2.33)$$

2.3.2 Η καμπτική αντοχή της διατομής

Θα εξαχθεί τώρα η σχέση για την περίπτωση που ο υπάρχων οπλισμός ενίσχυσης ικανοποιεί την σχέση $\rho_{FRP,v} > \rho_{FRP,v,bal}$. Στην περίπτωση αυτή, η μέγιστη παραμόρφωση ε_n που αναπτύσσεται στο έλασμα n είναι μικρότερη από αυτή που αντιστοιχεί στην διάρρηξη (βλέπε Σχήμα 2.6), δηλαδή ισχύει $\varepsilon_n = \varepsilon_{FRP} < \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}$. Όταν ισχύουν οι παραπάνω προϋποθέσεις, τότε στο κάθε έλασμα i αναπτύσσεται μία παραμόρφωση ε_i .



Σχήμα 2-6 Οι διανομές τάσεων και παραμορφώσεων στην διατομή στην οριακή κατάσταση για συνεπίπεδη κάμψη

Οπότε

$$F_i = E_{FRP} \varepsilon_i A_{FRP,vi}, \quad (2.34)$$

όπου

$$A_{FRP,vi} = \frac{A_{FRP,v}}{n}$$

είναι το εμβαδόν της λωρίδας i .

Το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει ότι είναι

$$x = \frac{1}{2} l (1 + g) \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}}. \quad (2.35)$$

Υποθέτοντας, όπως παραπάνω, ότι η διανομή των θλιπτικών τάσεων είναι ομοιόμορφη πάνω στην επιφάνεια διατομής $0.8xt$, η θλιπτική δύναμη είναι

$$F_c = 0.8xt \frac{f_k}{\gamma_M}. \quad (2.36)$$

Προχωρώντας με τον ίδιο τρόπο, όπως στην περίπτωση της ισόρροπης διατομής, βρίσκεται ότι η συνολική εφελκυστική δύναμη που αναπτύσσεται στα εφελκυόμενα ελάσματα είναι

$$F_t = \varepsilon_{M,u} E_{FRP} A_{FRP,v} \Delta, \quad (2.37)$$

όπου

$$\Delta = \frac{k}{n} \left[\frac{1}{2} \frac{1 - g + (2n - k - 1)s/l}{x/l} - 1 \right].$$

Από την σχέση ισορροπίας των δυνάμεων που επενεργούν στην διατομή

$$F_c + N_{Ed} = F_t, \quad (2.38)$$

προκύπτει

$$A_{FRP,v} = 0.4lt \frac{1}{\Delta (\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}) E_{FRP}} \frac{1+g}{\gamma_M} \frac{f_k}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta} + \frac{N_{Ed}}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta}. \quad (2.39)$$

Αντικαθιστώντας την παραπάνω σχέση στην

$$\rho_{FRP,v} = \frac{A_{FRP,v}}{lt},$$

προκύπτει

$$\rho_{FRP,v} = 0.4(1+g) \frac{1}{\Delta E_{FRP} (\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP})} \frac{f_k / \gamma_M}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta} + \frac{N_{Ed}}{lt} \frac{1}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta}. \quad (2.40)$$

Ορίζοντας το μηχανικό ποσοστό ενίσχυσης από την σχέση

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \rho_{FRP,v}}{f_k}, \quad (2.41)$$

μετά από αντικατάσταση της με την σχέση (2.40), προκύπτει

$$\omega = \frac{0.4(1+g)}{\gamma_M \Delta} \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} + \frac{N_{Ed}}{lt f_k \Delta}. \quad (2.42)$$

Από την παραπάνω σχέση, με την επίλυση της σχετικής δευτεροβάθμιας εξίσωσης, προκύπτει το πάχος της θλιβόμενης ζώνης της τοιχοποιίας

$$\frac{x}{l} = \frac{\gamma_M}{1.6} \left[-\frac{N_{Ed}}{f_k t l} - \omega \frac{k}{n} + \sqrt{\left(\frac{N_{Ed}}{f_k t l} + \omega \frac{k}{n} \right)^2 + \frac{1.6}{\gamma_M} \omega \frac{k}{n} \left[1-g + (2n-k-1) \frac{s}{l} \right]} \right]. \quad (2.43)$$

Η ροπή των δυνάμεων F_c και F_t , που καταπονούν την τοιχοποιία, ως προς τον μεσαίο άξονα των διατομών θα είναι

$$\frac{M_{i,Rd}}{t l^2 f_k} = \frac{0.4}{\gamma_M} \frac{x}{l} \left(1 - 0.8 \frac{x}{l} \right) + \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{k}{n} \left(\frac{S}{(x/l)} - \left[1 + \frac{1}{2(x/l)} \right] T + \frac{1}{2} \right), \quad (2.44)$$

όπου

$$S = \frac{1}{4}(1-g)^2 + \frac{1}{2}(1-g)(2n-k-1) \frac{s}{l} + \left[n(n-k-1) + \frac{1}{6}(k+1)(2k+1) \right] \left(\frac{s}{l} \right)^2$$

και

$$T = \frac{1}{2} \left[(1-g) + (2n-k-1) \frac{s}{l} \right].$$

Κεφάλαιο III

Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο II αναπτύχθηκαν οι σχέσεις που παρέχουν την καμπτική αντοχή της διατομής μίας τοιχοποιίας για αντεπίπεδη και συνεπίπεδη καμπτική καταπόνηση. Η ανάπτυξη των σχέσεων αυτών στηρίχθηκε στις βασικές αρχές των οριακών καταστάσεων, που αποτελούν την βάση σχεδιασμού των σύγχρονων κωδίκων. Στο κεφάλαιο αυτό, θα περιγραφεί η διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί για τον σχεδιασμό της καμπτικής ενίσχυσης ενός κτιρίου με φέρουσα τοιχοποιία στα πλαίσια των Ευρωκωδίκων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι υποθέσεις ανάλυσης, που χρησιμοποιήθηκαν στο κεφάλαιο II για την ανάπτυξη των σχέσεων καμπτικής αντοχής, είναι συμβατές με αυτές των EC6 και EC8. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο EC6 αναφέρεται στον σχεδιασμό κτιρίων με φέρουσα τοιχοποιία και ο EC8 στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κατασκευών.

3.2 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΦΕΡΟΥΣΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Για την μελέτη της ενίσχυσης ενός υφιστάμενου κτιρίου με φέρουσα τοιχοποιία, θα πρέπει, πρώτα, να εκδηλωθεί ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει να ενισχυθεί το κτίριο και, στη συνέχεια, να διαπιστωθεί ότι το υφιστάμενο κτίριο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις που

ισχύουν σήμερα για τον σχεδιασμό κτιρίων με φέρουσα τοιχοποιία. Στην χώρα μας, οι απαιτήσεις αυτές καθορίζονται από τους EC6 και EC8, αν και ακόμα οι Ευρωκώδικες δεν έχουν γίνει επίσημα νόμος του κράτους. Έτσι λοιπόν, για ένα υφιστάμενο κτίριο θα πρέπει να γίνει ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης, με βάση τους δύο παραπάνω κώδικες, για να διαπιστωθεί αν ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ασφάλειας και λειτουργικότητας.

Συνήθως, για ένα υφιστάμενο κτίριο, που έχει κατασκευαστεί με παλαιότερους κανονισμούς, είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν στο σύνολό τους οι αυστηρές απαιτήσεις, που θέτουν οι Ευρωκώδικες. Ως επί το πλείστον, κατά την ανάλυση της στατικής επάρκειας, ο έλεγχος περιορίζεται μόνο στις απαιτήσεις ασφάλειας των κωδίκων αυτών και όχι στις απαιτήσεις λειτουργικότητας.

Η ανάλυση και ο σχεδιασμός της ενίσχυσης ενός υφιστάμενου κτιρίου περιλαμβάνει τις παρακάτω φάσεις:

ΦΑΣΗ 1: Αποτύπωση της γεωμετρίας του υφιστάμενου κτιρίου

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση του κτιρίου, θα πρέπει να γίνει λεπτομερής αποτύπωση της γεωμετρίας του φέροντος οργανισμού του κτιρίου, που περιλαμβάνει:

- Την αποτύπωση των κατακόρυφων στοιχείων, που είναι οι φέρουσες τοιχοποιίες του κτιρίου μαζί με τα υπάρχοντα σε αυτές ανοίγματα.
- Την αποτύπωση των οριζόντιων και κεκλιμένων στοιχείων του κτιρίου, που είναι, συνήθως, τα δάπεδα και η στέγη. Θα πρέπει να γίνει ιδιαίτερη διερεύνηση του τρόπου σύνδεσης των στοιχείων αυτών με τα κατακόρυφα.
- Την αποτύπωση της θεμελίωσης του κτιρίου. Συνήθως, η αποτύπωση της θεμελίωσης απαιτεί τυπικές εδαφικές τομές σε διάφορες θέσεις του κτιρίου. Απαιτείται να βρεθεί το βάθος θεμελίωσης του κτιρίου, καθώς και ο τρόπος που έχει πραγματοποιηθεί η θεμελίωση.

Γενικά, η αποτύπωση του υφιστάμενου κτιρίου θα μπορούσε να διευκολυνθεί εάν είναι διαθέσιμα τα σχέδια μελέτης του κτιρίου. Θα πρέπει να τονισθεί ότι, ανεξάρτητα αν υπάρχουν ή όχι τα σχέδια μελέτης, ο σχεδιασμός του κτιρίου θα πρέπει να βασισθεί στην αποτύπωση της πραγματικής γεωμετρίας του κτιρίου, που θα απεικονίζεται σε σχέδια κατόψεων και τομών, καθώς και με σχέδια λεπτομερειών, όπου απαιτούνται.

ΦΑΣΗ 2: Προσδιορισμός των δομικών υλικών του κτιρίου και εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους

Ο προσδιορισμός των υλικών, με τα οποία έχει κατασκευαστεί το κτίριο, γίνεται, συνήθως, με οπτικό έλεγχο. Στις φέρουσες τοιχοποιίες, θα πρέπει να προσδιορισθεί ο τρόπος δόμησης της τοιχοποιίας και τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί. Θα πρέπει δηλαδή, να εκτιμηθεί το μέγεθος και η αντοχή των λιθοσωμάτων του κτιρίου, καθώς και η αντοχή των συνδετικών υλικών της τοιχοποιίας. Τα δύο αυτά στοιχεία θα επιτρέψουν την εκτίμηση των παρακάτω μηχανικών χαρακτηριστικών της τοιχοποιίας:

- της θλιπτικής αντοχής,
- του μέτρου ελαστικότητας και του μέτρου διάτμησης της τοιχοποιίας,
- του ειδικού βάρους τοιχοποιίας.

Επίσης, στη φάση αυτή, θα πρέπει να περιγραφούν τα υλικά επίστρωσης του κτιρίου, όπως και τα υλικά δαπέδου και στέγης. Τα στοιχεία αυτά θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό του ιδίου βάρους του κτιρίου. Οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών που θα προκύψουν στη φάση αυτή, θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση του κτιρίου.

ΦΑΣΗ 3: Σεισμικά στοιχεία του κτιρίου και της περιοχής του κτιρίου

Για την σεισμική ανάλυση του κτιρίου σύμφωνα με τον EC8, θα πρέπει να προσδιορισθούν:

- ο συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης του κτιρίου,
- η κατηγορία σπουδαιότητας του κτιρίου και η κατηγορία εδάφους του κτιρίου,
- οι τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T_1 και T_2 του επιταχυνσιογραφήματος που θα χρησιμοποιηθεί για την σεισμική ανάλυση.
- ο συντελεστής θεμελίωσης, η κρίσιμη απόσβεση και ο συντελεστής φασματικής ενίσχυσης.

Με βάση τα στοιχεία αυτά θα υπολογισθεί η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου, η παράμετρος φάσματος σχεδιασμού $\Phi_d(T)$ και η πλευρική διανομή των σεισμικών δυνάμεων του κτιρίου. Με την χρήση αυτών των στοιχείων θα γίνει δυναμική ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου για τον προσδιορισμό της στατικής του επάρκειας.

Η αστοχία των υφιστάμενων κτιρίων σε μία συγκεκριμένη διατομή, σύμφωνα με EC2 και E8, μπορεί να είναι:

- Αστοχία από αντεπίπεδη κάμψη παρουσία αξονικής δύναμης
- Αστοχία από συνεπίπεδη κάμψη παρουσία αξονικής δύναμης
- Αστοχία από διάτμηση

Η δυναμική ανάλυση του κτιρίου για την διαπίστωση της στατικής του επάρκειας, εμπλέκει αναπόφευκτα ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία, που καθιστά αναγκαία την χρήση κατάλληλων λογισμικών προγραμμάτων.

ΦΑΣΗ 4: Σχεδιασμός ενίσχυσης

Αν από την ανάλυση της στατικής επάρκειας διαπιστωθεί ότι συμβαίνει αστοχία σε διάφορες θέσεις του κτιρίου, θα πρέπει να γίνει ενίσχυση του κτιρίου στις θέσεις αυτές. Η ενίσχυση, που πρέπει να γίνει, θα πρέπει να εφοδιάσει το κτίριο με επιπρόσθετη αντοχή προκειμένου να παραλάβει τα εντατικά μεγέθη που προκαλούν την αστοχία.

Η αστοχία της τοιχοποιίας συμβαίνει σε κρίσιμες διατομές, που συνήθως είναι ορθογωνικών διαστάσεων $l \times t$. Στις διατομές αυτές, από τα φορτία που θα καταπονήσουν το κτίριο, θα προκύψουν οι παρακάτω μέγιστες τιμές των εντατικών μεγεθών:

- $M_{o,Ed}$, N_{Ed} , για την αντεπίπεδη καμπτική καταπόνηση
- $M_{i,Ed}$, N_{Ed} , για την συνεπίπεδη καμπτική καταπόνηση
- $V_{i,Ed}$, N_{Ed} , για την διατμητική καταπόνηση

Η στατική επάρκεια της διατομής απαιτεί η τοιχοποιία να έχει καμπτικές αντοχές $M_{o,Rd}$, $M_{i,Rd}$ και V_{Rd} , έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι σχέσεις:

- $M_{o,Ed} \leq M_{o,Rd}$
- $M_{i,Ed} \leq M_{i,Rd}$
- $V_{i,Ed} \leq V_{i,Rd}$

Οι αντοχές αυτές είναι συναρτήσεις της αξονικής δύναμης. Αν δεν ικανοποιούνται οι σχέσεις αυτές, θα πρέπει η τοιχοποιία να ενισχυθεί τοπικά προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή της ώστε να ικανοποιούνται οι παραπάνω σχέσεις. Η ενίσχυση μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Η ενίσχυση με λωρίδες FRP αποτελεί μία νέα και πολλά υποσχόμενη τεχνική. Ο θεωρητικός προσδιορισμός των αντοχών $M_{o,Rd}$ και $M_{i,Rd}$ για την ενισχυμένη

με FRP τοιχοποιία, έγινε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας και περιγράφεται στο κεφάλαιο II.

3.3 Ο ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Από την δυναμική ανάλυση σε κάθε διατομή της τοιχοποιίας, έχουν προκύψει οι μέγιστες τιμές των ροπών $M_{o,Ed}$, $M_{i,Ed}$ και η μέγιστη τιμή της αξονικής δύναμης N_{Ed} . Η τοιχοποιία, αν αστοχεί στους δύο καμπτικούς ελέγχους που προαναφέρθηκαν, θα πρέπει να ενισχυθεί ώστε να αυξηθούν τοπικά οι καμπτικές αντοχές $M_{o,Ed}$ και $M_{i,Ed}$. Σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο II, ο καμπτικός σχεδιασμός ενίσχυσης της τοιχοποιίας μπορεί να τυποποιηθεί στην παρακάτω βηματική διαδικασία.

Βήμα 1: Συλλογή δεδομένων διατομής

Στο βήμα αυτό θα πρέπει να συλλεχθούν:

- οι διαστάσεις l και t της διατομής της τοιχοποιίας,
- η θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας f_k , η μέγιστη θλιπτική της παραμόρφωση $\varepsilon_{M,u}$ και ο συντελεστής ασφάλειας γ_M ,
- η εφελκυστική αντοχή $f_{FRP,u}$ του FRP που θα χρησιμοποιηθεί, το μέτρο ελαστικότητας E_{FRP} , η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση $\varepsilon_{FRP,u}$ και ο συντελεστής ασφάλειας γ_{FRP} ,
- τα μέγιστα εντατικά μεγέθη $M_{o,Ed}$, $M_{i,Ed}$ και N_{Ed} που θα καταπονήσουν τη διατομή κατά την διάρκεια ζωής του κτιρίου. Συνήθως, στη χώρα μας, τα μεγέθη αυτά αντιστοιχούν στον σεισμό σχεδιασμού του κτιρίου.

Βήμα 2: Σχεδιασμός έναντι αντιεπίπεδης καμπτικής καταπόνησης

Στο βήμα αυτό υπολογίζεται η ισόρροπη κατάσταση της διατομής, που έχει ως τελικό αποτέλεσμα τον προσδιορισμό του ποσοστού ενίσχυσης $\rho_{FRP,v,bal}$, που καθιστά την

διατομή ισόρροπη. Έχοντας υπολογίσει τον οπλισμό ενίσχυσης $\rho_{FRP,v,bal}$, η παρούσα εργασία προτείνει να τεθεί οπλισμός ενίσχυσης με ποσοστό $\rho_{FRP,v} = 1.75\rho_{FRP,v,bal}$. Με το ποσοστό αυτό επιτυγχάνεται υπεροπλισμός της διατομής, καθώς και παραμορφώσεις στα ελάσματα FRP που είναι συμβατές με τις παραμορφώσεις της τοιχοποιίας. Ο υπολογισμός του $\rho_{FRP,v,bal}$ γίνεται με την σχέση

$$\rho_{FRP,v,bal} = \frac{0.8\gamma_{FRP}\varepsilon_{M,u}f_k}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})\gamma_M f_{FRP,k}} + \frac{\gamma_{FRP}N_{Ed}}{f_{FRP,k}lt},$$

ή, χρησιμοποιώντας τα σχετικά νομογραφήματα.

Το συνολικό εμβαδόν του οπλισμού ενίσχυσης που θα τοποθετηθεί στην διατομή, υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_{FRP,v} (\approx 1.75\rho_{FRP,v,bal}) = \frac{A_{FRP,v}}{lt},$$

από όπου

$$A_{FRP,v} = \rho_{FRP,v}lt.$$

Από τις υπάρχουσες τυποποιημένες διατομές του εμπορίου, είναι γνωστό το εμβαδόν της κάθε λωρίδας. Συνεπώς, με βάση το στοιχείο αυτό θα επιλεγθούν ο αριθμός των λωρίδων, η μεταξύ τους απόσταση και ο αριθμός των στρώσεων FRP σε κάθε λωρίδα. Μετά την επιλογή αυτή, θα υπολογισθεί η καμπτική αντοχή με τις σχέσεις:

$$\frac{M_{o,Rd}}{lt^2 f_k} = \frac{1}{2} \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{\left(1 - \frac{x}{t}\right)}{\frac{x}{t}} + \frac{0.4}{\gamma_{FRP}} \frac{x}{t} \left(1 - 0.8 \frac{x}{t}\right),$$

όπου

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP}}{f_k} \rho_{FRP,v}$$

και

$$\frac{x}{t} = \frac{\gamma_M}{1.6\gamma_{FRP}} \left[- \left(\omega + \frac{N_{Ed}\gamma_{FRP}}{f_k t l} \right) + \sqrt{\left(\omega + \frac{N_{Ed}\gamma_{FRP}}{f_k t l} \right)^2 + \frac{3.2\gamma_{FRP}}{\gamma_M} \omega} \right].$$

Εναλλακτικά, ο υπολογισμός αυτός μπορεί να γίνει από τα σχετικά νομογραφήματα. Τέλος, ελέγχεται αν ο οπλισμός ενίσχυσης που θα τεθεί είναι επαρκής, αν δηλαδή ικανοποιείται η σχέση

$$M_{o,Ed} \leq M_{o,Rd}.$$

Βήμα 3: Έλεγχος συνεπίπεδης καμπτικής αντοχής

Η επιλογή του οπλισμού έγινε με βάση την επάρκεια της τοιχοποιίας σε αντεπίπεδη καμπτική αντοχή. Στο βήμα αυτό, για την συγκεκριμένη διάταξη ενίσχυσης που επιλέχθηκε, θα ελεγχθεί η επάρκεια, που αποκτάει η διατομή σε συνεπίπεδη καμπτική αντοχή. Ο υπολογισμός θα γίνει αναλυτικά με τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{M_{i,Rd}}{tl^2 f_k} = \frac{0.4}{\gamma_M} \frac{x}{l} \left(1 - 0.8 \frac{x}{l}\right) + \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{k}{n} \left(\frac{S}{(x/l)} - \left[1 + \frac{1}{2(x/l)}\right] T + \frac{1}{2}\right), \quad \text{όπου}$$

$$S = \frac{1}{4}(1-g)^2 + \frac{1}{2}(1-g)(2n-k-1)\frac{s}{l} + \left[n(n-k-1) + \frac{1}{6}(k+1)(2k+1)\right] \left(\frac{s}{l}\right)^2,$$

$$T = \frac{1}{2} \left[(1-g) + (2n-k-1)\frac{s}{l} \right],$$

$$\omega = \frac{0.4(1+g)}{\gamma_M \Delta} \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP}} + \frac{N_{Ed}}{ltf_k \Delta}$$

και

$$\frac{x}{l} = \frac{\gamma_M}{1.6} \left[-\frac{N_{Ed}}{f_k tl} - \omega \frac{k}{n} + \sqrt{\left(\frac{N_{Ed}}{f_k tl} + \omega \frac{k}{n}\right)^2 + \frac{1.6}{\gamma_M} \omega \frac{k}{n} \left[1 - g + (2n-k-1)\frac{s}{l}\right]} \right].$$

Όμως, η χρήση των παραπάνω σχέσεων απαιτεί την γνώση του αριθμού k , που είναι ο αριθμός των λωρίδων που βρίσκονται στην εφελκυστική ζώνη. Ο προσδιορισμός του k απαιτεί την γνώση του πάχους x της θλιβόμενης ζώνης της τοιχοποιίας, που είναι συνάρτηση του οπλισμού ενίσχυσης, της διάταξης που επιλέγουμε, που είναι, όμως, συνάρτηση του αριθμού αυτού k . Συνεπώς, ο προσδιορισμός του k γίνεται με μία επαναληπτική διαδικασία υπολογισμού ως εξής:

- γίνεται μία πρώτη επιλογή του αριθμού k ,
- υπολογίζεται το πάχος x ,
- ελέγχεται, από την διάταξη που έχει χρησιμοποιηθεί, αν η επιλογή αυτή είναι η σωστή,
- αν η επιλογή δεν είναι σωστή, επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία επιλέγοντας άλλο k .

Έχοντας υπολογίσει τον αριθμό k , ελέγχεται τελικά αν η ροπή $M_{i,Rd}$, που αντιστοιχεί στον αριθμό αυτό, είναι μεγαλύτερη από την δρώσα ροπή $M_{i,Ed}$, δηλαδή αν ικανοποιείται η σχέση

$$M_{i,Ed} \leq M_{i,Rd}.$$

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι και στις δύο περιπτώσεις καμπτικής καταπόνησης, οι καμπτικές αντοχές είναι συνάρτηση της δρώσας δύναμης N_{Ed} της διατομής.

3.4 ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

Για τον άμεσο υπολογισμό των παραμέτρων σχεδιασμού έχουν συνταχθεί τα νομογραφήματα, που έχουν καταχωρηθεί στα Παραρτήματα IV και V. Το Παράρτημα IV περιέχει τα νομογραφήματα για τον σχεδιασμό της τοιχοποιίας έναντι αντιεπίπεδης κάμψης και στο Παράρτημα V τα νομογραφήματα έναντι συνεπίπεδης κάμψης. Τα νομογραφήματα αυτά συντάχθηκαν με το πρόγραμμα MATLAB-masonry_bending, που αναπτύχθηκε για τον σκοπό αυτό. Το πρόγραμμα αυτό έχει καταχωρηθεί στο Παράρτημα VI.

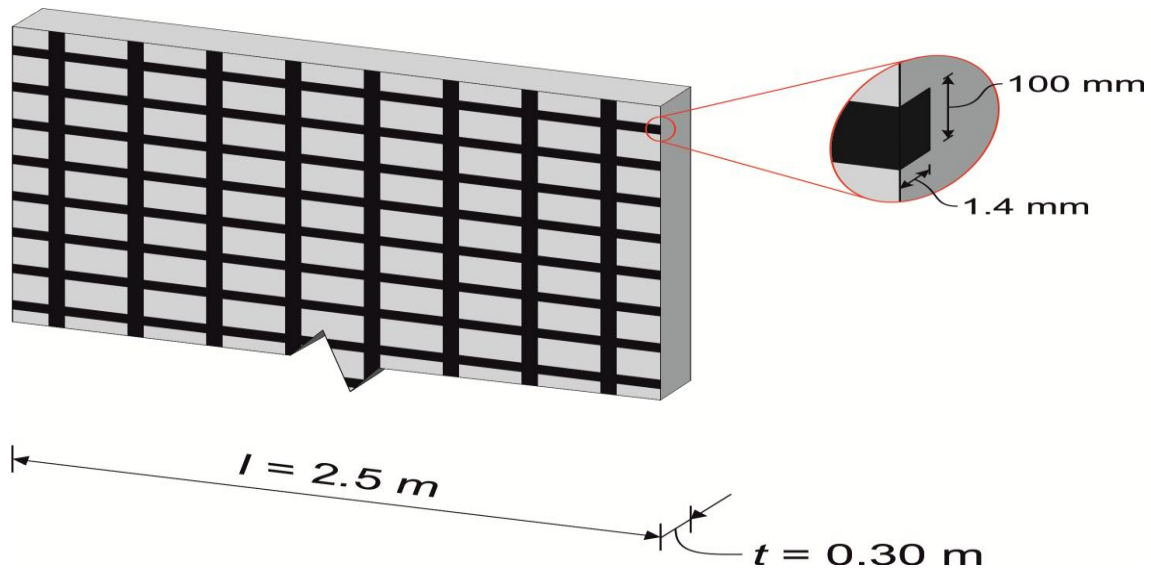
3.5 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Στην ενότητα αυτή, η παραπάνω προτεινόμενη διαδικασία καμπτικού σχεδιασμού ενίσχυσης με FRP μίας φέρουσας τοιχοποιίας θα εφαρμοσθεί στο τμήμα μίας τοιχοποιίας, που δείχνεται στο Σχήμα 3-1. Για τον σχεδιασμό, θα χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω δεδομένα:

- ✓ διαστάσεις τοιχοποιίας: $2.50 \times 0.30 \text{ m}^2$
- ✓ μηχανικά χαρακτηριστικά τοιχοποιίας: $f_k = 3 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{M,u} = 3.5\%$, $\gamma_M = 2.7$
- ✓ μηχανικά χαρακτηριστικά FRP: $f_{FRP} = 1700 \text{ MPa}$, $E_{FRP} = 120 \text{ MPa}$, $\gamma_{FRP} = 1.2$
- ✓ διαστάσεις διατομής: $100 \times 1.4 \text{ mm}^2$
- ✓ εμβαδόν μίας λωρίδας FRP: $A_i = \frac{A_{FRP,v}}{n}$

- ✓ δρόντα εντατικά μεγέθη διατομής: $M_{o,Ed} = 100 \text{ kNm}$, $M_{i,Ed} = 450 \text{ kNm}$,
 $N_{Ed} = 500 \text{ kN}$

- ✓ συνολική εφελκυστική παραμόρφωση: $\varepsilon_{FRP,u} = 14\text{‰} = \left(\frac{f_{FRP,k}}{E_{FRP}} = \frac{1700}{120000} \right)$



Σχήμα 3-1 Τμήμα φέρουσας τοιχοποιίας που εφαρμόζεται η παραπάνω διαδικασία καμπτικού σχεδιασμού ενίσχυσης με FRP

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, προκύπτει

$$\rho_{FRP,v,bal} = \frac{0.8\gamma_{FRP}\varepsilon_{M,u}f_k}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})\gamma_M f_{FRP,k}} + \frac{\gamma_{FRP}N_d}{f_{FRP,k}It} =$$

$$= \frac{0.8 \times 1.2 \times 0.0035 \times 3}{(0.0035 + 0.014 / 1.2) \times 2.7 \times 1700} + \frac{1.2 \times 500 \times 10^3}{1700 \times 2500 \times 300} = 0.62\text{‰}$$

$$\rho_{FRP,v} = 1.75 \times \rho_{FRP,v,bal} = 1.75 \times 6.154 \times 10^{-4} = 1.1\text{‰}$$

$$A_{FRP,v} = \rho_{FRP,v}It = 1.077 \times 10^{-3} \times 2500 \times 300 = 807.697 \text{ mm}^2$$

$$A_{FRP,vi} = 100 \times 1.4 = 140 \text{ mm}^2$$

Επιλέγονται να τοποθετηθούν $n = 8$ λωρίδες FRP μίας στρώσης. Συνεπώς

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u}E_{FRP}}{f_k} \rho_{FRP,v} = \frac{0.0035 \times 120000}{3} 1.077 \times 10^{-3} = 0.15$$

$$\begin{aligned} \frac{x}{t} &= \frac{\gamma_M}{1.6\gamma_{FRP}} \left[- \left(\omega + \frac{N_d \gamma_{FRP}}{f_k t l} \right) + \sqrt{\left(\omega + \frac{N_d \gamma_{FRP}}{f_k t l} \right)^2 + \frac{3.2\gamma_{FRP}}{\gamma_M} \omega} \right] = \\ &= \frac{2.7}{1.6 \times 1.2} \left[- \left(0.15 + \frac{500 \times 10^3 \times 1.2}{3 \times 2500 \times 300} \right) + \sqrt{\left(0.15 + \frac{500 \times 10^3 \times 1.2}{3 \times 2500 \times 300} \right)^2 + \frac{3.2 \times 1.2}{2.7} \cdot 0.15} \right] = 0.287 \\ \frac{M_{o,Rd}}{l t^2 f_k} &= \frac{1}{2} \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{\left(1 - \frac{x}{t} \right)}{\frac{x}{t}} + \frac{0.4}{\gamma_{FRP}} \frac{x}{t} \left(1 - 0.8 \frac{x}{t} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \frac{0.15}{1.2} \frac{(1 - 0.287)}{0.287} + \frac{0.4}{1.2} \cdot 0.287 (1 - 0.8 \times 0.287) = 0.229. \end{aligned}$$

Άρα

$$M_{o,Rd} = 0.229 l t^2 f_k = 0.229 \times 2500 \times 300^2 \times 3 = 155 \text{ kNm}.$$

Επειδή

$$M_{o,Ed} = 100 \text{ kNm} < M_{o,Rd} = 155 \text{ kNm},$$

η τοιχοποιία είναι επαρκής έναντι αντεπίπεδης καμπτικής καταπόνησης.

Θεωρούμε ότι οι εφελκόμενες λωρίδες είναι $k = 7$. Για την τιμή αυτή είναι

$$\begin{aligned} \frac{x}{l} &= \frac{\gamma_M}{1.6} \left[- \frac{N_d}{f_k t l} - \omega \frac{k}{n} + \sqrt{\left(\frac{N_d}{f_k t l} + \omega \frac{k}{n} \right)^2 + \frac{1.6}{\gamma_M} \omega \frac{k}{n} \left[1 - g + (2n - k - 1) \frac{s}{l} \right]} \right] = \\ &= \frac{2.7}{1.6} \left[- \frac{500 \times 10^3}{3 \times 2500 \times 300} - 0.15 \frac{7}{8} + \right. \\ &\quad \left. + \sqrt{\left(\frac{500 \times 10^3}{3 \times 2500 \times 300} + 0.15 \frac{7}{8} \right)^2 + \frac{1.6}{2.7} \cdot 0.15 \frac{7}{8} \left[1 - 0.8 + (2 \times 8 - 7 - 1) \frac{312.5}{2500} \right]} \right] = 0.1835. \end{aligned}$$

Άρα

$$x = 0.1835 \times 2500 = 458.78 \text{ mm}.$$

Από την διάταξη που επιλέχθηκε, στο πλάτος αυτό αντιστοιχεί μία λωρίδα στην θλιβόμενη ζώνη. Συνεπώς, ο αριθμός των λωρίδων που αντιστοιχεί στην εφελκόμενη ζώνη είναι $k = 8 - 1 = 7$. Αυτό σημαίνει ότι η αρχική υπόθεση ότι $k = 7$ είναι δεκτή. Για την τιμή αυτή είναι

$$S = \frac{1}{4}(1-g)^2 + \frac{1}{2}(1-g)(2n-k-1)\frac{s}{l} + \left[n(n-k-1) + \frac{1}{6}(k+1)(2k+1) \right] \left(\frac{s}{l} \right)^2 =$$

$$= \frac{1}{4}(1-0.8)^2 + \frac{1}{2}(1-0.8)(2 \times 8 - 7 - 1) \frac{312.5}{2500} + \left[8(8-7-1) + \frac{1}{6}(7+1)(2 \times 7 + 1) \right] \left(\frac{312.5}{2500} \right)^2 = 0.4225$$

$$T = \frac{1}{2} \left[(1-g) + (2n-k-1) \frac{s}{l} \right] = \frac{1}{2} \left[(1-0.8) + (2 \times 8 - 7 - 1) \frac{312.5}{2500} \right] = 0.6$$

και

$$\frac{M_{i,Rd}}{tl^2 f_k} = \frac{0.4}{\gamma_M} \frac{x}{l} \left(1 - 0.8 \frac{x}{l} \right) + \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{k}{n} \left(\frac{S}{(x/l)} - \left[1 + \frac{1}{2(x/l)} \right] T + \frac{1}{2} \right) =$$

$$= \frac{0.4}{2.7} 0.1835 (1 - 0.8 \times 0.1835) + \frac{0.15}{1.2} \frac{7}{8} \left(\frac{0.4225}{0.1835} - \left[1 + \frac{1}{2 \times 0.1835} \right] 0.6 + \frac{1}{2} \right) = 0.085.$$

Άρα

$$M_{i,Rd} = 0.085 tl^2 f_k = 0.085 \times 300 \times 2500^2 \times 3 = 478 \text{ kNm.}$$

Επειδή

$$M_{i,Ed} = 450 \text{ kNm} < M_{i,Rd} = 478 \text{ kNm,}$$

η τοιχοποιία είναι επαρκής.

Κεφάλαιο IV

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΜΠΙΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Το κτίριο που θα μελετηθεί ήταν, αρχικά, κατασκευή με δομικό σύστημα από άοπλη τοιχοποιία λιθοδομής, με λιθοσώματα μεγέθους 15 με 20 εκατοστά και με συνδετικό υλικό ασβεστοκονίαματος. Κατά την περίοδο 1969-1970, το δομικό σύστημα του κτιρίου αυτού τροποποιήθηκε σε μικτό δομικό σύστημα αποτελούμενο από φέρουσα τοιχοποιία και από φέροντα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Συγκεκριμένα, στο ισόγειο και στον όροφο του κτιρίου αυτού προστέθηκαν πλάκες δαπέδων από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι οποίες μεταφέρουν τα φορτία τους στις υπάρχουσες τοιχοποιίες λιθοδομής, είτε μέσω δοκών ή με απευθείας έδραση σε αυτές. Επίσης, ένα μέρος των φορτίων των πλακών αυτών μεταβιβάζεται στο έδαφος, μέσω τεσσάρων υποστυλωμάτων από οπλισμένο σκυρόδεμα, που προστέθηκαν ως στηρίγματα των δοκών οπλισμένου σκυροδέματος. Από την σχετική μελέτη, διαθέσιμο στοιχείο είναι μόνο το τεύχος των στατικών υπολογισμών, χωρίς τα σχετικά σχέδια ξυλοτύπων. Από την επανασύνταξη των σχετικών σχεδίων ξυλοτύπων που έγινε με βάση το τεύχος στατικών, προκύπτει ότι, ένα μικρό μόνο τμήμα της μελέτης έχει εφαρμοσθεί στην πράξη. Συγκεκριμένα, μόνο το τμήμα της μελέτης που αφορά την πλάκα οροφής ισογείου της αίθουσας ψυχαγωγίας έχει εφαρμοσθεί στην πράξη. Το 1987, το κτίριο αυτό, με σχετική υπουργική απόφαση, έχει χαρακτηρισθεί ως διατηρητέο.

Η γεωμετρία των φερόντων στοιχείων του κτιρίου δείχνεται στα σχέδια του Σ1 και Σ2 που βρίσκονται στο παράρτημα I. Στα σχέδια αυτά έχουν αποτυπωθεί η θέση και η διαστάσεις των δομικών στοιχείων του κτιρίου, καθώς και τα υπάρχοντα ανοίγματα στις

φέρουσες τοιχοποιίες. Στο υπόγειο και στο ισόγειο του κτιρίου, η τοιχοποιία βρίσκεται σε καλή κατάσταση, χωρίς να παρουσιάζει ρωγμές ή άλλες φθορές. Στον όροφο, κατά τις παρεμβάσεις που έγιναν στο κτήριο στις αρχές του 1970, ένα τμήμα της τοιχοποιίας αντικαταστάθηκε με φέρουσα τοιχοποιία από οπτόπλινθους, πάχους 20-30 cm.

4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.2.1 Χρησιμοποιούμενοι κανονισμοί και προσομοίωση του κτιρίου με πεπερασμένα στοιχεία

Η ανάλυση της στατικής επάρκειας του υφιστάμενου κτιρίου στηρίζεται στους παρακάτω κανονισμούς και κώδικες:

- Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες για οπλισμένη και άοπλη τοιχοποιία
- Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός 2000 (ΕΑΚ 2000)
- Ελληνικός κανονισμός φορτίσεων δομικών έργων (ΒΔ 10/1945)
- Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός. Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων

Το δομικό σύστημα του κτιρίου προσομοιώνεται με ένα χωρικό προσομοίωμα χρησιμοποιώντας κελυφωτά και γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία. Για την ανάλυση της παραμορφωσιακής και εντατικής κατάστασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο πεπερασμένων στοιχείων ANSYS. Ο κάρναβος του δομικού συστήματος δείχνεται στο Παράρτημα Ι.

4.2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών και στατικά φορτία

Για τα υλικά της τοιχοποιίας, υποθέτονται οι παρακάτω τιμές των μηχανικών τους παραμέτρων:

- χαρακτηριστική τιμή συνοχής συνδετικού υλικού: $f_{wvk} = 10 \text{ MPa}$
- ανηγμένη αντοχή λιθοσωμάτων: $f_m = 10 \text{ MPa}$
- μέση θλιπτική αντοχή συνδετικού κονιάματος: $f_m = 2 \text{ MPa}$
- μερικός συντελεστής υλικών: $\gamma_m = 2.7$

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, προσδιορίζονται οι παρακάτω μηχανικές παράμετροι της τοιχοποιίας:

- θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας:

$$f_k = 0.45 f_b^{0.7} f_m^{0.3} = 0.45 \times 10^{0.7} \times 2^{0.3} = 2.78 \text{ MPa} \quad [\text{EC 6, 3.6.1.2, εξ. (3.1)}]$$

- μέτρο ελαστικότητας της τοιχοποιίας:

$$E = 1000 f_k = 1000 \times 2.78 = 2780 \text{ MPa} \quad [\text{EC 6, 3.7.2}]$$

- μέτρο διατμήσεως:

$$G = 0.4E = 1112 \text{ MPa} \quad [\text{EC 6, 3.7.3}]$$

Τα μόνιμα φορτία τα οποία παίρνονται υπόψη στην ανάλυση του κτιρίου είναι το βάρος της τοιχοποιίας, το βάρος της στέγης και τα βάρη των δομικών στοιχείων σκυροδέματος (δοκών και πλακών) και των επιστρώσεων των δαπέδων. Για τον υπολογισμό των φορτίων αυτών θεωρούνται [49]:

- φορτίο στέγης (κεραμοσκεπή και ζευκτά και σανίδωμα): $g_k = 3 \text{ kN/m}^2$
- επικαλύψεις δαπέδων: $g_k = 1 \text{ kN/m}^2$,
- ειδικό βάρος τοιχοποιίας: $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$
- ειδικό βάρος σκυροδέματος: $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$

Το συγκεντρωμένο μόνιμο φορτίο της οροφής του ορόφου του κτιρίου είναι:

- $G_{1k} = 15 \times 18 \times 3 = 810 \text{ kN}$.

Τα συνολικά συγκεντρωμένα μόνιμα φορτία του κτιρίου στις στάθμες του ορόφου, του ισογείου και του ημι-υπογείου υπολογίζονται με βάση την γεωμετρία του κτιρίου που έχει εισαχθεί στο μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων στις παρακάτω τιμές:

- μόνιμα φορτία ορόφου :

$$\text{από βάρος πλάκας + τοιχοποιίες: } G_{2k}^{(1)} = 4500 \text{ kN}$$

από επικάλυψη: $G_{2k}^{(2)} = 15 \times 18 \times 1.0 = 270 \text{ kN/m}^2$

συνολικό μόνιμο φορτίο ορόφου: $G_{2k} = 4500 + 270 = 4770 \text{ kN}$

- μόνιμα φορτία ισογείου

από βάρος πλάκας + τοιχοποιίες: $G_{3k}^{(1)} = 4900 \text{ kN}$

από επικάλυψη: $G_{3k}^{(2)} = 15 \times 18 \times 1.0 = 270 \text{ kN/m}^2$

συνολικό μόνιμο φορτίο ορόφου: $G_{3k} = 4900 + 270 = 5170 \text{ kN}$

- μόνιμα φορτία ημι-υπογείου :

συνολικό φορτίο ημι-υπογείου: $G_{4k} = 3400 \text{ kN}$

Το κινητό φορτίο στις στάθμες των δαπέδων ισογείου και ορόφου λαμβάνεται ίσο με $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$, που αντιστοιχεί σε φορτίο αιθουσών συγκεντρώσεων [49]]. Συνεπώς, το συνολικό κινητό φορτίο Q_{2k} του ορόφου και το συνολικό κινητό φορτίο Q_{3k} του ισογείου είναι:

$$Q_{2k} = Q_{3k} = 15 \times 18 \times 3 = 810 \text{ kN} \quad 15 \times 18 \times 2 = 540 \text{ kN} .$$

4.2.3 Σεισμικά στοιχεία του κτιρίου

Για την αντισεισμική ανάλυση του κτιρίου θεωρούνται οι παρακάτω παράμετροι:

- συντελεστής σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους: $a = 0.16$ (ζώνη Ι)
- κατηγορία Σπουδαιότητας κτιρίου: Σ 3 (εκπαιδευτικά κτίρια)
- συντελεστής σπουδαιότητας $\gamma_1 = 1.15$ (κατηγορία κτιρίου Σ3)
- κατηγορία εδάφους: Α (βραχώδες έδαφος)
- τιμές Χαρακτηριστικών Περιόδων T_1 και T_2 : $T_1 = 0.10 \text{ sec}$, $T_2 = 0.40 \text{ sec}$
- συντελεστής Συμπεριφοράς: $q = 1.5$ (άοπλη τοιχοποιία)
- συντελεστής επιρροής θεμελίωσης: $\theta = 1$ (κατηγορία εδάφους Α)
- κρίσιμη απόσβεση: $\zeta = 5\%$
- διορθωτικός συντελεστής απόσβεσης: $\eta = [7/(2+\zeta)]^{0.5} = [7/(2+5)]^{0.5} = 1.0$
- συντελεστής φασματικής ενίσχυσης: $\beta_0 = 2.5$

Η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου υπολογίζεται με βάση τα παρακάτω στοιχεία:

- ύψος κτιρίου $H=9.9$ m
- μήκος κτιρίου στην διεύθυνση x: $L=18$ m
- μήκος κτιρίου στην διεύθυνση y: $L=15$ m
- λόγος επιφάνειας διατομών τοιχωμάτων στις διευθύνσεις x και y: $\rho=0.5$

Με βάση τα στοιχεία αυτά, η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος στις διευθύνσεις x και y είναι:

$$T = 0.09 \frac{H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H + \rho L}} = 0.09 \frac{9.9}{\sqrt{18}} \sqrt{\frac{9.9}{9.9 + 0.5 \times 18}} = 0.15 \text{ sec} \quad [\text{EAK}, 3.5.2, \text{εξ. } 3.13]$$

$$T = 0.09 \frac{H}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{H}{H + \rho L}} = 0.09 \frac{9.9}{\sqrt{15}} \sqrt{\frac{9.9}{9.9 + 0.5 \times 15}} = 0.17 \text{ sec}$$

Επειδή $T_1 \leq T \leq T_2$, η παράμετρος φάσματος σχεδιασμού $\Phi_d(T)$ και για τις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου είναι:

$$\Phi_d(T) = \gamma_1 \cdot A \cdot \frac{\eta \cdot \theta \cdot \beta_o}{q} = 1.15 \times 0.16g \times \frac{1.0 \times 1 \times 2.5}{1.15} = 0.4g \quad [\text{EAK}, 2.3.1, \text{εξ. } 2.1]$$

Η πλευρική διανομή των σεισμικών δυνάμεων υπολογίζεται από την σχέση

$$F_i = V_o \frac{m_i z_i}{\sum m_i z_i} \quad [\text{EAK}, 3.5.2, \text{εξ. } 3.15]$$

Τα στοιχεία που υπεισέρχονται στην σχέση αυτή είναι

- m_i η συγκεντρωμένη μάζα στην στάθμη i
- z_i η απόσταση της στάθμης i από την βάση
- V_0 η τέμνουσα βάσης

Η τέμνουσα βάση υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_0 = M \cdot \Phi_d(T) \quad [\text{EAK}, 3.5.2, \text{εξ. } 3.12]$$

Τα στοιχεία αυτά και οι πλευρικές σεισμικές δυνάμεις υπολογίζονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1 Υπολογισμός των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων

z_i [m]	G_{ik} [kN]	Q_{ik} [kN]	$m_i=[G_{ik}+0.50Q_{ik}]/g$ [kNsec ² /m]	$z_i m_i$ [kNsec]	$z_i m_i / \sum z_i m_i$ [.]	F_i [kN]
9.9	810	0	810/g	8019/g	0.15	939
6.0	4770	1350	5445/g	32670/g	0.62	3824
2.1	5170	1350	5845/g	12275/g	0.23	1437
0	3400	0	3400/g	0	0	0
			15500/g	50120/g		
$V_0 = M \cdot \Phi_d(T) = \frac{15500}{g} \times 0.4g = 6200 \text{ kN}$						

4.2.4 Συνδυασμοί φορτίων

Σύμφωνα με τον ισχύοντα αντισεισμικό κανονισμό, η ανάλυση του κτιρίου γίνεται γίνει για τους παρακάτω συνδυασμούς φορτίσεων:

- $1.35G_k+1.50Q_k$ (SL1)
- $G_k+1.50Q_k+E_x+0.30E_y$ (SL2)
- $G_k+1.50Q_k+E_x-0.30E_y$ (SL3)
- $G_k+1.50Q_k- E_x-0.30E_y$ (SL4)
- $G_k+1.50Q_k-E_x+0.30E_y$ (SL5)
- $G_k+1.50Q_k+0.30E_x+E_y$ (SL6)
- $G_k+1.50Q_k-0.30E_x+E_y$ (SL7)
- $G_k+1.50Q_k-0.30E_x-E_y$ (SL8)
- $G_k+1.50Q_k+0.30E_x-E_y$ (SL9)

Στην συνέχεια, ο κάθε συνδυασμός θα αναγνωρίζεται με την κωδική του ονομασία SLX. Οι φορτίσεις εφαρμόζονται στα κέντρα μάζας των οριζοντίων διαφραγμάτων του κτιρίου, που είναι τα επίπεδα στέγης, οροφής ορόφου και οροφής ισογείου.

4.3 ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΜΗ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ

Ο έλεγχος του υφιστάμενου κτιρίου γίνεται σε επιλεγμένα τμήματα της τοιχοποιίας που θεωρούνται ως κρίσιμες περιοχές. Τα τμήματα αυτά είναι οι 'πεσσοί' του κτιρίου (piers), που είναι τα στενά τμήματα της τοιχοποιίας που δημιουργούνται μεταξύ των ανοιγμάτων. Τα τμήματα αυτά ελέγχονται στον 'πόδα' τους (dn) και στην κεφαλή τους (up). Ο έλεγχος γίνεται σύμφωνα με τον EC 6 [44] για αστοχία από κάμψη και αξονική δύναμη και για αστοχία από τέμνουσα.

4.3.1 Αστοχία από κάμψη & θλιπτική δύναμη

Για καθέναν από τους συνδυασμούς φόρτισης SLX που επιβάλλεται στο κτίριο, οι δρώσες τιμές της καμπτικής ροπής M_{Ed} και της αξονικής δύναμης N_{Ed} στην κεφαλή και στον πόδα του πεσσού, που είναι ορθογωνικές επιφάνειες μήκους l και πάχους t , υπολογίζονται με ολοκλήρωση των ορθών τάσεων σ_y που προκύπτουν από την αντίστοιχη ανάλυση του κτιρίου με πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιώντας τις σχέσεις

$$N_{Ed} = t \int_0^l \sigma_y dx = \sigma_d \cdot l \cdot t, \quad M_{Ed} = l \int_0^l x \sigma_y dx.$$

όπου σ_d είναι η μέση θλιπτική τάση που επενεργεί στο τμήμα lxt της τοιχοποιίας. Διευκρινίζεται ότι η M_{Ed} είναι η δρώσα ροπή όλων των δυνάμεων που εξασκούνται στο παραπάνω τμήμα της τοιχοποιίας ως προς το αριστερό του σημείο. Η καμπτική αντοχή M_{Rd} της επιφάνειας lxt προσδιορίζεται από την σχέση

$$M_{Rd} = |\sigma_d| l^2 \left(1 - \frac{|\sigma_d|}{2f_d} \right).$$

Αστοχία από κάμψη και θλίψη του τμήματος lxt της τοιχοποιίας θεωρείται ότι συμβαίνει, όταν δεν ικανοποιείται μια από τις παρακάτω σχέσεις:

- $\sigma_d \leq 0$, (Αστοχία 1)
- $|M_{Ed}| \leq M_{Rd}$, (Αστοχία 2)
- $|N_{Ed}| \leq N_{Rd} = t \cdot l \cdot f_d$, (Αστοχία 3)

4.3.2 Αστοχία από διάτμηση

Η κεφαλή ή ο πόδας του πεσσού θεωρείται ότι αστοχεί από διάτμηση, όταν στο ορθογωνική επιφάνεια ελέγχου l_{xt} δεν ικανοποιείται η σχέση

$$V_{Ed} \leq V_{Rd},$$

όπου V_{Ed} είναι η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού και V_{Rd} η αντοχή της επιφάνειας ελέγχου σε τέμνουσα. Η V_{Ed} υπολογίζεται με ολοκλήρωση των διατμητικών τάσεων, που προκύπτουν από την ανάλυση του κτιρίου με πεπερασμένα στοιχεία, κατά μήκος του τμήματος:

$$V_{Ed} = t \int_0^l \sigma_{xy} dx$$

Η αντοχή σε διάτμηση της επιφάνειας ελέγχου προσδιορίζεται από την σχέση:

$$V_{Ed} = f_{vd} \cdot t \cdot l_c$$

όπου

$$f_{vd} = \frac{f_{vk0} + 0.4\sigma_d}{\gamma_M} \leq \frac{0.065f_b}{\gamma_M}$$

Στην ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης του κτιρίου λαμβάνεται

$$f_{vko} = 0.1 \text{ MPa}, \quad \gamma_M = 2.7$$

Στην παραπάνω σχέση σ_d είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής τάσεως της κάθετης προς την τέμνουσα που έχει προκύψει με την χρήση του κατάλληλου συνδυασμού φορτίσεως και βασίζεται στην μέση κατακόρυφη τάση του θλιβόμενου τμήματος l_{xt} . Το μήκος l_c υπολογίζεται με βάση την παραδοχή γραμμικής κατανομής των θλιπτικών τάσεων ως εξής:

- Υπολογίζεται η θέση εφαρμογής της αξονικής δύναμης N_{Ed} στο τμήμα txd :

$$a = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

- Βρίσκεται η εκκεντρότητα της αξονικής δύναμης N_{Ed} με την σχέση

$$e = \frac{l}{2} - a$$

- Το μήκος της θλιβόμενης ζώνης είναι ίσο με

$$l_c = l, \quad \text{αν } |e| \leq \frac{l}{6}, \quad \text{ή}$$

$$l_c = 3(l - a), \text{ αν } |e| > \frac{l}{6},$$

όταν $a \geq l/2$, και

$$l_c = l, \text{ αν } |e| \leq \frac{l}{6}, \text{ ή}$$

$$l_c = 3a, \text{ αν } |e| > \frac{l}{6},$$

όταν $a < l/2$.

4.4 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Το κτίριο αναλύεται με πεπερασμένα στοιχεία χρησιμοποιώντας το λογισμικό πακέτο ANSYS για τους εννέα συνδυασμούς που περιγράφηκαν παραπάνω. Ο έλεγχος αστοχίας γίνεται στους πεσσούς της τοιχοποιίας που σημειώνονται στα Σχήματα 1, 2 και 3 του Παραρτήματος II. Τα αποτελέσματα ελέγχου των πεσσών καταχωρούνται στους Πίνακες Π1 και Π2 του Παραρτήματος II. Ο Πίνακας Π1 περιέχει τα αποτελέσματα ελέγχου για αστοχία από κάμψη και αξονική φόρτιση στην κεφαλή και στον πόδα κάθε πεσσού, και ο Πίνακας Π2 τα αποτελέσματα ελέγχου στις ίδιες θέσεις για αστοχία από διάτμηση. Στους δύο αυτούς πίνακες, ο κωδικός P1-1x-up-SL1 δηλώνει τα παρακάτω:

- την ονομασία 1x του πεσσού σύμφωνα με τα Σχήματα 1,2 και 3 του Παραρτήματος I
- τον όροφο P1 του κτιρίου που βρίσκεται ο πεσσός (P1=υπόγειο, P2=ισόγειο, P1=όροφος)
- την θέση up (κεφαλή) στον πεσσό που γίνεται ο έλεγχος (up=κεφαλή, dn=πόδας)
- τον συνδυασμό φόρτισης SL1 για τον οποίο γίνεται ο έλεγχος.

Στο Παράρτημα II παρουσιάζονται:

- το τρισδιάστατο προσομοίωμα του κτιρίου και τα τρισδιάστατα προσομοιώματα των ορόφων του κτιρίου ξεχωριστά
- φωτογραφίες με χαρακτηριστικές εντατικές καταστάσεις από τις φορτίσεις του κτιρίου

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα παρακάτω:

- Οι τοιχοποιίες του κτιρίου επιδεικνύουν σχετικά καλή συμπεριφορά σε κάμψη και θλίψη κατά τον σεισμό. Η σχετικά καλή αυτή συμπεριφορά οφείλεται στο μεγάλο πάχος της τοιχοποιίας στο υπόγειο και ισόγειο, και στα μικρά φορτία που καταπονούν τις τοιχοποιίες του ορόφου.
- Παρατηρούνται τοπικές αστοχίες της τοιχοποιίας από εφελκυσμό, σε περιορισμένο αριθμό, που οφείλονται στην συμπεριφορά προβόλου του κτιρίου για τις οριζόντιες σεισμικές φορτίσεις που το καταπονούν. Οι αστοχίες αυτές ήταν αναμενόμενες και θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αυτές αποτελούν το τρωτό σημείο των υφιστάμενων 'υψηλών' κτιρίων με (άοπλη) τοιχοποιία σε σειсмоγενείς περιοχές.
- Η συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε διάτμηση δεν είναι ικανοποιητική. Όλα τα στοιχεία (πεσσοί) που εξετάστηκαν αστοχούν σε διάτμηση για τους μισούς συνδυασμούς φορτίσεων. Αυτό οφείλεται στην μικρή χαρακτηριστική συνοχή των 2 MPa του ασβεστοκονιάματος που θεωρήθηκε. Τονίζεται ότι, λόγω της ηλικίας του κτιρίου, η τιμή αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια συντηρητική τιμή. Σημειώνεται εδώ ότι, η αύξηση της συνοχής αυτής με ενέματα, δεν μπορεί να ξεπεράσει την τιμή των 3 MPa.

4.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑΣ ΜΕ ΛΩΡΙΔΕΣ FRP

4.5.1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή, οι παραπάνω σχέσεις που εξήχθησαν θα εφαρμοστούν για την ενίσχυση ενός επιλεγμένου τμήματος τοιχοποιίας του παραδοσιακού κτιρίου που αναλύθηκε. Το τμήμα της τοιχοποιίας που θα ενισχυθεί είναι αυτό του δεύτερου ορόφου με κωδικό P2 5x dn. Το μήκος της τοιχοποιίας είναι $l = 1.0 \text{ m}$ και το πάχος είναι $t = 0.7 \text{ m}$. Από την στατική ανάλυση που έγινε, έχουν προκύψει τα παρακάτω εντατικά μεγέθη $M_{o,Ed} = 210.5 \text{ kNm}$, $M_{i,Ed} = 251.3 \text{ kNm}$ και $N_{Ed} = 447.9 \text{ kN}$. Το τοίχωμα θα ενισχυθεί έτσι ώστε να μπορεί να παραλαμβάνει τα μέγιστα αυτά εντατικά μεγέθη.

Για την ενίσχυση του τοιχώματος, θα χρησιμοποιηθούν λωρίδες FRP του εμπορίου με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- μέτρο ελαστικότητας: $E_{FRP} = 210000MPa$
- εφελκυστική αντοχή: $f_{FRP,k} = 3200MPa$
- πλάτος ελάσματος: $a = 100mm$
- πάχος ελάσματος $= 1.4mm$
- συνολική παραμόρφωση: $\varepsilon_{FRP,u} = 15\% (= \frac{f_{FRP,k}}{E_{FRP}} = \frac{3200}{210000})$

Για την τοιχοποιία θα ληφθούν τα παρακάτω μηχανικά χαρακτηριστικά:

- θλιπτική αντοχή τοιχοποιίας: $f_k = 2.78MPa$
- μέγιστη παραμόρφωση τοιχοποιίας: $\varepsilon_{M,u} = 3.5\%$

Τα παραπάνω μηχανικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας έχουν προσδιορισθεί στην ενότητα 4.2.2.

Οι συντελεστές ασφαλείας (μερικοί συντελεστές) που θα ληφθούν θα είναι $\gamma_{FRP} = 1.2$ και $\gamma_M = 2.7$.

4.5.2 Υπολογισμός του οπλισμού ενίσχυσης της ισόρροπης κατάστασης

Για τον προσδιορισμό του οπλισμού ενίσχυσης, που απαιτείται για την παραλαβή των μέγιστων εντατικών μεγεθών που αναπτύσσονται στο τοίχωμα που εξετάζεται, θα υπολογισθεί πρώτα ο οπλισμός που αντιστοιχεί στην κατάσταση της ισόρροπης διατομής. Ο οπλισμός αυτός αποτελεί το κάτω όριο του οπλισμού ενίσχυσης που πρέπει να τοποθετηθεί. Το όριο αυτό εξασφαλίζει ότι η αστοχία του τοιχώματος θα είναι από θραύση της τοιχοποιίας.

Οπλισμός $\rho_{FRP,v,bal}$ για την αντιεπίπεδη κάμψη:

$$\begin{aligned} \rho_{FRP,v,bal} &= \frac{0.8\gamma_{FRP}\varepsilon_{M,u}f_k}{(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})\gamma_M f_{FRP,k}} + \frac{\gamma_{FRP}N_{Ed}}{f_{FRP,k}It} = \\ &= \frac{0.8 \times 1.2 \times 0.0035 \times 2.78}{(0.0035 + 0.015 / 1.2) \times 2.7 \times 3200} + \frac{1.2 \times 447.9 \times 1000}{3200 \times 1000 \times 700} = 0.3\% \\ \omega_{bal} &= \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP}}{f_k} \rho_{FRP,v,bal} = \frac{0.0035 \times 210000}{2.78} \times 3 \times 10^{-4} = 0.08 \end{aligned}$$

$$A_{FRP,v,bal} = \rho_{FRP,v,bal} l t = 3 \times 10^{-4} \times 1000 \times 700 = 210 \text{ mm}^2$$

Το εμβαδόν διατομής λωρίδας του εμπορίου είναι

$$A_{FRP,i} = 100 \times 1.4 = 140 \text{ mm}^2.$$

Επιλέγονται να τοποθετηθούν $7(=n)$ κατακόρυφες λωρίδες FRP τριών στρώσεων.

Επομένως, το συνολικό εμβαδόν οπλισμού FRP που θα τοποθετηθεί είναι

$$A_{FRP,v} = 3 \times n \times A_{FRP,i} = 3 \times 7 \times 140 = 2940 \text{ mm}^2.$$

Συνεπώς

$$\rho_{FRP,v} = \frac{A_{FRP,v}}{l t} = \frac{2940}{1000 \times 700} = 4.2\%$$

$$\omega = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP}}{f_k} \rho_{FRP,v} = \frac{0.0035 \times 210000}{2.78} \times 0.0042 = 1.11$$

$$\begin{aligned} \frac{x}{t} &= \frac{\gamma_M}{1.6 \gamma_{FRP}} \left[- \left(\omega + \frac{N_{Ed} \gamma_{FRP}}{f_k t l} \right) + \sqrt{\left(\omega + \frac{N_{Ed} \gamma_{FRP}}{f_k t l} \right)^2 + \frac{3.2 \gamma_{FRP}}{\gamma_M} \omega} \right] = \\ &= \frac{2.7}{1.6 \times 1.2} \left[- \left(1.11 + \frac{447.9 \times 10^3 \times 1.2}{2.78 \times 1000 \times 700} \right) + \sqrt{\left(1.11 + \frac{447.9 \times 10^3 \times 1.2}{2.78 \times 1000 \times 700} \right)^2 + \frac{3.2 \times 1.2}{2.7} 1.11} \right] = 0.68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{M_{o,Rd}}{l t^2 f_k} &= \frac{1}{2} \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{\left(1 - \frac{x}{t} \right)}{\frac{x}{t}} + \frac{0.4}{\gamma_{FRP}} \frac{x}{t} \left(1 - 0.8 \frac{x}{t} \right) \\ &= \frac{1}{2} \frac{1.11}{1.2} \frac{(1 - 0.68)}{0.68} + \frac{0.4}{1.2} 0.68 (1 - 0.8 \times 0.68) = 0.32. \end{aligned}$$

Επομένως, η καμπτική αντοχή για αντιεπίπεδη κάμψη είναι

$$M_{o,Rd} = 0.32 l t^2 f_k = 0.32 \times 1000 \times 700^2 \times 2.78 = 437.3 \text{ kNm} > M_{o,Ed} = 210.5 \text{ kNm}$$

Συνεπώς, ο οπλισμός που έχει τοποθετηθεί είναι επαρκής.

Οπλισμοί $\rho_{FRP,v,bal}$ για την συνεπίπεδη κάμψη, για $n = k = 7$:

$$x_{bal} = \frac{1}{2} l (1 + g) \frac{\varepsilon_{M,u}}{\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP}} = \frac{1}{2} 1000 (1 + 0.8) \frac{0.0035}{0.0035 + 0.015 / 1.2} = 196.875 \text{ m}$$

$$\Delta_{bal} = \frac{k}{n} \left[\frac{1}{2} \frac{1 - g + (2n - k - 1)s / l}{x_{bal} / l} - 1 \right] = \frac{7}{7} \left[\frac{1}{2} \frac{1 - 0.8 + (2 \times 7 - 7 - 1) 200 / 1000}{196.875 / 1000} - 1 \right] = 2.6$$

$$\rho_{FRP,v,bal} = 0.4(1+g) \frac{1}{\Delta_{bal}} \frac{f_k / \gamma_M}{E_{FRP}(\varepsilon_{M,u} + \varepsilon_{FRP,u} / \gamma_{FRP})} + \frac{N_{Ed}}{lt} \frac{1}{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \Delta_{bal}} =$$

$$= 0.4(1+0.8) \frac{1}{2.6} \frac{2.78 / 2.7}{210000(0.0035 + 0.015 / 1.2)} + \frac{447.9 \times 10^3}{1000 \times 700} \frac{1}{0.0035 \times 210000 \times 2.6} = 0.42\%$$

$$\omega_{bal} = \frac{\varepsilon_{M,u} E_{FRP} \rho_{FRP,v,bal}}{f_k} = \frac{0.0035 \times 210000 \times 4.2 \times 10^{-4}}{2.78} = 0.11$$

$$A_{FRP,v,bal} = \rho_{FRP,v,bal} lt = 4.2 \times 10^{-4} \times 1000 \times 700 = 294 \text{ mm}^2$$

Το εμβαδόν λωρίδας οπλισμού του εμπορίου είναι

$$A_{FRP,i} = 100 \times 1.4 = 140 \text{ mm}^2.$$

Έχουν τοποθετηθεί 7 κατακόρυφες λωρίδες FRP με συνολικό εμβαδόν $A_{FRP,v} = 2940 \text{ mm}^2$ που αντιστοιχεί σε ποσοστό οπλισμού $\rho_{FRP,v} = 4.2\%$ και $\omega = 1.11$.

Συνεπώς

$$\frac{x}{l} = \frac{\gamma_M}{1.6} \left[-\frac{N_{Ed}}{f_k tl} - \omega \frac{k}{n} + \sqrt{\left(\frac{N_{Ed}}{f_k tl} + \omega \frac{k}{n} \right)^2 + \frac{1.6}{\gamma_M} \omega \frac{k}{n} \left[1 - g + (2n - k - 1) \frac{s}{l} \right]} \right] =$$

$$= \frac{2.7}{1.6} \left[-\frac{447.9 \times 10^3}{2.78 \times 1000 \times 700} - 1.11 \frac{7}{7} + \sqrt{\left(\frac{447.9 \times 10^3}{2.78 \times 1000 \times 700} + 1.11 \frac{7}{7} \right)^2 + \frac{1.6}{2.7} 1.11 \frac{7}{7} \left[1 - 0.8 + (2 \times 7 - 7 - 1) \frac{200}{1000} \right]} \right] = 0.52$$

$$S = \frac{1}{4}(1-g)^2 + \frac{1}{2}(1-g)(2n-k-1) \frac{s}{l} + \left[n(n-k-1) + \frac{1}{6}(k+1)(2k+1) \right] \left(\frac{s}{l} \right)^2 =$$

$$= \frac{1}{4}(1-0.8)^2 + \frac{1}{2}(1-0.8)(2 \times 7 - 7 - 1) \frac{200}{1000} +$$

$$+ \left[7(7-7-1) + \frac{1}{6}(7+1)(2 \times 7 + 1) \right] \left(\frac{200}{1000} \right)^2 = 0.65$$

$$T = \frac{1}{2} \left[(1-g) + (2n-k-1) \frac{s}{l} \right] = \frac{1}{2} \left[(1-0.8) + (2 \times 7 - 7 - 1) \frac{200}{1000} \right] = 0.7$$

$$\frac{M_{i,Rd}}{l^2 f_k} = \frac{0.4}{\gamma_M} \frac{x}{l} \left(1 - 0.8 \frac{x}{l} \right) + \frac{\omega}{\gamma_{FRP}} \frac{k}{n} \left(\frac{S}{(x/l)} - \left[1 + \frac{1}{2(x/l)} \right] T + \frac{1}{2} \right)$$

$$= \frac{0.4}{1.2} 0.52(1 - 0.8 \times 0.52) + \frac{1.117}{1.2} \frac{7}{7} \left(\frac{0.65}{0.52} - \left[1 + \frac{1}{2 \times 0.52} \right] 0.7 + \frac{1}{2} \right) = 0.45.$$

Οπότε

$$M_{i,Rd} = 0.45 l^2 f_k = 0.45 \times 700 \times 1000^2 \times 2.78 = 875.5 \text{ kNm} > M_{i,Ed} = 251.3 \text{ kNm}.$$

Συνεπώς, ο οπλισμός που έχει τοποθετηθεί είναι επαρκής.

Κεφάλαιο V

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι τα παρακάτω:

1. Οι εξισώσεις που έχουν παρουσιαστεί στην διεθνή βιβλιογραφία για την καμπτική αντοχή τοιχοποιίας ενισχυμένη με έλασμα FRP επαναδιατυπώνονται, με βάση την επιπρόσθετη υπόθεση ότι τα υλικά FRP αδυνατούν να παραλάβουν θλιπτικές δυνάμεις.
2. Με βάση τις εξισώσεις αυτές, συντάχθηκαν νομογραφήματα για τον άμεσο και γρήγορο υπολογισμό της καμπτικής αντοχής της ενισχυμένης τοιχοποιίας από τον μηχανισμό της πράξης.
3. Προτάθηκε και εφαρμόστηκε μία γενική μεθοδολογία για την ανάλυση της στατικής επάρκειας και για τον σχεδιασμό της ενίσχυσης με FRP ενός υφιστάμενου κτιρίου με φέρουσα τοιχοποιία. Η μεθοδολογία αυτή, στηρίζεται στην ανάλυση της κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία και ενσωματώνει τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ACI Committee 440 XR, 2006, “Report on Fiber-reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures”, pp. 8-15, ACI 440.XR (to replace 440R), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- [2] Yunovich M., and Thompson N., 2003, “Corrosion of Highway Bridges: Economic Impact and Control methodologies”, ACI Concrete Int., 25(1), pp. 52-57.
- [3] Bradberry T.E., 2001, “Concrete Bridge Decks Reinforced with Fiber Reinforced Polymer Bars”, Transportation Research Record 1770, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, pp. 94-104.
- [4] Si-Hwan Park, Robertson N. I., Riggs H. R., September 2002, “A Primer for FRP Strengthening of Structurally Deficient Bridges”, Prepared in Cooperation with: State of Hawaii, Department of Transportation, Highways Division and U.S. Department of Transportation.
- [5] 02-003 New York State Department of Transportation Structures Division, Structures Design Advisory Subject: FRP Decks & Superstructures
- [6] VTRC 05-CR24, Virginia Transportation Research Council, Performance of a Bridge Deck with Glass Fiber Reinforced Polymer Bars as the Top Mat of Reinforcement.
- [7] C. E. Bakis¹, L. C. Bank, V. L. Brown, E. Cosenza, J. F. Davalos, J. J. Lesko, A. Machida, S. H. Rizkalla, and T. C. Triantafillou, May/2002, “Fiber Reinforced Polymer Composites for Construction-State-of-the-Art Review” , Journal of composites for construction, pp.1-85.
- [8] Khalifa A., Gold W. J, Nanni A., and Aziz A., 1998, “Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of RC Flexural Members”, Journal of composites for construction V.2, No.4, pp.195-202.
- [9] Brown, Vicki L. and Charles L. Bartholomew, 1993, “FRP Reinforcing Bars in Reinforced Concrete Members”, ACI Materials Journal (American Concrete Industry), V.90, No.1, pp. 34-39.
- [10] Benmokrane B., El-Salakawy E., El-Ragaby A., and Lackey T., March/April 2006, “Designing and Testing of Concrete Bridge Decks Reinforced with Glass FRP Bars”, Journal of Bridge Engineering ASCE, pp. 217-229.
- [11] Benmokrane B., El-Salakawy E., El-Gamal S., and Goulet S., September/October 2007, “Construction and Testing of an Innovative Concrete Bridge Deck Totally Reinforced with Glass FRP Bars: Val-Alan Bridge on Highway 20 East”, Journal of Bridge Engineering ASCE, pp. 632-645.

- [12] Davalos, J. F., Qiao, P. Z., Xu, X. F., Robinson, J., and Barth, K. E., 2001, "Modeling and characterization of fiber-reinforced plastic honeycomb sandwich panels for highway bridge applications", *J. Compos. Constr.*, 52 (3-4), pp. 441-452.
- [13] El-Gamal S., El-Salakawy E., Benmokrane B., September- October 2007, "Influence of Reinforcement on the Behavior of Concrete Bridge Deck Slabs Reinforced with FRP Bars", *Journal of Composites for Construction ASCE*, pp. 449- 458.
- [14] Berg C. A., Bank C. L., Oliva G. M., Russell S. J., February 2005, "Construction and cost analysis of an FRP reinforced concrete bridge deck", *Science Direct*, pp. 512- 528.
- [15] Bai Y., Keller T., December 2006, "Modal Parameter Identification for a GFRP Pedestrian Bridge", *Science Direct*, pp. 90-100.
- [16] Ueda T., "FRP for Construction in Japan".
- [17] Shoichi S., Yamashiro K., Kitayama N., Chou I., Yamamoto N., et al., "First GFRP Pedestrian Bridge in Japan".
- [18] Nanni A., and Faza S., 2002, "Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars: An Emerging Technology", *Concrete international* V. 24, No. 11, American Concrete Institute.
- [19] Mirmiran A., Naguib W., and Shahawy M., 2000, "Principles and analysis of concrete-filled composite tubes", *J. Adv. Mater.*, 32(4) pp. 16–23.
- [20] Karbhari V. M., Seible F., Burgueno R., Davol A., Wernli M., and Zhao L., 2000, "Structural characterization of fiber-reinforced composite short and medium-span bridge systems", *Appl. Compos. Mater.*, 7(2) pp. 151–182. - 72 -
- [21] Bedard, Claude, 1992, "Composite Reinforcing Bars: Assessing their use in Construction", *Concrete International: Design and Construction*, V.14, No.1, pp. 55-59.
- [22] Brown V. L., 1997, "Sustained Load Deflections in GFRP-Reinforced Concrete Beams", *Proceedings of the Third International Symposium on NonMetallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures V.2*, Japan Concrete Institute, Sapporo, Japan, pp. 495-470.
- [23] Harik, I., et al.1999, "Static testing on FRP bridge deck panels", *Proc.*, 44th Int. SAMPE Symposium and Exhibition, Society for the Advancement of Material and Process Engineering, Covina, Calif., Vol. 2, pp. 1643–1654.
- [24] Tang B., P.E. and Podolny W., Jr., Ph. D., P.E, 11/1998, "A Successful Beginning for Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composite Materials in Bridge Applications", *The FHWA Proceedings, International Conference on Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures*, Orlando, FL.
- [25] Adam C. Berg, Lawrence C. Bank, Michael G. Oliva, Jeffrey S. Russell, February 2005, "Construction and Cost Analysis of an FRP Reinforced

Concrete Bridge Deck”, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin–Madison.

[26] Curtis B. B., May 1997, “A Load-Deflection Study of Fiber Reinforced Plastics as Reinforcement in Concrete Bridge Decks”, Master of Science in Civil Engineering, Blacksburg, Virginia. <http://www.acmanet.org/professionals/2005-Composites-IndustryStatistics.pdf> (πρόσβαση Ιούλιος 2006).

[27] American Composites Manufacturers Association Market Development Alliance (ACMA MDA), 2006, <http://www.mdacomposites.org> (πρόσβαση Ιούλιος 2006).

[28] Δρακοπούλου Ε. 2008, «Καλωδιωτή πεζογέφυρα με κατάστρωμα από σκυρόδεμα με οπλισμό FRP: Σχεδιασμός πλάκας καταστρώματος σύμφωνα με τον κώδικα ACI-440.1R-03», Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π.

[29] Μπαβέλλας Χ. & Μπουζούκου Μ., 2005, «Συγκριτική μελέτη ενισχύσεων τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά οργανικής και ανόργανης μήτρας, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών.

[30] Χιώτης Δ., 2012, «Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή», Μεταπτυχιακή εργασία, Ε.Μ.Π.

[31] Croci, G., D’Ayala, D., D’asdia., and Palombini, F. (1987). “Analysis on shear walls reinforced with fibres.” IABSE Symp. On Safety and Quality Assurance of Civ. Engrg. Struct., Int Assoc. for Bridge and Struct. Engrg., Lisbon, Portugal.

[32] Ehsani, M. R. (1995). “Strengthening of earthquake- damaged masonry structures with composite materials.” Non-metallic FRP reinforcement for concrete structures, L. Taerwe, ed., 680-687.

[33] Ehsani M. R., Saadatmanesh, H., and Al-Saidy, A. (1997). “Shear behavior of URM retrofitted with FRP overlays.” J. Compos. for Constr., ASCE, 1(1), 17-25.

[34] Laursen, P. T., Seible, F., Hegemier, G. A., and Innamorato, D. (1995). “Seismic retrofit and repair of masonry walls with carbon overlays.” Non-metallic FRP reinforcement for concrete structures, L. Taerwe, ed., 616-623.

[35] Saadatmanesh, H. (1994). “Fiber composites for new and existing structures.” ACI Struct. J., 91(3), 346-354.

[36] Schwegler, G. (1994a). Strengthening of masonry with fiber composites,” PhD thesis, Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland (in German).

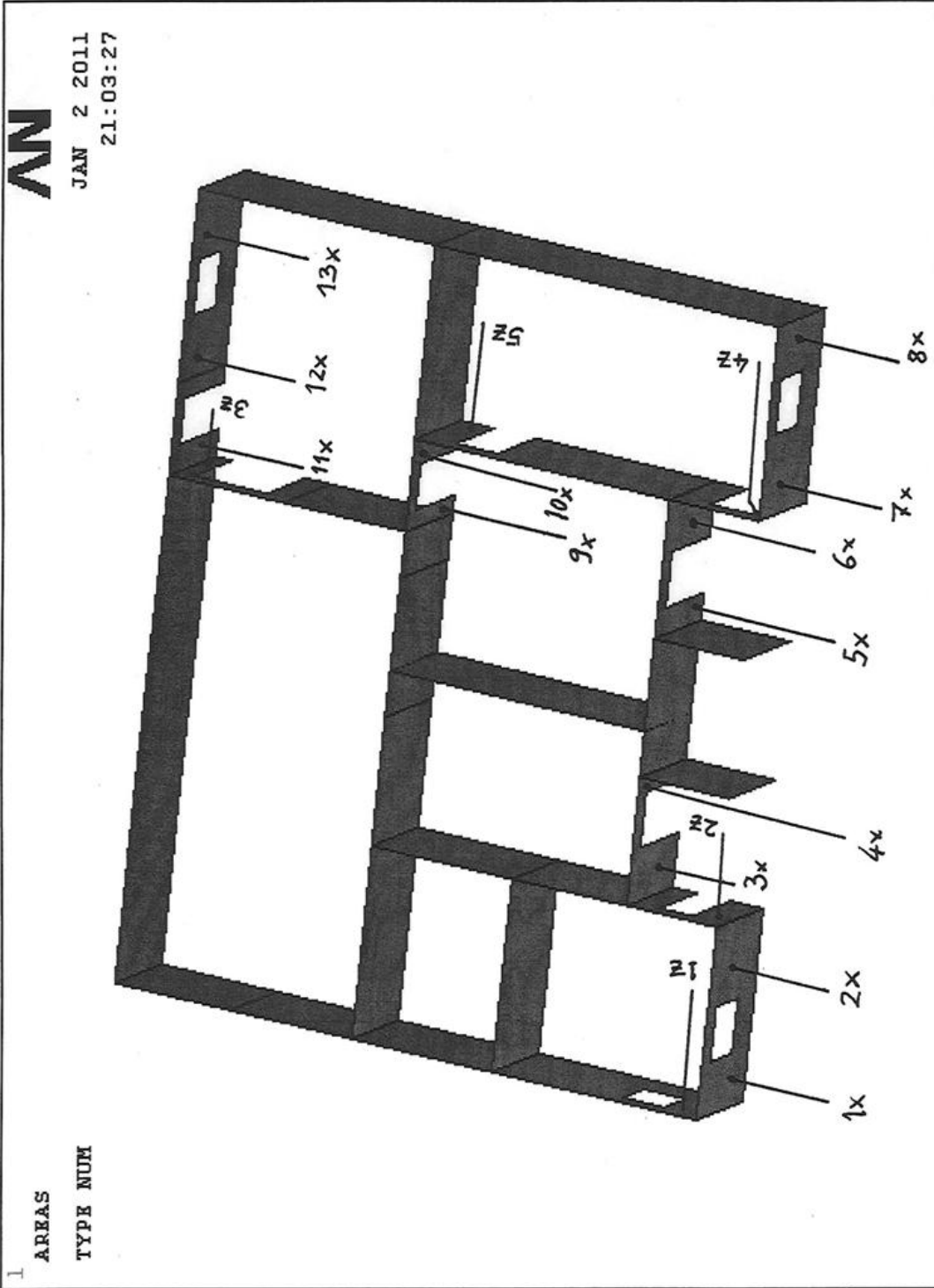
[37] Schwegler, G. (1994b). “Masonry construction strengthened with fiber composites in seismically endangered zones.” Proc., 10th Europ. Conf. on Earthquake Engrg., A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 454-458.

[38] Schwegler, G., and Kelterborn, P (1996). “Earthquake resistance of masonry structures strengthened with fiber composites.” Proc., 11th World Conf. on Earthquake Engrg., Acapulco, Mexico.

- [39] Seible, F. (1995). "Repair and seismic retest of a full-scale reinforced masonry building." Proc., 6th Int. Conf. on Struct. Faults and Repair, Vol. 3, 229-236.
- [40] Sweidan, R. I. (1991). "The application of fiber reinforced plastics to the strengthening of masonry structures," MS thesis, Dept. of Civ. and Envir. Engrg., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass.
- [41] Triantafillou, T. C., and Fardis, M. N. (1993). "Advanced composites for strengthening historic structures." IABSE Symp. on Struct. Preservation of the Architectural Heritage, Int. Assoc. for Bridge and Struct. Engrg., Lisbon, Portugal, 541-548.
- [42] Triantafillou, T. C., and Fardis, M. N. (1997). "Strengthening of historic masonry structures with composite materials." Mat. and Struct., Paris, France, 30, 486-496.
- [43] Triantafillou, T. C. (1998). "Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates." Journal of composites for construction, Vol. 2, No. 2, Asst. Prof., Dept. of Civ. Engrg., Struct. Div., Univ. of Patras, Patras, Greece.
- [44] Ευρωκώδικας 6: Σχεδιασμός κατασκευών από τοιχοποιία. Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες για οπλισμένη και άοπλη τοιχοποιία
- [45] Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός. Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια
- [46] Ευρωκώδικας 8: Αντισεισμικός σχεδιασμός. Μέρος 3: Αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και ενισχύσεις κτιρίων
- [47] Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ 2000), Φ.Ε.Κ. 1329 Β'6-11-2000.
- [48] Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ 2002), Φ.Ε.Κ. 2184 Β'20-12-1999.
- [49] Ελληνικός κανονισμός φορτίσεων δομικών έργων (ΒΔ 10/1945)
- [50] ACI Committee 318, 2005, "Building Core Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (318R-05)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 430 pp.
- [51] ACI Committee 437, 2007, "Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings", American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., (ACI 437R-03), 28 pp.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

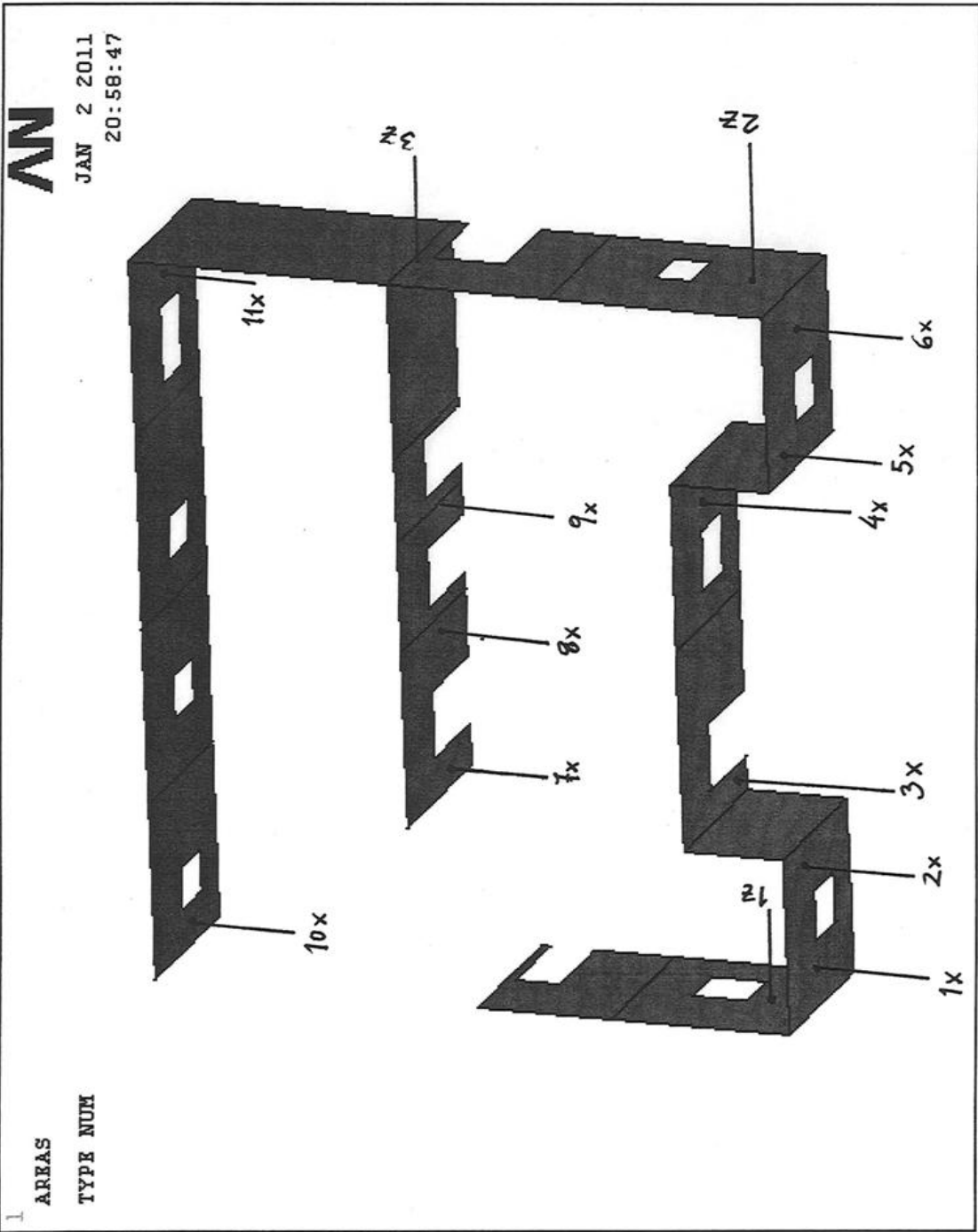
**Οι περιοχές ελέγχου της
τοιχοποιίας του
υφιστάμενου κτιρίου**



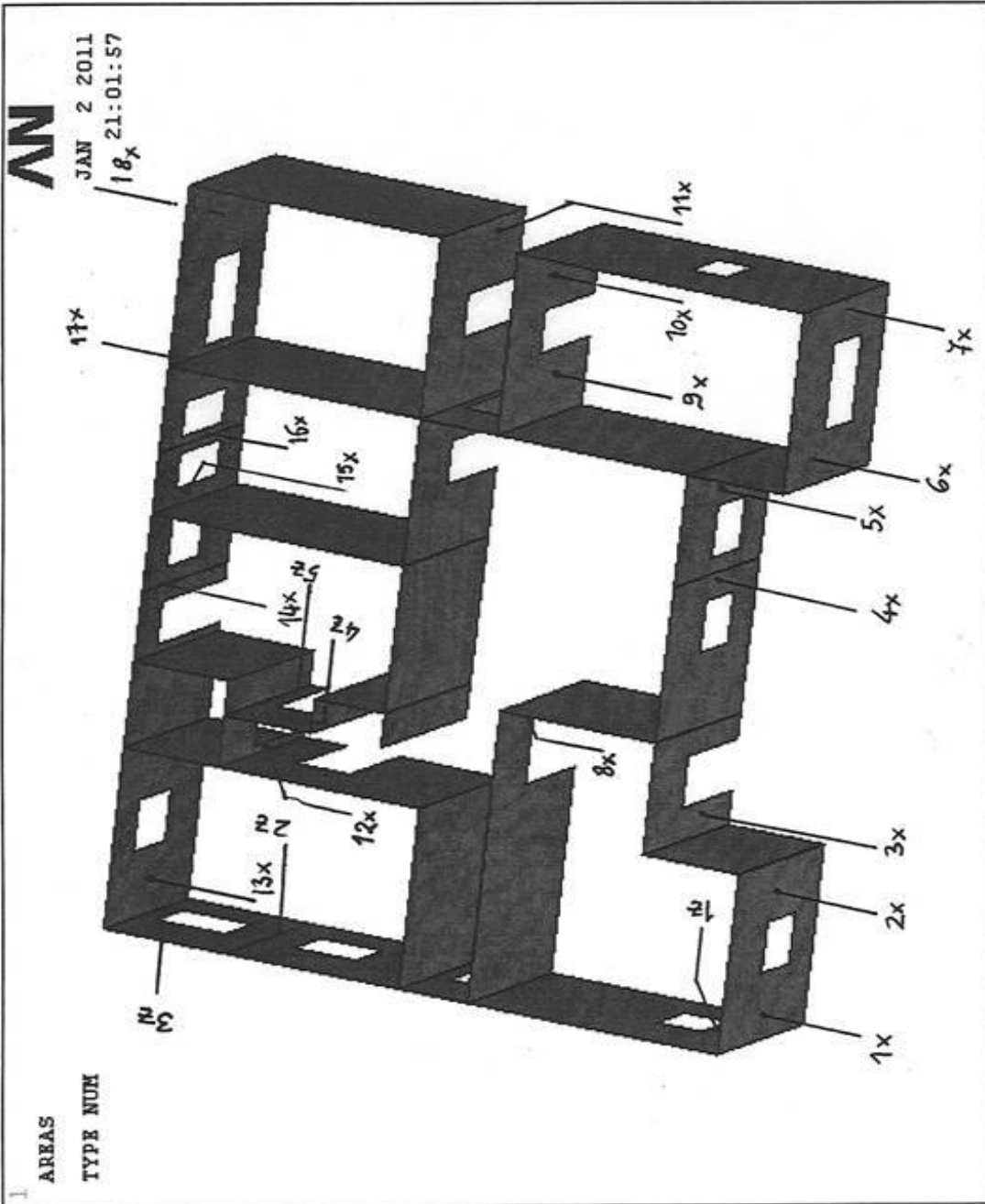
1 AREAS
TYPE NUM

AN
JAN 2 2011
21:03:27

Σχήμα 11. Οι θέσεις ελέγχου στο υπόγειο



Σχήμα 12. Οι θέσεις ελέγχου στο ισόγειο



Σχήμα 13. Οι θέσεις ελέγχου στον όροφο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

**Ο κάρναβος των
πεπερασμένων
στοιχείων του
υφιστάμενου κτιρίου**

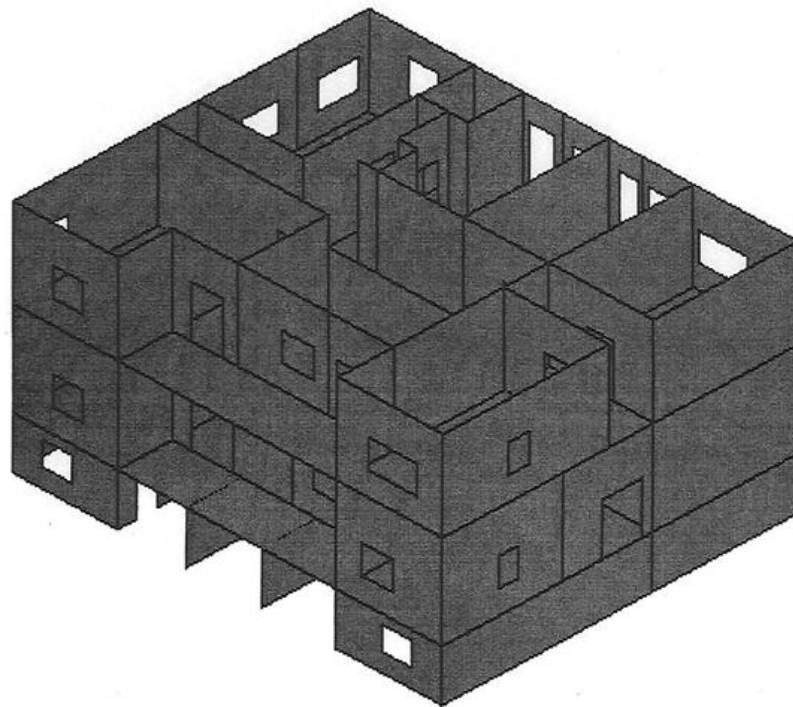
1

AREAS

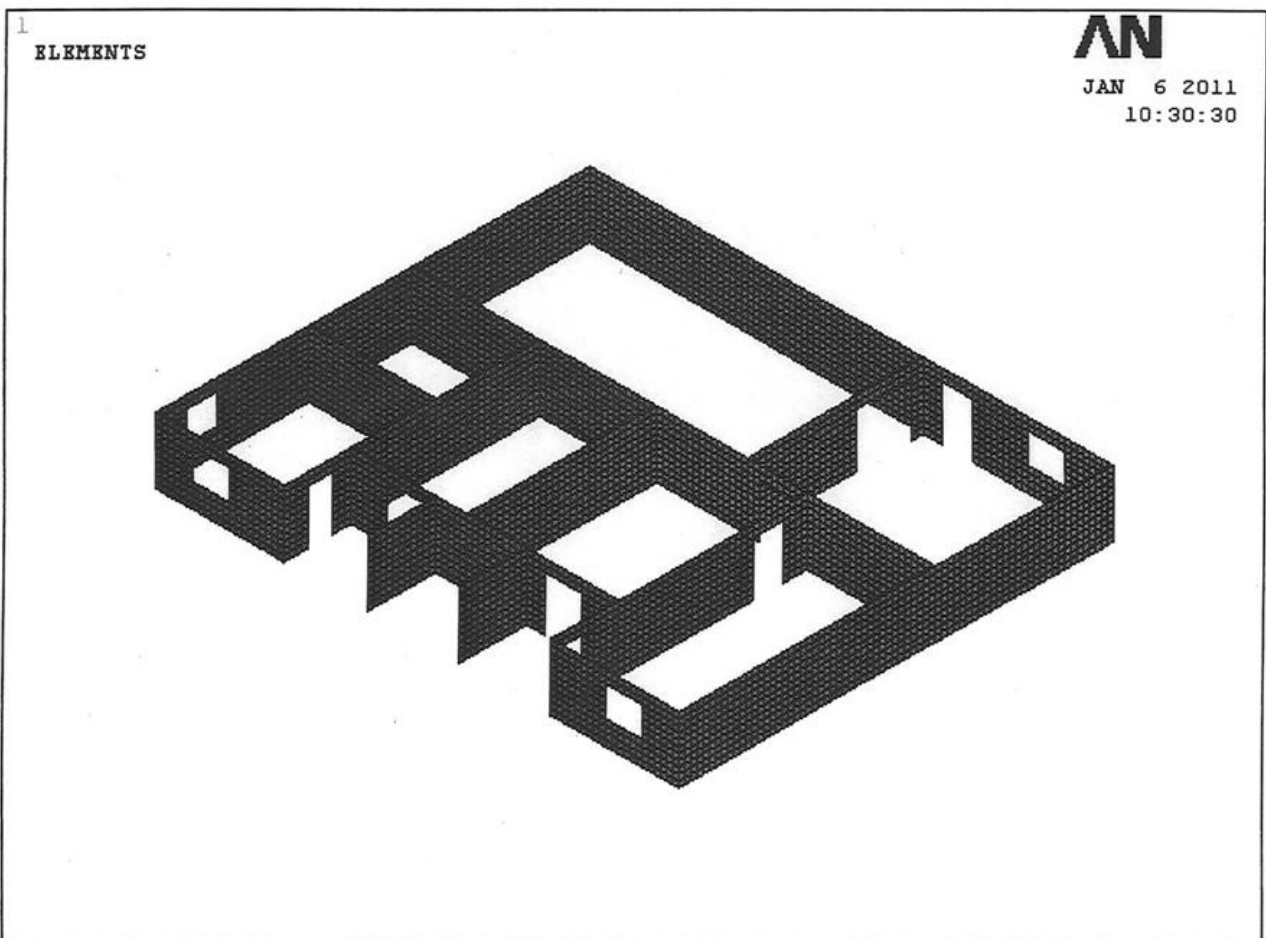
TYPE NUM

AN

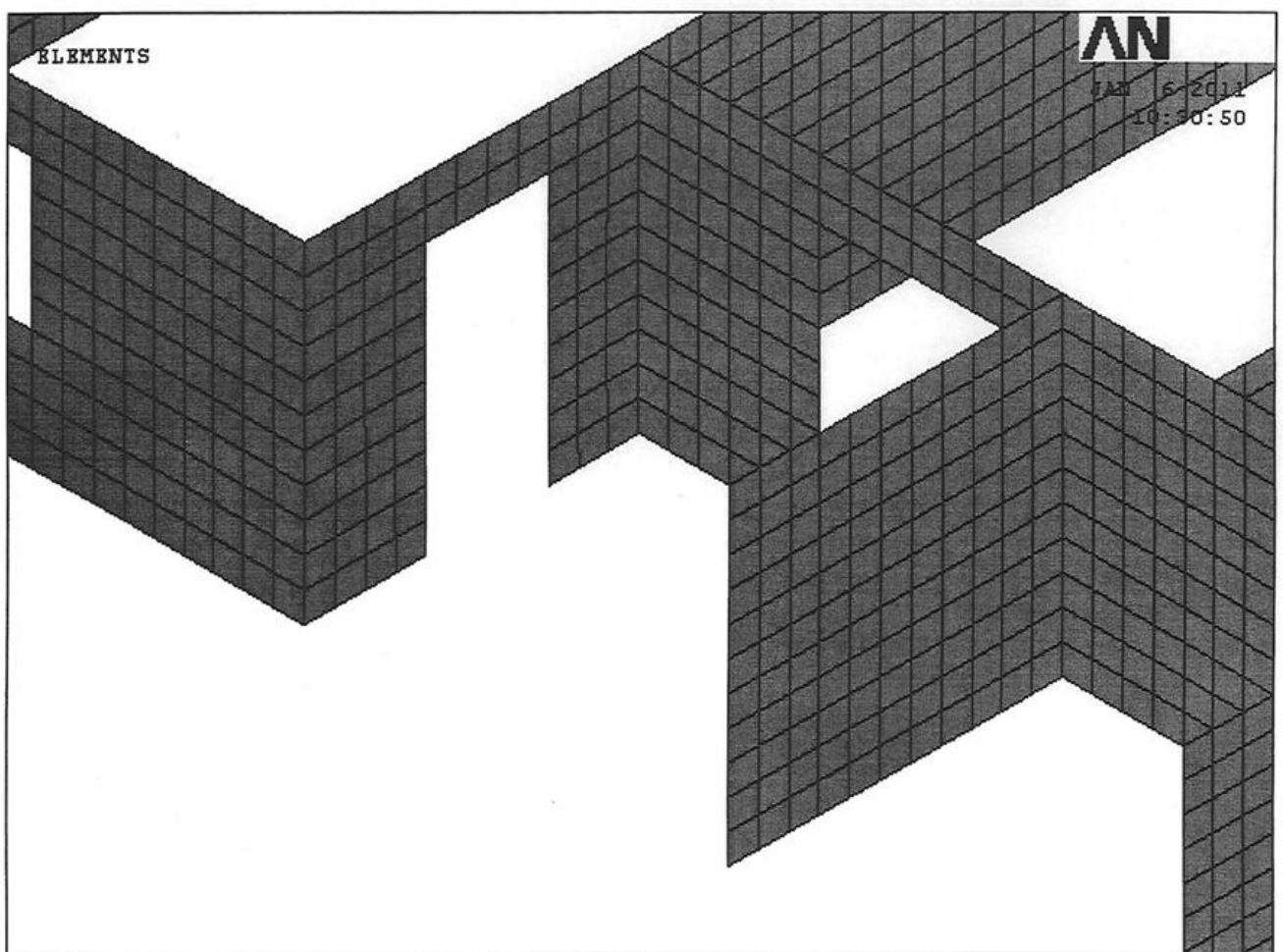
JAN 6 2011
10:27:15



Σχήμα II1. Το 3D μοντέλο του κτιρίου



Σχήμα II2. Ο κάναβος του υπογείου



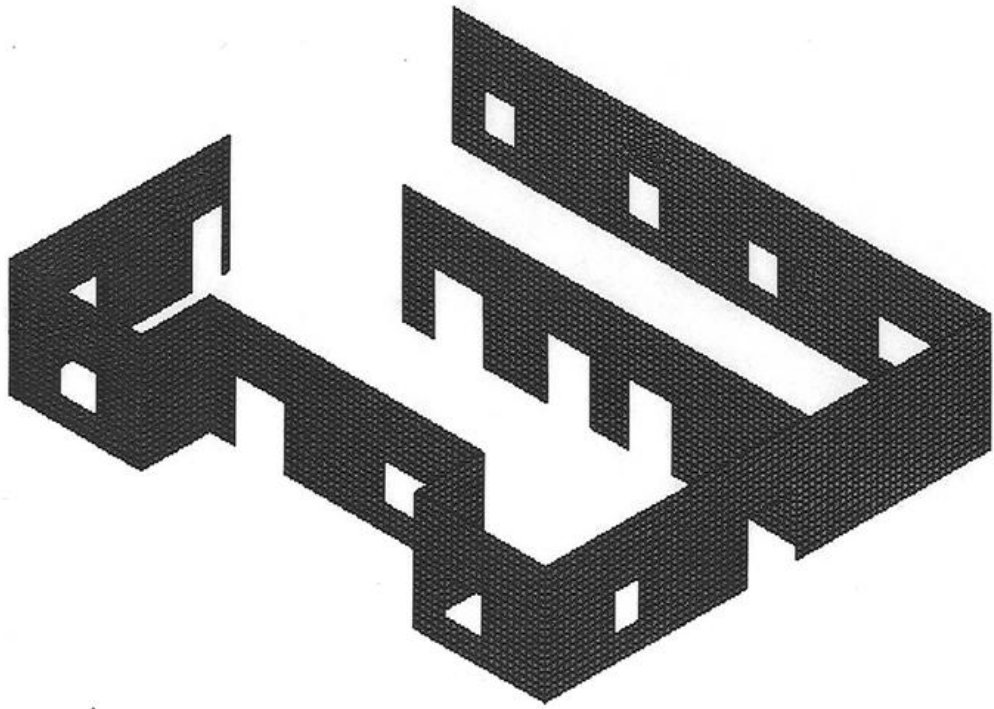
Σχήμα II3. Λεπτομέρεια του κανάβου στο υπόγειο

1

ELEMENTS

AN

JAN 6 2011
10:31:33



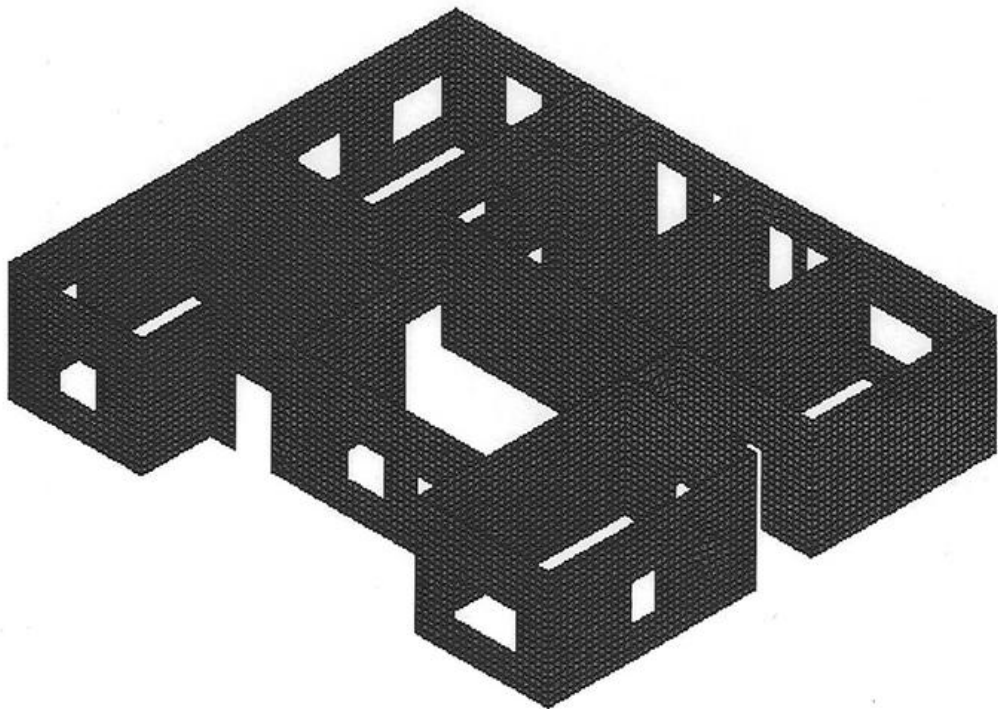
Σχήμα II4. Ο κάναβος του ισογείου

1

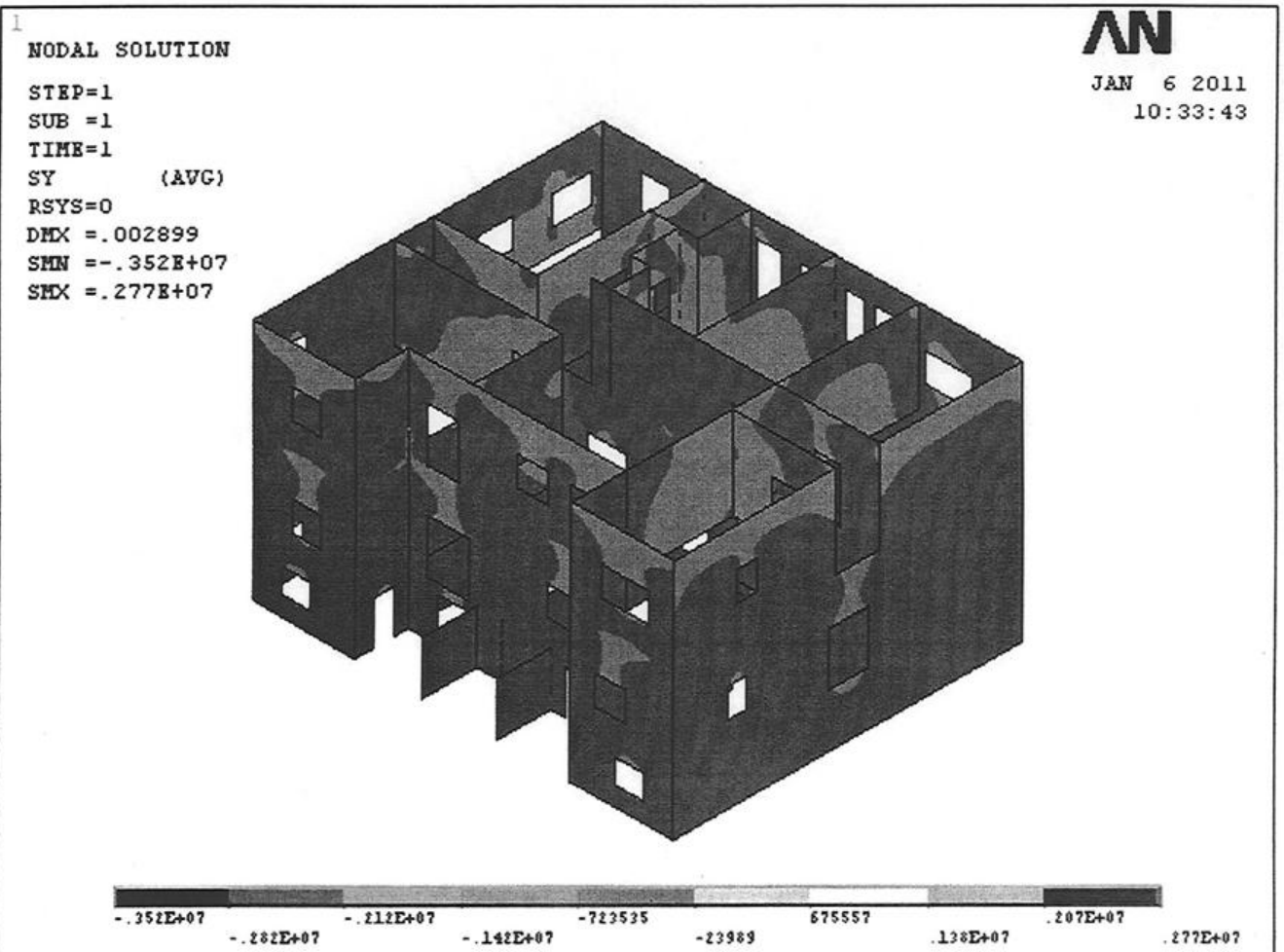
ELEMENTS

AN

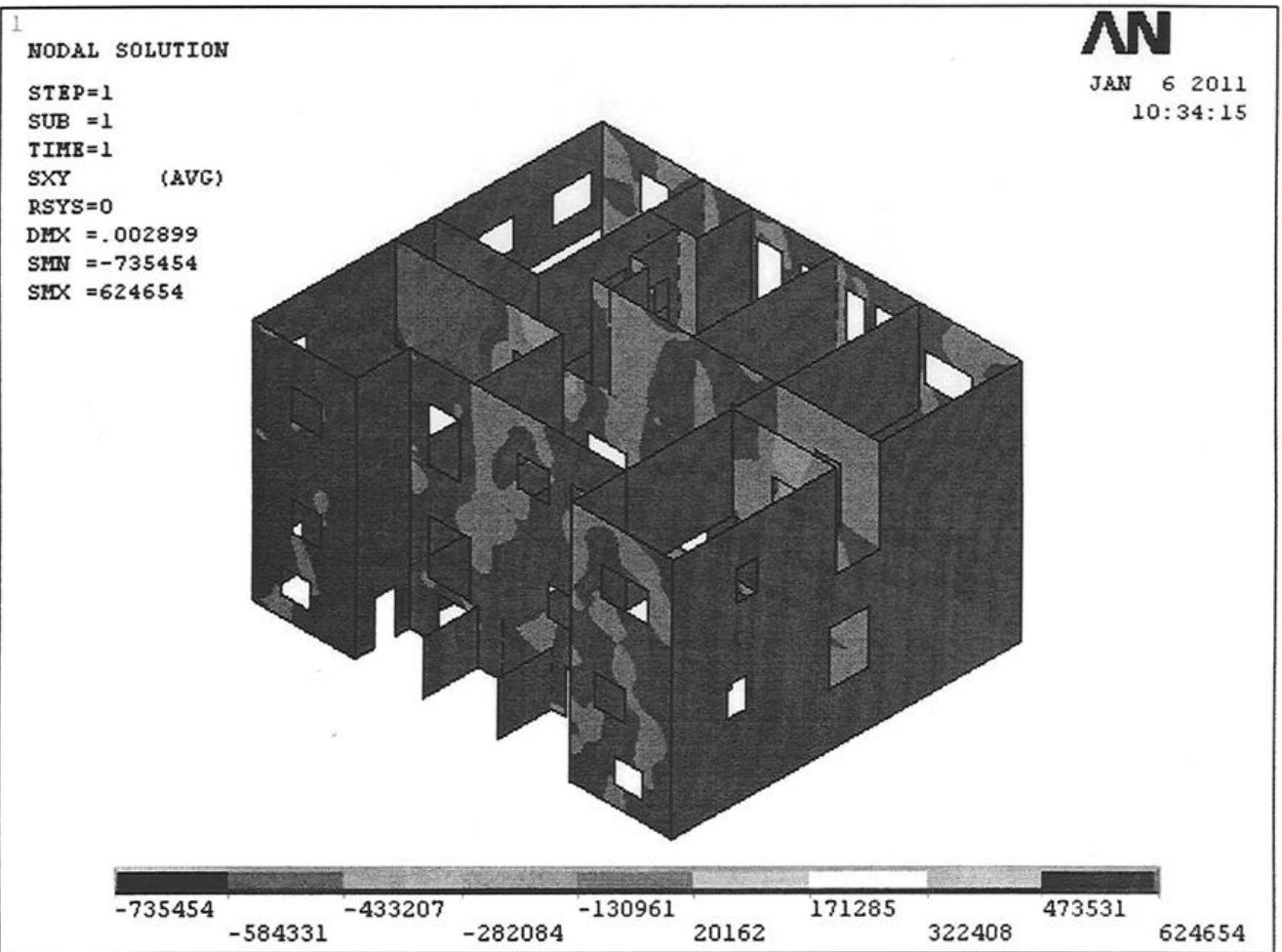
JAN 6 2011
10:32:07



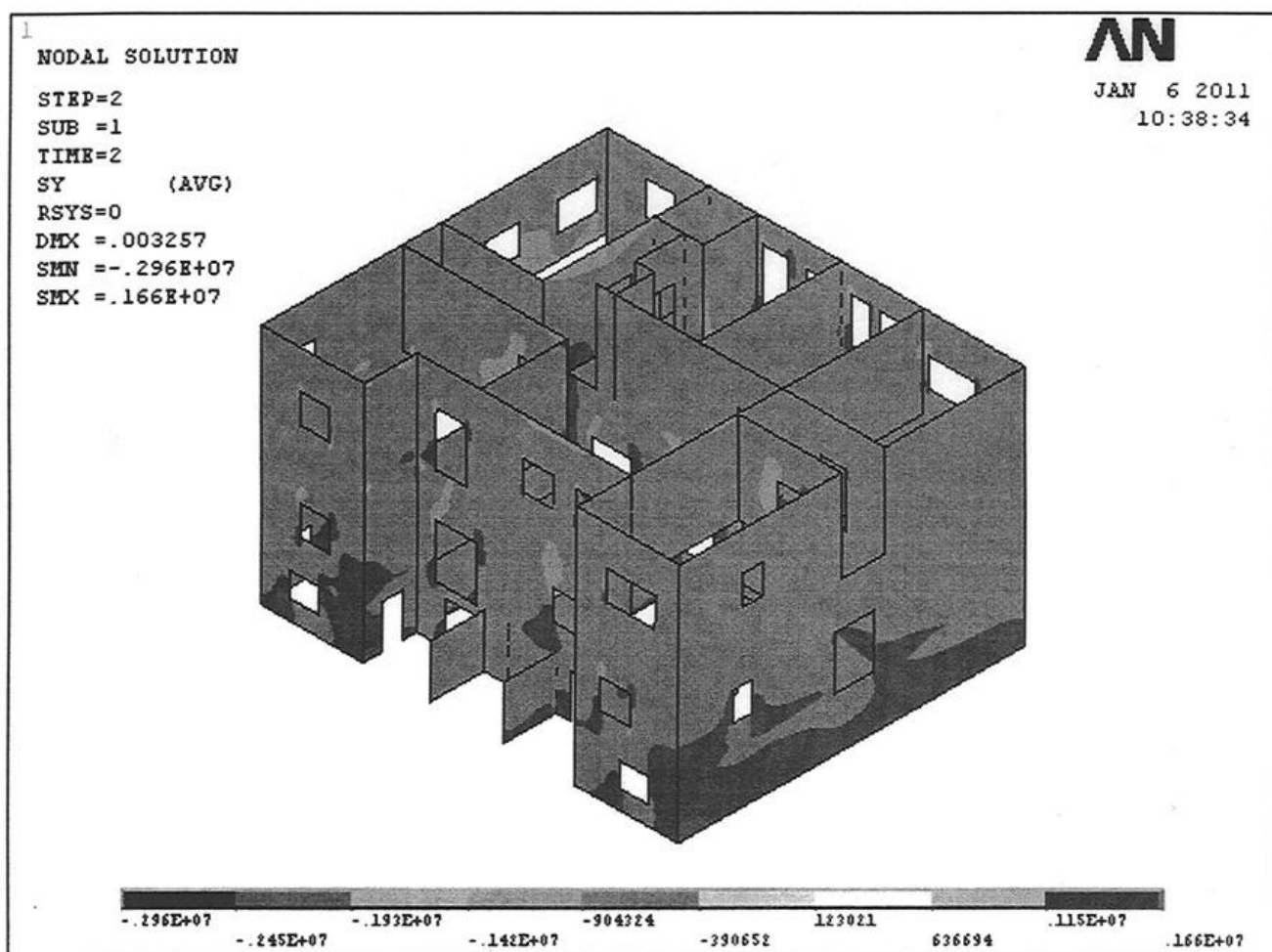
Σχήμα II5. Ο κάναβος του ορόφου



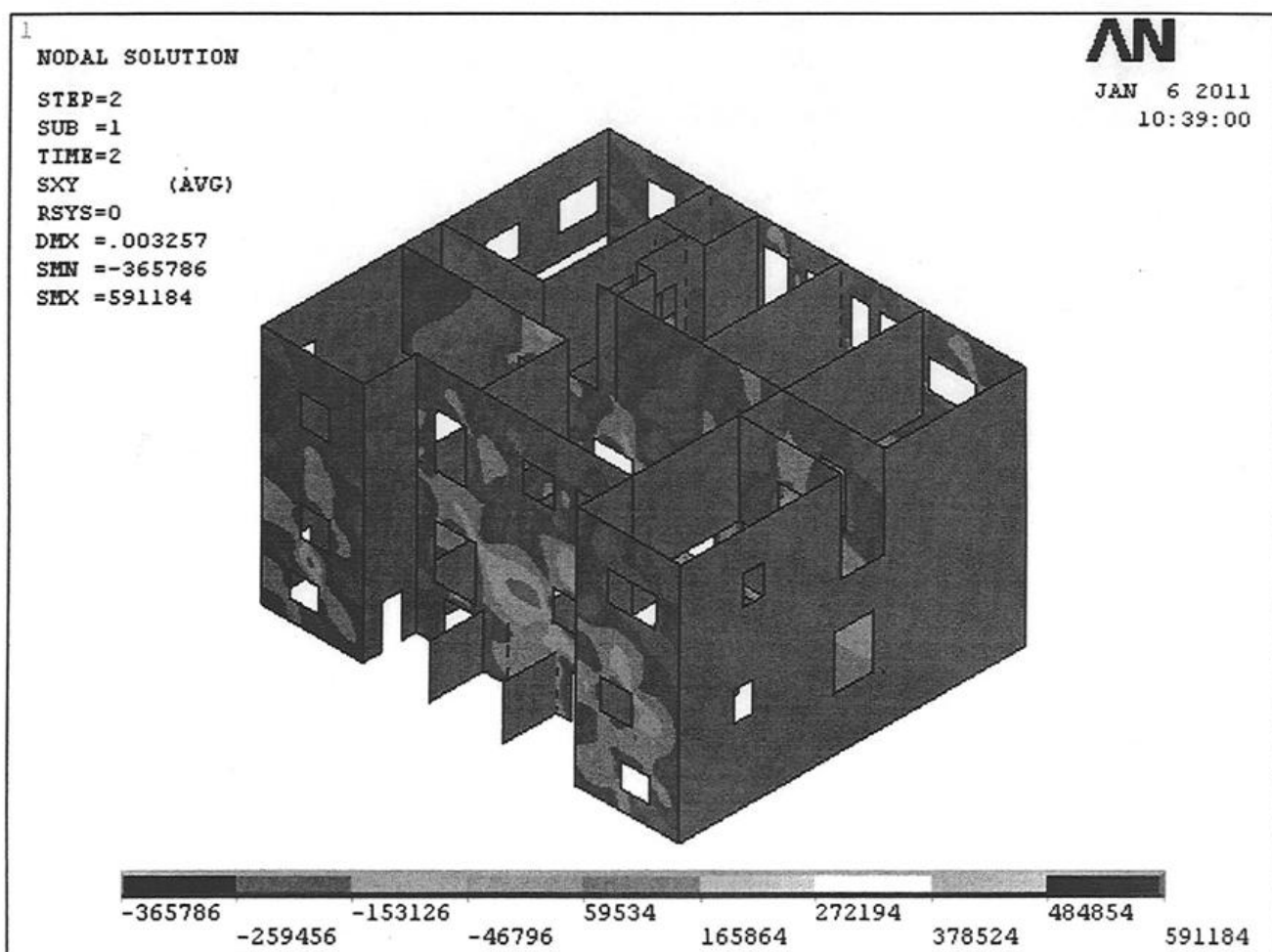
Σχήμα II6. Η διανομή της κατακόρυφης τάσης σ_y στο κτίριο για το δεύτερο συνδυασμό φορτίσεων



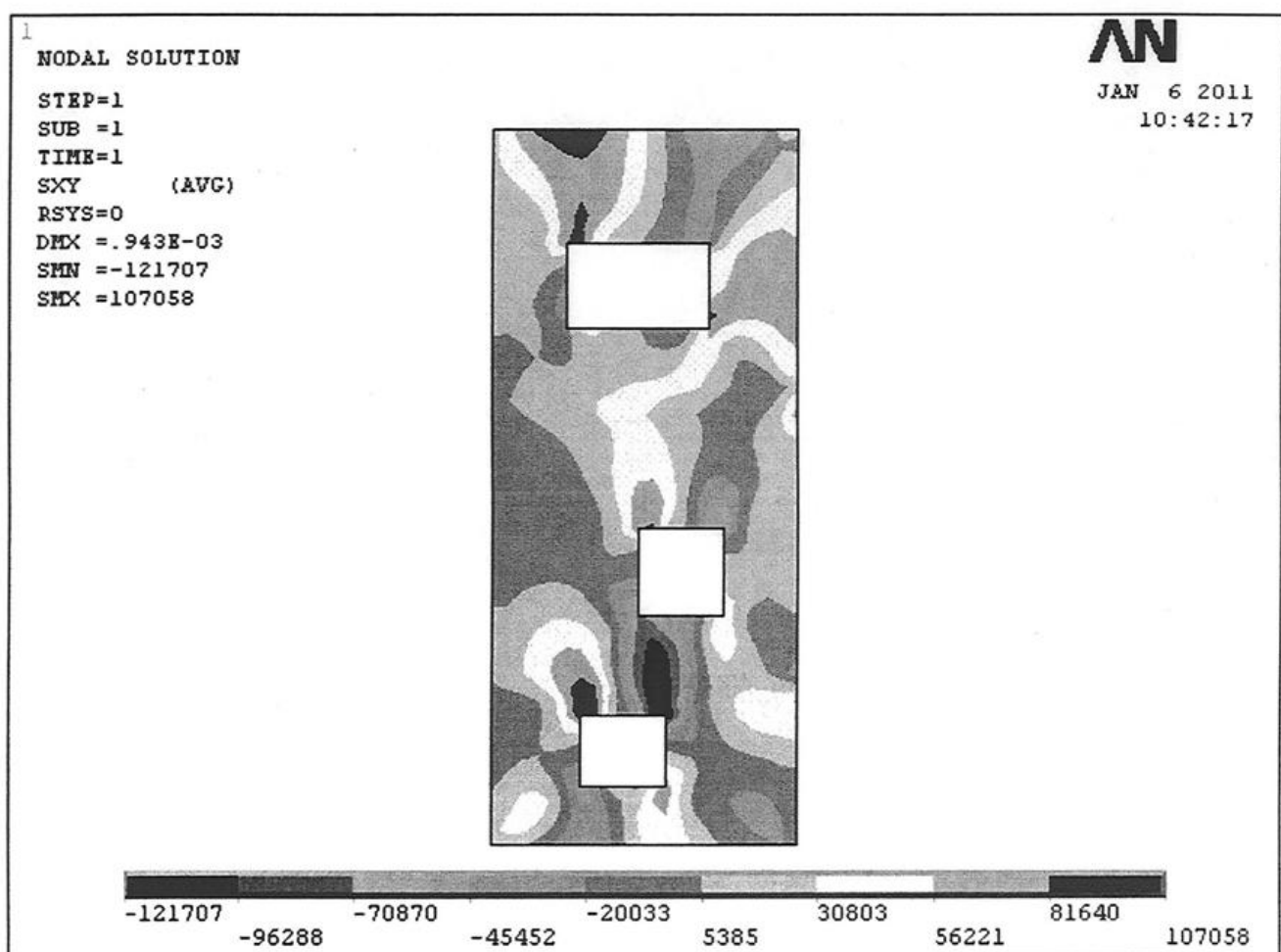
Σχήμα II7. Η διανομή της διατμητικής τάσης τ_{xy} στο κτήριο για το δεύτερο συνδυασμό φορτίσεων



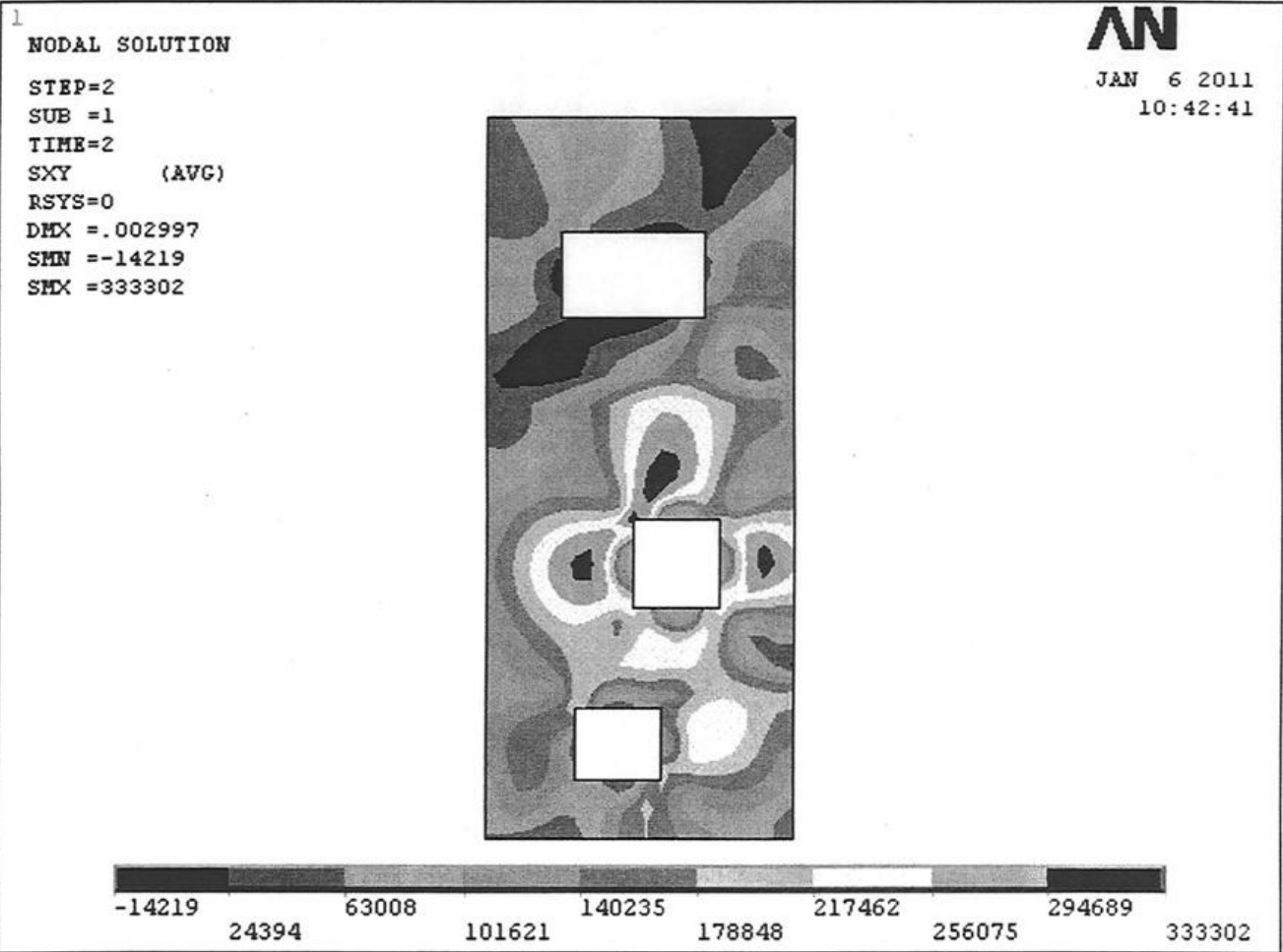
Σχήμα II8. Λεπτομέρεια της διανομής των διατμητικών τάσεων γύρω από τα ανοίγματα της πρόσοψης για την κατακόρυφη φόρτιση



Σχήμα ΙΙ9. Λεπτομέρεια της διανομής των τάσεων για σεισμική φόρτιση



Σχήμα II10. Η διανομή της διατμητικής τάσης σε τμήμα της πρόσοψης για κατακόρυφη φόρτιση



Σχήμα II11. Η διανομή της διατμητικής τάσης σε τμήμα της πρόσοψης για σεισμική φόρτιση

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

**Αριθμητικά από ανάλυση
στατικής επάρκειας**

	t	l	$\sigma(-)$	$\mu(-)$	od	Ned	Med	fd	Nrd	Mrd	ΑΣΤΟΧΙΑ1		ΑΣΤΟΧΙΑ2		ΑΣΤΟΧΙΑ3	
											kN	kN/m ²	kN	kN/m ²	od>0	Ned>Nrd
P1-1x-up-LS1	0.8	1.2	-357	-227	-297.5	285.6	181.6	1000	960.0	291.7		E				E
P1-1x-up-LS2	0.8	1.2	-298	-186	-248.3	238.4	148.8	1000	960.0	250.6		E				E
P1-1x-up-LS3	0.8	1.2	110	64.9	91.7	---	51.9	1000	960.0	100.8		A1			---	E
P1-1x-up-LS4	0.8	1.2	-231	-139	-192.5	184.8	111.2	1000	960.0	200.4		E				E
P1-1x-up-LS5	0.8	1.2	-621	-390	-517.5	496.8	312.0	1000	960.0	441.9		E				E
P1-1x-up-LS6	0.8	1.2	-888	-549	-740.0	710.4	439.2	1000	960.0	537.1		E				E
P1-1x-up-LS7	0.8	1.2	-985	-611	-820.8	788.0	488.8	1000	960.0	557.5		E				E
P1-1x-up-LS8	0.8	1.2	376	224	313.3	---	179.2	1000	960.0	304.4		A1			---	E
P1-1x-up-LS9	0.8	1.2	473	286	394.2	---	228.8	1000	960.0	364.6		A1			---	E
P1-1x-dn-LS1	0.8	1.2	-450	-283	-375.0	360.0	226.4	1000	960.0	351.0		E				E
P1-1x-dn-LS2	0.8	1.2	-582	-430	-485.0	465.6	344.0	1000	960.0	423.2		E				E
P1-1x-dn-LS3	0.8	1.2	-2.8	-68.3	-2.3	2.2	54.6	1000	960.0	2.7		E				A3
P1-1x-dn-LS4	0.8	1.2	-51.2	32.4	-42.7	41.0	25.9	1000	960.0	48.1		E				E
P1-1x-dn-LS5	0.8	1.2	-630	-329	-525.0	504.0	263.2	1000	960.0	446.0		E				E
P1-1x-dn-LS6	0.8	1.2	-1270	-817	-1058.3	1016.0	653.6	1000	960.0	574.0		E				A3
P1-1x-dn-LS7	0.8	1.2	-1290	-786	-1075.0	1032.0	628.8	1000	960.0	572.8		E				A3
P1-1x-dn-LS8	0.8	1.2	642	419	535.0	---	335.2	1000	960.0	451.5		A1			---	E
P1-1x-dn-LS9	0.8	1.2	656	389	546.7	---	311.2	1000	960.0	457.6		A1			---	E
P1-2x-up-LS1	0.8	1.8	-487.7	-430.2	-270.9	390.2	344.2	1000	1440.0	607.1		E				E
P1-2x-up-LS2	0.8	1.8	-903	-809.8	-501.7	722.4	647.8	1000	1440.0	974.2		E				E
P1-2x-up-LS3	0.8	1.8	-323.4	-313.6	-179.7	258.7	250.9	1000	1440.0	423.9		E				E
P1-2x-up-LS4	0.8	1.8	213	205.9	118.3	---	164.7	1000	1440.0	288.6		A1			---	E
P1-2x-up-LS5	0.8	1.8	-366.5	-290.3	-203.6	293.2	232.2	1000	1440.0	474.0		E				E
P1-2x-up-LS6	0.8	1.8	-1391.3	-1206.9	-772.9	1113.0	965.5	1000	1440.0	1229.2		E				E
P1-2x-up-LS7	0.8	1.8	-1230.4	-1051	-683.6	984.3	840.8	1000	1440.0	1166.2		E				E
P1-2x-up-LS8	0.8	1.8	701.4	602.9	389.7	---	482.3	1000	1440.0	813.2		A1			---	E
P1-2x-up-LS9	0.8	1.8	540.4	447.1	300.2	---	357.7	1000	1440.0	661.4		A1			---	E
P1-2x-dn-LS1	0.8	1.8	-626.6	-537.9	-348.1	501.3	430.3	1000	1440.0	745.3		E				E
P1-2x-dn-LS2	0.8	1.8	-876.5	-933.4	-486.9	701.2	746.7	1000	1440.0	954.9		E				E
P1-2x-dn-LS3	0.8	1.8	-276.1	-396.2	-153.4	220.9	317.0	1000	1440.0	367.1		E				E
P1-2x-dn-LS4	0.8	1.8	12.9	190.5	7.2	---	152.4	1000	1440.0	18.5		A1			---	A3
P1-2x-dn-LS5	0.8	1.8	-587.6	-346.6	-326.4	470.1	277.3	1000	1440.0	708.0		E				E
P1-2x-dn-LS6	0.8	1.8	-1475.9	-1354.7	-819.9	1180.7	1083.8	1000	1440.0	1254.0		E				E
P1-2x-dn-LS7	0.8	1.8	-1389.3	-1178.6	-771.8	1111.4	942.9	1000	1440.0	1228.5		E				E
P1-2x-dn-LS8	0.8	1.8	612.3	611.8	340.2	---	489.4	1000	1440.0	731.7		A1			---	E
P1-2x-dn-LS9	0.8	1.8	525.6	435.8	292.0	---	348.6	1000	1440.0	646.4		A1			---	E

P1-9x-up-LS2	0.6	0.4	-145.7	-24.4	-364.3	87.4	14.6	1000	240.0	28.6	E	E
P1-9x-up-LS3	0.6	0.4	-128.2	-21.6	-320.5	76.9	13.0	1000	240.0	25.8	E	E
P1-9x-up-LS4	0.6	0.4	-113.9	-26.5	-284.8	68.3	15.9	1000	240.0	23.4	E	E
P1-9x-up-LS5	0.6	0.4	-131.4	-29.3	-328.5	78.8	17.6	1000	240.0	26.4	E	E
P1-9x-up-LS6	0.6	0.4	-161.1	-29.3	-402.8	96.7	17.6	1000	240.0	30.9	E	E
P1-9x-up-LS7	0.6	0.4	-156.8	-30.8	-392.0	94.1	18.5	1000	240.0	30.3	E	E
P1-9x-up-LS8	0.6	0.4	-98.5	-21.6	-246.3	59.1	13.0	1000	240.0	20.7	E	E
P1-9x-up-LS9	0.6	0.4	-102.8	-20.1	-257.0	61.7	12.1	1000	240.0	21.5	E	E
P1-10x-up-LS1	0.6	0.6	-95.7	-27.8	-159.5	57.4	16.7	1000	360.0	31.7	E	E
P1-10x-up-LS2	0.6	0.6	-57.8	-1.8	-96.3	34.7	1.1	1000	360.0	19.8	E	E
P1-10x-up-LS3	0.6	0.6	-55.4	-0.4	-92.3	33.2	0.2	1000	360.0	19.0	E	E
P1-10x-up-LS4	0.6	0.6	-72.3	-36.4	-120.5	43.4	21.8	1000	360.0	24.5	E	E
P1-10x-up-LS5	0.6	0.6	-74.7	-37.8	-124.5	44.8	22.7	1000	360.0	25.2	E	E
P1-10x-up-LS6	0.6	0.6	-66.6	-16.1	-111.0	40.0	9.7	1000	360.0	22.6	E	E
P1-10x-up-LS7	0.6	0.6	-71.7	-26.9	-119.5	43.0	16.1	1000	360.0	24.3	E	E
P1-10x-up-LS8	0.6	0.6	-63.5	-22.1	-105.8	38.1	13.3	1000	360.0	21.7	E	E
P1-10x-up-LS9	0.6	0.6	-58.4	-11.3	-97.3	35.0	6.8	1000	360.0	20.0	E	E
P1-11x-up-LS1	0.8	0.6	-227.1	-73.9	-378.5	181.7	59.1	1000	480.0	88.4	E	E
P1-11x-up-LS2	0.8	0.6	-114.6	-32.6	-191.0	91.7	26.1	1000	480.0	49.8	E	E
P1-11x-up-LS3	0.8	0.6	-58.7	-14.3	-97.8	47.0	11.4	1000	480.0	26.8	E	E
P1-11x-up-LS4	0.8	0.6	-186.7	-65.5	-311.2	149.4	52.4	1000	480.0	75.7	E	E
P1-11x-up-LS5	0.8	0.6	-242.6	-83.8	-404.3	194.1	67.0	1000	480.0	92.9	E	E
P1-11x-up-LS6	0.8	0.6	-224.6	-71.9	-374.3	179.7	57.5	1000	480.0	87.6	E	E
P1-11x-up-LS7	0.8	0.6	-263.1	-87.3	-438.5	210.5	69.8	1000	480.0	98.6	E	E
P1-11x-up-LS8	0.8	0.6	-76.7	-26.2	-127.8	61.4	21.0	1000	480.0	34.5	E	E
P1-11x-up-LS9	0.8	0.6	-38.3	-10.8	-63.8	30.6	8.6	1000	480.0	17.8	E	E
P1-12x-up-LS1	0.8	1.8	-803.4	-703.5	-446.3	642.7	562.8	1000	1440.0	898.7	E	E
P1-12x-up-LS2	0.8	1.8	-736.9	-531.2	-409.4	589.5	425.0	1000	1440.0	843.9	E	E
P1-12x-up-LS3	0.8	1.8	-676.1	-487.2	-375.6	540.9	389.8	1000	1440.0	790.7	E	E
P1-12x-up-LS4	0.8	1.8	-288.8	-359.2	-160.4	231.0	287.4	1000	1440.0	382.5	E	E
P1-12x-up-LS5	0.8	1.8	-349.6	-403.2	-194.2	279.7	322.6	1000	1440.0	454.5	E	E
P1-12x-up-LS6	0.8	1.8	-672.3	-537.7	-373.5	537.8	430.2	1000	1440.0	787.3	E	E
P1-12x-up-LS7	0.8	1.8	-556.1	-499.3	-308.9	444.9	399.4	1000	1440.0	677.1	E	E
P1-12x-up-LS8	0.8	1.8	-353.5	-352.7	-196.4	282.8	282.2	1000	1440.0	459.1	E	E
P1-12x-up-LS9	0.8	1.8	-469.7	-391.1	-260.9	375.8	312.9	1000	1440.0	588.1	E	E
P1-12x-dn-LS1	0.8	1.8	-727.9	-652.7	-404.4	582.3	522.2	1000	1440.0	836.2	E	E
P1-12x-dn-LS2	0.8	1.8	-717.9	-738.4	-398.8	574.3	590.7	1000	1440.0	827.6	E	E

P1-12x-dn-LS3	0.8	1.8	-604.1	-645.8	-335.6	483.3	516.6	1000	1440.0	723.9	E	E	E
P1-12x-dn-LS4	0.8	1.8	-274.7	-152.7	-152.6	219.8	122.2	1000	1440.0	365.4	E	E	E
P1-12x-dn-LS5	0.8	1.8	-388.6	-245.4	-215.9	310.9	196.3	1000	1440.0	499.2	E	E	E
P1-12x-dn-LS6	0.8	1.8	-735.5	-673.9	-408.6	588.4	539.1	1000	1440.0	842.7	E	E	E
P1-12x-dn-LS7	0.8	1.8	-636.7	-526	-353.7	509.4	420.8	1000	1440.0	754.7	E	E	E
P1-12x-dn-LS8	0.8	1.8	-257.1	-217.2	-142.8	205.7	173.8	1000	1440.0	343.8	E	E	E
P1-12x-dn-LS9	0.8	1.8	-355.9	-365.1	-197.7	284.7	292.1	1000	1440.0	461.8	E	E	E
P1-13x-up-LS1	0.8	1.6	-613.8	-458.4	-383.6	491.0	366.7	1000	1280.0	635.0	E	E	E
P1-13x-up-LS2	0.8	1.6	-493.1	-366.8	-308.2	394.5	293.4	1000	1280.0	533.9	E	E	E
P1-13x-up-LS3	0.8	1.6	-746.2	-611.4	-466.4	597.0	489.1	1000	1280.0	732.4	E	E	E
P1-13x-up-LS4	0.8	1.6	-335.5	-261.8	-209.7	268.4	209.4	1000	1280.0	384.4	E	E	E
P1-13x-up-LS5	0.8	1.6	-82.4	-17.2	-51.5	65.9	13.8	1000	1280.0	102.8	E	E	E
P1-13x-up-LS6	0.8	1.6	-54.1	41	-33.8	43.3	32.8	1000	1280.0	68.1	E	E	E
P1-13x-up-LS7	0.8	1.6	69.1	145.8	43.2	---	116.6	1000	1280.0	86.5	A1	---	A3
P1-13x-up-LS8	0.8	1.6	-774.6	-669.5	-484.1	619.7	535.6	1000	1280.0	751.5	E	E	E
P1-13x-up-LS9	0.8	1.6	-897.8	-774.4	-561.1	718.2	619.5	1000	1280.0	826.8	E	E	E
P1-13x-dn-LS1	0.8	1.6	-625	-515.6	-390.6	500.0	412.5	1000	1280.0	643.8	E	E	E
P1-13x-dn-LS2	0.8	1.6	-487.9	-477.4	-304.9	390.3	381.9	1000	1280.0	529.3	E	E	E
P1-13x-dn-LS3	0.8	1.6	-716.7	-725.2	-447.9	573.4	580.2	1000	1280.0	711.9	E	E	E
P1-13x-dn-LS4	0.8	1.6	-386.8	-244.6	-241.8	309.4	195.7	1000	1280.0	435.3	E	E	E
P1-13x-dn-LS5	0.8	1.6	-158	3.2	-98.8	126.4	2.6	1000	1280.0	192.3	E	E	E
P1-13x-dn-LS6	0.8	1.6	-105.5	-20	-65.9	84.4	16.0	1000	1280.0	130.6	E	E	E
P1-13x-dn-LS7	0.8	1.6	-6.5	124.1	-4.1	5.2	99.3	1000	1280.0	8.3	E	E	A3
P1-13x-dn-LS8	0.8	1.6	-769.2	-702	-480.8	615.4	561.6	1000	1280.0	747.9	E	E	E
P1-13x-dn-LS9	0.8	1.6	-868.2	-846.2	-542.6	694.6	677.0	1000	1280.0	809.8	E	E	E
P1-1z-up-LS1	0.8	1.0	-409.1	-214.9	-409.1	327.3	171.9	1000	800.0	260.3	E	E	E
P1-1z-up-LS2	0.8	1.0	-256.8	-144.5	-256.8	205.4	115.6	1000	800.0	179.1	E	E	E
P1-1z-up-LS3	0.8	1.0	-9.9	-22.4	-9.9	7.9	17.9	1000	800.0	7.9	E	E	A3
P1-1z-up-LS4	0.8	1.0	-308.2	-150.8	-308.2	246.6	120.6	1000	800.0	208.6	E	E	E
P1-1z-up-LS5	0.8	1.0	-555.1	-273	-555.1	444.1	218.4	1000	800.0	320.8	E	E	E
P1-1z-up-LS6	0.8	1.0	-649.3	-332	-649.3	519.4	265.6	1000	800.0	350.8	E	E	E
P1-1z-up-LS7	0.8	1.0	-738.8	-370.6	-738.8	591.0	296.5	1000	800.0	372.7	E	E	E
P1-1z-up-LS8	0.8	1.0	84.3	36.6	84.3	---	29.3	1000	800.0	64.6	A1	---	E
P1-1z-up-LS9	0.8	1.0	173.8	75.2	173.8	---	60.2	1000	800.0	127.0	A1	---	E
P1-1z-dn-LS1	0.8	1.0	-439.1	-216.2	-439.1	351.3	173.0	1000	800.0	274.2	E	E	E
P1-1z-dn-LS2	0.8	1.0	-378.8	-180.4	-378.8	303.0	144.3	1000	800.0	245.6	E	E	E
P1-1z-dn-LS3	0.8	1.0	-127.8	-85.7	-127.8	102.2	68.6	1000	800.0	95.7	E	E	E
P1-1z-dn-LS4	0.8	1.0	-238.7	-123.8	-238.7	191.0	99.0	1000	800.0	168.2	E	E	E

P1-1z-dh-LS5	0.8	1.0	-489.7	-218.5	-489.7	391.8	174.8	1000	800.0	295.8	E	E	E
P1-1z-dh-LS6	0.8	1.0	-710.5	-304.2	-710.5	568.4	243.4	1000	800.0	366.5	E	E	E
P1-1z-dh-LS7	0.8	1.0	-743.8	-315.7	-743.8	595.0	252.6	1000	800.0	373.7	E	E	E
P1-1z-dh-LS8	0.8	1.0	93	0.1	93.0	---	0.1	1000	800.0	70.9	A1	---	E
P1-1z-dh-LS9	0.8	1.0	126.3	11.5	126.3	---	9.2	1000	800.0	94.7	A1	---	E
P1-2z-up-LS1	0.65	0.8	-228.4	-98.4	-285.5	148.5	64.0	1000	520.0	101.8	E	E	E
P1-2z-up-LS2	0.65	0.8	-272.5	-101.5	-340.6	177.1	66.0	1000	520.0	117.6	E	E	E
P1-2z-up-LS3	0.65	0.8	-179.8	-63.9	-224.8	116.9	41.5	1000	520.0	83.0	E	E	E
P1-2z-up-LS4	0.65	0.8	-30.2	-28.9	-37.8	19.6	18.8	1000	520.0	15.4	E	E	A3
P1-2z-up-LS5	0.65	0.8	-123	-66.5	-153.8	80.0	43.2	1000	520.0	59.0	E	E	E
P1-2z-up-LS6	0.65	0.8	-328.3	-133.1	-410.4	213.4	86.5	1000	520.0	135.7	E	E	E
P1-2z-up-LS7	0.65	0.8	-283.5	-122.6	-354.4	184.3	79.7	1000	520.0	121.3	E	E	E
P1-2z-up-LS8	0.65	0.8	25.6	2.7	32.0	---	1.8	1000	520.0	13.1	A1	---	E
P1-2z-up-LS9	0.65	0.8	-19.3	-7.7	-24.1	12.5	5.0	1000	520.0	9.9	E	E	E
P1-3z-up-LS1	0.5	0.4	-140.2	-26.8	-350.5	70.1	13.4	1000	200.0	23.1	E	E	E
P1-3z-up-LS2	0.5	0.4	-49.1	-10.3	-122.8	24.6	5.2	1000	200.0	9.2	E	E	E
P1-3z-up-LS3	0.5	0.4	-58.2	-11.6	-145.5	29.1	5.8	1000	200.0	10.8	E	E	E
P1-3z-up-LS4	0.5	0.4	-135.7	-25.6	-339.3	67.9	12.8	1000	200.0	22.5	E	E	E
P1-3z-up-LS5	0.5	0.4	-126.7	-24.3	-316.8	63.4	12.2	1000	200.0	21.3	E	E	E
P1-3z-up-LS6	0.5	0.4	-65.8	-13.6	-164.5	32.9	6.8	1000	200.0	12.1	E	E	E
P1-3z-up-LS7	0.5	0.4	-89	-17.8	-222.5	44.5	8.9	1000	200.0	15.8	E	E	E
P1-3z-up-LS8	0.5	0.4	-119.1	-22.3	-297.8	59.6	11.2	1000	200.0	20.3	E	E	E
P1-3z-up-LS9	0.5	0.4	-95.8	-18.1	-239.5	47.9	9.1	1000	200.0	16.9	E	E	E
P1-4z-up-LS1	0.75	0.4	-144.8	-29.5	-362.0	108.6	22.1	1000	300.0	35.6	E	E	E
P1-4z-up-LS2	0.75	0.4	-98.9	-23	-247.3	74.2	17.3	1000	300.0	26.0	E	E	E
P1-4z-up-LS3	0.75	0.4	-33.2	-8.6	-83.0	24.9	6.5	1000	300.0	9.5	E	E	E
P1-4z-up-LS4	0.75	0.4	-98.4	-17	-246.0	73.8	12.8	1000	300.0	25.9	E	E	E
P1-4z-up-LS5	0.75	0.4	-164.1	-31.5	-410.3	123.1	23.6	1000	300.0	39.1	E	E	E
P1-4z-up-LS6	0.75	0.4	-198.3	-42.8	-495.8	148.7	32.1	1000	300.0	44.7	E	E	E
P1-4z-up-LS7	0.75	0.4	-217.9	-45.3	-544.8	163.4	34.0	1000	300.0	47.6	E	E	E
P1-4z-up-LS8	0.75	0.4	1	2.7	2.5	---	2.0	1000	300.0	0.3	A1	---	A3
P1-4z-up-LS9	0.75	0.4	20.6	5.3	51.5	---	4.0	1000	300.0	6.0	A1	---	E
P1-5z-up-LS1	0.75	0.8	-143.7	-68.8	-179.6	107.8	51.6	1000	600.0	78.5	E	E	E
P1-5z-up-LS2	0.75	0.8	92.5	42.7	115.6	---	32.0	1000	600.0	52.3	A1	---	E
P1-5z-up-LS3	0.75	0.8	87.6	48.3	109.5	---	36.2	1000	600.0	49.7	A1	---	E
P1-5z-up-LS4	0.75	0.8	-281.2	-133.8	-351.5	210.9	100.4	1000	600.0	139.1	E	E	E

P1-5z-up-LS5	0.75	0.8	-276.3	-139.5	-345.4	207.2	104.6	1000	600.0	137.2	E	E	E
P1-5z-up-LS6	0.75	0.8	-30.8	-27.7	-38.5	23.1	20.8	1000	600.0	18.1	E	E	A3
P1-5z-up-LS7	0.75	0.8	-141.4	-82.3	-176.8	106.1	61.7	1000	600.0	77.3	E	E	E
P1-5z-up-LS8	0.75	0.8	-157.9	-63.5	-197.4	118.4	47.6	1000	600.0	85.4	E	E	E
P1-5z-up-LS9	0.75	0.8	-47.2	-8.8	-59.0	35.4	6.6	1000	600.0	27.5	E	E	E

	t	l	σ(-)	μ(-)	σd	Ned	Med	fd	Nrd	Mrd	ΑΣΤΟΧΙΑ1		ΑΣΤΟΧΙΑ2		ΑΣΤΟΧΙΑ3	
											od>0	Ned>Nrd	Ned>Nrd	Med>Mrd		
	m	m	kN/m	kN	kN/m2	kN	kNm	kN/m2	kN	kNm	od>0	Ned>Nrd	Ned>Nrd	Med>Mrd	Med>Mrd	
P2-1x-up-LS1	0.7	1.6	-243.6	-217.6	-152.3	170.5	152.3	1000	1120.0	252.1	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS2	0.7	1.6	-27	21	-16.9	18.9	14.7	1000	1120.0	30.0	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS3	0.7	1.6	33	96	20.6	---	67.2	1000	1120.0	36.6	A1		---	A3		
P2-1x-up-LS4	0.7	1.6	-321.7	-330.1	-201.1	225.2	231.1	1000	1120.0	324.1	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS5	0.7	1.6	-381.7	-405.1	-238.6	267.2	283.6	1000	1120.0	376.5	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS6	0.7	1.6	-221.1	-215.7	-138.2	154.8	151.0	1000	1120.0	230.5	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS7	0.7	1.6	-327.5	-343.5	-204.7	229.3	240.5	1000	1120.0	329.3	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS8	0.7	1.6	-127.6	-93.4	-79.8	89.3	65.4	1000	1120.0	137.2	E		E	E	E	
P2-1x-up-LS9	0.7	1.6	-21.2	34.4	-13.3	14.8	24.1	1000	1120.0	23.6	E		E	E	A3	
P2-1x-dn-LS1	0.7	1.6	-362.2	-296	-226.4	253.5	207.2	1000	1120.0	359.7	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS2	0.7	1.6	-431.9	-435.7	-269.9	302.3	305.0	1000	1120.0	418.4	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS3	0.7	1.6	21.9	-89.2	13.7	---	62.4	1000	1120.0	24.4	A1		---	A3		
P2-1x-dn-LS4	0.7	1.6	-72.4	23.2	-45.3	50.7	16.2	1000	1120.0	79.3	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS5	0.7	1.6	-526.1	-323.3	-328.8	368.3	226.3	1000	1120.0	492.4	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS6	0.7	1.6	-994.2	-800.6	-621.4	695.9	560.4	1000	1120.0	767.6	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS7	0.7	1.6	-1022.5	-766.9	-639.1	715.8	536.8	1000	1120.0	779.3	E		E	E	E	
P2-1x-dn-LS8	0.7	1.6	490	388.2	306.3	---	271.7	1000	1120.0	464.8	A1		---	E	E	
P2-1x-dn-LS9	0.7	1.6	518.2	354.4	323.9	---	248.1	1000	1120.0	486.4	A1		---	E	E	
P2-2x-up-LS1	0.7	1.4	-251.6	-169.2	-179.7	176.1	118.4	1000	980.0	224.4	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS2	0.7	1.4	-402.9	-201.6	-287.8	282.0	141.1	1000	980.0	338.0	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS3	0.7	1.4	-232.2	-79.1	-165.9	162.5	55.4	1000	980.0	208.7	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS4	0.7	1.4	38.9	-41.6	27.8	---	29.1	1000	980.0	37.6	A1		---	E	E	
P2-2x-up-LS5	0.7	1.4	-131.8	-164.1	-94.1	92.3	114.9	1000	980.0	123.1	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS6	0.7	1.4	-507	-331.4	-362.1	354.9	232.0	1000	980.0	406.9	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS7	0.7	1.4	-425.7	-320.1	-304.1	298.0	224.1	1000	980.0	353.8	E		E	E	E	
P2-2x-up-LS8	0.7	1.4	143.1	88.2	102.2	---	61.7	1000	980.0	133.1	A1		---	E	E	
P2-2x-up-LS9	0.7	1.4	61.7	76.9	44.1	---	53.8	1000	980.0	59.1	A1		---	E	E	
P2-2x-dn-LS1	0.7	1.4	-389.6	-256.1	-278.3	272.7	179.3	1000	980.0	328.7	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS2	0.7	1.4	-570.4	-464.9	-407.4	399.3	325.4	1000	980.0	445.1	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS3	0.7	1.4	-171.9	-191.7	-122.8	120.3	134.2	1000	980.0	158.1	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS4	0.7	1.4	37.1	112.6	26.5	---	78.8	1000	980.0	35.9	A1		---	A3		
P2-2x-dn-LS5	0.7	1.4	-361.5	-160.6	-258.2	253.1	112.4	1000	980.0	308.5	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS6	0.7	1.4	-962.3	-677.2	-687.4	673.6	474.0	1000	980.0	618.9	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS7	0.7	1.4	-899.6	-585.9	-642.6	629.7	410.1	1000	980.0	598.4	E		E	E	E	
P2-2x-dn-LS8	0.7	1.4	428.9	324.9	306.4	---	227.4	1000	980.0	355.9	A1		---	E	E	
P2-2x-dn-LS9	0.7	1.4	366.2	233.6	261.6	---	163.5	1000	980.0	311.9	A1		---	E	E	

P2-5x-dn-LS2	0.7	1.0	-332.7	-231.5	-332.7	232.9	162.1	1000	700.0	194.1	E	E	E
P2-5x-dn-LS3	0.7	1.0	-85.1	-84.2	-85.1	59.6	58.9	1000	700.0	57.0	E	E	A3
P2-5x-dn-LS4	0.7	1.0	-138	-15.9	-138.0	96.6	11.1	1000	700.0	89.9	E	E	E
P2-5x-dn-LS5	0.7	1.0	-385.5	-163.2	-385.5	269.9	114.2	1000	700.0	217.8	E	E	E
P2-5x-dn-LS6	0.7	1.0	-639.9	-379.5	-639.9	447.9	265.7	1000	700.0	304.6	E	E	E
P2-5x-dn-LS7	0.7	1.0	-655.8	-359	-655.8	459.1	251.3	1000	700.0	308.5	E	E	E
P2-5x-dn-LS8	0.7	1.0	169.3	132.1	169.3	---	92.5	1000	700.0	108.5	A1	---	E
P2-5x-dn-LS9	0.7	1.0	185.1	111.7	185.1	---	78.2	1000	700.0	117.6	A1	---	E
P2-6x-up-LS1	0.7	2.0	-298.4	-278.3	-149.2	208.9	194.8	1000	1400.0	386.6	E	E	E
P2-6x-up-LS2	0.7	2.0	-457	-319	-228.5	319.9	223.3	1000	1400.0	566.7	E	E	E
P2-6x-up-LS3	0.7	2.0	-272.8	-184.1	-136.4	191.0	128.9	1000	1400.0	355.9	E	E	E
P2-6x-up-LS4	0.7	2.0	31.3	-80.1	15.7	---	56.1	1000	1400.0	43.5	A1	---	A3
P2-6x-up-LS5	0.7	2.0	-152.9	-215	-76.5	107.0	150.5	1000	1400.0	205.9	E	E	E
P2-6x-up-LS6	0.7	2.0	-565.5	-440	-282.8	395.9	308.0	1000	1400.0	679.8	E	E	E
P2-6x-up-LS7	0.7	2.0	-474.3	-408.8	-237.2	332.0	286.2	1000	1400.0	585.3	E	E	E
P2-6x-up-LS8	0.7	2.0	139.8	40.9	69.9	---	28.6	1000	1400.0	188.9	A1	---	E
P2-6x-up-LS9	0.7	2.0	48.5	9.7	24.3	---	6.8	1000	1400.0	67.1	A1	---	E
P2-6x-dn-LS1	0.7	2.0	-453.6	-424.5	-226.8	317.5	297.2	1000	1400.0	563.0	E	E	E
P2-6x-dn-LS2	0.7	2.0	-559.4	-732.5	-279.7	391.6	512.8	1000	1400.0	673.6	E	E	E
P2-6x-dn-LS3	0.7	2.0	-196.6	-316.8	-98.3	137.6	221.8	1000	1400.0	261.7	E	E	E
P2-6x-dn-LS4	0.7	2.0	-67.8	142.3	-33.9	47.5	99.6	1000	1400.0	93.3	E	E	A3
P2-6x-dn-LS5	0.7	2.0	-430.6	-273.5	-215.3	301.4	191.5	1000	1400.0	537.9	E	E	E
P2-6x-dn-LS6	0.7	2.0	-937.7	-1056.9	-468.9	656.4	739.8	1000	1400.0	1005.0	E	E	E
P2-6x-dn-LS7	0.7	2.0	-899	-919.2	-449.5	629.3	643.4	1000	1400.0	975.7	E	E	E
P2-6x-dn-LS8	0.7	2.0	310.4	466.7	155.2	---	326.7	1000	1400.0	400.8	A1	---	E
P2-6x-dn-LS9	0.7	2.0	271.8	329	135.9	---	230.3	1000	1400.0	354.7	A1	---	E
P2-7x-up-LS1	0.5	1.0	-792.2	-401.3	-792.2	396.1	200.7	1000	500.0	239.2	E	E	E
P2-7x-up-LS2	0.5	1.0	-291.1	-40.7	-291.1	145.6	20.4	1000	500.0	124.4	E	E	E
P2-7x-up-LS3	0.5	1.0	-395.8	-95.8	-395.8	197.9	47.9	1000	500.0	158.7	E	E	E
P2-7x-up-LS4	0.5	1.0	-744.7	-485.1	-744.7	372.4	242.6	1000	500.0	233.7	E	E	A3
P2-7x-up-LS5	0.5	1.0	-640	-430	-640.0	320.0	215.0	1000	500.0	217.6	E	E	E
P2-7x-up-LS6	0.5	1.0	-291.1	-112.6	-291.1	145.6	56.3	1000	500.0	124.4	E	E	E
P2-7x-up-LS7	0.5	1.0	-395.8	-229.4	-395.8	197.9	114.7	1000	500.0	158.7	E	E	E
P2-7x-up-LS8	0.5	1.0	-744.7	-413.2	-744.7	372.4	206.6	1000	500.0	233.7	E	E	E
P2-7x-up-LS9	0.5	1.0	-640	-296.4	-640.0	320.0	148.2	1000	500.0	217.6	E	E	E
P2-8x-up-LS1	0.5	2.0	-1037.5	-1010.2	-518.8	518.8	505.1	1000	1000.0	768.4	E	E	E
P2-8x-up-LS2	0.5	2.0	-463.4	-94.1	-231.7	231.7	47.1	1000	1000.0	409.7	E	E	E

P2-2z-up-LS6	0.7	2.2	-725.5	-986.8	-329.8	507.9	690.8	1000	1540.0	933.0	E	E	E
P2-2z-up-LS7	0.7	2.2	-709.1	-957.3	-322.3	496.4	670.1	1000	1540.0	916.0	E	E	E
P2-2z-up-LS8	0.7	2.2	25.9	120.6	11.8	---	84.4	1000	1540.0	39.7	A1	---	A3
P2-2z-up-LS9	0.7	2.2	9.5	91.1	4.3	---	63.8	1000	1540.0	14.6	A1	---	A3
P2-2z-dn-LS1	0.7	2.2	-638.5	-773.6	-290.2	447.0	541.5	1000	1540.0	840.6	E	E	E
P2-2z-dn-LS2	0.7	2.2	-919.4	-986.5	-417.9	643.6	690.6	1000	1540.0	1120.0	E	E	E
P2-2z-dn-LS3	0.7	2.2	-628.1	-791.8	-285.5	439.7	554.3	1000	1540.0	829.2	E	E	E
P2-2z-dn-LS4	0.7	2.2	26.4	-92.3	12.0	---	64.6	1000	1540.0	40.4	A1	---	A3
P2-2z-dn-LS5	0.7	2.2	-264.9	-287	-120.4	185.4	200.9	1000	1540.0	383.4	E	E	E
P2-2z-dn-LS6	0.7	2.2	-1030.1	-968.8	-468.2	721.1	678.2	1000	1540.0	1215.0	E	E	E
P2-2z-dn-LS7	0.7	2.2	-833.8	-758.9	-379.0	583.7	531.2	1000	1540.0	1040.7	E	E	E
P2-2z-dn-LS8	0.7	2.2	137.1	-110	62.3	---	77.0	1000	1540.0	204.6	A1	---	E
P2-2z-dn-LS9	0.7	2.2	-59.2	-319.8	-26.9	41.4	223.9	1000	1540.0	89.9	E	E	A3
P2-3z-up-LS1	0.7	0.4	-98	-17.5	-245.0	68.6	12.3	1000	280.0	24.1	E	E	E
P2-3z-up-LS2	0.7	0.4	-6.7	-3.9	-16.8	4.7	2.7	1000	280.0	1.9	E	E	A3
P2-3z-up-LS3	0.7	0.4	-107.1	-17.5	-267.8	75.0	12.3	1000	280.0	26.0	E	E	E
P2-3z-up-LS4	0.7	0.4	-133.6	-21.2	-334.0	93.5	14.8	1000	280.0	31.2	E	E	E
P2-3z-up-LS5	0.7	0.4	-33.2	-7.6	-83.0	23.2	5.3	1000	280.0	8.9	E	E	E
P2-3z-up-LS6	0.7	0.4	101.1	10.7	252.8	---	7.5	1000	280.0	24.7	A1	---	E
P2-3z-up-LS7	0.7	0.4	93.2	9.6	233.0	---	6.7	1000	280.0	23.1	A1	---	E
P2-3z-up-LS8	0.7	0.4	-241.5	-35.9	-603.8	169.1	25.1	1000	280.0	47.2	E	E	E
P2-3z-up-LS9	0.7	0.4	-233.5	-34.8	-583.8	163.5	24.4	1000	280.0	46.3	E	E	E

	t	l	σ(-)	μ(-)	od	Ned	Med	fd	Nrd	Mrd	ΑΣΤΟΧΙΑ1		ΑΣΤΟΧΙΑ2		ΑΣΤΟΧΙΑ3	
											od>0	Ned>Nrd	Ned>Nrd	Med>Mrd		
	m	m	kN/m	kN	kN/m ²	kN	kNm	kN/m ²	kN	kNm						
P3-1x-up-LS1	0.3	1.6	-126.6	-117.8	-79.1	38.0	35.3	1000	480.0	58.4	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS2	0.3	1.6	37.8	59.3	23.6	---	17.8	1000	480.0	17.9	A1	---	---	---	---	E
P3-1x-up-LS3	0.3	1.6	-22.1	-10.2	-13.8	6.6	3.1	1000	480.0	10.5	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS4	0.3	1.6	-224.1	-230.3	-140.1	67.2	69.1	1000	480.0	100.0	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS5	0.3	1.6	-164.2	-160.8	-102.6	49.3	48.2	1000	480.0	74.8	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS6	0.3	1.6	36.9	63.3	23.1	---	19.0	1000	480.0	17.5	A1	---	---	---	A3	E
P3-1x-up-LS7	0.3	1.6	-23.7	-2.7	-14.8	7.1	0.8	1000	480.0	11.3	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS8	0.3	1.6	-223.3	-234.3	-139.6	67.0	70.3	1000	480.0	99.7	E	E	E	E	E	E
P3-1x-up-LS9	0.3	1.6	-162.7	-168.3	-101.7	48.8	50.5	1000	480.0	74.1	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS1	0.3	1.6	-232.6	-201.6	-145.4	69.8	60.5	1000	480.0	103.5	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS2	0.3	1.6	-201.3	-188.5	-125.8	60.4	56.6	1000	480.0	90.5	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS3	0.3	1.6	-193.2	-169.9	-120.8	58.0	51.0	1000	480.0	87.1	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS4	0.3	1.6	-136.2	-104.5	-85.1	40.9	31.4	1000	480.0	62.6	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS5	0.3	1.6	-144.3	-123.1	-90.2	43.3	36.9	1000	480.0	66.1	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS6	0.3	1.6	-190.8	-187.2	-119.3	57.2	56.2	1000	480.0	86.1	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS7	0.3	1.6	-173.7	-167.6	-108.6	52.1	50.3	1000	480.0	78.9	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS8	0.3	1.6	-146.7	-105.7	-91.7	44.0	31.7	1000	480.0	67.2	E	E	E	E	E	E
P3-1x-dn-LS9	0.3	1.6	-163.8	-125.3	-102.4	49.1	37.6	1000	480.0	74.6	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS1	0.3	1.4	-144.8	-105.3	-103.4	43.4	31.6	1000	420.0	57.7	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS2	0.3	1.4	-51.5	8.6	-36.8	15.5	2.6	1000	420.0	21.2	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS3	0.3	1.4	-72.5	-32.3	-51.8	21.8	9.7	1000	420.0	29.7	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS4	0.3	1.4	-151.8	-153.1	-108.4	45.5	45.9	1000	420.0	60.3	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS5	0.3	1.4	-130.8	-112.3	-93.4	39.2	33.7	1000	420.0	52.4	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS6	0.3	1.4	-54.8	13.9	-39.1	16.4	4.2	1000	420.0	22.6	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS7	0.3	1.4	-78.6	-22.3	-56.1	23.6	6.7	1000	420.0	32.1	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS8	0.3	1.4	-148.5	-158.5	-106.1	44.6	47.6	1000	420.0	59.1	E	E	E	E	E	E
P3-2x-up-LS9	0.3	1.4	-124.7	-122.2	-89.1	37.4	36.7	1000	420.0	50.0	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS1	0.3	1.4	-306.1	-201.7	-218.6	91.8	60.5	1000	420.0	114.5	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS2	0.3	1.4	15.9	-22.4	11.4	---	6.7	1000	420.0	6.6	A1	---	---	---	A3	E
P3-2x-dn-LS3	0.3	1.4	-139.7	-102.1	-99.8	41.9	30.6	1000	420.0	55.7	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS4	0.3	1.4	-434.6	-253.3	-310.4	130.4	76.0	1000	420.0	154.2	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS5	0.3	1.4	-279	-173.7	-199.3	83.7	52.1	1000	420.0	105.5	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS6	0.3	1.4	94.2	17.6	67.3	---	5.3	1000	420.0	38.2	A1	---	---	---	---	E
P3-2x-dn-LS7	0.3	1.4	5.8	-27.8	4.1	---	8.3	1000	420.0	2.4	A1	---	---	---	A3	E
P3-2x-dn-LS8	0.3	1.4	-512.9	-293.3	-366.4	153.9	88.0	1000	420.0	176.0	E	E	E	E	E	E
P3-2x-dn-LS9	0.3	1.4	-424.5	-247.9	-303.2	127.4	74.4	1000	420.0	151.3	E	E	E	E	E	E

P3-3x-up-LS1	0.25	0.8	-125.2	-57.7	-156.5	31.3	14.4	1000	200.0	23.1	E	E
P3-3x-up-LS2	0.25	0.8	-15.6	20.6	-19.5	3.9	5.2	1000	200.0	3.1	E	A3
P3-3x-up-LS3	0.25	0.8	27.1	32.4	33.9	---	8.1	1000	200.0	5.3	A1	A3
P3-3x-up-LS4	0.25	0.8	-175.1	-107.4	-218.9	43.8	26.9	1000	200.0	31.2	E	E
P3-3x-up-LS5	0.25	0.8	-217.8	-119.2	-272.3	54.5	29.8	1000	200.0	37.6	E	E
P3-3x-up-LS6	0.25	0.8	-136.2	-42.1	-170.3	34.1	10.5	1000	200.0	24.9	E	E
P3-3x-up-LS7	0.25	0.8	-196.9	-84	-246.1	49.2	21.0	1000	200.0	34.5	E	E
P3-3x-up-LS8	0.25	0.8	-54.5	-44.7	-68.1	13.6	11.2	1000	200.0	10.5	E	A3
P3-3x-up-LS9	0.25	0.8	6.1	-2.7	7.6	---	0.7	1000	200.0	1.2	A1	E
P3-4x-up-LS1	0.25	1.0	-181.4	-99.1	-181.4	45.4	24.8	1000	250.0	41.2	E	E
P3-4x-up-LS2	0.25	1.0	-92.7	0.4	-92.7	23.2	0.1	1000	250.0	22.1	E	E
P3-4x-up-LS3	0.25	1.0	-99.9	-2.8	-99.9	25.0	0.7	1000	250.0	23.7	E	E
P3-4x-up-LS4	0.25	1.0	-163.3	-139.8	-163.3	40.8	35.0	1000	250.0	37.5	E	E
P3-4x-up-LS5	0.25	1.0	-156.1	-136.6	-156.1	39.0	34.2	1000	250.0	36.0	E	E
P3-4x-up-LS6	0.25	1.0	-106.6	-43.8	-106.6	26.7	11.0	1000	250.0	25.2	E	E
P3-4x-up-LS7	0.25	1.0	-125.6	-84.9	-125.6	31.4	21.2	1000	250.0	29.4	E	E
P3-4x-up-LS8	0.25	1.0	-149.5	-95.7	-149.5	37.4	23.9	1000	250.0	34.6	E	E
P3-4x-up-LS9	0.25	1.0	-130.4	-54.6	-130.4	32.6	13.7	1000	250.0	30.5	E	E
P3-4x-dn-LS1	0.25	1.0	-429.4	-206.4	-429.4	107.4	51.6	1000	250.0	84.3	E	E
P3-4x-dn-LS2	0.25	1.0	-202.5	-157.2	-202.5	50.6	39.3	1000	250.0	45.5	E	E
P3-4x-dn-LS3	0.25	1.0	-297.2	-197.8	-297.2	74.3	49.5	1000	250.0	63.3	E	E
P3-4x-dn-LS4	0.25	1.0	-397.6	-131.7	-397.6	99.4	32.9	1000	250.0	79.6	E	E
P3-4x-dn-LS5	0.25	1.0	-302.9	-91.1	-302.9	75.7	22.8	1000	250.0	64.3	E	E
P3-4x-dn-LS6	0.25	1.0	-127.1	-86.7	-127.1	31.8	21.7	1000	250.0	29.8	E	E
P3-4x-dn-LS7	0.25	1.0	-157.2	-66.8	-157.2	39.3	16.7	1000	250.0	36.2	E	E
P3-4x-dn-LS8	0.25	1.0	-473	-202.2	-473.0	118.3	50.6	1000	250.0	90.3	E	E
P3-4x-dn-LS9	0.25	1.0	-442.9	-222	-442.9	110.7	55.5	1000	250.0	86.2	E	E
P3-5x-up-LS1	0.25	1.0	-173.5	-87.4	-173.5	43.4	21.9	1000	250.0	39.6	E	E
P3-5x-up-LS2	0.25	1.0	-175.3	-63.4	-175.3	43.8	15.9	1000	250.0	40.0	E	E
P3-5x-up-LS3	0.25	1.0	-137.3	-41.2	-137.3	34.3	10.3	1000	250.0	32.0	E	E
P3-5x-up-LS4	0.25	1.0	-72.7	-61	-72.7	18.2	15.3	1000	250.0	17.5	E	E
P3-5x-up-LS5	0.25	1.0	-110.7	-83.3	-110.7	27.7	20.8	1000	250.0	26.1	E	E
P3-5x-up-LS6	0.25	1.0	-197.1	-96.4	-197.1	49.3	24.1	1000	250.0	44.4	E	E
P3-5x-up-LS7	0.25	1.0	-177.7	-102.3	-177.7	44.4	25.6	1000	250.0	40.5	E	E
P3-5x-up-LS8	0.25	1.0	-50.9	-28.1	-50.9	12.7	7.0	1000	250.0	12.4	E	E
P3-5x-up-LS9	0.25	1.0	-70.3	-22.1	-70.3	17.6	5.5	1000	250.0	17.0	E	E
P3-5x-dn-LS1	0.25	1.0	-352.2	-149.6	-352.2	88.1	37.4	1000	250.0	72.5	E	E

P3-5x-dn-LS2	0.25	1.0	-130.4	-76.2	-130.4	32.6	19.1	1000	250.0	30.5	E	E	E
P3-5x-dn-LS3	0.25	1.0	-74.3	-40.8	-74.3	18.6	10.2	1000	250.0	17.9	E	E	E
P3-5x-dn-LS4	0.25	1.0	-355.5	-131.8	-355.5	88.9	33.0	1000	250.0	73.1	E	E	E
P3-5x-dn-LS5	0.25	1.0	-411.5	-167.2	-411.5	102.9	41.8	1000	250.0	81.7	E	E	E
P3-5x-dn-LS6	0.25	1.0	-294.2	-149.3	-294.2	73.6	37.3	1000	250.0	62.7	E	E	E
P3-5x-dn-LS7	0.25	1.0	-378.6	-176.6	-378.6	94.7	44.2	1000	250.0	76.7	E	E	E
P3-5x-dn-LS8	0.25	1.0	-191.6	-58.7	-191.6	47.9	14.7	1000	250.0	43.3	E	E	E
P3-5x-dn-LS9	0.25	1.0	-107.3	-31.4	-107.3	26.8	7.9	1000	250.0	25.4	E	E	E
P3-6x-up-LS1	0.3	1.2	-165	-95.6	-137.5	49.5	28.7	1000	360.0	55.3	E	E	E
P3-6x-up-LS2	0.3	1.2	-152.6	-73.7	-127.2	45.8	22.1	1000	360.0	51.4	E	E	E
P3-6x-up-LS3	0.3	1.2	-153.9	-62.2	-128.3	46.2	18.7	1000	360.0	51.9	E	E	E
P3-6x-up-LS4	0.3	1.2	-80.1	-64.5	-66.8	24.0	19.4	1000	360.0	27.9	E	E	E
P3-6x-up-LS5	0.3	1.2	-78.9	-76.1	-65.8	23.7	22.8	1000	360.0	27.5	E	E	E
P3-6x-up-LS6	0.3	1.2	-125.4	-88	-104.5	37.6	26.4	1000	360.0	42.8	E	E	E
P3-6x-up-LS7	0.3	1.2	-103.2	-88.7	-86.0	31.0	26.6	1000	360.0	35.6	E	E	E
P3-6x-up-LS8	0.3	1.2	-107.3	-50.3	-89.4	32.2	15.1	1000	360.0	36.9	E	E	E
P3-6x-up-LS9	0.3	1.2	-129.5	-49.6	-107.9	38.9	14.9	1000	360.0	44.1	E	E	E
P3-6x-dn-LS1	0.3	1.2	-288.7	-202.6	-248.9	89.6	60.8	1000	360.0	94.1	E	E	E
P3-6x-dn-LS2	0.3	1.2	-305.6	-225.6	-254.7	91.7	67.7	1000	360.0	96.0	E	E	E
P3-6x-dn-LS3	0.3	1.2	-380.8	-284.7	-317.3	114.2	85.4	1000	360.0	115.3	E	E	E
P3-6x-dn-LS4	0.3	1.2	-104.6	-50.9	-87.2	31.4	15.3	1000	360.0	36.0	E	E	E
P3-6x-dn-LS5	0.3	1.2	-29.3	8.2	-24.4	8.8	2.5	1000	360.0	10.4	E	E	E
P3-6x-dn-LS6	0.3	1.2	-121.1	-74.9	-100.9	36.3	22.5	1000	360.0	41.4	E	E	E
P3-6x-dn-LS7	0.3	1.2	-38.3	-4.7	-31.9	11.5	1.4	1000	360.0	13.6	E	E	E
P3-6x-dn-LS8	0.3	1.2	-289	-201.7	-240.8	86.7	60.5	1000	360.0	91.5	E	E	E
P3-6x-dn-LS9	0.3	1.2	-371.9	-271.8	-309.9	111.6	81.5	1000	360.0	113.1	E	E	E
P3-7x-up-LS1	0.3	1.0	-120.2	-47.2	-120.2	36.1	14.2	1000	300.0	33.9	E	E	E
P3-7x-up-LS2	0.3	1.0	-129	-41	-129.0	38.7	12.3	1000	300.0	36.2	E	E	E
P3-7x-up-LS3	0.3	1.0	-132.8	-35.3	-132.8	39.8	10.6	1000	300.0	37.2	E	E	E
P3-7x-up-LS4	0.3	1.0	-44.8	-28.4	-44.8	13.4	8.5	1000	300.0	13.1	E	E	E
P3-7x-up-LS5	0.3	1.0	-41	-34.2	-41.0	12.3	10.3	1000	300.0	12.0	E	E	E
P3-7x-up-LS6	0.3	1.0	-93.7	-45.3	-93.7	28.1	13.6	1000	300.0	26.8	E	E	E
P3-7x-up-LS7	0.3	1.0	-67.3	-43.3	-67.3	20.2	13.0	1000	300.0	19.5	E	E	E
P3-7x-up-LS8	0.3	1.0	-80	-24.1	-80.0	24.0	7.2	1000	300.0	23.0	E	E	E
P3-7x-up-LS9	0.3	1.0	-106.4	-26.1	-106.4	31.9	7.8	1000	300.0	30.2	E	E	E
P3-7x-dn-LS1	0.3	1.0	-159.9	-75.4	-159.9	48.0	22.6	1000	300.0	44.1	E	E	E
P3-7x-dn-LS2	0.3	1.0	-92.7	-47	-92.7	27.8	14.1	1000	300.0	26.5	E	E	E
P3-7x-dn-LS3	0.3	1.0	-69.5	-44.3	-69.5	20.9	13.3	1000	300.0	20.1	E	E	E

P3-7x-dn-LS4	0.3	1.0	-140.2	-61.7	-140.2	-140.2	42.1	18.5	1000	300.0	39.1	E	E	E
P3-7x-dn-LS5	0.3	1.0	-163.3	-64.4	-163.3	-163.3	49.0	19.3	1000	300.0	45.0	E	E	E
P3-7x-dn-LS6	0.3	1.0	-144.4	-56.3	-144.4	-144.4	43.3	16.9	1000	300.0	40.2	E	E	E
P3-7x-dn-LS7	0.3	1.0	-165.6	-61.5	-165.6	-165.6	49.7	18.5	1000	300.0	45.6	E	E	E
P3-7x-dn-LS8	0.3	1.0	-88.4	-52.4	-88.4	-88.4	26.5	15.7	1000	300.0	25.3	E	E	E
P3-7x-dn-LS9	0.3	1.0	-67.2	-47.2	-67.2	-67.2	20.2	14.2	1000	300.0	19.5	E	E	E
P3-8x-up-LS1	0.1	0.4	-169.2	-23.1	-169.2	-423.0	16.9	2.3	1000	40.0	5.3	E	E	E
P3-8x-up-LS2	0.1	0.4	-164.8	-22.1	-164.8	-412.0	16.5	2.2	1000	40.0	5.2	E	E	E
P3-8x-up-LS3	0.1	0.4	-173.8	-24	-173.8	-434.5	17.4	2.4	1000	40.0	5.4	E	E	E
P3-8x-up-LS4	0.1	0.4	-66.5	-10.5	-66.5	-166.3	6.7	1.1	1000	40.0	2.4	E	E	E
P3-8x-up-LS5	0.1	0.4	-57.5	-8.7	-57.5	-143.8	5.8	0.9	1000	40.0	2.1	E	E	E
P3-8x-up-LS6	0.1	0.4	-116.8	-15.2	-116.8	-292.0	11.7	1.5	1000	40.0	4.0	E	E	E
P3-8x-up-LS7	0.1	0.4	-84.6	-11.2	-84.6	-211.5	8.5	1.1	1000	40.0	3.0	E	E	E
P3-8x-up-LS8	0.1	0.4	-114.5	-17.4	-114.5	-286.3	11.5	1.7	1000	40.0	3.9	E	E	E
P3-8x-up-LS9	0.1	0.4	-146.7	-21.5	-146.7	-366.8	14.7	2.2	1000	40.0	4.8	E	E	E
P3-9x-up-LS1	0.15	1.6	172.4	232.4	172.4	107.8	---	34.9	1000	240.0	39.1	A1	---	E
P3-9x-up-LS2	0.15	1.6	188.3	260.2	188.3	117.7	---	39.0	1000	240.0	42.5	A1	---	E
P3-9x-up-LS3	0.15	1.6	131	199.3	131	81.9	---	29.9	1000	240.0	30.2	A1	---	E
P3-9x-up-LS4	0.15	1.6	-11.7	-1	-11.7	-7.3	1.8	0.2	1000	240.0	2.8	E	E	E
P3-9x-up-LS5	0.15	1.6	45.6	60	45.6	28.5	---	9.0	1000	240.0	10.8	A1	---	E
P3-9x-up-LS6	0.15	1.6	205.2	261.2	205.2	128.3	---	39.2	1000	240.0	46.1	A1	---	E
P3-9x-up-LS7	0.15	1.6	162.4	201.1	162.4	101.5	---	30.2	1000	240.0	37.0	A1	---	E
P3-9x-up-LS8	0.15	1.6	-28.6	-1.9	-28.6	-17.9	4.3	0.3	1000	240.0	6.8	E	E	E
P3-9x-up-LS9	0.15	1.6	14.2	58.1	14.2	8.9	---	8.7	1000	240.0	3.4	A1	---	A3
P3-10x-up-LS1	0.15	1.6	-350.4	-179.9	-350.4	-219.0	52.6	27.0	1000	240.0	74.9	E	E	E
P3-10x-up-LS2	0.15	1.6	-379.6	-192.3	-379.6	-237.3	56.9	28.8	1000	240.0	80.3	E	E	E
P3-10x-up-LS3	0.15	1.6	-373.6	-202.7	-373.6	-233.5	56.0	30.4	1000	240.0	79.2	E	E	E
P3-10x-up-LS4	0.15	1.6	-88.8	-52.9	-88.8	-55.5	13.3	7.9	1000	240.0	20.7	E	E	E
P3-10x-up-LS5	0.15	1.6	-94.9	-42.5	-94.9	-59.3	14.2	6.4	1000	240.0	22.1	E	E	E
P3-10x-up-LS6	0.15	1.6	-287	-127.7	-287	-179.4	43.1	19.2	1000	240.0	62.7	E	E	E
P3-10x-up-LS7	0.15	1.6	-201.5	-82.8	-201.5	-125.9	30.2	12.4	1000	240.0	45.3	E	E	E
P3-10x-up-LS8	0.15	1.6	-181.5	-117.5	-181.5	-113.4	27.2	17.6	1000	240.0	41.1	E	E	E
P3-10x-up-LS9	0.15	1.6	-266.9	-162.5	-266.9	-166.8	40.0	24.4	1000	240.0	58.7	E	E	E
P3-11x-up-LS1	0.2	1.6	-266.9	-143.3	-266.9	-166.8	53.4	28.7	1000	320.0	78.3	E	E	E
P3-11x-up-LS2	0.2	1.6	-285.6	-160.6	-285.6	-178.5	57.1	32.1	1000	320.0	83.2	E	E	E
P3-11x-up-LS3	0.2	1.6	-242.9	-107.9	-242.9	-151.8	48.6	21.6	1000	320.0	71.8	E	E	E

P3-11x-up-LS4	0.2	1.6	-91.1	-48.3	-56.9	18.2	9.7	1000	320.0	28.3	E	E	E
P3-11x-up-LS5	0.2	1.6	-133.8	-100.9	-83.6	26.8	20.2	1000	320.0	41.0	E	E	E
P3-11x-up-LS6	0.2	1.6	-282.4	-201.1	-176.5	56.5	40.2	1000	320.0	82.4	E	E	E
P3-11x-up-LS7	0.2	1.6	-236.9	-183.2	-148.1	47.4	36.6	1000	320.0	70.2	E	E	E
P3-11x-up-LS8	0.2	1.6	-94.3	-7.7	-58.9	18.9	1.5	1000	320.0	29.3	E	E	E
P3-11x-up-LS9	0.2	1.6	-139.9	-25.6	-87.4	28.0	5.1	1000	320.0	42.8	E	E	E
P3-12x-up-LS1	0.2	0.2	18.5	2.4	92.5	---	0.5	1000	40.0	0.7	A1	---	E
P3-12x-up-LS2	0.2	0.2	16.1	2.5	80.5	---	0.5	1000	40.0	0.6	A1	---	E
P3-12x-up-LS3	0.2	0.2	14.9	2.4	74.5	---	0.5	1000	40.0	0.6	A1	---	E
P3-12x-up-LS4	0.2	0.2	-3.5	-0.8	-17.5	0.7	0.2	1000	40.0	0.1	E	E	A3
P3-12x-up-LS5	0.2	0.2	-2.3	-0.6	-11.5	0.5	0.1	1000	40.0	0.1	E	E	A3
P3-12x-up-LS6	0.2	0.2	11.2	1.7	56.0	---	0.3	1000	40.0	0.4	A1	---	E
P3-12x-up-LS7	0.2	0.2	5.6	0.7	28.0	---	0.1	1000	40.0	0.2	A1	---	E
P3-12x-up-LS8	0.2	0.2	1.5	0.1	7.5	---	0.0	1000	40.0	0.1	A1	---	E
P3-12x-up-LS9	0.2	0.2	7	1	35.0	---	0.2	1000	40.0	0.3	A1	---	E
P3-13x-up-LS1	0.25	1.6	-429.1	-417.1	-268.2	107.3	104.3	1000	400.0	148.6	E	E	E
P3-13x-up-LS2	0.25	1.6	-210.7	-189.5	-131.7	52.7	47.4	1000	400.0	78.7	E	E	E
P3-13x-up-LS3	0.25	1.6	-261.2	-221	-163.3	65.3	55.3	1000	400.0	96.0	E	E	E
P3-13x-up-LS4	0.25	1.6	-380.9	-390	-238.1	95.2	97.5	1000	400.0	134.2	E	E	E
P3-13x-up-LS5	0.25	1.6	-330.4	-358.5	-206.5	82.6	89.6	1000	400.0	118.5	E	E	E
P3-13x-up-LS6	0.25	1.6	-193.7	-211.9	-121.1	48.4	53.0	1000	400.0	72.8	E	E	E
P3-13x-up-LS7	0.25	1.6	-229.6	-262.7	-143.5	57.4	65.7	1000	400.0	85.3	E	E	E
P3-13x-up-LS8	0.25	1.6	-397.9	-367.5	-248.7	99.5	91.9	1000	400.0	139.4	E	E	E
P3-13x-up-LS9	0.25	1.6	-362	-316.8	-226.3	90.5	79.2	1000	400.0	128.4	E	E	E
P3-13x-dn-LS1	0.25	1.6	-342.9	-262.9	-214.3	85.7	65.7	1000	400.0	122.5	E	E	E
P3-13x-dn-LS2	0.25	1.6	-126.3	-144.7	-78.9	31.6	36.2	1000	400.0	48.5	E	E	E
P3-13x-dn-LS3	0.25	1.6	-217.4	-247.9	-135.9	54.4	62.0	1000	400.0	81.1	E	E	E
P3-13x-dn-LS4	0.25	1.6	-354.1	-227.9	-221.3	88.5	57.0	1000	400.0	126.0	E	E	E
P3-13x-dn-LS5	0.25	1.6	-263	-124.7	-164.4	65.8	31.2	1000	400.0	96.6	E	E	E
P3-13x-dn-LS6	0.25	1.6	-67.9	-17.3	-42.4	17.0	4.3	1000	400.0	26.6	E	E	E
P3-13x-dn-LS7	0.25	1.6	-108.9	-11.3	-68.1	27.2	2.8	1000	400.0	42.1	E	E	E
P3-13x-dn-LS8	0.25	1.6	-412.5	-355.2	-257.8	103.1	88.8	1000	400.0	143.7	E	E	E
P3-13x-dn-LS9	0.25	1.6	-371.5	-361.2	-232.2	92.9	90.3	1000	400.0	131.3	E	E	E
P3-14x-up-LS1	0.25	0.8	-259.2	-103.7	-324.0	64.8	25.9	1000	200.0	43.4	E	E	E
P3-14x-up-LS2	0.25	0.8	-260.1	-52.9	-325.1	65.0	13.2	1000	200.0	43.6	E	E	E
P3-14x-up-LS3	0.25	0.8	-249.7	-49.8	-312.1	62.4	12.5	1000	200.0	42.1	E	E	E
P3-14x-up-LS4	0.25	0.8	-93.8	-88.8	-117.3	23.5	22.2	1000	200.0	17.7	E	E	A3

P3-14x-up-LS5	0.25	0.8	-104.1	-91.8	-130.1	26.0	23.0	1000	200.0	19.5	E	E	A3
P3-14x-up-LS6	0.25	0.8	-217.5	-70.1	-271.9	54.4	17.5	1000	200.0	37.6	E	E	E
P3-14x-up-LS7	0.25	0.8	-170.7	-81.8	-213.4	42.7	20.5	1000	200.0	30.5	E	E	E
P3-14x-up-LS8	0.25	0.8	-136.4	-71.6	-170.5	34.1	17.9	1000	200.0	25.0	E	E	E
P3-14x-up-LS9	0.25	0.8	-183.1	-59.9	-228.9	45.8	15.0	1000	200.0	32.4	E	E	E
P3-14x-dn-LS1	0.25	0.8	-215.9	-87.3	-269.9	54.0	21.8	1000	200.0	37.4	E	E	E
P3-14x-dn-LS2	0.25	0.8	-165.7	-110.5	-207.1	41.4	27.6	1000	200.0	29.7	E	E	E
P3-14x-dn-LS3	0.25	0.8	-227	-130	-283.8	56.8	32.5	1000	200.0	39.0	E	E	E
P3-14x-dn-LS4	0.25	0.8	-136.4	-11.6	-170.5	34.1	2.9	1000	200.0	25.0	E	E	E
P3-14x-dn-LS5	0.25	0.8	-75.1	7.8	-93.9	18.8	2.0	1000	200.0	14.3	E	E	E
P3-14x-dn-LS6	0.25	0.8	-62.4	-46.3	-78.0	15.6	11.6	1000	200.0	12.0	E	E	E
P3-14x-dn-LS7	0.25	0.8	-35.3	-10.8	-44.1	8.8	2.7	1000	200.0	6.9	E	E	E
P3-14x-dn-LS8	0.25	0.8	-239.6	-75.8	-299.5	59.9	19.0	1000	200.0	40.7	E	E	E
P3-14x-dn-LS9	0.25	0.8	-266.8	-111.3	-333.5	66.7	27.8	1000	200.0	44.5	E	E	E
P3-15x-up-LS1	0.25	0.6	-62.5	-22.7	-104.2	15.6	5.7	1000	150.0	8.9	E	E	E
P3-15x-up-LS2	0.25	0.6	-16.1	20.9	-26.8	4.0	5.2	1000	150.0	2.4	E	E	A3
P3-15x-up-LS3	0.25	0.6	-19	18.9	-31.7	4.8	4.7	1000	150.0	2.8	E	E	A3
P3-15x-up-LS4	0.25	0.6	-73.4	-53.1	-122.3	18.4	13.3	1000	150.0	10.3	E	E	A3
P3-15x-up-LS5	0.25	0.6	-70.5	-51.1	-117.5	17.6	12.8	1000	150.0	10.0	E	E	A3
P3-15x-up-LS6	0.25	0.6	-31.7	-1.9	-52.8	7.9	0.5	1000	150.0	4.6	E	E	E
P3-15x-up-LS7	0.25	0.6	-48.1	-23.5	-80.2	12.0	5.9	1000	150.0	6.9	E	E	E
P3-15x-up-LS8	0.25	0.6	-57.8	-30.3	-96.3	14.5	7.6	1000	150.0	8.3	E	E	E
P3-15x-up-LS9	0.25	0.6	-41.5	-8.7	-69.2	10.4	2.2	1000	150.0	6.0	E	E	E
P3-15x-dn-LS1	0.25	0.6	-269.9	-75.1	-449.8	67.5	18.8	1000	150.0	31.4	E	E	E
P3-15x-dn-LS2	0.25	0.6	-214.2	-89.9	-357.0	53.6	22.5	1000	150.0	26.4	E	E	E
P3-15x-dn-LS3	0.25	0.6	-196.2	-84.5	-327.0	49.1	21.1	1000	150.0	24.6	E	E	E
P3-15x-dn-LS4	0.25	0.6	-145.3	-10.1	-242.2	36.3	2.5	1000	150.0	19.2	E	E	E
P3-15x-dn-LS5	0.25	0.6	-163.3	-15.4	-272.2	40.8	3.9	1000	150.0	21.2	E	E	E
P3-15x-dn-LS6	0.25	0.6	-217.4	-70.1	-362.3	54.4	17.5	1000	150.0	26.7	E	E	E
P3-15x-dn-LS7	0.25	0.6	-202.1	-47.7	-336.8	50.5	11.9	1000	150.0	25.2	E	E	E
P3-15x-dn-LS8	0.25	0.6	-142.1	-29.9	-236.8	35.5	7.5	1000	150.0	18.8	E	E	E
P3-15x-dn-LS9	0.25	0.6	-157.4	-52.2	-262.3	39.4	13.1	1000	150.0	20.5	E	E	E
P3-16x-up-LS1	0.25	0.4	-135.8	-27.1	-339.5	34.0	6.8	1000	100.0	11.3	E	E	E
P3-16x-up-LS2	0.25	0.4	-82.4	-7.2	-206.0	20.6	1.8	1000	100.0	7.4	E	E	E
P3-16x-up-LS3	0.25	0.4	-79.9	-7.9	-199.8	20.0	2.0	1000	100.0	7.2	E	E	E
P3-16x-up-LS4	0.25	0.4	-101.3	-29.6	-253.3	25.3	7.4	1000	100.0	8.8	E	E	E
P3-16x-up-LS5	0.25	0.4	-103.8	-28.9	-259.5	26.0	7.2	1000	100.0	9.0	E	E	E
P3-16x-up-LS6	0.25	0.4	-92.9	-14	-232.3	23.2	3.5	1000	100.0	8.2	E	E	E

P3-16x-up-LS7	0.25	0.4	-99.3	-20.5	-248.3	24.8	5.1	1000	100.0	8.7	E	E	E
P3-16x-up-LS8	0.25	0.4	-90.8	-22.8	-227.0	22.7	5.7	1000	100.0	8.0	E	E	E
P3-16x-up-LS9	0.25	0.4	-84.4	-16.3	-211.0	21.1	4.1	1000	100.0	7.5	E	E	E
P3-16x-dn-LS1	0.25	0.4	-94.1	-19	-235.3	23.5	4.8	1000	100.0	8.3	E	E	E
P3-16x-dn-LS2	0.25	0.4	-42.7	-17.2	-106.8	10.7	4.3	1000	100.0	4.0	E	E	A3
P3-16x-dn-LS3	0.25	0.4	-82.8	-24.5	-207.0	20.7	6.1	1000	100.0	7.4	E	E	E
P3-16x-dn-LS4	0.25	0.4	-90.4	-9.5	-226.0	22.6	2.4	1000	100.0	8.0	E	E	E
P3-16x-dn-LS5	0.25	0.4	-50.2	-2.2	-125.5	12.6	0.6	1000	100.0	4.7	E	E	E
P3-16x-dn-LS6	0.25	0.4	1.5	-3.5	3.8	---	0.9	1000	100.0	0.1	A1	---	A3
P3-16x-dn-LS7	0.25	0.4	-0.8	1	-2.0	0.2	0.3	1000	100.0	0.1	E	E	A3
P3-16x-dn-LS8	0.25	0.4	-134.5	-23.2	-336.3	33.6	5.8	1000	100.0	11.2	E	E	E
P3-16x-dn-LS9	0.25	0.4	-132.2	-27.7	-330.5	33.1	6.9	1000	100.0	11.0	E	E	E
P3-17x-up-LS1	0.25	1.2	-254.7	-137	-212.3	63.7	34.3	1000	300.0	68.3	E	E	E
P3-17x-up-LS2	0.25	1.2	-122.6	-0.6	-102.2	30.7	0.2	1000	300.0	34.9	E	E	E
P3-17x-up-LS3	0.25	1.2	-143	-27.7	-119.2	35.8	6.9	1000	300.0	40.3	E	E	E
P3-17x-up-LS4	0.25	1.2	-228.7	-192	-190.6	57.2	48.0	1000	300.0	62.1	E	E	E
P3-17x-up-LS5	0.25	1.2	-208.3	-164.9	-173.6	52.1	41.2	1000	300.0	57.1	E	E	E
P3-17x-up-LS6	0.25	1.2	-128.8	-26.5	-107.3	32.2	6.6	1000	300.0	36.6	E	E	E
P3-17x-up-LS7	0.25	1.2	-154.5	-75.8	-128.8	38.6	19.0	1000	300.0	43.4	E	E	E
P3-17x-up-LS8	0.25	1.2	-222.5	-166.1	-185.4	55.6	41.5	1000	300.0	60.6	E	E	E
P3-17x-up-LS9	0.25	1.2	-196.8	-116.8	-164.0	49.2	29.2	1000	300.0	54.2	E	E	E
P3-17x-dn-LS1	0.25	1.2	-433.2	-268.5	-361.0	108.3	67.1	1000	300.0	106.5	E	E	E
P3-17x-dn-LS2	0.25	1.2	-90.2	-152.5	-75.2	22.6	38.1	1000	300.0	26.0	E	E	A3
P3-17x-dn-LS3	0.25	1.2	-162	-164.5	-135.0	40.5	41.1	1000	300.0	45.3	E	E	E
P3-17x-dn-LS4	0.25	1.2	-503.4	-212	-419.5	125.9	53.0	1000	300.0	119.3	E	E	E
P3-17x-dn-LS5	0.25	1.2	-431.6	-200	-359.7	107.9	50.0	1000	300.0	106.2	E	E	E
P3-17x-dn-LS6	0.25	1.2	-125.8	-155	-104.8	31.5	38.8	1000	300.0	35.8	E	E	A3
P3-17x-dn-LS7	0.25	1.2	-228.2	-169.3	-190.2	57.1	42.3	1000	300.0	62.0	E	E	E
P3-17x-dn-LS8	0.25	1.2	-467.8	-209.5	-389.8	117.0	52.4	1000	300.0	113.0	E	E	E
P3-17x-dn-LS9	0.25	1.2	-365.3	-195.2	-304.4	91.3	48.8	1000	300.0	92.9	E	E	E
P3-18x-up-LS1	0.3	2.0	-289.2	-210.5	-144.6	86.8	63.2	1000	600.0	161.0	E	E	E
P3-18x-up-LS2	0.3	2.0	-254.5	-143.6	-127.3	76.4	43.1	1000	600.0	143.0	E	E	E
P3-18x-up-LS3	0.3	2.0	-249.9	-145.6	-125.0	75.0	43.7	1000	600.0	140.6	E	E	E
P3-18x-up-LS4	0.3	2.0	-156.2	-155.8	-78.1	46.9	46.7	1000	600.0	90.1	E	E	E
P3-18x-up-LS5	0.3	2.0	-160.8	-153.8	-80.4	48.2	46.1	1000	600.0	92.6	E	E	E
P3-18x-up-LS6	0.3	2.0	-227.1	-144.8	-113.6	68.1	43.4	1000	600.0	128.5	E	E	E
P3-18x-up-LS7	0.3	2.0	-199	-147.9	-99.5	59.7	44.4	1000	600.0	113.5	E	E	E
P3-18x-up-LS8	0.3	2.0	-183.6	-154.6	-91.8	55.1	46.4	1000	600.0	105.1	E	E	E

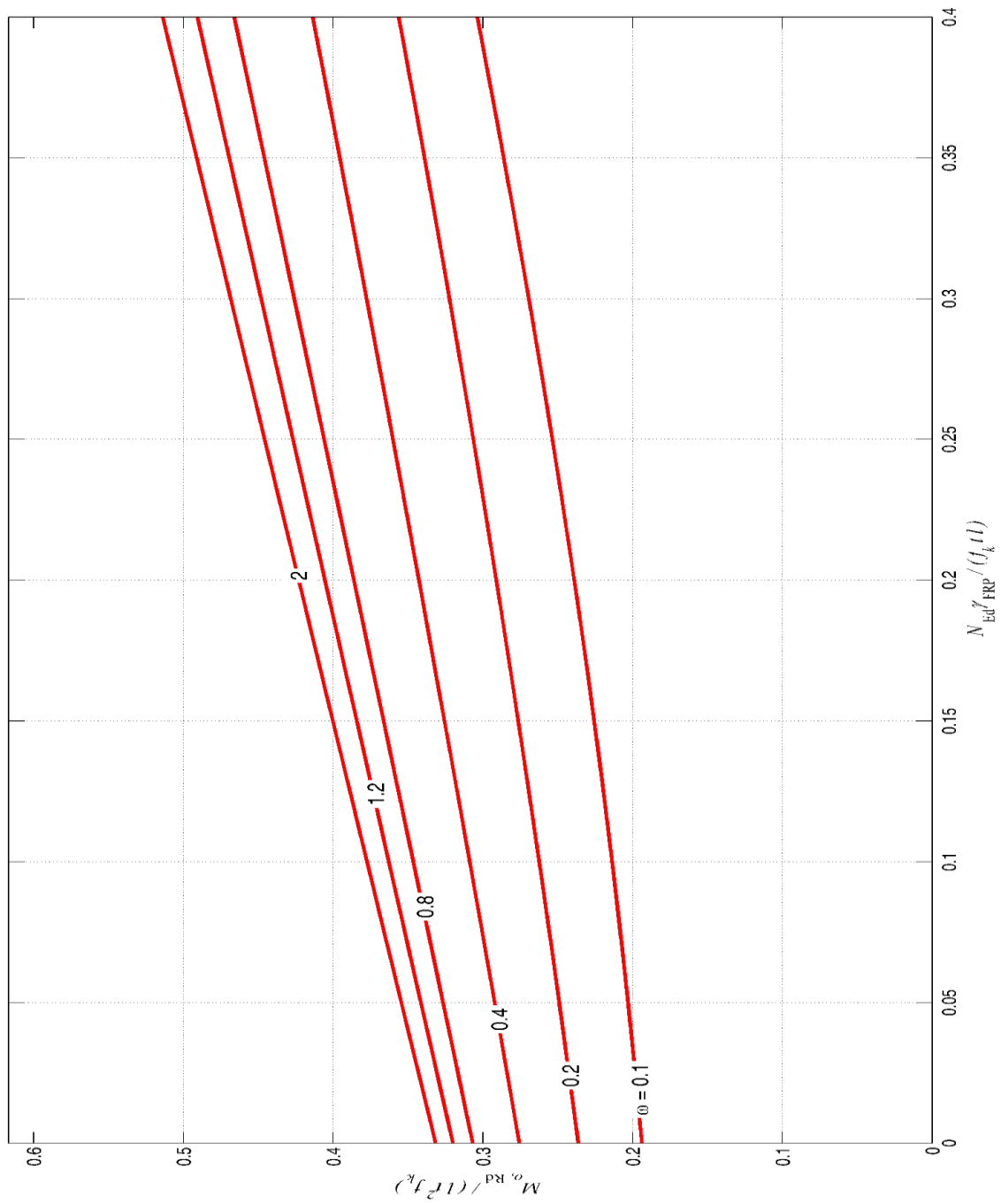
P3-18x-up-LS9	0.3	2.0	-211.7	-151.5	-105.9	63.5	45.5	1000	600.0	120.3	E	E	E
P3-18x-dn-LS1	0.3	2.0	-250.4	-304.7	-125.2	75.1	91.4	1000	600.0	140.8	E	E	E
P3-18x-dn-LS2	0.3	2.0	-102.7	-233.7	-51.4	30.8	70.1	1000	600.0	60.0	E	E	A3
P3-18x-dn-LS3	0.3	2.0	-214.5	-256.4	-107.3	64.4	76.9	1000	600.0	121.8	E	E	E
P3-18x-dn-LS4	0.3	2.0	-278.7	-207.1	-139.4	83.6	62.1	1000	600.0	155.6	E	E	E
P3-18x-dn-LS5	0.3	2.0	-167	-184.4	-83.5	50.1	55.3	1000	600.0	96.0	E	E	E
P3-18x-dn-LS6	0.3	2.0	5.1	-189.9	2.6	---	57.0	1000	600.0	3.1	A1	---	A3
P3-18x-dn-LS7	0.3	2.0	-14.1	-175.1	-7.1	4.2	52.5	1000	600.0	8.4	E	E	A3
P3-18x-dn-LS8	0.3	2.0	-386.6	-250.9	-193.3	116.0	75.3	1000	600.0	209.5	E	E	E
P3-18x-dn-LS9	0.3	2.0	-367.3	-265.7	-183.7	110.2	79.7	1000	600.0	200.1	E	E	E
P3-12-up-LS1	0.6	1.2	-120.7	-80.7	-100.6	72.4	48.4	1000	720.0	82.5	E	E	E
P3-12-up-LS2	0.6	1.2	-67.8	-64.9	-56.5	40.7	38.9	1000	720.0	47.4	E	E	E
P3-12-up-LS3	0.6	1.2	-80.3	-59.7	-66.9	48.2	35.8	1000	720.0	55.9	E	E	E
P3-12-up-LS4	0.6	1.2	-109.3	-54.2	-91.1	65.6	32.5	1000	720.0	75.1	E	E	E
P3-12-up-LS5	0.6	1.2	-96.8	-59.4	-80.7	58.1	35.6	1000	720.0	66.9	E	E	E
P3-12-up-LS6	0.6	1.2	-63.3	-69	-52.8	38.0	41.4	1000	720.0	44.4	E	E	E
P3-12-up-LS7	0.6	1.2	-72	-67.3	-60.0	43.2	40.4	1000	720.0	50.3	E	E	E
P3-12-up-LS8	0.6	1.2	-113.8	-50.2	-94.8	68.3	30.1	1000	720.0	78.1	E	E	E
P3-12-up-LS9	0.6	1.2	-105.1	-51.8	-87.6	63.1	31.1	1000	720.0	72.4	E	E	E
P3-12-dn-LS1	0.6	1.2	-139.2	-77.8	-116.0	83.5	46.7	1000	720.0	94.4	E	E	E
P3-12-dn-LS2	0.6	1.2	-45	3.2	-37.5	27.0	1.9	1000	720.0	31.8	E	E	E
P3-12-dn-LS3	0.6	1.2	-55.8	-4.7	-46.5	33.5	2.8	1000	720.0	39.2	E	E	E
P3-12-dn-LS4	0.6	1.2	-165.5	-123.6	-137.9	99.3	74.2	1000	720.0	110.9	E	E	E
P3-12-dn-LS5	0.6	1.2	-154.7	-115.8	-128.9	92.8	69.5	1000	720.0	104.2	E	E	E
P3-12-dn-LS6	0.6	1.2	-70.8	-29.2	-59.0	42.5	17.5	1000	720.0	49.5	E	E	E
P3-12-dn-LS7	0.6	1.2	-103.7	-64.9	-86.4	62.2	38.9	1000	720.0	71.4	E	E	E
P3-12-dn-LS8	0.6	1.2	-139.7	-91.2	-116.4	83.8	54.7	1000	720.0	94.7	E	E	E
P3-12-dn-LS9	0.6	1.2	-106.8	-55.5	-89.0	64.1	33.3	1000	720.0	73.5	E	E	E
P3-22-up-LS1	0.2	1.6	-16.8	64.3	-10.5	3.4	12.9	1000	320.0	5.3	E	E	A3
P3-22-up-LS2	0.2	1.6	2.6	40.7	1.6	---	8.1	1000	320.0	0.8	A1	---	A3
P3-22-up-LS3	0.2	1.6	-59	82.5	-36.9	11.8	16.5	1000	320.0	18.5	E	E	E
P3-22-up-LS4	0.2	1.6	-125.5	-33	-78.4	25.1	6.6	1000	320.0	38.6	E	E	E
P3-22-up-LS5	0.2	1.6	-63.9	-74.8	-39.9	12.8	15.0	1000	320.0	20.0	E	E	E
P3-22-up-LS6	0.2	1.6	51.2	-48.5	32.0	---	9.7	1000	320.0	16.1	A1	---	E
P3-22-up-LS7	0.2	1.6	31.3	-83.1	19.6	---	16.6	1000	320.0	9.9	A1	---	A3
P3-22-up-LS8	0.2	1.6	-174.1	56.2	-108.8	34.8	11.2	1000	320.0	52.7	E	E	E
P3-22-up-LS9	0.2	1.6	-154.2	90.8	-96.4	30.8	18.2	1000	320.0	47.0	E	E	E
P3-22-dn-LS1	0.2	1.6	533.2	239.9	333.3	---	48.0	1000	320.0	142.2	A1	---	E

P3-2z-dh-LS2	0.2	1.6	353.9	199	221.2	---	39.8	1000	320.0	100.7	A1	---	E
P3-2z-dh-LS3	0.2	1.6	260.2	-1.4	162.6	---	0.3	1000	320.0	76.5	A1	---	E
P3-2z-dh-LS4	0.2	1.6	212.1	13	132.6	---	2.6	1000	320.0	63.4	A1	---	E
P3-2z-dh-LS5	0.2	1.6	305.8	213.3	191.1	---	42.7	1000	320.0	88.5	A1	---	E
P3-2z-dh-LS6	0.2	1.6	446.4	437.8	279.0	---	87.6	1000	320.0	122.9	A1	---	E
P3-2z-dh-LS7	0.2	1.6	431.9	442.1	269.9	---	88.4	1000	320.0	119.6	A1	---	E
P3-2z-dh-LS8	0.2	1.6	119.7	-225.8	74.8	---	45.2	1000	320.0	36.9	A1	---	A3
P3-2z-dh-LS9	0.2	1.6	134.1	-230.1	83.8	---	46.0	1000	320.0	41.1	A1	---	A3
P3-3z-up-LS1	0.2	0.4	-236.8	-31.1	-592.0	47.4	6.2	1000	80.0	13.3	E	E	E
P3-3z-up-LS2	0.2	0.4	-121.4	-14	-303.5	24.3	2.8	1000	80.0	8.2	E	E	E
P3-3z-up-LS3	0.2	0.4	-190.2	-22	-475.5	38.0	4.4	1000	80.0	11.6	E	E	E
P3-3z-up-LS4	0.2	0.4	-192.4	-27.2	-481.0	38.5	5.4	1000	80.0	11.7	E	E	E
P3-3z-up-LS5	0.2	0.4	-123.6	-19.2	-309.0	24.7	3.8	1000	80.0	8.4	E	E	E
P3-3z-up-LS6	0.2	0.4	-42	-6.5	-105.0	8.4	1.3	1000	80.0	3.2	E	E	E
P3-3z-up-LS7	0.2	0.4	-42.6	-8	-106.5	8.5	1.6	1000	80.0	3.2	E	E	E
P3-3z-up-LS8	0.2	0.4	-271.8	-34.7	-679.5	54.4	6.9	1000	80.0	14.4	E	E	E
P3-3z-up-LS9	0.2	0.4	-271.2	-33.1	-678.0	54.2	6.6	1000	80.0	14.3	E	E	E
P3-3z-dh-LS1	0.2	0.4	-0.5	-18.5	-1.3	0.1	3.7	1000	80.0	0.0	E	E	A3
P3-3z-dh-LS2	0.2	0.4	56	-0.4	140.0	---	0.1	1000	80.0	4.2	A1	---	E
P3-3z-dh-LS3	0.2	0.4	98.1	3	245.3	---	0.6	1000	80.0	6.9	A1	---	E
P3-3z-dh-LS4	0.2	0.4	-62.2	-24.5	-155.5	12.4	4.9	1000	80.0	4.6	E	E	A3
P3-3z-dh-LS5	0.2	0.4	-104.3	-27.8	-260.8	20.9	5.6	1000	80.0	7.3	E	E	E
P3-3z-dh-LS6	0.2	0.4	-49.2	-14	-123.0	9.8	2.8	1000	80.0	3.7	E	E	E
P3-3z-dh-LS7	0.2	0.4	-97.3	-22.2	-243.3	19.5	4.4	1000	80.0	6.8	E	E	E
P3-3z-dh-LS8	0.2	0.4	43	-10.9	107.5	---	2.2	1000	80.0	3.3	A1	---	E
P3-3z-dh-LS9	0.2	0.4	91.1	-2.7	227.8	---	0.5	1000	80.0	6.5	A1	---	E
P3-4z-up-LS1	0.2	0.4	0.8	0.1	2.0	---	0.0	1000	80.0	0.1	A1	---	E
P3-4z-up-LS2	0.2	0.4	-53	-14.8	-132.5	10.6	3.0	1000	80.0	4.0	E	E	E
P3-4z-up-LS3	0.2	0.4	-22.7	-6.4	-56.8	4.5	1.3	1000	80.0	1.8	E	E	E
P3-4z-up-LS4	0.2	0.4	49.2	13.7	123.0	---	2.7	1000	80.0	3.7	A1	---	E
P3-4z-up-LS5	0.2	0.4	18.9	5.3	47.3	---	1.1	1000	80.0	1.5	A1	---	E
P3-4z-up-LS6	0.2	0.4	-63.2	-17.6	-158.0	12.6	3.5	1000	80.0	4.7	E	E	E
P3-4z-up-LS7	0.2	0.4	-41.6	-11.6	-104.0	8.3	2.3	1000	80.0	3.2	E	E	E
P3-4z-up-LS8	0.2	0.4	59.4	16.5	148.5	---	3.3	1000	80.0	4.4	A1	---	E
P3-4z-up-LS9	0.2	0.4	37.8	10.5	94.5	---	2.1	1000	80.0	2.9	A1	---	E
P3-5z-up-LS1	0.2	0.4	-29.5	-3.5	-73.8	5.9	0.7	1000	80.0	2.3	E	E	E
P3-5z-up-LS2	0.2	0.4	21.9	2.9	54.8	---	0.6	1000	80.0	1.7	A1	---	E

P3-5z-up-LS3	0.2	0.4	-5.7	-0.4	-14.3	1.1	0.1	1000	80.0	0.5	E	E
P3-5z-up-LS4	0.2	0.4	-63.2	-8.1	-158.0	12.6	1.6	1000	80.0	4.7	E	E
P3-5z-up-LS5	0.2	0.4	-35.6	-4.8	-89.0	7.1	1.0	1000	80.0	2.7	E	E
P3-5z-up-LS6	0.2	0.4	34	4	85.0	---	0.8	1000	80.0	2.6	A1	---
P3-5z-up-LS7	0.2	0.4	16.8	1.7	42.0	---	0.3	1000	80.0	1.3	A1	---
P3-5z-up-LS8	0.2	0.4	-75.3	-9.2	-188.3	15.1	1.8	1000	80.0	5.5	E	E
P3-5z-up-LS9	0.2	0.4	-58.1	-6.9	-145.3	11.6	1.4	1000	80.0	4.3	E	E

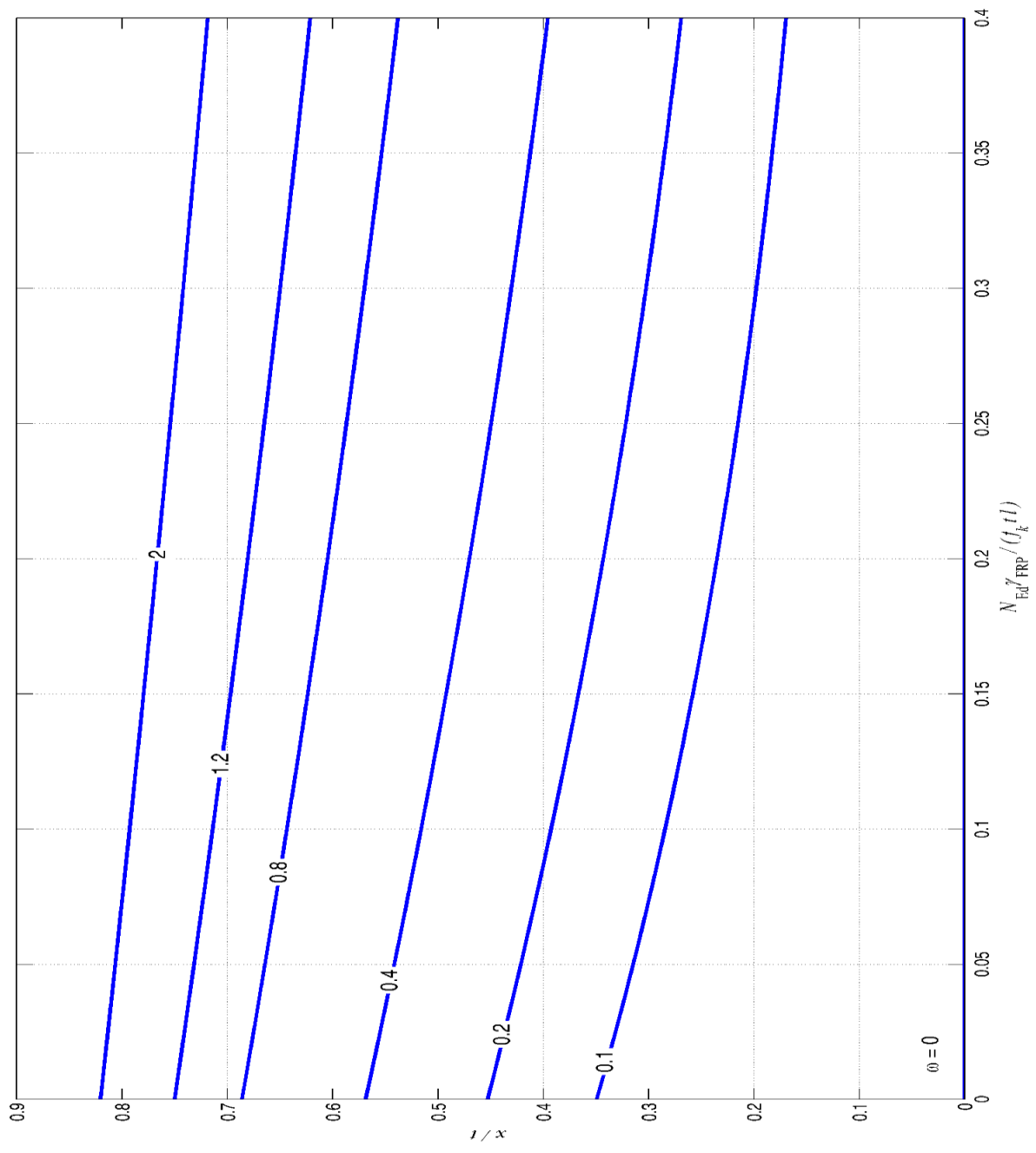
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

**Νομογραφήματα για τον
σχεδιασμό τοιχοποιίας
έναντι ανιεπίπεδης
καμπτικής καταπόνησης**

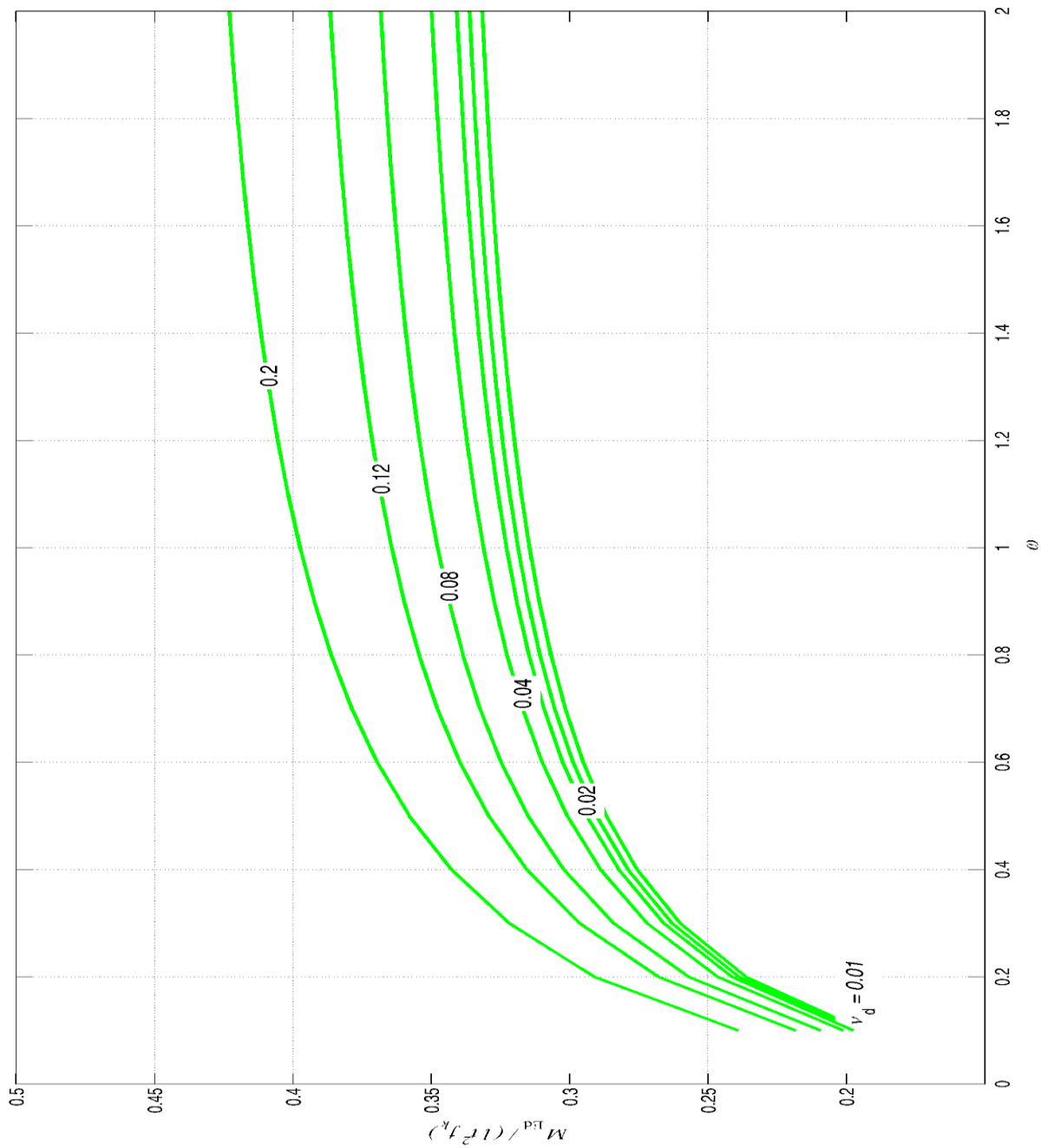


Σχήμα IV.1: Αντιεπίπεδη καμπτική αντοχή $M_{Rd} / (f_k l^2)$ συναρτήσει της αξονικής φόρτισης

$N_{Ed}\gamma_{FRP} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω



Σχήμα IV.2: Η θλιβόμενη ζώνη της ενισχυμένης τοιχοποιίας x/t σε συνάρτηση της αξονικής δύναμης $N_{Ed}\gamma_{FRP} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω

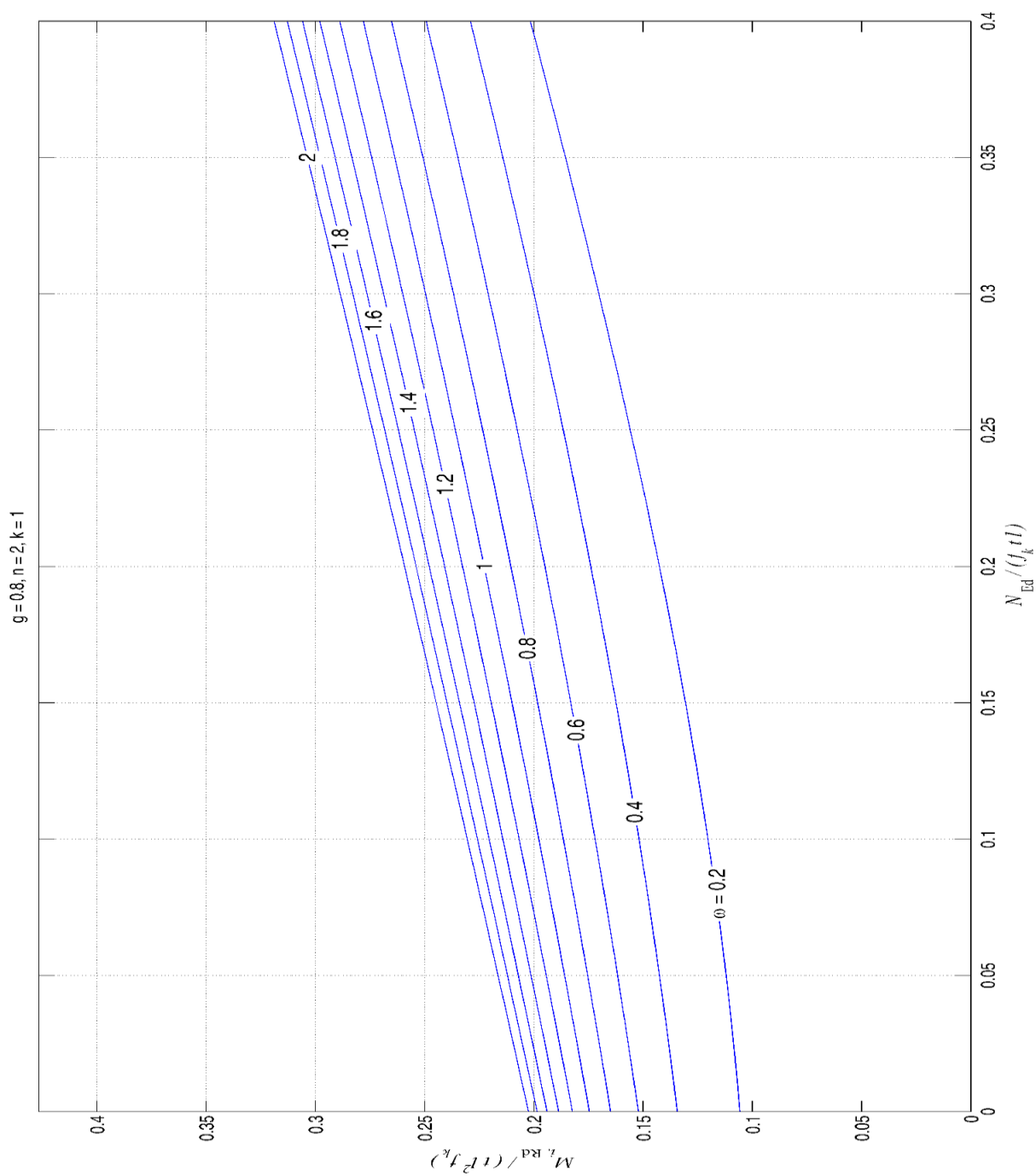


Σχήμα IV.3: Η αντιεπίπεδη καμπτική αντοχή της ενισχυμένης τοιχοποιίας $M_{Rd} / (f_k l t^2)$ σε συνάρτηση του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για διάφορες τιμές της αξονικής δύναμης

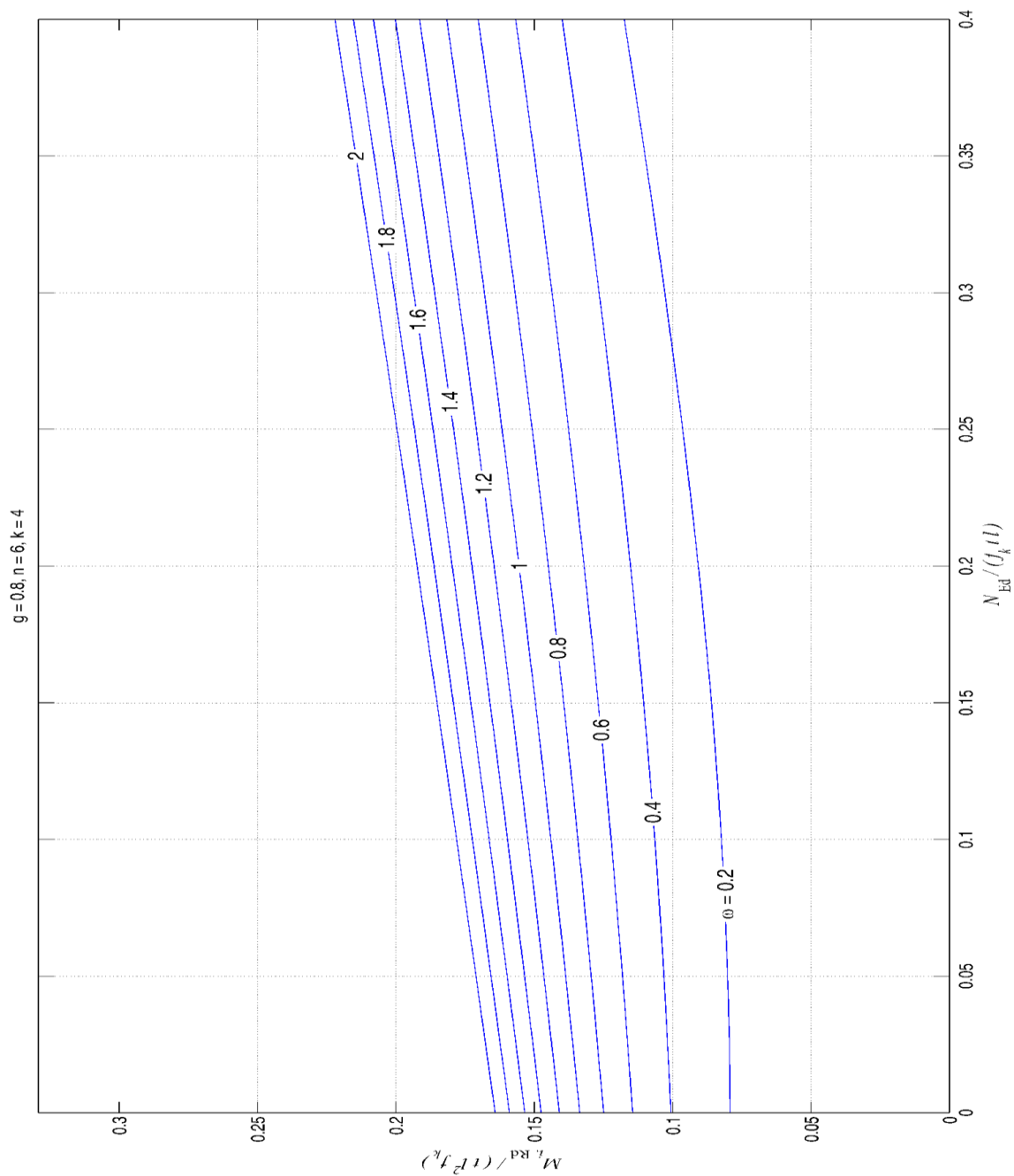
$$N_{Ed} \gamma_{FRP} / (f_k t l)$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ V

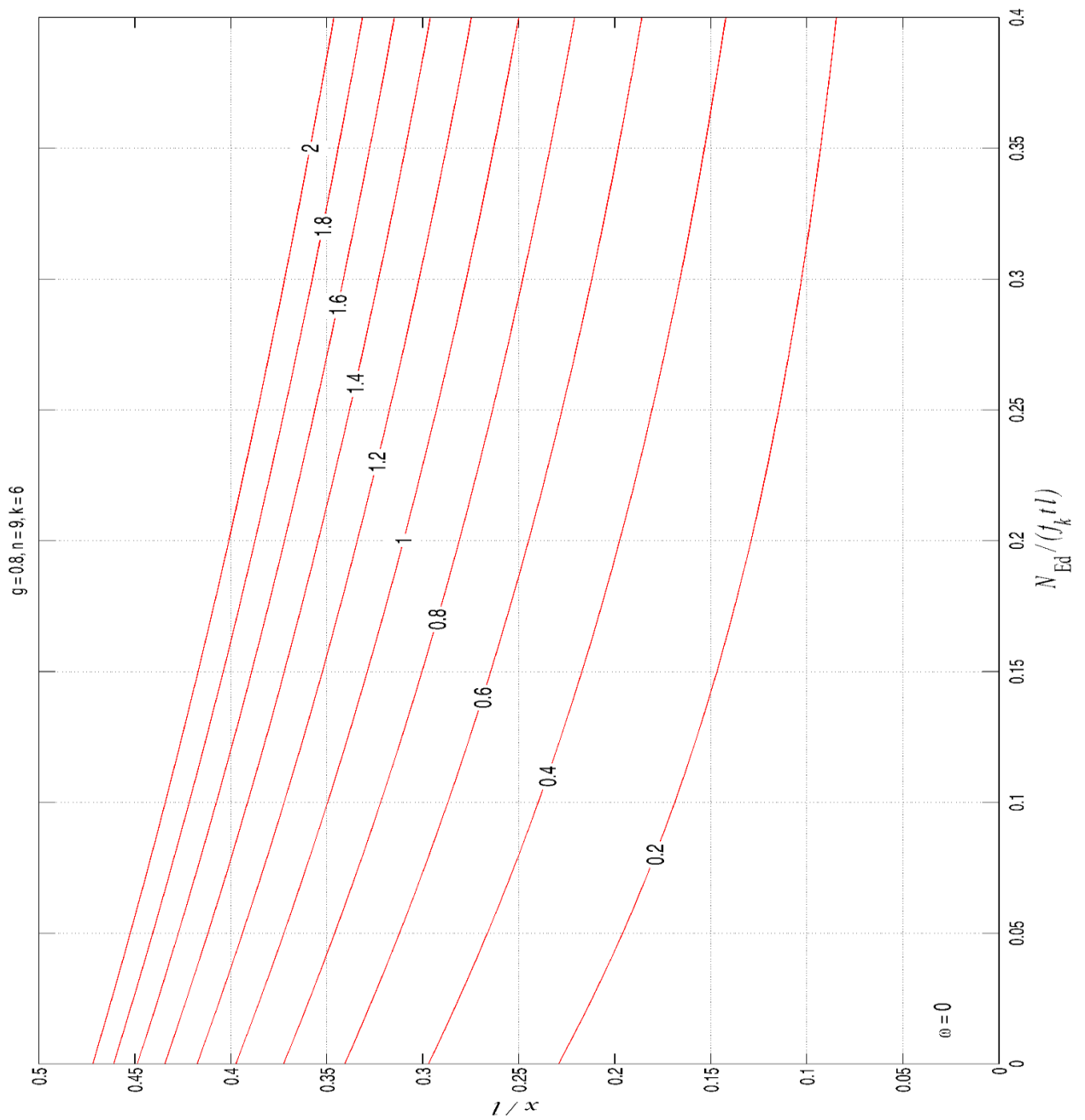
**Νομογραφήματα για τον
σχεδιασμό τοιχοποιίας
έναντι συνεπίπεδης
καμπτικής καταπόνησης**



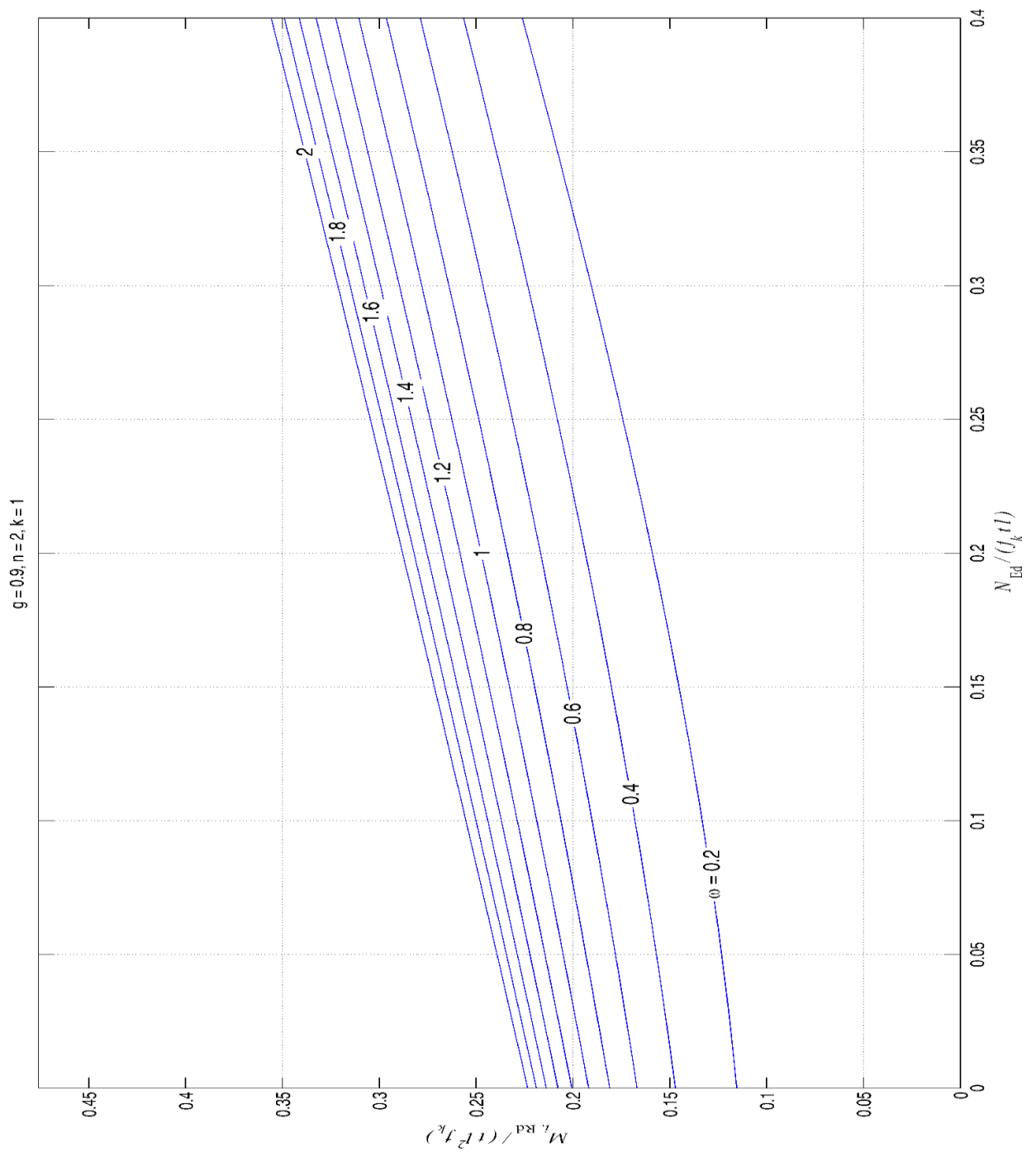
Σχήμα V.1: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.8$, $n = 2$, $k = 1$



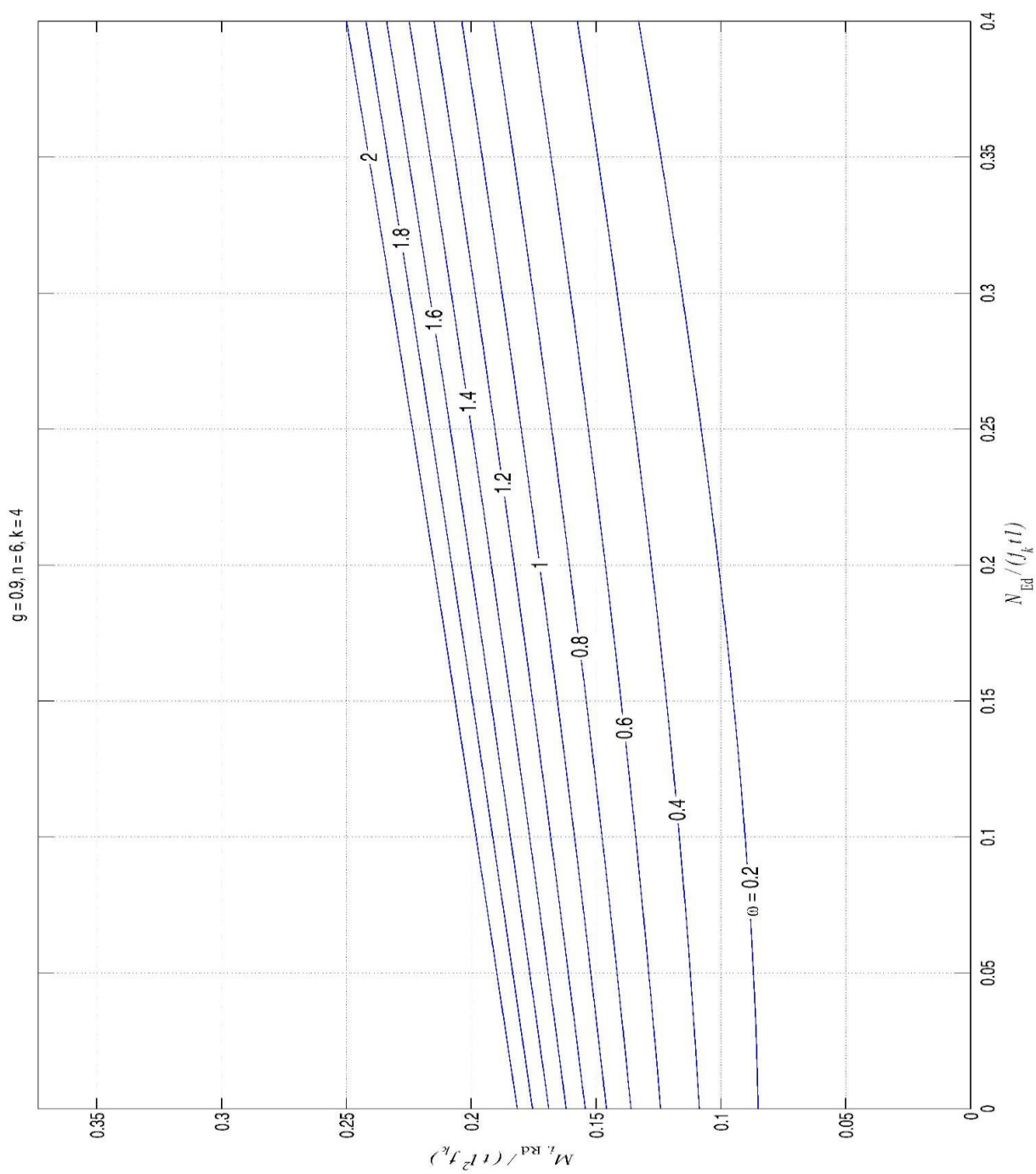
Σχήμα V.2: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.8$, $n = 6$, $k = 4$



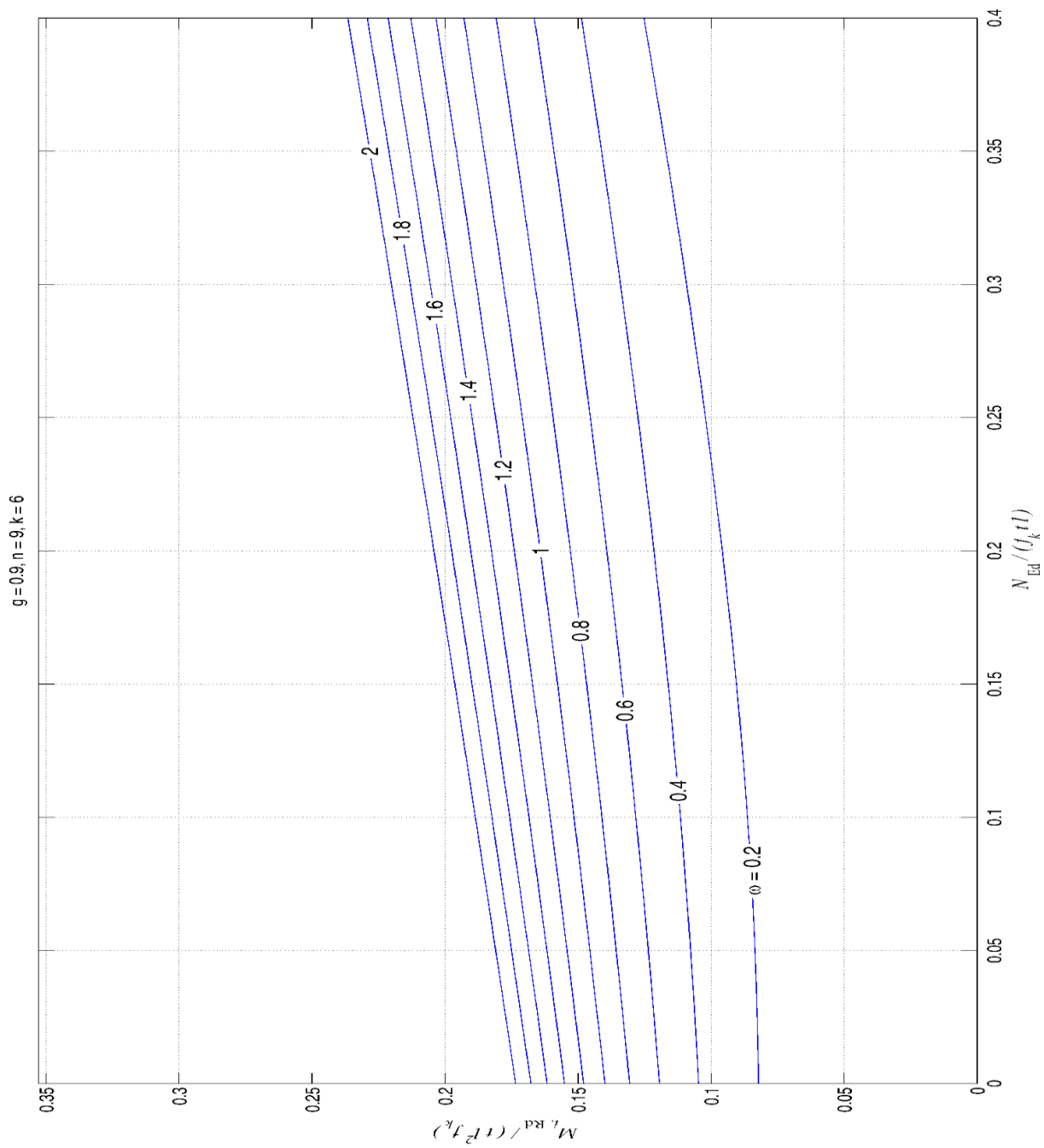
Σχήμα V.3: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.8$, $n = 9$, $k = 6$



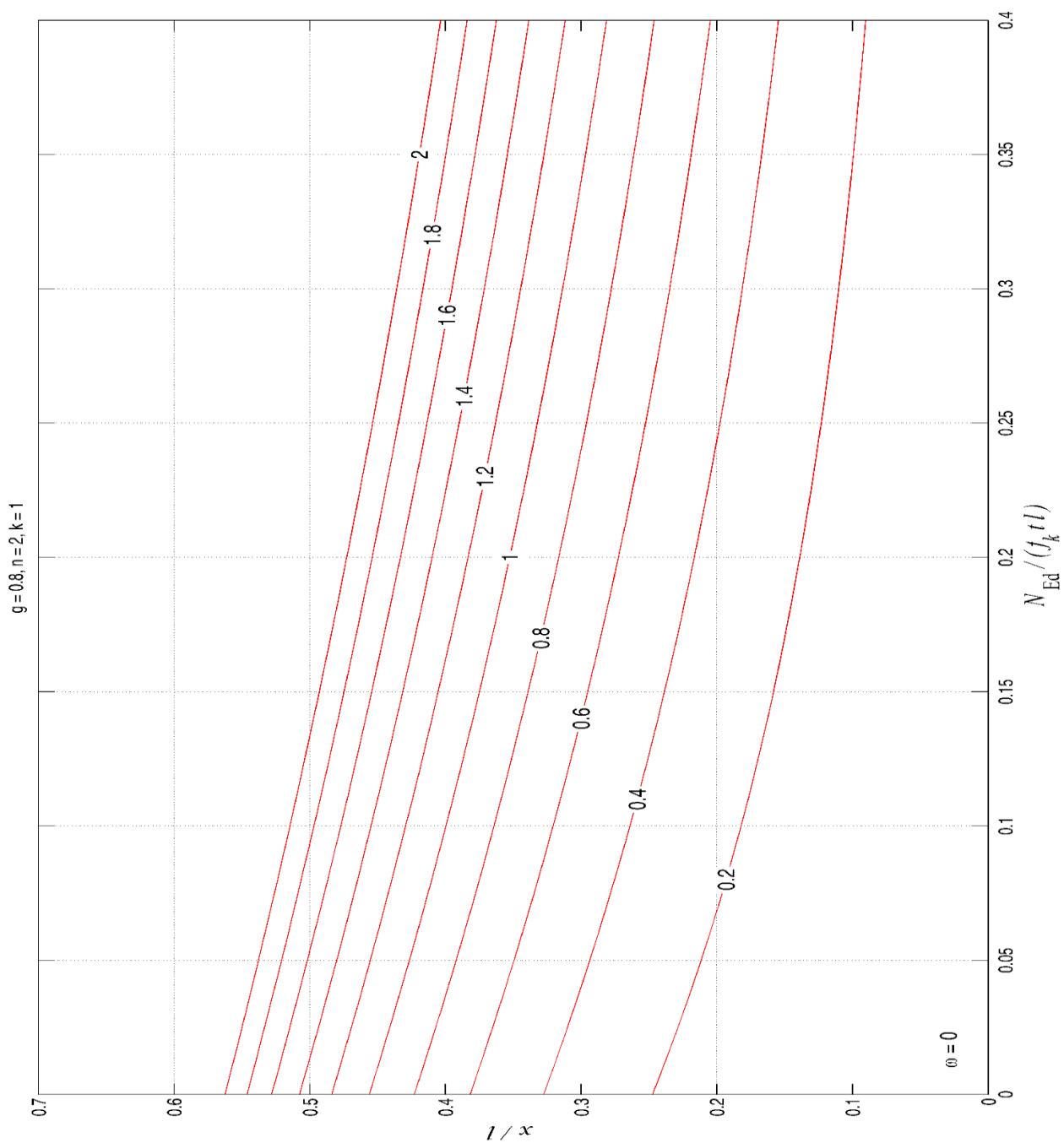
Σχήμα V.4 :Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.9$, $n = 2$, $k = 1$



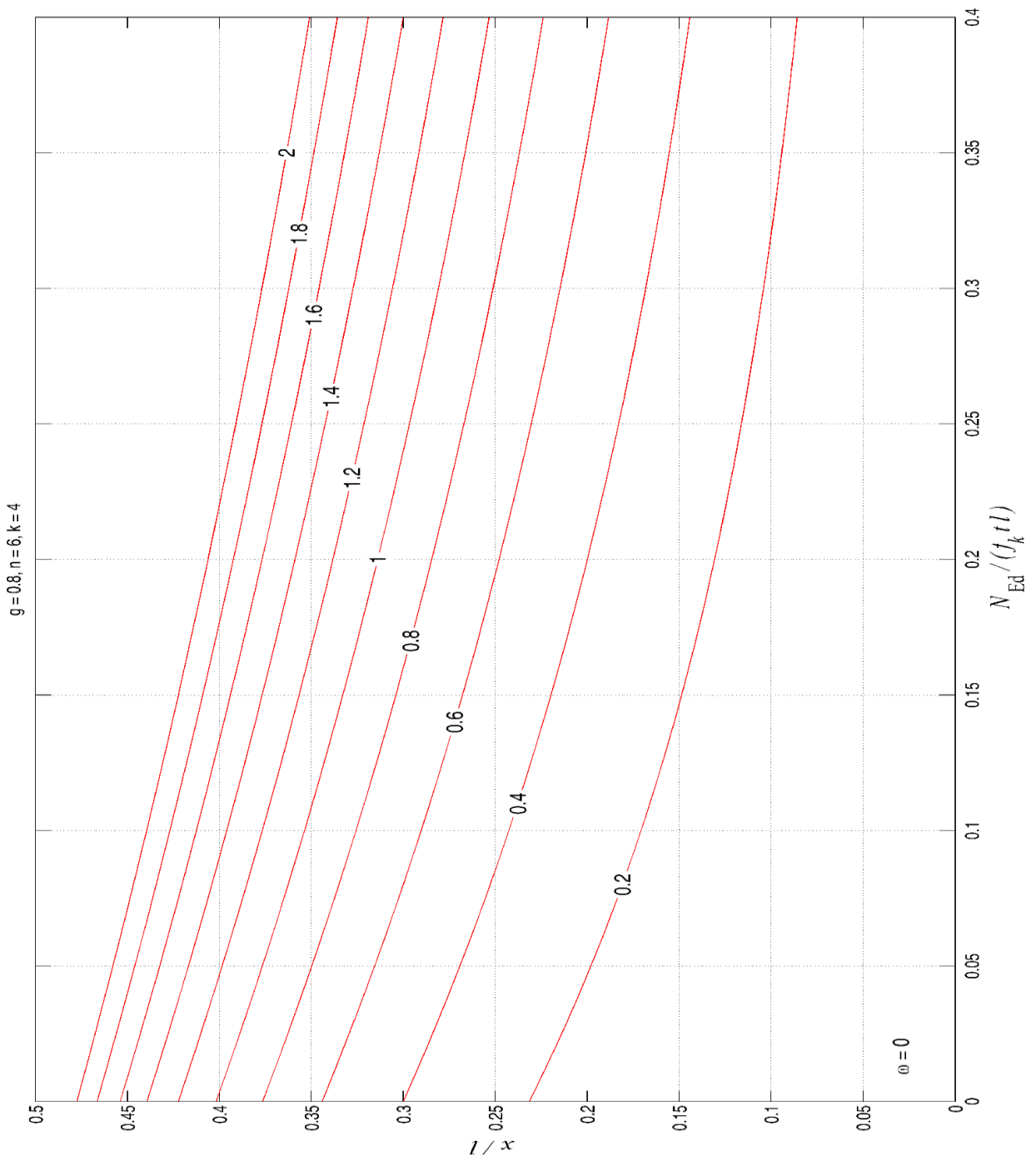
Σχήμα V.5: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.9$, $n = 6$, $k = 4$



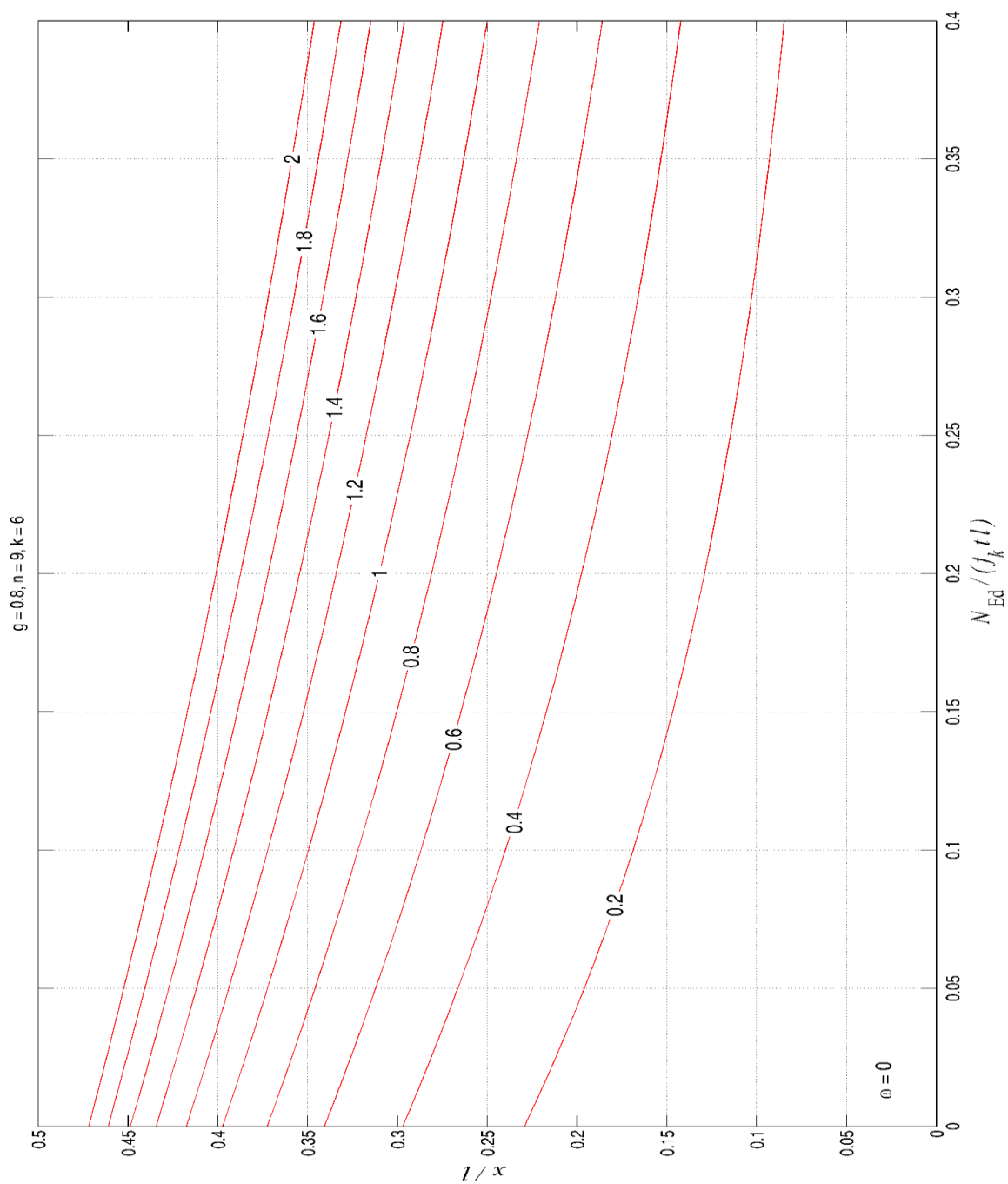
Σχήμα V.6 : Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.9$, $n = 9$, $k = 6$



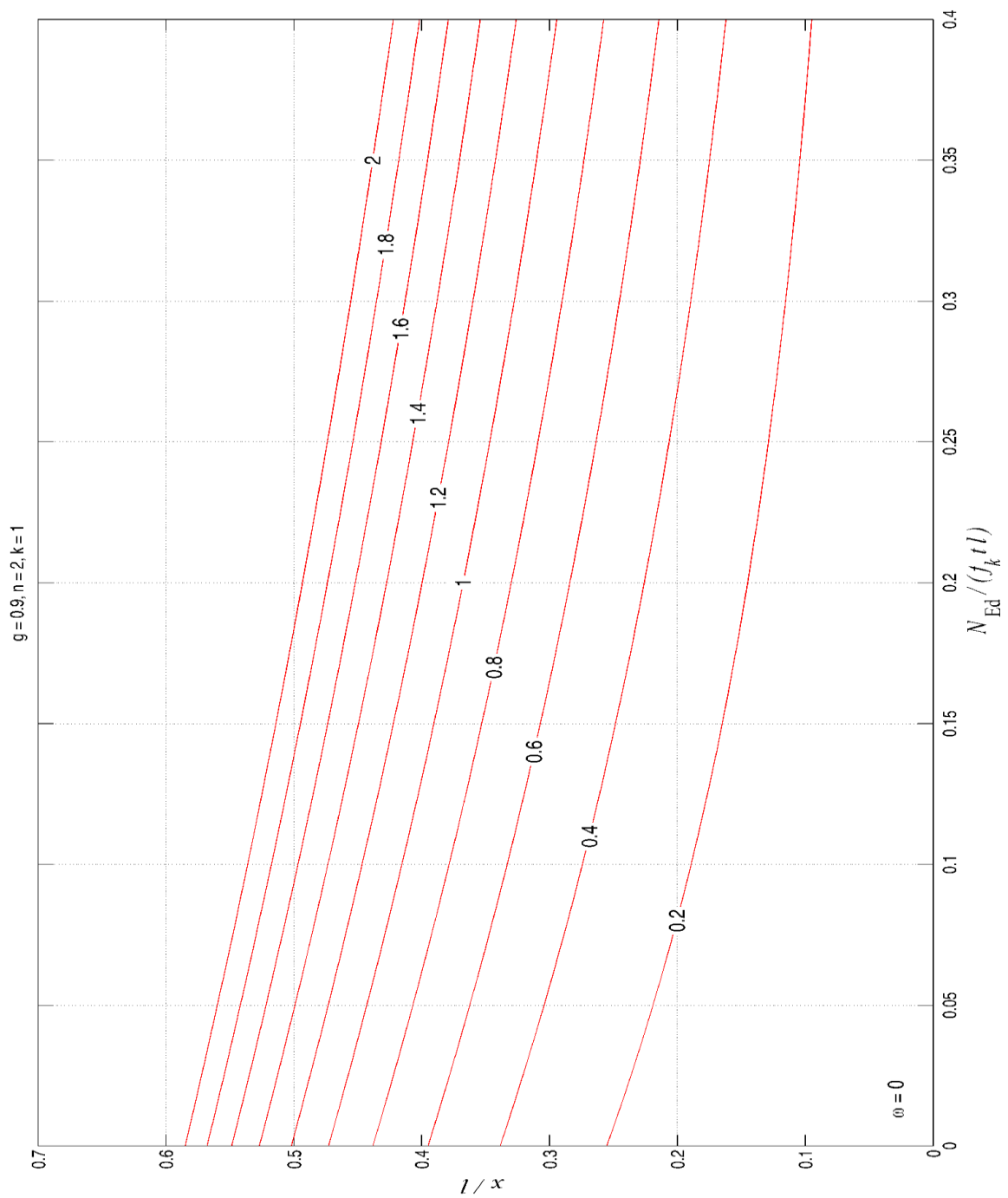
Σχήμα V.7 : Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.8, n = 2, k = 1$



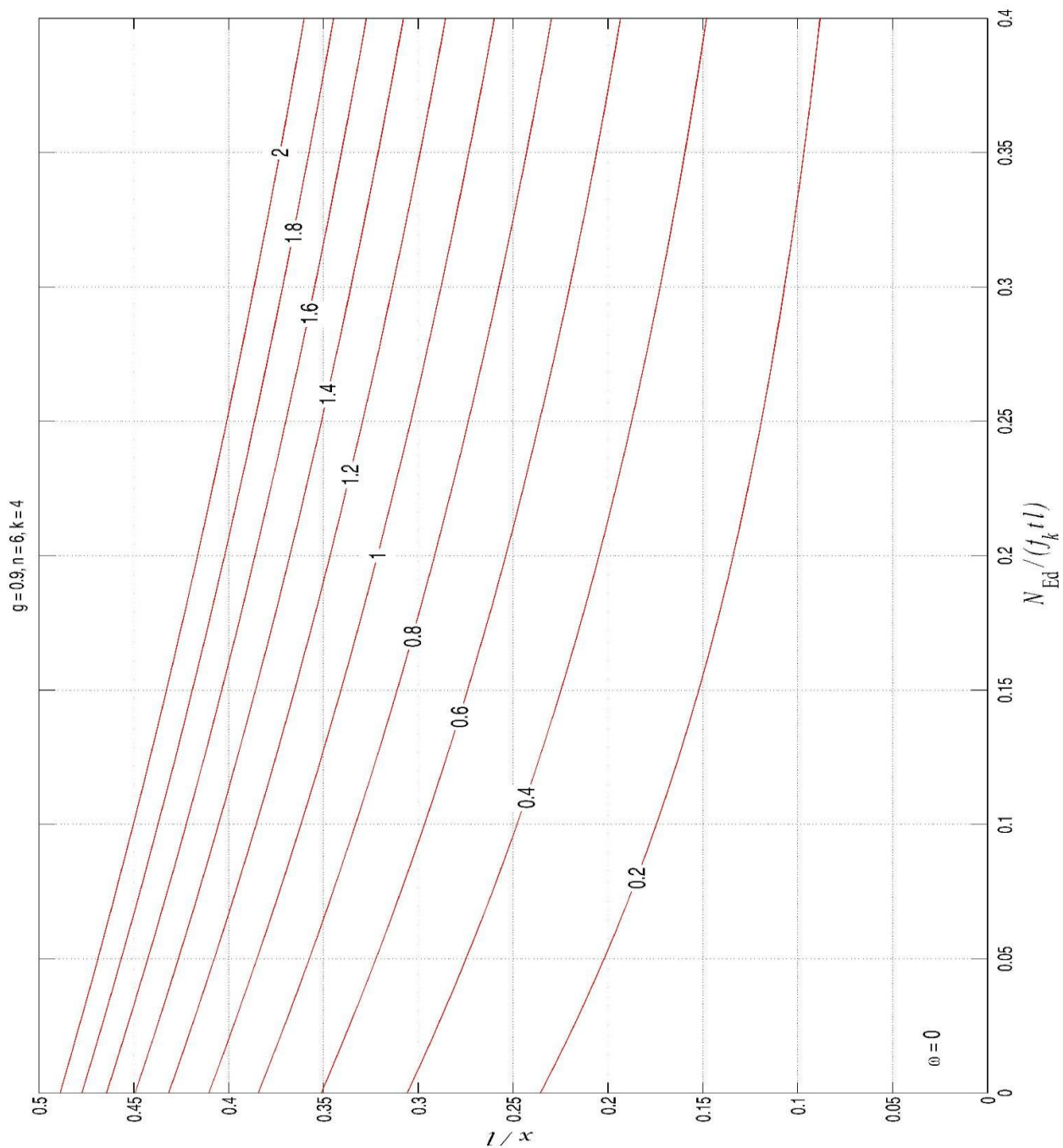
Σχήμα V.8 : Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.8$, $n = 6$, $k = 4$



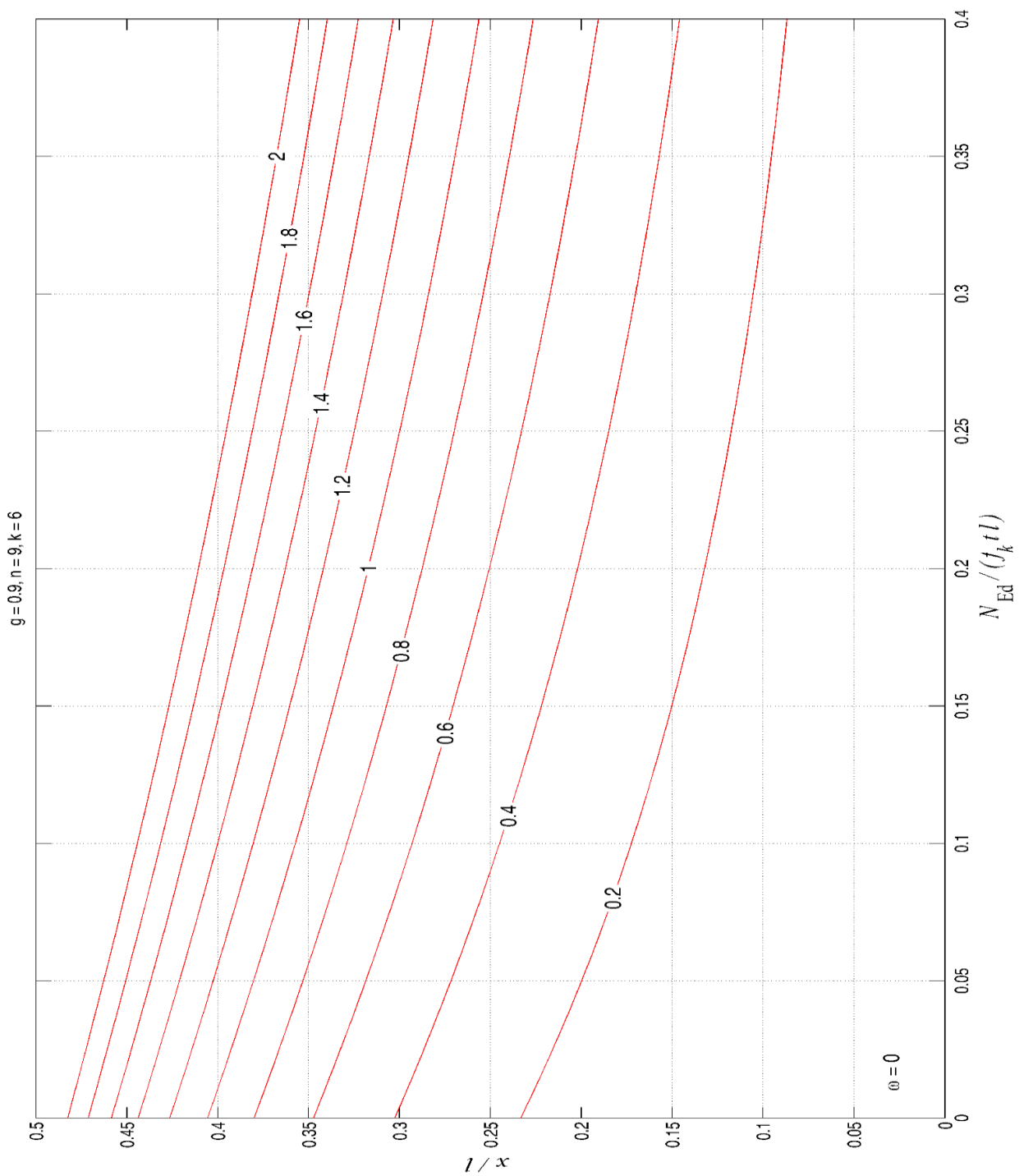
Σχήμα V.9 : Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.8$, $n = 9$, $k = 6$



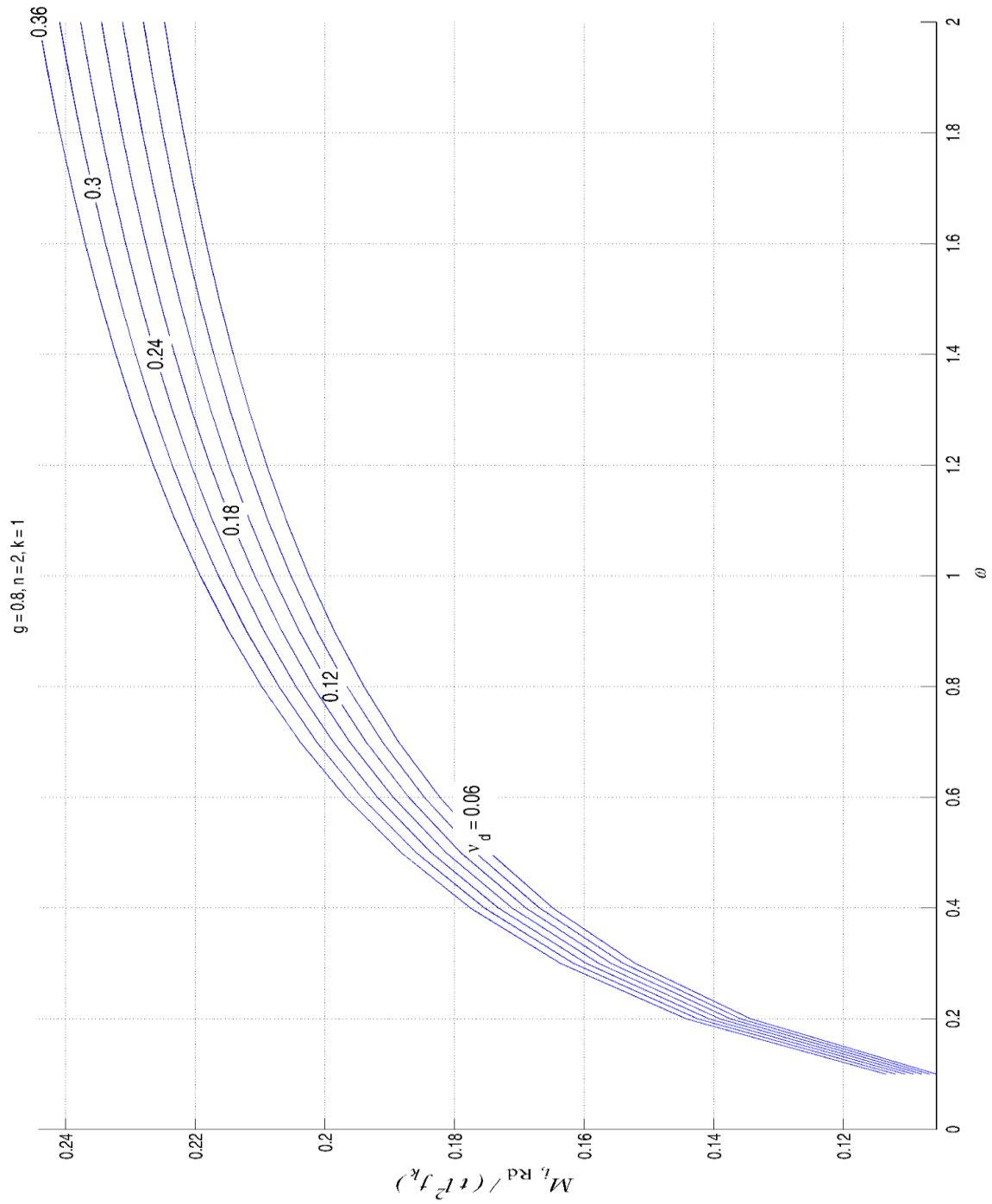
Σχήμα V.10: Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.9, n = 2, k = 1$



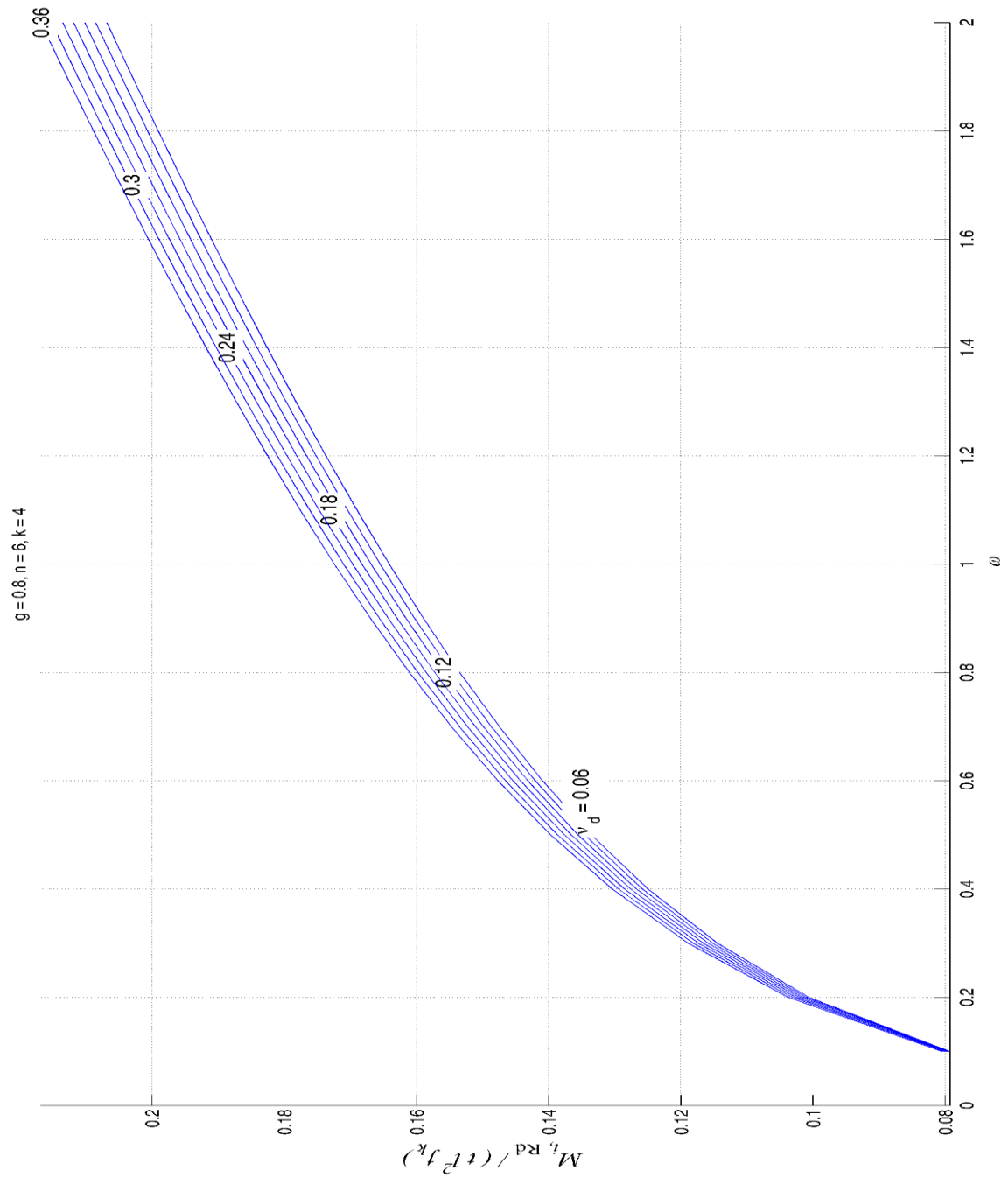
Σχήμα V.11: Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για $g = 0.9$, $n = 6$, $k = 4$



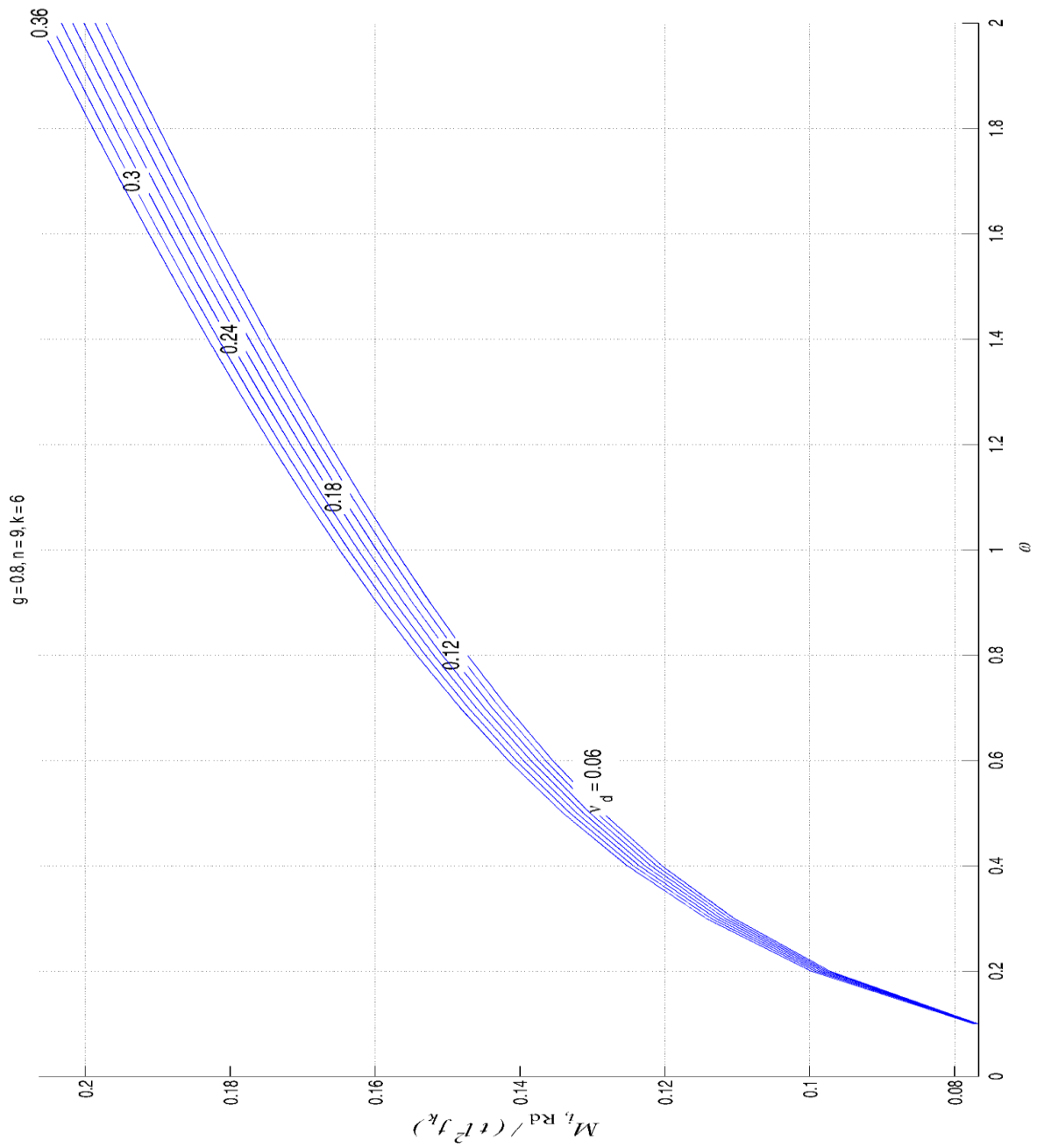
Σχήμα V.12: Η θλιβόμενη ζώνη x/l συναρτήσει της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για διάφορες τιμές του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για $g = 0.9$, $n = 9$, $k = 6$



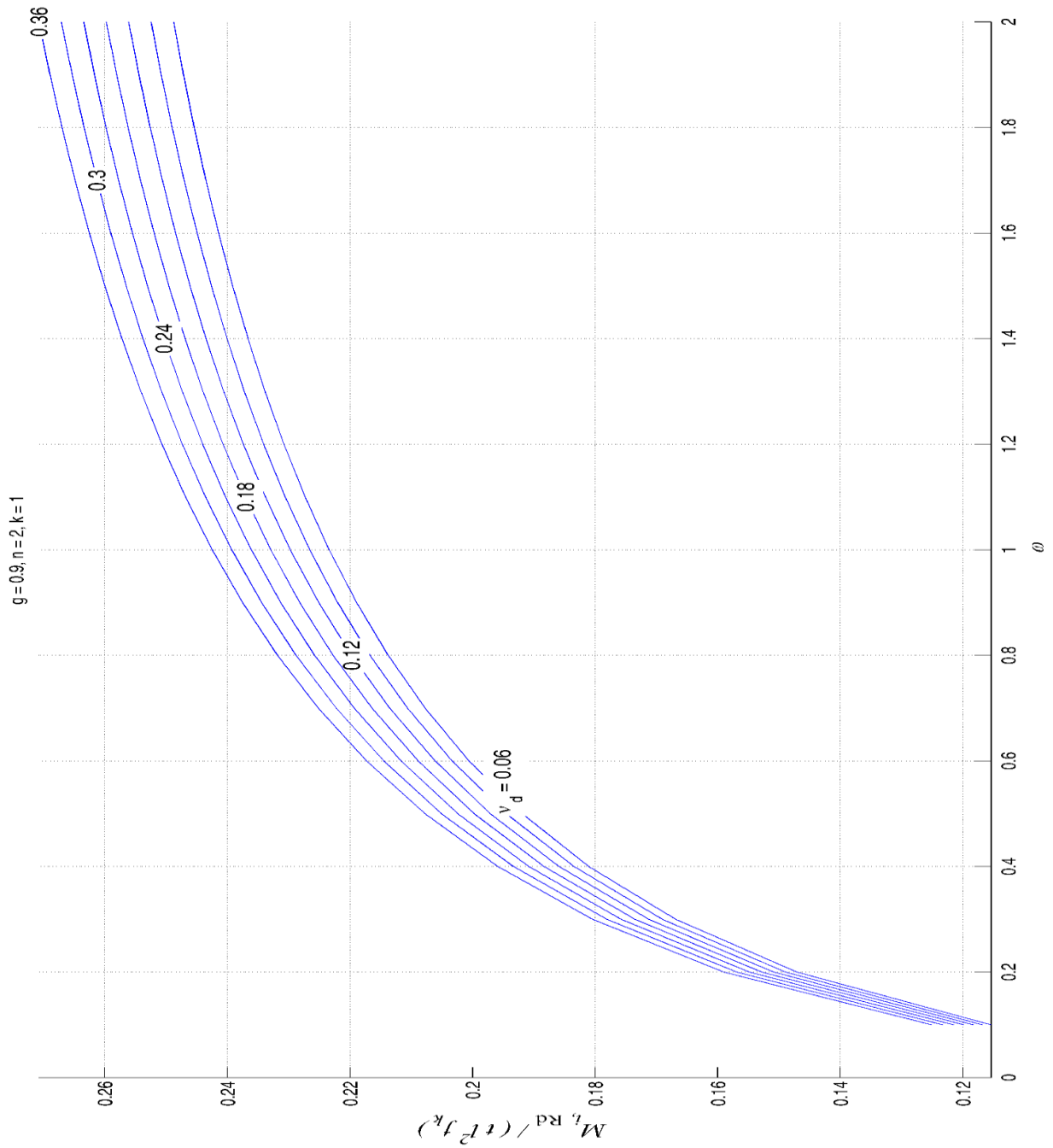
Σχήμα V.13: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.8$, $n = 2$, $k = 1$



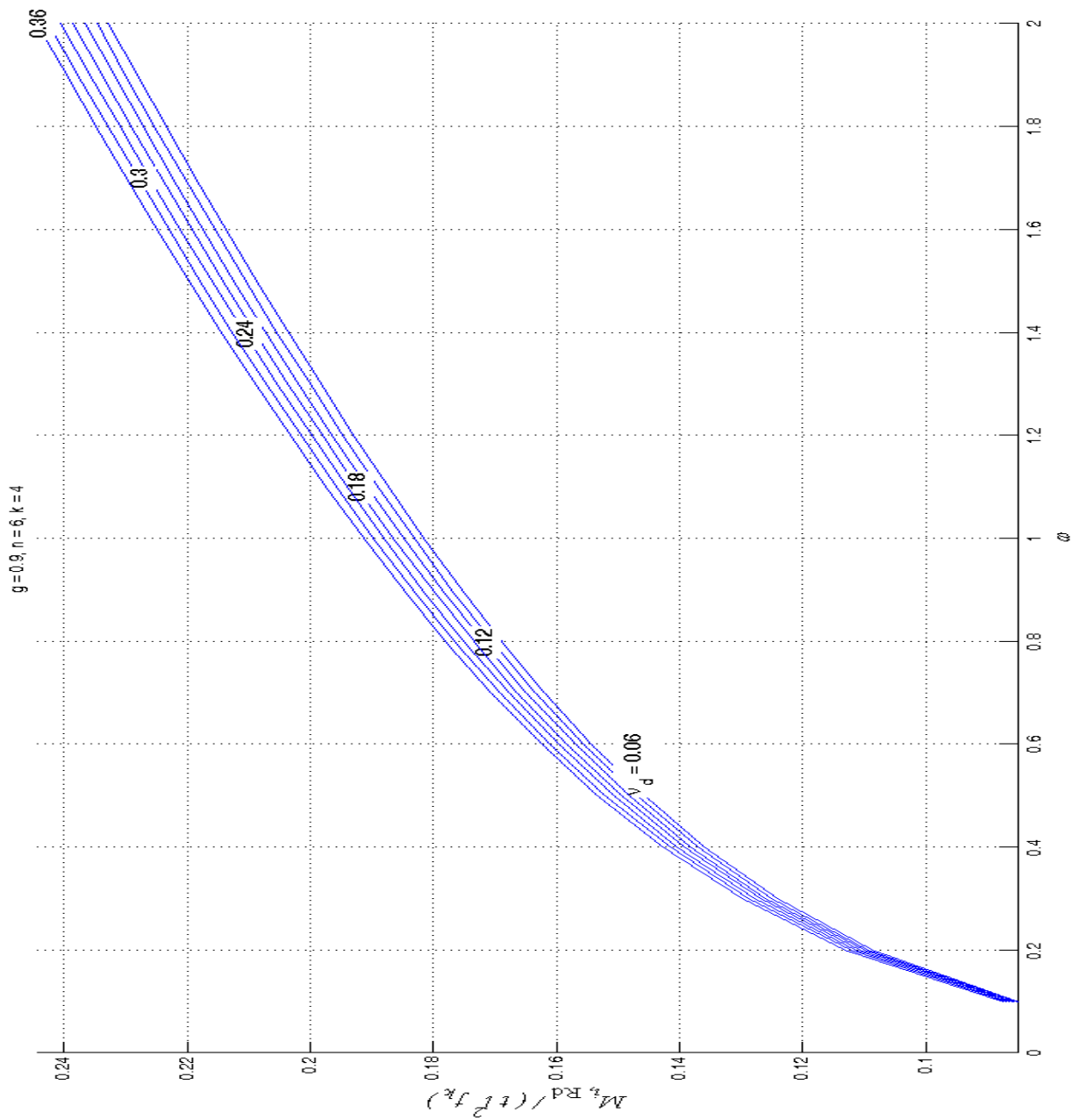
Σχήμα V.14: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.8$, $n = 6$, $k = 4$



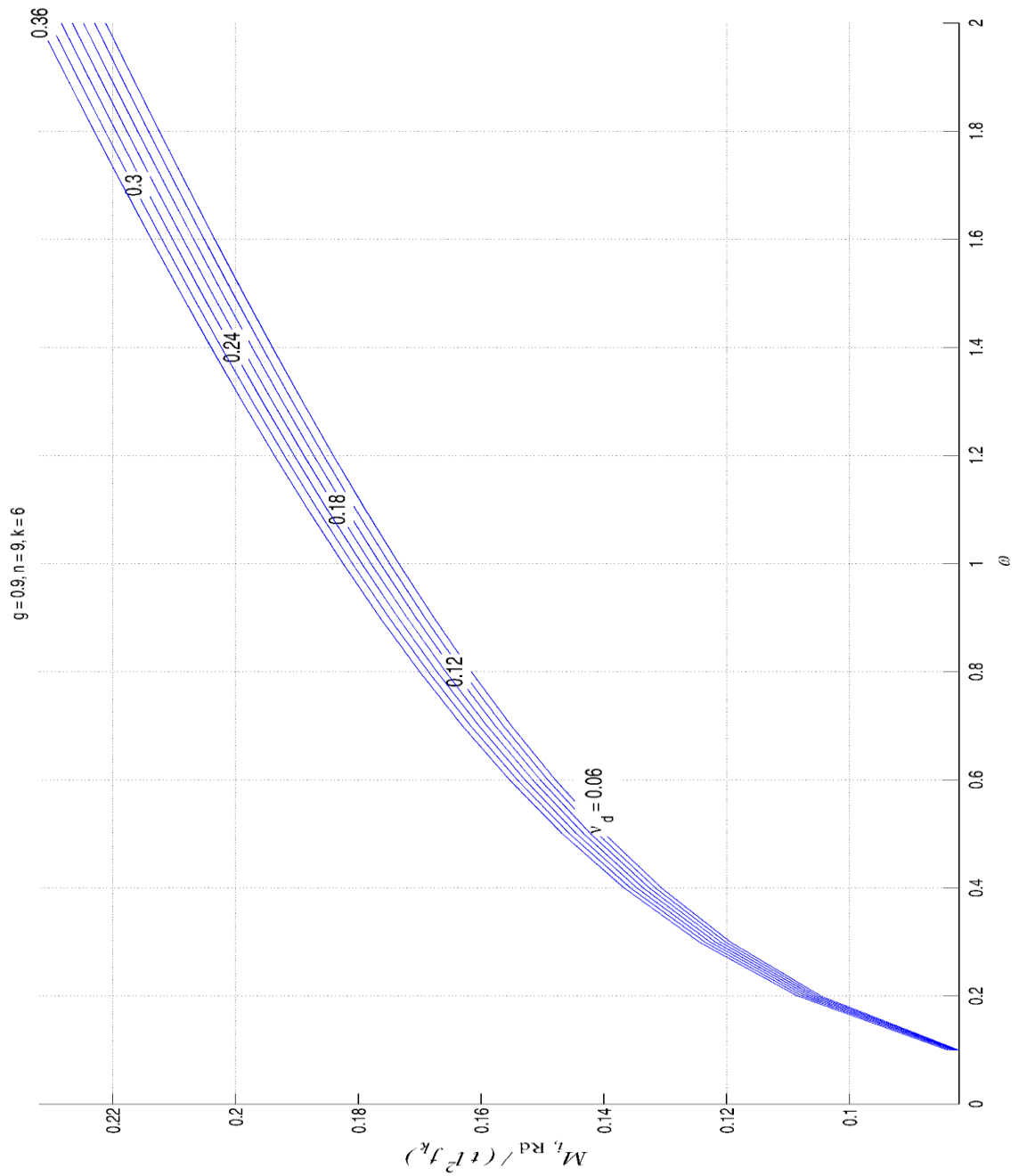
Σχήμα V.15: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.8$, $n = 9$, $k = 6$



Σχήμα V.16: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.9$, $n = 2$, $k = 1$



Σχήμα V.17: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού σπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.9$,
 $n = 6$, $k = 4$



Σχήμα V.18: Η ανηγμένη αξονική ροπή $M_{Rd} / (f_k t l^2)$ συναρτήσει του μηχανικού ποσοστού οπλισμού ω για διάφορες τιμές της ανηγμένης αξονικής δύναμης $N_{Ed} / (f_k t l)$ για $g = 0.9$, $n = 9$, $k = 6$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ VI

Πρόγραμμα

MATLAB-masonry_bending

```

clear all
close all
clc

g_M = 1.5;
g_FRP = 1;

w = 0:0.1:2;
nd = 0:0.01:0.4;

x = zeros( length(w),length(nd) ); md = zeros( length(w), length(nd) );

for k = 1:length(w)
    for l = 1:length(nd)
        x(k,l) = g_M / ( 1.6*g_FRP ) * ( - ( w(k)+nd(l) ) + ...
            sqrt( ( w(k)+nd(l) )^2 + 3.2*g_FRP/g_M*w(k) ) );
        md(k,l) = 1/2 * w(k)/g_FRP * ( 1-x(k,l) ) / x(k,l) + ...
            0.4/g_FRP * x(k,l) * ( 1-0.8*x(k,l) );
    end
end

l1 = [1; 2; 3; 5; 9; 13; 21];
for kk = 1:length(l1)
    plot(nd, md(l1(kk),:), 'r', 'linewidth',2)
    hold on
    if kk == 1
    elseif kk == 2
        text( nd(l1(kk)), md(l1(kk),l1(kk) ), ...
            [ '\omega = ' num2str(w(l1(kk))) ], ...
            'BackgroundColor','white','fontsize',12)
    else
        text( nd(l1(kk)), md(l1(kk),l1(kk) ), [ num2str(w(l1(kk))) ], ...
            'BackgroundColor','white','fontsize',12)
    end
end
xlabel( '\it N_{\rm Ed}\gamma_{\rm FRP} / ( f_k t l )', ...
        'fontname','times new roman','fontsize',12)
ylabel( '\it M_{\it o,\rm Rd} / ( l t^2 f_k )', ...
        'fontname','times new roman','fontsize',12)
ylim([0 1.2*max(max(md)) ])
grid on

figure
for kk = 1:length(l1)
    plot(nd, x(l1(kk),:), 'b', 'linewidth',2)
    hold on
    if kk == 1
        text( nd(l1(kk))+.01, x(l1(kk),l1(kk) ) +0.02, ...
            [ '\omega = ' num2str(w(l1(kk))) ] , ...
            'BackgroundColor','white', ...
            'VerticalAlignment','bottom','fontsize',12)
    else
        text( nd(l1(kk)), x(l1(kk),l1(kk) ), num2str(w(l1(kk))) , ...
            'BackgroundColor','white','fontsize',12)
    end
end
xlabel( '\it N_{\rm Ed}\gamma_{\rm FRP} / ( f_k t l )', ...
        'fontname','times new roman','fontsize',12)
ylabel( '\it x / t', 'fontname','times new roman','fontsize',12)

```

```

grid on

figure
for kk = 1:length(ll)
    plot(w, md(:,ll(kk)), 'g', 'linewidth',2)
    hold on
    if kk == 1
    elseif kk == 2
        text( w(ll(kk)), md( ll(kk),ll(kk) ), ...
            ['\it \nu_{\rm d} = ' num2str(nd(ll(kk)))], ...
            'BackgroundColor','white','fontsize',12 )
    else
        text( w(2*kk), md( 2*kk,ll(kk) ), num2str(nd(ll(kk))), ...
            'BackgroundColor','white','fontsize',12)
    end
end
end
xlabel( '\it \omega','fontname','times new roman','fontsize',12)
ylabel( '\it M_{\rm Ed} / ( l t^2 f_k )','fontname', ...
        'times new roman','fontsize',12)
grid on

```

```

clear all
close all
clc

g_M = 1.5;
g_FRP = 1;

w = 0:0.1:2;
nd = 0:0.01:0.4;
n = 2:1:20;
k = round(.75*n-.5);
g = [0.8 0.9];

x = zeros( length(g),length(n),length(w),length(nd) );
md = zeros( length(g),length(n),length(w),length(nd) );
S = zeros( length(g),length(n),length(w),length(nd) );
T = zeros( length(g),length(n),length(w),length(nd) );

for o = 1:length(g)
    for p = 1:length(n)
        for q = 1:length(w)
            for r = 1:length(nd)
                x(o,p,q,r) = g_M/1.6 * ( -nd(r) - w(q)*k(p)/n(p) ...
                    + sqrt( ( nd(r)+ w(q)*k(p)/n(p) )^2 ...
                    + 1.6/g_M*w(q)*k(p)/n(p) * ...
                    ( 1 - g(o) + ( 2*n(p)-k(p)-1 )*g(o)/( n(p)-1 ) ) ) );

                S(o,p,q,r) = 0.25*( 1-g(o) )^2 + 0.5*( 1-g(o) ) ...
                    *( 2*n(p)-k(p)-1 )*g(o)/( n(p)-1 ) + ...
                ( n(p)*( n(p)-k(p)-1) + 1/6*( k(p)+1 )*( 2*k(p)+1 ) ) * ...
                    ( g(o)/( n(p)-1 ) )^2 ;

                T(o,p,q,r) = 1/2 * ( ( 1-g(o) ) + ( 2*n(p)-k(p)-1 ) * ...
                    g(o)/( n(p)-1 ) );

                md(o,p,q,r) = 0.4/g_M * x(o,p,q,r) * ...
                ( 1 - 0.8 * x(o,p,q,r) ) + w(q)/g_FRP * k(p)/n(p) * ...
                ( S(o,p,q,r)/x(o,p,q,r) - ( 1+1/( 2*x(o,p,q,r) ) ) ) * ...
                    T(o,p,q,r) + 1/2 );
            end
        end
    end
end

%%
JJ = [1 5 8];

for ii = 1:length(g)
    for jj = 1:length(JJ)
        X(:, :) = x(ii, JJ(jj), :, :);
        Md(:, :) = md(ii, JJ(jj), :, :);

        figure
        ww = w(1:2:end);
        for kk = 1:length( ww )
            plot( nd, X(kk, :), 'r' )
            hold on
            xlabel( '\it N_{\rm Ed} / ( f_k t l )', 'fontname', ...
                'times new roman', 'fontsize', 15)
        end
    end
end

```

```

ylabel( '\it x / l', 'fontname', 'times new roman', ...
        'fontsize', 15)
title(['g = ' num2str(g(ii)), ...
      ', n = ' num2str(n(JJ(jj))), ', k = ' num2str(k(JJ(jj)))])
    if kk == 1
        text( 0.01, 0.03, ...
            ['\omega = ' num2str( w(kk) ) ], 'BackgroundColor', ...
            'white', 'fontsize', 12)
    else
        text(nd( 3*kk+3 ), X( kk, 3*kk+3 ) , ...
            num2str( ww(kk) ), 'HorizontalAlignment', 'center', ...
            'BackgroundColor', 'white', 'fontsize', 12)
    end
end
grid on

figure
for kk = 1:length( ww)
plot( nd, Md(kk,:), 'b' )
hold on
xlabel( '\it N_{\rm Ed} / ( f_k t l )', 'fontname', ...
        'times new roman', 'fontsize', 12)
ylabel( '\it M_{i,\rm Rd} / ( t l^2 f_k )', 'fontname', ...
        'times new roman', 'fontsize', 12)
title(['g = ' num2str(g(ii)), ', n = ' num2str(n(JJ(jj))), ...
      ', k = ' num2str(k(JJ(jj)))])
    if kk == 1
    elseif kk == 2
        text(nd( 3*kk+3 ), Md( kk, 3*kk+3 ) , ...
            ['\omega = ' num2str( ww(kk) ) ], ...
            'HorizontalAlignment', 'center', ...
            'BackgroundColor', 'white', 'fontsize', 12)
    else
        text(nd( 3*kk+3 ), Md( kk, 3*kk+3 ) , ...
            num2str( ww(kk) ), 'HorizontalAlignment', 'center', ...
            'BackgroundColor', 'white', 'fontsize', 12 )
    end
    ylim([ 0 1.2*max(max(Md)) ])
    grid on
end
end
end

nnd = nd(1:6:end);
for ii = 1:length(g)
    for jj = 1:length(JJ)
        Md(:, :) = md(ii, JJ(jj), :, :);
        if ii==1
            figure
            hold on
            for kk = 1:length( nnd )
                plot( w, Md(:, kk), 'b' )
                xlabel( '\it \omega', 'fontname', ...
                    'times new roman', 'fontsize', 12)
                ylabel( '\it M_{i,\rm Rd} / ( t l^2 f_k )', ...
                    'fontname', 'times new roman', 'fontsize', 15)
                title(['g = ' num2str(g(ii)), ...
                    ', n = ' num2str(n(JJ(jj))), ', k = ' num2str(k(JJ(jj)))])

                ylim([ min(min(Md)) max(max(Md(:, kk))) ])
                grid on
            end
        end
    end
end

```

```

        if kk == 1
        elseif kk == 2
            text( w( 3*kk ), Md( 3*kk, kk ), ...
                [ '\nu_{\rm d} = ' num2str( nnd(kk) ) ], ...
                'BackgroundColor','white' , 'fontsize',12)
        else
            text( w( 3*kk ), Md( 3*kk, kk ) , ...
                num2str( nnd(kk) ), 'HorizontalAlignment','center' , ...
                'BackgroundColor','white' , 'fontsize',12)
        end
    end
else
    figure
    hold on
    for kk = 1:length(nnd)
        plot( w, Md(:,kk), 'b' )
        xlabel( '\it \omega', 'fontname', ...
            'times new roman', 'fontsize',12)
        ylabel( '\it M_{i,\rm Rd} / ( t l^2 f_k )', ...
            'fontname', 'times new roman', 'fontsize',15)
        title(['g = ' num2str(g(ii)), ...
            ', n = ' num2str(n(JJ(jj))), ', k = ' num2str(k(JJ(jj)))])
        ylim([ min(min(Md)) max(max(Md(:,kk))) ])
        grid on
        if kk == 1
        elseif kk == 2
            text( w( 3*kk ), Md( 3*kk, kk ), ...
                [ '\nu_{\rm d} = ' num2str( nnd(kk) ) ], ...
                'BackgroundColor','white' , 'fontsize',12)
        else
            text( w( 3*kk ), Md( 3*kk, kk ) , ...
                num2str( nnd(kk) ), 'HorizontalAlignment','center' , ...
                'BackgroundColor','white' , 'fontsize',12)
        end
    end
end
end
end
end
end
end

```