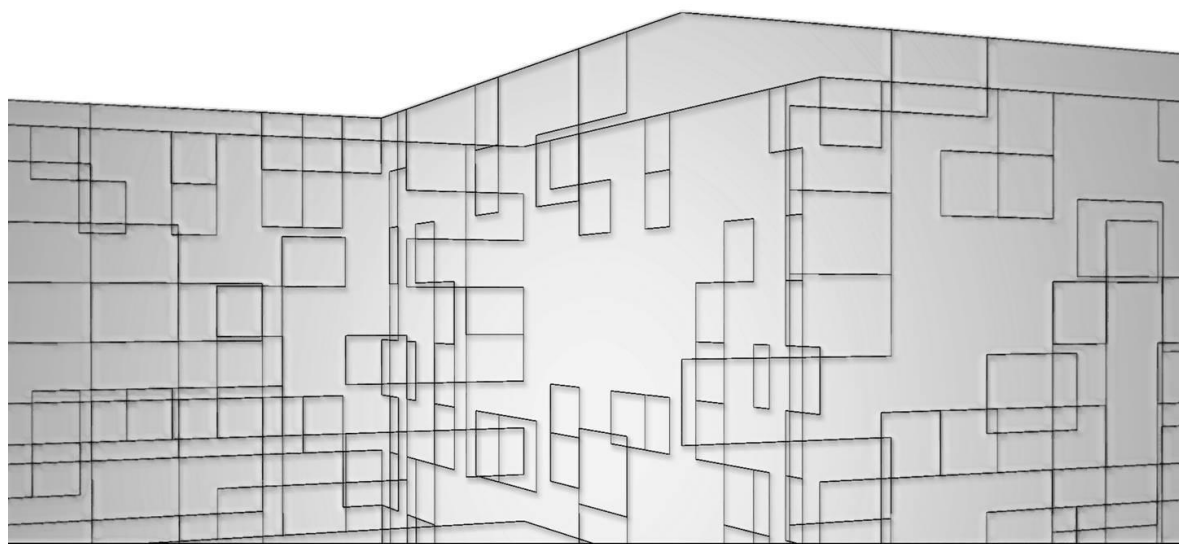




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Αποτίμηση Σεισμικής Συμπεριφοράς  
Αρχιτεκτονικά Τροποποιημένου Σχολικού Κτιρίου και Ενίσχυση με FRP



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ιωάννης Γ. Λεριάς  
Επιβλέπων: Ιωάννης Βάγιας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα Ιούλιος 2016  
ΕΜΚ ΔΕ 2016 18

Ιωάννης Γ. Λεριάς (2016)

Αποτίμηση Σεισμικής Συμπεριφοράς Αρχιτεκτονικά Τροποποιημένου Σχολικού  
Κτιρίου και Ενίσχυση με FRP

Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2016 18

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , Αθήνα

Ioannis G. Lerias (2016)

Analysis and application of Strengthening with FRP of an existing school building  
after architectural modification.

Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2016 18

Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## **Ευχαριστίες:**

Θα ήθελα από καρδιάς να ευχαριστήσω τον κ. Ιωάννη Βάγια, Καθηγητή Ε.Μ.Π. για τη δυνατότητα που μου έδωσε να αναλάβω τη διπλωματική αυτή εργασία, υπό την εποπτεία του, για την επιστημονική του καθοδήγηση, αλλά και την άριστη συνεργασία μας.

Επίσης, την υποψήφια διδάκτορα κ. Δασίου Μαρία – Ελένη για τις χρήσιμες συμβουλές της επί της εργασίας μου, καθ' όλη τη διάρκεια της.

Ακόμη, τους γονείς, τον αδερφό μου και τους φίλους μου για τη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, τα μέλη της ερευνητικής μου ομάδας, Αυγενικό Αλέξανδρο, Λεριά Ελευθέριο, Πάλλα Αγγελική, Χατζημανώλη Κωνσταντίνο και Δημήτρη Κάρρα.

Λεριάς Γ. Ιωάννης



## Περίληψη:

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η προσομοίωση και η ανάλυση διώροφου σχολικού κτιρίου στην Θεσσαλονίκη πριν και μετά τις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις που απαιτήθηκαν, στα πλαίσια της αποδοτικότερης εκμετάλλευσης των υφιστάμενων χώρων. Πιο συγκεκριμένα, στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής μελέτης κρίθηκε σκόπιμη η απομάκρυνση 2 υποστυλωμάτων ισογείου και 2 υποστυλωμάτων του ορόφου για την δημιουργία τεσσάρων μεγαλύτερων αιθουσών. Στόχος της εργασίας αποτελεί η αποτίμηση της συμπεριφοράς του τροποποιημένου κτιρίου σε στατική και σεισμική καταπόνηση, η εναρμόνιση του με τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς και η διαστασιολόγηση του οπλισμού ενίσχυσης των επικολητών φύλλων FRP.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται κάποια θεωρητικά στοιχεία της μεθόδου επέμβασης και ενίσχυσης με ελάσματα και υφάσματα ινοπλισμένων πολυμερών FRP. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθόδου και αναλύεται η διαδικασία υπολογισμού του απαιτούμενου πρόσθετου οπλισμού για αύξηση της αντοχής των μελών σε τέμνουσα όσο και κάμψη σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της μελέτης ενίσχυσης, τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, τα φορτία και οι συνδιασμοί φορτίσεων με τα οποία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της προσομοίωσης της υπο μελέτη κτιριακής εγκατάστασης. Παρουσιάζονται τα δημιουργηθέντα προσομοιώματα, οι παραδοχές της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά και οι απαλλακτικοί έλεγχοι μετακινήσεων που μας οδήγησαν στην απόφαση για ενίσχυση με FRP.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων, γίνεται σύγκριση σε επίπεδο εντατικών μεγεθών και εντοπίζονται οι θέσεις του κτιρίου που χρίζουν ενισχύσεως. Στην συνέχεια διαστασιολογείται ο απαιτούμενος οπλισμός ενίσχυσης σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά μέλη που απαιτούν εκτενέστερη ανάλυση.

Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα εργασία. Παρουσιάζονται συμπεράσματα σχετικά με την μέθοδο ανάλυσης που ακολουθήθηκε και πραγματοποιείται μια σύγκριση μεταξύ παλαιών και νέων αντισεισμικών κανονισμών.



## **Abstract**

The subject of this thesis is the simulation and the analysis of a two storey RC school building , after architectural modification. The building's response is being evaluated when static and earthquake loads are imposed to it and strengthening through FRP material is being applied.

In the second chapter some theoretical background regarding the strengthening with FRP material is presented. Afterwards, the method is analyzed ,its layout and special characteristics are mentioned .Moving on ,the simulation of the building is done by using finite element analysis and the procedure of setting up the models is described.

The results of the linear and non-linear analysis are presented , especially those regarding nodal displacements. After evaluating them, the amount of FRP material needed is calculated according to the Greek Interventions Regulation (KANEPE).

Finally, the results of the calculation are mentioned and some important conclusions are drawn out.





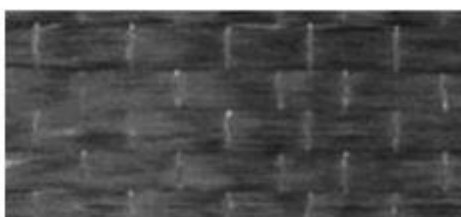
1. ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (FRP) .....	11
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ: .....	11
Σχήμα 1.: .....	11
1.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ .....	11
1.3. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ.....	12
1.3.1. Γενικά.....	12
Κανονισμός υπολογισμού ενίσχυσης σε κάμψη - ΚΑΝ.ΕΠΕ .....	13
1.4. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ.....	16
1.4.1. Γενικά.....	16
Σχήμα 2.: .....	17
Σχήμα 3.: .....	17
Σχήμα 4.: .....	18
Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) .....	18
Σχήμα 5.: .....	19
1.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	23
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ .....	25
2.1. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ .....	25
2.2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ .....	25
2.3. ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ .....	25
2.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ – ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ .....	28
ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ): .....	28
ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ .....	29
3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ .....	31
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	31
3.2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ .....	31
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ .....	35
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	35
4.2. ΈΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.....	36
4.2.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	36
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΑΞΕΩΣ (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ-Δ) ΔΕΝ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ ΕΑΝ Η ΑΚΟΛΟΥΘΗ ΣΥΝΘΗΚΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ: .....	36
4.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ.....	37
4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	38

4.3.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΟΡΟΦΟΥ .....	38
<b>4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>40</b>
<b>4.4.1. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ .....</b>	<b>40</b>
4.4.1.1. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ .....	40
Δ3 90/30.....	41
Δ10 120/45 .....	43
Δ11 120/45 .....	44
ΔΟΚΟΣ 2 110/45.....	46
Δ3 90/30.....	47
Δ10 120/45.....	48
Δ11 120/45 .....	49
Δ2 110/45.....	50
<b>4.4.1.2. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ .....</b>	<b>51</b>
4.4.1.2.1. ΓΕΝΙΚΑ .....	51
4.4.1.2.2 .ΔΟΚΟΙ ΙΣΟΓΕΙΟΥ .....	52
Δ3 90/30 .....	52
ΔΟΚΟΣ 10 120/45 .....	54
ΔΟΚΟΣ Δ11 110/45 .....	55
ΔΟΚΟΣ Δ2.....	57
4.4.1.2.3 .ΔΟΚΟΙ ΟΡΟΦΟΥ .....	58
Δ3 .....	58
Δ11 .....	60
Δ2 .....	61
4.4.2 Ενίσχυση Πλάκας Σκυροδέματος σε Κάμψη .....	62
ΜΥΥ.....	62
ΜΧΧ .....	63
4.4.2.2. Για τις ροπές του ανοίγματος: .....	63
4.5 Υποστυλώματα .....	73
4.6.Τοιχεία.....	93
5. Συμπεράσματα .....	105
6. βιβλιογραφία.....	107

# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΜΒΕΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΥΦΑΣΜΑΤΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ (FRP)

## 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει συμβάλει σημαντικά και στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού με την εμφάνιση νέων υλικών και τεχνικών στον τομέα των κατασκευών αλλά και των ενισχύσεων. Τέτοια υλικά είναι τα ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) ή όπως αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, FRP (fiber reinforced polymers). Τα υλικά αυτά αποτελούνται από ίνες - συνηθέστερα άνθρακα, γυαλιού ή αραμιδίου (CarbonFRP, GlassFRP, AramidFRP) - εμποτισμένες σε κάποιου είδους μήτρα, με συνηθέστερη την εποξειδική ρητίνη. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων Ο/Σ συνίσταται στην μέσσω εποξειδικών ρητινών επικόλλησή τους σε εξωτερικές επιφάνειες, με προσανατολισμό ινών τέτοιο, ώστε να παραλαμβάνουν σημαντικές εφελκυστικές δυνάμεις. Ένα τέτοιο ύφασμα από ίνες άνθρακα φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



**ΣΧΗΜΑ 1.:** Δείγμα υφάσματος από ίνες άνθρακα.

Η αλλαγή χρήσης του κτιρίου, η γήρανση και κόπωση των υλικών κατασκευής, η διάβρωση του οπλισμού, η ελλιπής συντήρηση, ο σεισμός, η πυρκαγιά και οι αλλαγές των κανονισμών, σχετικά με την ασφάλεια του φέροντα οργανισμού, είναι κάποιες από τις συνθήκες και καταστάσεις που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε μια αναίρεση των στατικών παραδοχών. Γίνεται, λοιπόν, άμεσα κατανοητό ότι οι ανάγκες επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων ολοένα και αυξάνονται. Η επιτυχία μιας επισκευής ή μιας ενίσχυσης δεν εξαρτάται μόνο από την σωστή επιλογή της μεθόδου. Σημαντικό ρόλο σε αυτές τις εργασίες κατέχουν η ποιότητα και η εμπειρία του εργατικού προσωπικού, σε συνδυασμό με τη σωστή επίβλεψη και το συνεχή έλεγχο στο εργοτάξιο.

Η χρήση των επικολλητών ελασμάτων ινοπλισμένα πολυμερή είναι μια από τις πολλές μεθόδους ενίσχυσης που έχει αναπτυχθεί διεθνώς και εφαρμόζεται στη χώρα μας ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια με επιτυχία.

## 1.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Η χρήση επικολητών φύλλων από FRP ως εξωτερικός σπλισμός στο εφελκόμενο πέλμα δοκών ή πλακών και στις παρειές δοκών, είναι μια πρακτική τεχνική, με την οποία επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής και διατμητικής αντοχής, αντίστοιχα, των στοιχείων αυτών. Επιπλέον, επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της καμπτικής ακαμψίας και μείωση των παραμορφώσεων και της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.

Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν:

- Υψηλή εφελκυστική αντοχή (ακόμα και σε κόπωση)
- Ευκολία εφαρμογής/τοποθέτησης ακόμα και σε μόρφωση μεγάλων μηκών
- Μικρό Βάρος
- Υψηλή δυσκαμψία
- Ελάχιστη όχληση στην χρήση του δομήματος

Τα κυριότερα μειονεκτήματα είναι:

- Υψηλό κόστος
- Ερπυστικές παραμορφώσεις-χαλάρωση
- Τρωτότητα από περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως θερμοκρασία, υπεριώδης ακτινοβολία και η αλκαλικότητα
- Ευκολία διάβρωσης χάλυβα
- Συμπεριφορά στην πυρκαγιά

## 1.3. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

### 1.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ενίσχυση ενός δομικού στοιχείου έναντι κάμψεως μπορεί να γίνει με τη βοήθεια ινοπλισμένων πολυμερών υλικών, με τρόπο αντίστοιχο με το συμβατικό χαλύβδινο σπλισμό. Η εφαρμογή σύνθετων υλικών για ενισχύσεις έναντι κάμψης γίνεται κυρίως σε στοιχεία δοκού ή πλάκας, μέσω ελασμάτων ή υφασμάτων που επικολλούνται στο εφελκόμενο πέλμα με διεύθυνση ινών τέτοια, ώστε να παραλαμβάνουν τις, λόγω κάμψης, εφελκυστικές δυνάμεις (π.χ. παράλληλα στον άξονα του μέλους για ενίσχυση δοκών, σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις για την περίπτωση τετραέρειστων πλακών.)

Αξίζει να σημειωθεί ότι, η διαστασιολόγηση των εξωτερικών οπλισμών πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε να διαρρέει πρώτα ο χάλυβας του σκυροδέματος και, κατόπιν, να θραύεται το σκυρόδεμα χωρίς να αστοχεί το σύνθετο φύλλο.

Παρακάτω, παρατίθεται σχετικό απόσπασμα του ΚΑΝονισμού ΕΠΕμβάσεων:

#### **ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ - ΚΑΝ.ΕΠΕ**

Επεμβάσεις με στόχο την ενίσχυση της εφελκυσμένης ζώνης έναντι ορθής έντασης:

Σύμφωνα με τον Κανονισμό Επεμβάσεων, ο νέος οπλισμός υπολογίζεται έτσι, ώστε σε συνεργασία με τον υφιστάμενο παλαιό οπλισμό να αναλαμβάνονται οι εφελκυστικές δυνάμεις που αντιστοιχούν στη συνολική καμπτική ένταση της περιοχής ενίσχυσης. Προσεγγιστικά, για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διατομής του οπλισμού ενίσχυσης ( $A_j$ ), σε βαθμό προμελέτης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$A_j = \frac{\Delta M_{do}}{z * \sigma_{jd}}$$

όπου:

$\Delta M_{do}$ : είναι η πρόσθετη ροπή που καλείται να αναλάβει η ενισχυμένη διατομή (επιπλέον της  $M_{d0}$  την οποία μπορεί να αναλάβει η αρχική

$z$ : είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων (ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσος με  $0.9d_j$

$d_j$ : το στατικό ύψος της διατομής, μετρούμενο από τη στάθμη του εξωτερικού οπλισμού.

Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως  $\sigma_{jd}$  του νέου οπλισμού, εκτιμάται με βάση μια κρίσιμη τιμή της τάσης  $\sigma_{j,crit}$ . Οι τιμές των  $\sigma_{jd}$  μπορεί να εκτιμώνται για κάθε μορφή αστοχίας, με χρήση αξιόπιστων πηγών της διεθνούς βιβλιογραφίας. Η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσεως  $\sigma_{jd}$  του νέου οπλισμού, οφείλει, ωστόσο, να είναι μικρότερη από την τιμή  $\sigma_{jd}$ , που αντιστοιχεί στην δυσμενέστερη από τις ακόλουθες μορφές αστοχίας:

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_m}$$

#### **A) Αστοχία του ιδίου του υλικού ενίσχυσης**

Στην περίπτωση που η αστοχία επέρχεται από τη θραύση του σύνθετου υλικού τότε:

$$\sigma_{j,crit} = f_{jk}$$

$$\sigma_{jd} = \frac{1}{\gamma_m} * f_{jk}$$

όπου:

$f_{jk}$ : η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού ενίσχυσης

$\gamma_m$ : 1.2, ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για το υλικό ενίσχυσης

Για το ινοπλισμένο πολυμερές αστοχία θεωρείται η θραύση του. Αν χρησιμοποιούνται περισσότερες, από μία στρώσεις ινοπλισμένου πολυμερούς, η τιμή της αντοχής του υλικού θεωρείται  $f'_{jk} = \psi f_{jk}$ , όπου  $\psi$  είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων. Ο μειωτικός συντελεστής  $\psi$  λαμβάνεται υπόψη είναι ίσος με  $k^{-1/4}$ , με  $k$  τον αριθμό των στρώσεων του σύνθετου υλικού, μόνο στην περίπτωση που τοποθετούνται περισσότερες από τέσσερις στρώσεις. Διαφορετικά λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα.

## **B) Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπάρκειας της σύνδεσης κατά μήκος του στοιχείου ή της αγκύρωσης των άκρων.**

Στη περίπτωση αυτή ισχύει:

$$\sigma_{jd} = \frac{\sigma_{j,crit}}{\gamma_m}$$

όπου:

$\gamma_{Rd}$ : ο κατάλληλος συντελεστής ασφαλείας, ο οποίος καλύπτει τις αβεβαιότητες του

$\sigma_{j,crit}$ : η τάση του υλικού η οποία οδηγεί σε αποκόλληση. Για αυτή την μορφή αστοχίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω προσεγγιστικές σχέσεις:

$$\sigma_{j,crit} = \beta * \frac{t_b^{αποκ}}{t_j} * L_e$$

όπου

$\beta = \beta_w \beta_L$ , διορθωτικός συντελεστής,

$t_b^{αποκ} = f_{ctm}$

$L_e$ : το ενεργό μήκος αγκύρωσης (δηλαδή το μήκος του οποίου η αναλαμβανόμενη απ' το υλικό ενίσχυσης δύναμη, δεν αυξάνεται άλλο) και λαμβάνεται ίσο με:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_j * t_j}{2 * f_{ctm}}} (MPa, mm)$$

με  $t_j, E_j$  το πάχος και το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης, αντίστοιχα.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται  $k$  επάλληλες στρώσεις υλικού ενίσχυσης πάχους  $t_{j1}$  λαμβάνεται  $t_j = \psi k t_{j1}$  όπου  $\psi$  είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων.

Ο συντελεστής επιρροής πλάτους οπλισμού ενίσχυσης δίνεται από τον τύπο:

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - \frac{b_j}{b_w}}{1 + \frac{b_j}{b_w}}}$$

όπου:

$b_j$ : το πλάτος του υλικού ενίσχυσης

$b_w$ : το πλάτος του εφελκυσμένου πέλματος δομικού στοιχείου, επί του οποίου επικολλάται το υλικό ενίσχυσης

Ο συντελεστής επιρροής του διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$\beta_L = \sin\left(\frac{\pi * \lambda}{2}\right) = \lambda * (2 - \lambda)$$

Απαιτείται ειδικός έλεγχος για την περίπτωση πρόωρης διατμητικής αστοχίας του αρχικού στοιχείου στην περιοχή απόληξης του ελάσματος (ή υφάσματος) ενίσχυσης. Αυτή η μορφή αστοχίας συμβαίνει, συνήθως, με τη μορφή απόσχισης της επικάλυψης του διαμήκους οπλισμού του στοιχείου στην περιοχή όπου απολήγει ο οπλισμός ενίσχυσης. Η διαδικασία ελέγχου τεκμηριώνεται με χρήση αξιόπιστων τιμών της βιβλιογραφίας. Προσεγγιστικά, πάντως, μπορεί να εφαρμόζεται το ακόλουθο κριτήριο:

$$V_{sd, \alpha \rho \omega \lambda} \leq V_{cd, \alpha \rho \omega \lambda}$$

$$M_{sd, \alpha \rho \omega \lambda} \leq 2 / 3 M_{Rd, \alpha \rho \omega \lambda}$$

όπου:

$V_{sd, \alpha \rho \omega \lambda}$  και  $V_{cd, \alpha \rho \omega \lambda}$ : οι τιμές της τέμνουσας σχεδιασμού και της τέμνουσας που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα (βλ. ΕΚΩΣ 2000, § 11.2.3.2) στην θέση όπου απολήγει ο οπλισμός ενίσχυσης .

$M_{sd, απολ}$ : η τιμή της καμπτικής ροπής σχεδιασμού (που προκαλεί εφελκυσμό στο πέλμα, όπου επικολλάται το υλικό ενίσχυσης) στη θέση που απολήγει ο οπλισμός ενίσχυσης

$M_{Rd, απολ}$ : η αντίστοιχη ροπή αντοχής στην ίδια θέση.

Αν το παραπάνω κριτήριο δεν ικανοποιείται, απαιτείται πρόσθετος εξωτερικός οπλισμός διάτμησης ο οποίος θα αναλάβει τέμνουσα :

$$V_{sdj} = \frac{A_j \sigma_{jd}}{A_{so} f_{ydo} + A_j \sigma_{jd}} V_{sd, απολ}$$

όπου:

$A_{so}$ : το εμβαδόν της διατομής

$f_{ydo}$ : το όριο διαρροής του εφελκυσμένου οπλισμού που υπάρχει στο αρχικό στοιχείο

$A_j$ : το εμβαδόν της διατομής του απαιτούμενου εξωτερικού οπλισμού διάτμησης

Γενικά, συνιστάται:

- Να επιδιώκεται η χρήση ελασμάτων (ή υφασμάτων) με μικρό πάχος
- Να αποφεύγονται οι ματίσεις του υλικού ενίσχυσης
- Να ακολουθούνται κατάλληλοι κανόνες γεωμετρικής διάταξης των νέων οπλισμών, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή συνεργασία μεταξύ τους και με το υφιστάμενο στοιχείο
- Η αγκύρωση του οπλισμού ενίσχυσης πρέπει να γίνεται πέραν του σημείου μηδενισμού των ροπών (στη περιοχή υπό θλίψη)
- Αν η υπό ενίσχυση εφελκυσμένη περιοχή του δομικού στοιχείου ενδέχεται, υπό συνθήκες ανακυκλιζόμενης έντασης, να βρεθεί υπό θλιπτική καταπόνηση, απαιτούνται πρόσθετα κατάλληλα μέτρα για να παρεμποδιστεί ο «τοπικός λυγισμός» του υλικού. Διαφορετικά, δεν επιτρέπεται η εφαρμογή της τεχνικής.
- Κατά τη χρήση σύνθετων υλικών, να επιδιώκεται η βελτίωση της αγκύρωσης στα άκρα των ελασμάτων/υφασμάτων με χρήση εγκάρσιων λωρίδων ή γωνιακών ή άλλων αγκυριών ειδικού τύπου με τεκμηριωμένη αποτελεσματικότητα.

## 1.4. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

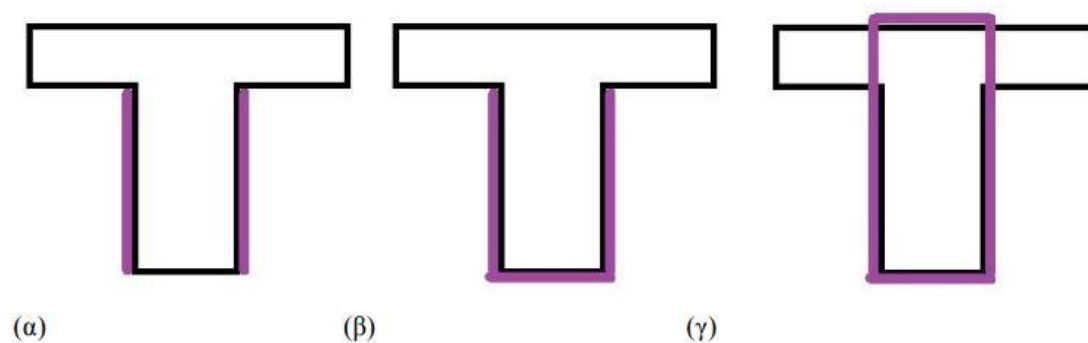
### 1.4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σε διάτμηση με σύνθετα υλικά επιτυγχάνεται μέσω της επικόλλησης υφασμάτων ή σπανιότερα ελασμάτων, τα οποία επικολλούνται στις εξωτερικές επιφάνειες με τις ίνες κατά το δυνατόν παράλληλες στις



τροχιές των κυρίων τάσεων, δηλαδή περίπου κάθετα σε πιθανές ρωγμές. Στις πιο πολλές περιπτώσεις οι ίνες εφαρμόζονται κάθετα στον άξονα των δομικών μελών. Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για ενίσχυση σε διάτμηση μπορεί να έχουν, είτε τη μορφή ολόσωμων μανδύων είτε τη μορφή μανδύων περιορισμένου ύψους («κολάρα») που αποτελούνται από λωρίδες ινοπλισμένων πολυμερών.

Μερικοί από τους τρόπους επικόλλησης που είναι γνωστοί φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 2.

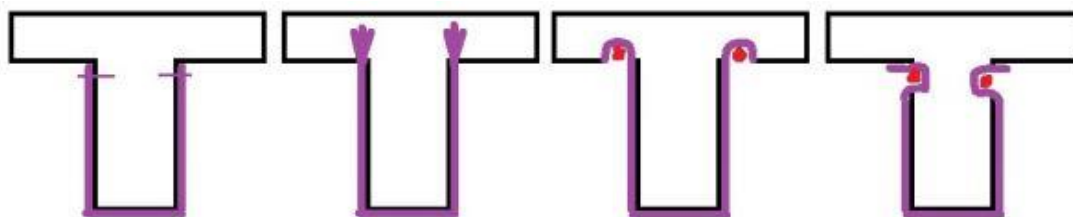


**ΣΧΗΜΑ 2.:** Συνήθεις τρόποι επικόλλησης υφασμάτων για ενίσχυση έναντι διάτμησης. (α) πλευρική, (β) μορφής U, (γ) κλειστός μανδύας W

Αν και η πλευρική επικόλληση απαγορεύεται από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ., αναφέρεται για λόγους πληρότητας.

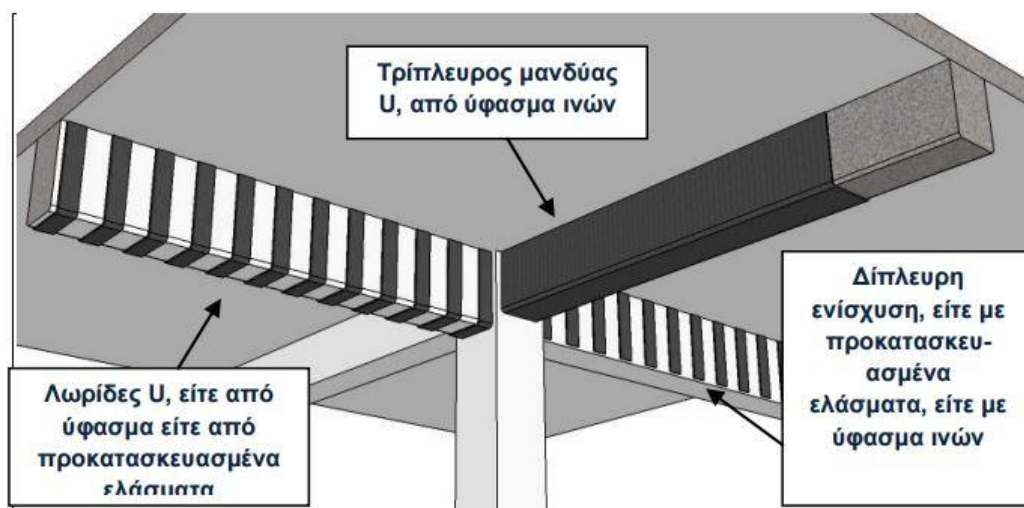
Ακόμη, είναι προφανές ότι ο κλειστός μανδύας σχεδόν πάντα είναι αδύνατον να εφαρμοστεί στην πράξη (π.χ. περίπτωση ενίσχυσης πλακοδοκού) συνηθέστερη μορφή ενίσχυσης αποτελεί ο μανδύας U. Επειδή η κρίσιμη μορφή αστοχίας είναι η αποκόλληση του υφάσματος, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην όσο το δυνατόν καλύτερη αγκύρωση των στρώσεων του σύνθετου υλικού στο υπάρχον στοιχείο. Συνίσταται η αγκύρωση των σπλισμών διάτμησης στη θλιβόμενη ζώνη.

Προτείνονται κάποιοι τρόποι αγκύρωσης:



**ΣΧΗΜΑ 3.:** Προτεινόμενοι τρόποι αγκύρωσης

Παρατείνεται σχηματική αναπαράσταση των πιθανών μορφών διατμητικής ενίσχυσης δοκών Ο.Σ υφιστάμενης κτιριακής κατασκευής, με χρήση ινοπλισμένων Πολυμερών (FRP)



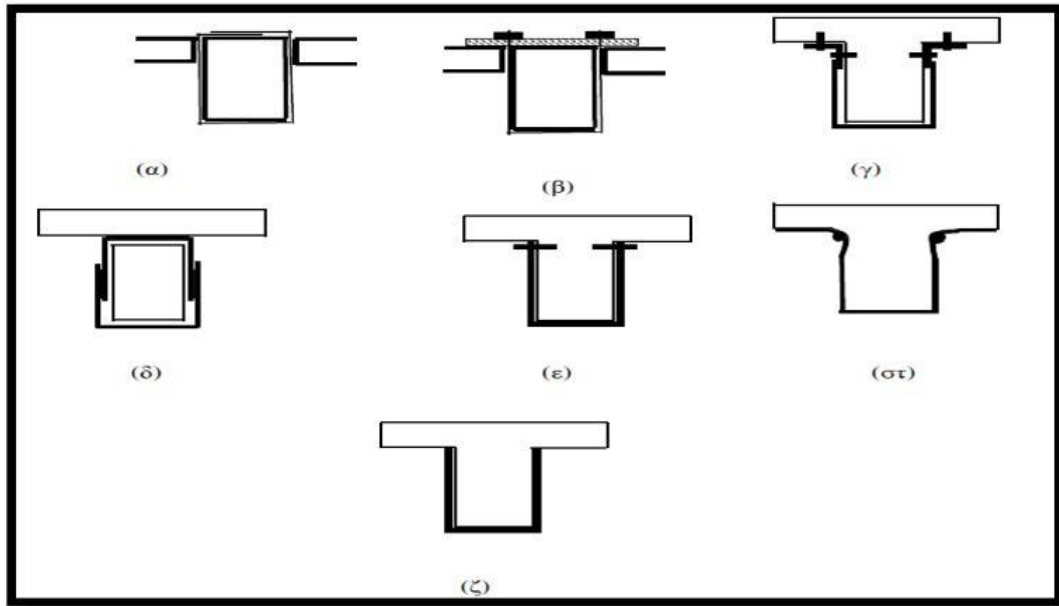
**ΣΧΗΜΑ 4.:** Σχηματική αναπαράσταση πιθανών μορφών διατμητικής ενίσχυσης δοκών.

#### ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ (ΚΑΝ.ΕΠΕ)

Συνιστάται η επιδίωξη «κλειστών» ενισχύσεων με την μορφή ολόπλευρων μανδύων ή κολλάρων, που περιβάλλουν ολόκληρη τη διατομή του στοιχείου. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, απαιτείται η πλήρης αγκύρωση του διατμητικού σπλισμού της «ανοικτής» ενίσχυσης (κάλυψη τουλάχιστον τριών πλευρών του αρχικού στοιχείου με υλικό ενίσχυσης) στο υφιστάμενο σκυρόδεμα με πρόσθετα στοιχεία σύνδεσης, με επαρκή ικανότητα για την μεταφορά των δυνάμεων στο αρχικό στοιχείο. Δεν επιτρέπονται «ανοικτές» ενισχύσεις με ανεξάρτητα ελάσματα ή υφάσματα επικολημένα στις παρειές του στοιχείου: «Ανοικτές» ενισχύσεις επιτρέπονται μόνο υπό μορφή συνεχούς U (δεν επιτρέπονται δίπλευρες ενισχύσεις). Κατά παρέκκλιση, επιτρέπεται η εφαρμογή «ανοικτών» ενισχύσεων με αγκύρωση χωρίς πρόσθετα ακραία στοιχεία σύνδεσης, αλλά μόνο μέσω εποξειδικής κόλλας υπό τις ακόλουθες σύγχρονες προϋποθέσεις:

- Το ύψος του αρχικού στοιχείου που διατίθεται για την επικόλληση του στοιχείου ενίσχυσης είναι επαρκές για την εξασφάλιση της δύναμης η οποία ζητείται να αναληφθεί από τους νέους συνδετήρες
- Η ικανότητα του αρχικού στοιχείου χωρίς ενίσχυση είναι επαρκής για τον συνδυασμό φόρτισης  $G + \psi 2Q$ .
- Ο ποιοτικός έλεγχος των εργασιών είναι υψηλής στάθμης.

Στο σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζονται ορισμένοι τρόποι ενίσχυσης έναντι ανεπάρκειας σπλισμού διάτμησης:



**ΣΧΗΜΑ 5.:** Ενδεικτικοί τρόποι ενίσχυσης έναντι ανεπάρκειας οπλισμού διάτμησης. (α), (β) «κλειστή» ενίσχυση, (γ), (δ), (ε), (στ) «ανοιχτή» ενίσχυση με αγκυρωμένα άκρα και (ζ) «ανοιχτή» ενίσχυση αποδεκτή κατά παρέκκλιση και υπό τις προϋποθέσεις του προηγούμενου σχολίου.

Στην περίπτωση ενίσχυσης με εξωτερικά στοιχεία ινοπλισμένα πολυμερή, η τέμνουσα αντοχής σχεδιασμού λόγω οπλισμού διάτμησης ( $V_{Rd3}$ ) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} + V_{jd}$$

όπου:

$V_{cd}$  και  $V_{wd}$ : οι τέμνουσες που αναλαμβάνουν το σκυρόδεμα και οι συνδετήρες του αρχικού στοιχείου αντίστοιχα.

$V_{jd}$ : η τέμνουσα που αναλαμβάνει ο νέος οπλισμός διάτμησης

Για στοιχεία με ορθογωνική διατομή:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} (\cot \theta + \cot \alpha) \sin^2 \alpha$$

όπου :

$n$ : αριθμός στρώσεων υλικού ενίσχυσης

$\sigma_{jd}$ : η τιμή σχεδιασμού της ενεργού τάσης του εξωτερικού σπλισμού διάτμησης

$\rho_j$ : είναι το γεωμετρικό ποσοστό του εξωτερικού σπλισμού

$b_w$ : το πλάτος της διατομής

$h_{j,ef}$ : το ενεργό (για την ανάληψη τέμνουσας) ύψος της ενίσχυσης

$\theta$ : η γωνία μεταξύ του άξονα του στοιχείου και της διεύθυνσης των αναμενόμενων λοξών ρωγμών, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ίση με  $45^\circ$

$\alpha$ : η γωνία του εξωτερικού σπλισμού διάτμησης ως προς τον διαμήκη άξονα του στοιχείου

Το ποσοστό ορίζεται ως:

$$\rho = \frac{2nA_j}{s_j b_w \sin \alpha}$$

όπου:

$t_j$ : το πάχος του εξωτερικού σπλισμού

$w_j$ : το πλάτος του εξωτερικού σπλισμού στην περίπτωση λωρίδων

$s_j$ : η αξονική απόσταση του εξωτερικού σπλισμού στην περίπτωση λωρίδων

Για συνεχή φύλλα  $t_j = A_j / s_j$  και  $w_j = s_j$

Για  $\theta = 45^\circ$  και  $\alpha = 90^\circ$  η σχέση απλοποιείται:

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} = 2nA_j \sigma_{jd} h_{j,ef} / s_j$$

Μπορεί να θεωρηθεί  $h_{j,ef} = 2/3d$  όπου  $d$  είναι το στατικό ύψος του στοιχείου.

#### **A) Αστοχία του ίδιου του υλικού ενίσχυσης (ΚΛΕΙΣΤΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ)**

Έναντι αυτής, πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \frac{1}{\gamma_m} f_{jk}$$

όπου:

$f_{jk}$  : είναι η χαρακτηριστική τιμή αντοχής του υλικού ενίσχυσης

$\gamma_m$ : είναι ο συντελεστής ασφαλείας για το υλικό ενίσχυσης Στην περίπτωση που το υλικό ενίσχυσης είναι ινοπλισμένα πολυμερή (ΙΟΠ) λαμβάνεται

$$\gamma_m = \gamma_{\text{IOΠ}} = 1.2$$

$$\text{και } f_{jk} = E_j \varepsilon_{j, \text{crit}}$$

όπου

$E_j$ : είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης.

Όταν χρησιμοποιείται ινοπλισμένο πολυμερές, η αστοχία του υλικού μπορεί να συμβεί υπό παραμορφώσεις σημαντικά μικρότερες της συμβατικής παραμόρφωσης αστοχίας του υλικού (όπως αυτή προκύπτει από τις δοκιμές αξονικού εφελκυσμού), λόγω τοπικής υπερκαταπόνησης στην θέση όπου γεφυρώνεται το μεγαλύτερο άνοιγμα μιας κρίσιμης διατμητικής ρωγμής. Έναντι αυτού του δυσμενούς ενδεχομένου, λαμβάνεται :

$$\varepsilon_{j, \text{crit}} = k_v \varepsilon_{j, \text{max}}$$

όπου:

$k_v$ : είναι ο συντελεστής που εκφράζει την περίπου τριγωνική κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος της κρίσιμης λοξής ρωγμής και λαμβάνεται  $k_v = 1/2$ .

$$\varepsilon_{j, \text{max}} = \varepsilon_{ju} \psi \leq 1.5\%$$

όπου:

$\varepsilon_{ju}$ : η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του υλικού  $\psi$ : ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων.

Η μέγιστη τιμή  $\varepsilon_{j, \text{max}} = 1.5\%$  στοχεύει στον περιορισμό του ανοίγματος μιας κρίσιμης λοξής ρωγμής πέραν της οποίας μειώνεται η συμβολή του σκυροδέματος (Vc) στην διατμητική

αντοχή του μέλους, η δε αστοχία συμβαίνει πριν από την εξάντληση της αντοχής του υλικού ενίσχυσης.

### **B) Πρόωρη αποκόλληση του υλικού ενίσχυσης λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης των άκρων του (ΑΝΟΙΧΤΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ)**

Έναντι αυτής της αστοχίας πρέπει:

$$\sigma_{jd} \leq \sigma_{j,crit} / \gamma_{Rd}$$

όπου  $\gamma_{Rd}$ : είναι κατάλληλος συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος.

Αυτή η μορφή αστοχίας αφορά μόνο τις κατά παρέκκλιση επιτρεπόμενες ανοικτές ενισχύσεις που δεν έχουν πρόσθετα ακραία στοιχεία αγκύρωσης, και η αγκύρωση των άκρων τους εξασφαλίζεται μόνο με πρόσφυση μέσω εποξειδικής κόλλας. Στην περίπτωση «κλειστών» ενισχύσεων, η αστοχία αυτή αποφεύγεται εξασφαλίζοντας την περιμετρική συνέχεια του στοιχείου ενίσχυσης. Η περιμετρική συνέχεια θεωρείται ότι εξασφαλίζεται μέσω επαρκούς (της τάξεως των 150mm) υπερκάλυψης των δύο άκρων του υφάσματος σύνθετου υλικού. «Ανοικτές» ενισχύσεις μπορεί να θεωρηθούν ως οιονεί «κλειστές», εάν εξασφαλίζεται η πλήρης αγκύρωση των άκρων τους στα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος, ελέγχοντας και όλους τους ενδεχόμενους τρόπους αστοχίας των στοιχείων αγκύρωσης. Ο συντελεστής αβεβαιότητας του προσομοιώματος,  $\gamma_{Rd}$ , λαμβάνεται ίσος με 1.2. Οι τιμές των  $\sigma_{j,crit}$  ή  $\epsilon_{j,crit}$  προσδιορίζονται με χρήση αξιόπιστων δεδομένων της διεθνούς βιβλιογραφίας. Ελλείψει τέτοιων δεδομένων μπορεί να θεωρηθεί ως:

$$\sigma_{j,crit} = k_v \sigma_{j,max}$$

με:

$$k_v = 0.40 + 0.25 \lambda \leq 0.65$$

όπου :

$L_{av} = h_{j,ef}$  : είναι το διατιθέμενο μήκος αγκύρωσης του οπλισμού ενίσχυσης  $L_e$ : είναι το αντίστοιχο ενεργό μήκος αγκύρωσης (δηλ. το μήκος αγκύρωσης πέραν του οποίου η αναλαμβανόμενη δύναμη από το υλικό ενίσχυσης δεν αυξάνεται) και μπορεί να ληφθεί από την σχέση :

$$L_e = \sqrt{\frac{E_f t_f}{2 f_{ctm}}}$$

$$\sigma_{j,max} = \beta \frac{\tau_b^{\alpha_{\text{ΠΟΚ}}}}{t_j} L_e$$

$$\tau_b^{\alpha_{\text{ΠΟΚ}}} = f_{ctm}$$

$t_j$  : το πάχος του υλικού ενίσχυσης

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται  $k$  επάλληλες στρώσεις υλικού ενίσχυσης πάχους  $t_{j1}$ , λαμβάνεται  $t_j = \psi k t_{j1}$ , όπου  $\psi < 1$  είναι ο μειωτικός συντελεστής πολλών στρώσεων

$$\beta = \beta_w \beta_L$$

είναι ο διορθωτικός συντελεστής

$$\beta_w = \sqrt{(2 - w_j / s_j \sin a) / (1 + w_j / s_j \sin a)}$$

$\beta_w$ : ο συντελεστής επιρροής πλάτους οπλισμού ενίσχυσης, ίσος με 1/ για ενίσχυση με συνεχή φύλλα ή υφάσματα

$$\beta_L = \sin(\pi \lambda / 2) = \lambda(2 - \lambda)$$

$\beta_L$ : ο συντελεστής επιρροής διατιθέμενου μήκους αγκύρωσης, με  $\beta_L = 1$  αν  $\lambda \geq 1.0$

## 1.5. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Συνοπτικά, η διαδικασία εφαρμογής σύνθετων υλικών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Καθαίρεση του επιχρίσματος
- Αποκατάσταση των ενδεχόμενων βλαβών με χρήση κατάλληλης μεθόδου
- Προετοιμασία της επιφάνειας του δομικού στοιχείου (εξομάλυνση της επιφάνειας, λάξευση γωνιών κτλ.)

- Επάλειψη της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με εποξειδική ρητίνη ή άλλη κατάλληλη συγκολλητική ουσία
- Τοποθέτηση της πρώτης στρώσης ινοπλισμένου πολυμερούς στη διεπιφάνεια του δομικού στοιχείου. Συνιστάται η πλήρης επαφή του δομικού στοιχείου με το σύνθετο υλικό
- Τοποθέτηση ειδικών αγκυρίων όπου απαιτείται
- Τοποθέτηση επιπλέον στρώσεων σύνθετου υλικού όταν απαιτείται
- Μετά τη σκλήρυνση του συστήματος, εφαρμογή επιχρίσματος και βαφή της επιφάνειας του δομικού στοιχείου με βάση αρχιτεκτονικές και αισθητικές προτιμήσεις



## **2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ**

### **2.1. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Στην παρούσα διπλωματική υιοθετήθηκαν οι παρακάτω συμβατικές τιμές:

- Οπλισμένο σκυρόδεμα C 20/25
- Οπλισμός σκυροδέματος S 500

### **2.2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αυτής ελήφθησαν στοιχεία και διατάξεις από τους εξής ισχύοντες κανονισμούς:

- EN 1991: Ευρωκώδικας 1: Βάσεις σχεδιασμού και δράσεις επί των κατασκευών
- EN 1992: Ευρωκώδικας 2: Σχεδιασμός κατασκευών από Σκυρόδεμα
- EN 1998: Ευρωκώδικας 8: Ευρωπαϊκός αντισεισμικός Κανονισμός
- Κανονισμός Επεμβάσεων

### **2.3. ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ**

Τα εξεταζόμενα φορτία στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής ελήφθησαν:

- Ίδια βάρη φέρουσας κατασκευής: Λαμβάνονται με βάση τα ίδια βάρη των δομικών υλικών.

- Πρόσθετα μόνιμα : 2 kN/m<sup>2</sup>
- Φορτίο Στέγης: Για στέγη κατηγορίας Η ,μη προσβάσιμη παρά μόνο για κανονική συντήρηση και επισκευή φορτίο 1 kN/m<sup>2</sup>
- Φορτίο χιονιού: Υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 1991-1-3. Τα φορτία χιονιού σε στέγες θα προσδιορίζονται ως εξής:

1. Για τις «με διάρκεια/παροδικές» καταστάσεις σχεδιασμού

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

Όπου:

$\mu_i$  : Ο συντελεστής σχήματος του φορτίου χιονιού (βλ. 5.3 και παράρτημα Β)

$s_k$  : Η χαρακτηριστική τιμή φορτίου χιονιού επί του εδάφους

$s_{Ad}$  : Η τιμή σχεδιασμού του εξαιρετικού φορτίου χιονιού επί του εδάφους για μια δεδομένη τοποθεσία (βλ. 4.3)

$C_e$  : Ο συντελεστής εκθέσεως

$C_t$  : Ο θερμικός συντελεστής

Βάσει του υπολογισμού αυτού λαμβάνεται ίσο με: 0,82 kN/m<sup>2</sup>

Επιπροσθέτως παρουσιάζονται και οι συνιστώμενες τιμές για τους συντελεστές  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  και  $\psi_2$  για κτίρια για διάφορες τοποθεσίες

Περιοχές	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Ισλανδία Νορβηγία Σουηδία Φινλανδία	0,70	0,50	0,20
Λοιπά κράτη μέλη της CEN, για περιοχές με υψόμετρο 1500m > H > 1000m	0,70	0,50	0,20
Λοιπά κράτη μέλη της CEN, για περιοχές με υψόμετρο 1000m > H	0,50	0,20	0,00

**ΣΧΗΜΑ 2.1:** Συνιστώμενες τιμές συντελεστών.

Στο υφιστάμενο μας κτίριο ανήκει στην 3<sup>η</sup> περιοχή με υψόμετρο  $H < 1000m$ .

- Ωφέλιμα φορτία δαπέδων γραφείων:

Με χρήση του πίνακα 6.1 του EN 1991-1-1

Λαμβάνονται ίσα με  $3.0 \text{ kN/m}^2$  για κατηγορία C1 που αφορά σχολικούς χώρους

- Σεισμολογικά στοιχεία:

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση εδάφους: 0,24g

Φάσμα EN 1998-1 τύπου I

Κατηγορία εδάφους B

Συντελεστής σπουδαιότητας: III

#### **2.4. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ – ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ**

Εξετάζονται οι παρακάτω οριακές καταστάσεις και συνδυασμοί:

##### **ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΟΚΑ):**

Βασικοί συνδυασμοί:

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S$$

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot 0,7 Q + 1,5 \cdot S$$

Σεισμικοί συνδυασμοί:

$$1,0 \cdot G + 0,3 \cdot Q + E$$

Όπου

$$E = \pm E_x \text{ ή } E = \pm E_y$$

#### **ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ**

$$1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q + 1,0 \cdot S$$



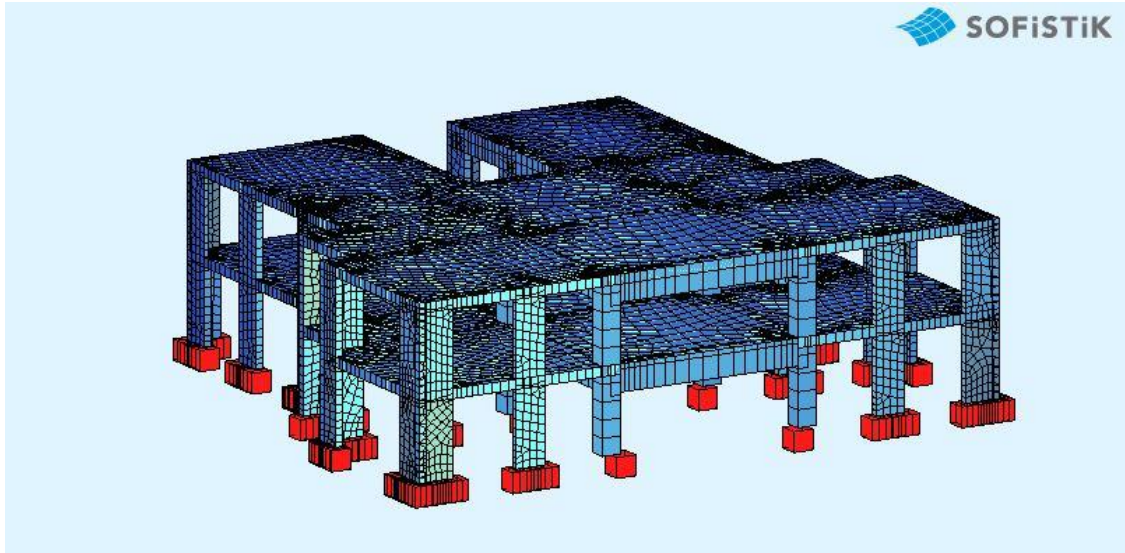
### **3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ**

#### **3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της αναλυτικής προσομοίωσης με πεπερασμένα στοιχεία του κτιρίου με τη χρήση του *SOFISTIK*. Αναφέρονται τα υλικά, που εισάγονται στο μοντέλο με τα χαρακτηριστικά και τις αντοχές τους, οι διατομές των στοιχείων που χρησιμοποιούνται, καθώς και το είδος των χρησιμοποιούμενων πεπερασμένων στοιχείων.

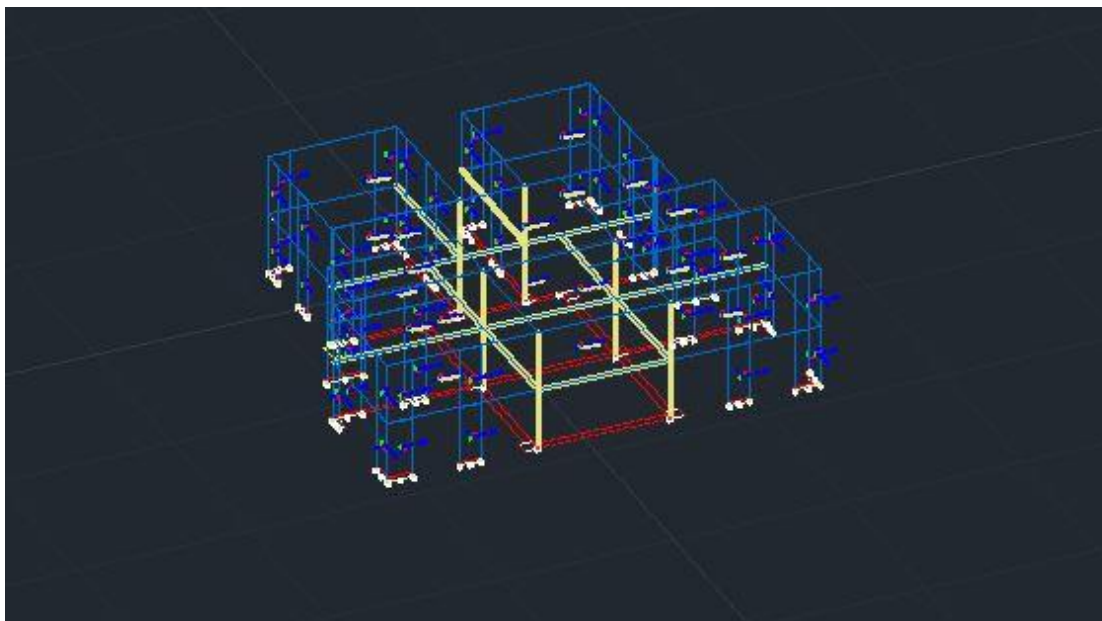
#### **3.2. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ**

Η φέρουσα κατασκευή είναι ένας διώροφος φορέας οπλισμένου σκυροδέματος. Πριν την ενίσχυση, αποτελείται από φέρουσες τοιχοποιίες οπλισμένου σκυροδέματος. Ανάλογα με τον τύπο των φερόντων στοιχείων, το προσομοίωμα αποτελείται από επιφανειακά (area elements) και γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία (beam elements). Τα τοιχώματα και τα δάπεδα προσομοιώνονται με επιφανειακά στοιχεία (area elements) με πάχος όσο και των πραγματικών στοιχείων, ενώ ο σκελετός των δοκών και υποστυλωμάτων από γραμμικά στοιχεία (beam elements) με τις διατομές αντιστοίχως ίσες με τις πραγματικές.



**ΣΧΗΜΑ 3.1:** Απεικόνιση αναλυτικού προσωμιώματος.

Όσον αφορά στις συνθήκες στήριξης, τα τοιχώματα και τα υποστυλώματα του ισογείου υπολογίζονται ως πακτωμένα στην βάση τους στο έδαφος, καθώς δεν εξετάζεται η απόκριση του υπογείου στην παρούσα διπλωματική εργασία. Πιο συγκεκριμένα, τα τοιχώματα πακτώνονται με "support line" σε όλο το μήκος τους, ενώ τα υποστυλώματα με σημειακές πακτώσεις. Οι συνδέσεις μεταξύ στοιχείων του σκελετού, καθώς και αυτές με τις φέρουσες τοιχοποιίες, θεωρούνται συνεχείς.



**ΣΧΗΜΑ 3.2:** Απεικόνιση συνθηκών στήριξης υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων.



Τα υλικά που εισήχθησαν στο πρόγραμμα είναι τυποποιημένα:

- Σκυρόδεμα (C20/25)
- Χάλυβα οπλισμού (S500)

Για το προσομοίωμα μετά την αρχιτεκτονική τροποποίηση και την ενίσχυση που επιλέχθηκε, επειδή δεν υπάρχει τυποποιημένο υλικό ούτε ελάσματος, ούτε υφάσματος FRP, χρησιμοποιήθηκε σαν υλικό ένας χάλυβας υψηλής κατηγορίας στον οποίον έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις, προκειμένου να αποκτήσει μέτρο ελαστικότητας και τις αντοχές που έχουν αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την ενίσχυση σε διάτμηση επιλέγεται ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διεύθυνσεως, SikaWrap® -600 C

Τεχνικά Χαρακτηριστικά			
Βάρος Υφάσματος	625 g/m <sup>2</sup> ± 35 g/m <sup>2</sup> (συνολικό επιφανειακό βάρος)		
	600 g/m <sup>2</sup> ± 30 g/m <sup>2</sup> (καθαρό βάρος ινών άνθρακα)		
Σχεδιαστικό Πάχος Υφάσματος	0.331 mm (βασισμένο σε συνολικό περιεχόμενο άνθρακα).		
Πυκνότητα Ινών	1.81 g/cm <sup>3</sup>		
Μηχανικές / Φυσικές Ιδιότητες			
Ιδιότητες Ινών	Τιμές κατά την διαμήκη διεύθυνση των ινών (σύμφωνα με το EN 2561)		
	Μέτρο Ελαστικότητας	Ελάχιστη Τιμή:	242'000 N/mm <sup>2</sup>
	Εφελκυστική Αντοχή	Ελάχιστη Τιμή:	3'800 N/mm <sup>2</sup>
	Επιμήκυνση θραύσεως:	1.55 %	
Ιδιότητες Ινωπλισμένων Πολυμερών (ΙΩΠ)	Τιμές κατά τη διαμήκη διεύθυνση των ινών (σύμφωνα με το ISO 527)		
	Μονή στρώση, (10 δείγματα ανά σειρά δοκιμών)		
(σχετιζόμενες με το ενεργό πάχος της διαστρωμάτωσης)	Ρητίνη εμποτισμού	Sikadur®-300	
	Πάχος διαστρωμάτωσης (ονομαστικό)	1.3 mm	
Επιλέξτε ένα τύπο από τις ιδιότητες της διαστρωμάτωσης	Σχεδιαστικό για πλάτος 1000 mm		1300 mm <sup>2</sup>
	Μέτρο Ελαστικότητας (εφελκυστικό)	Μέση	61.5 kN/mm <sup>2</sup>
		Χαρακτηριστική	53.8 kN/mm <sup>2</sup>
	Εφελκυστική Αντοχή	Μέση	730 N/mm <sup>2</sup>
Χαρακτηριστική		654 N/mm <sup>2</sup>	

**ΣΧΗΜΑ 3.3:** Τεχνικά χαρακτηριστικά επιλεχθέντος υφάσματος SikaWrap® -600 C .

Τα φορτία που εισήχθησαν στα προσομοιώματα είναι αυτά που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και στη μελέτη ενίσχυσης. Τα ίδια βάρη των στοιχείων υπολογίστηκαν αυτόματα από το πρόγραμμα, ενώ για τα κινητά φορτία εισήχθησαν οι τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε χώρο του προσομοιώματος σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα για σχολικές εγκαταστάσεις. Για την καλύτερη κατανομή των φορτίων χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες διανομής ( *load distribution areas* ).

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας , η απόκτηση των σχεδίων και ιδιαίτερα αυτών που αφορούσαν και αναπαραστούσαν τους ξυλοτύπους των οπλισμών ήταν αδύνατη. Έγινε, λοιπόν, η εξής απλουστευτική παραδοχή:

Για Το υφιστάμενο κτίριο το οποίο εισήχθη στο πρώτο προσομοίωμα και διαστασιολογήθηκε σύμφωνα με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 ( Βασιλικό Διάταγμα της 19/26.2.1959) καθώς και τον Κανονισμό Ο.Σ. του 1954 (Βασιλικό Διάταγμα της 18.2/26.7.1954), εξήχθησαν τα εντατικά μεγέθη και θεωρήθηκε 'οτι ήταν διαστασιολογημένο έτσι, ώστε να επαρκεί στις δρώσες καταπονήσεις. Δηλαδή απομονώνοντας το κάθε μέλος του σκελετού, θεωρήθηκε ότι ο οπλισμός είναι τόσο, ώστε να καλύψει τα δρώντα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται, συνυπολογίζοντας και τις επιμέρους κατασκευαστικές αλλά και τις ελάχιστες απαιτήσεις.

Όσον αφορά στο δεύτερο προσομοίωμα , μετά τις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις, εξήχθησαν εκ νέου τα εντατικά μεγέθη για τους συνδυασμούς φορτίσεων και τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα. Έτσι, λοιπόν, η διαφορά στα εντατικά μεγέθη που παρατηρήθηκε μεταξύ των δύο προσομοιωμάτων, είναι η αντοχή εκείνη που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός της ενίσχυσης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι έγινε έλεγχος περιορισμού βλαβών, έλεγχος βελών και έλεγχος απαλλαγής από φαινόμενα δευτέρας τάξεως (αποτελέσματα P-Δ) και στους δύο ορόφους.

## 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

### 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε κάθε ένα από τα δύο προσομοιώματα για τους στατικούς και σεισμικούς συνδυασμούς, που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Εφαρμόστηκαν Ελαστικές Γραμμικές Μέθοδοι ανάλυσης, λόγω της αδυναμίας εξασφάλισης των σχεδίων των ξυλοτύπων. Οι έλεγχοι γίνονται σε όρους εντατικών μεγεθών. Για την ανάλυση, την διαστασιολόγηση και τον έλεγχο λοιπόν των ενισχύσεων ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Για το υφιστάμενο κτίριο, το οποίο είχε διαστασιολογηθεί σύμφωνα με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 ( Βασιλικό Διάταγμα της 19/26.2.1959), καθώς και τον Κανονισμό Ο.Σ. του 1954 (Βασιλικό Διάταγμα της 18.2/26.7.1954), πραγματοποιήθηκε γραμμική ελαστική ανάλυση για τις στατικές φορτίσεις για συνδυασμό G+Q. Τα εντατικά μεγέθη που εξήχθησαν θεωρήθηκαν ως αντοχές για τις πλάκες και τα δοκάρια, καθώς τότε οι κανονισμοί δε μελετούσαν αντισεισμικά τα μέλη αυτά.

Έπειτα, για το τροποποιημένο μοντέλο, μετά την αφαίρεση των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε επίσης γραμμική ελαστική ανάλυση για τις στατικές φορτίσεις, αλλά και ιδιομορφική ελαστική ανάλυση για τη σεισμική φόρτιση. Από αυτές, υπολογίστηκαν τα μέγιστα εντατικά μεγέθη, οι μέγιστες οριζόντιες μετακινήσεις ορόφων σε κατάσταση αστοχίας, αλλά και τα κατακόρυφα βέλη σε κατάσταση λειτουργικότητας και παρατηρήθηκαν τα κρίσιμα μέλη του φορέα.

Έχοντας εξάγει, λοιπόν, τα παραπάνω μεγέθη, αρχικά γίνεται έλεγχος περιορισμού βλαβών, βελών και αποτελεσμάτων P-Δ, ώστε να αποκλειστεί η απαίτηση για αύξηση της δυσκαμψίας των μελών με πρόσθετα χαλύβδινα μέλη και οριζόντιους συνδέσμους δυσκαμψίας.

Εφόσον ικανοποιήθηκαν οι παραπάνω έλεγχοι, αποφασίσθηκε η χρήση ινοπλισμένων πολυμερών για την ανάληψη της επιπλέον έντασης. Σε φάση

προμελέτης χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι του ΚΑΝ.ΕΠΕ. για την προδιαστασιολόγηση των FRP, όπως παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τέλος για τις νέες, μετά την ενίσχυση διατομές έγινε μη γραμμικός έλεγχος κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. των μεγεθών M-θ των υποστυλωμάτων, Ροπής αντοχής - γωνίας στροφής.

## 4.2. ΈΛΕΓΧΟΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

### 4.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η απαίτηση μη-κατάρρευσης (οριακή κατάσταση αστοχίας) υπό την σεισμική κατάσταση σχεδιασμού θεωρείται ότι ικανοποιείται εάν πληρούνται οι ακόλουθες συνθήκες:

**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΥΤΕΡΑΣ ΤΑΞΕΩΣ (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ Ρ-Δ) ΔΕΝ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ ΕΑΝ Η ΑΚΟΛΟΥΘΗ ΣΥΝΘΗΚΗ ΙΚΑΝΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΕ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΟΡΟΦΟΥΣ:**

$$\theta = \frac{P_{\text{tot}} \cdot d_r}{V_{\text{tot}} \cdot h} \leq 0,10$$

όπου

- $\theta$  είναι ο συντελεστής ευαισθησίας σχετικής μετακίνησης του ορόφου
- $P_{\text{tot}}$  είναι το συνολικό φορτίο βαρύτητας στην σεισμική κατάσταση σχεδιασμού του ορόφου που εξετάζεται και των υπερκείμενων ορόφων
- $d_r$  είναι η τιμή σχεδιασμού της σχετικής μετακίνησης του ορόφου, που λαμβάνεται ως η διαφορά των μέσων οριζόντιων μετακινήσεων  $d_s$  των δαπέδων του υπό εξέταση ορόφου
- $V_{\text{tot}}$  είναι η συνολική σεισμική τέμνουσα του ορόφου, και
- $h$  είναι το ύψος του ορόφου

$$d_s = q_d d_e$$

όπου

- $d_s$  είναι η μετακίνηση σημείου του στατικού συστήματος που προκαλείται από τη σεισμική δράση σχεδιασμού
- $q_d$  είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς μετακίνησης, που λαμβάνεται ίσος με τον  $q$  εκτός αν ορίζεται διαφορετικά

$d_e$  είναι η μετακίνηση του ίδιου σημείου του στατικού συστήματος, όπως προσδιορίζεται από την γραμμική ανάλυση βασισμένη στο φάσμα απόκρισης σχεδιασμού

Για τον 1<sup>ο</sup> όροφο προκύπτει:

Κατά την διεύθυνση  $\gamma$ :

- $P_{\text{tot}} = 14403 \text{ kN}$
- $V_{\text{tot}} = 3786.3 \text{ kN}$
- $dr = 7,89 \text{ mm}$
- $\theta = 0.857 \% < 10\%$  ο έλεγχος ικανοποιείται

Κατά την διεύθυνση  $\chi$ :

- $P_{\text{tot}} = 14403 \text{ kN}$
- $V_{\text{tot}} = 2500 \text{ kN}$
- $dr = 6,86 \text{ mm}$
- $\theta = 1,12 \% < 10\%$  ο έλεγχος ικανοποιείται

Για το δεύτερο όροφο:

Κατά την διεύθυνση  $\gamma$ :

- $P_{\text{tot}} = 7201,5 \text{ kN}$
- $V_{\text{tot}} = 3786.3 \text{ kN}$
- $dr = 18,7 - 7,89 = 10,81 \text{ mm}$
- $\theta = 0.529 \% < 0.10$  ο έλεγχος ικανοποιείται

Κατά την διεύθυνση  $\chi$ :

- $P_{\text{tot}} = 7201,5 \text{ kN}$
- $V_{\text{tot}} = 2500 \text{ kN}$
- $dr = 16,6 - 6,86 = 9,74 \text{ mm}$
- $\theta = 1,12 \% < 10\%$  ο έλεγχος ικανοποιείται

#### 4.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΒΛΑΒΩΝ

#### 4.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

(1) Η "απαίτηση περιορισμού βλαβών" θεωρείται ότι ικανοποιείται, εάν, υπό σεισμική δράση με μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης από την σεισμική δράση σχεδιασμού που αντιστοιχεί στη "απαίτηση μη-κατάρρευσης", οι σχετικές παραμορφώσεις των ορόφων περιορίζονται .

(2) Πρόσθετοι έλεγχοι περιορισμού βλαβών σε περιπτώσεις κτιρίων σημαντικών για την αστική ασφάλεια ή που περιέχουν ευαίσθητο εξοπλισμό, είναι πιθανόν αναγκαίοι.

#### 4.3.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΟΡΟΦΟΥ

(1) α τηρούνται τα ακόλουθα όρια:

για κτίρια με μη-φέροντα στοιχεία από ψαθυρό υλικό συνδεδεμένα με τον φορέα:

$$d_r \nu \leq 0,005 h;$$

όπου

$d_r$  είναι η τιμή σχεδιασμού της σχετικής παραμόρφωσης ορόφου

$h$  είναι το ύψος του ορόφου

$\nu$  είναι συντελεστής μείωσης που λαμβάνει υπόψη τη μικρότερη περίοδο επαναφοράς της σεισμικής δράσης που συνδέεται με την απαίτηση περιορισμού βλαβών

Για το κτίριο μας , για κατηγορία σπουδαιότητας III  $\nu = 0,5$

Προκύπτει λοιπόν:

Για την διεύθυνση χ:

Για τον 2<sup>ο</sup> όροφο:

- $d_r = 16.8 - 6.86 \text{ mm} = 9.74 \text{ mm}$
- $h = 3500 \text{ mm}$

Άρα:

$$0,5 \times 9,74 = 4,87$$

Και

$$0,005 \times 3500 = 17,5$$

$$4,87 < 17,5$$

✓ ο έλεγχος ικανοποιείται

Για τον 1<sup>ο</sup> όροφο(ισόγειο) :

- $d_r = 6.86 \text{ mm}$
- $h = 3500 \text{ mm}$

Άρα

$$0,5 \times 6.86 = 3.42 < 17.5$$

✓ ο έλεγχος ικανοποιείται

Για την διεύθυνση γ:

Για τον 2<sup>ο</sup> όροφο:

- $d_r = 18.7 - 7.89 = 10.81$

$$\text{Ομοίως προκύπτει: } 10,81 * 0,5 = 5,4 < 17,5$$

✓ ο έλεγχος ικανοποιείται

Για τον 1<sup>ο</sup> όροφο(ισόγειο)

- $d_r = 7.89$

$$\text{Ομοίως προκύπτει } 7,89 * 0,5 = 3,945 < 17,5$$

✓ ο έλεγχος ικανοποιείται

#### 4.3.4. Όρια βελών, δοκών και πλακών

Η εμφάνιση και η ενγένει χρησιμότητα μιας κατασκευής μπορεί να βλαφτεί όταν η υπολογιζόμενη βύθιση μιας δοκού, πλάκας, ή προβόλου υπό τα οιονεί-μόνιμα φορτία υπερβαίνει το 1/250 του ανοίγματος. Η βύθιση μετράται ως προς τις στηρίξεις. Για τη μείωση ή και το μηδενισμό της βύθισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλη υπερύψωση, αλλά οιαδήποτε προς τα πάνω κλίση που θα δοθεί στον ξυλότυπο δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1/250 του ανοίγματος.

Οι παραμορφώσεις που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη σε γειτονικά μέρη του φορέα πρέπει να περιορίζονται. Για τη βύθιση μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, το όριο 1/500 είναι, υπό κανονικές συνθήκες, κατάλληλη τιμή για οιονεί-μόνιμα φορτία. Μπορεί να τεθούν και διαφορετικά όρια, σε συνάρτηση με την ευαισθησία των γειτονικών μερών.

Επομένως συνοπτικά:

- $a \leq 1/250$  για να μην βλαφθεί η εμφάνιση και η εν γένει χρησιμότητα τους
- $a \leq 1/500$  μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής για να μην βλαφθούν ευαίσθητα διαχωριστικά στοιχεία

Έγινε έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας και τα βέλη, τόσο των δοκών, όσο και των πλακών προέκυψαν εντός των επιτρεπτών ορίων.

## 4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

### 4.4.1. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ

#### 4.4.1.1. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Επιλέγεται για την καμπτική ενίσχυση τυποποιημένο έλασμα της εταιρίας SIKA, το

Sika® CarboDur® S με χαρακτηριστικές τιμές:

- Μέτρο ελαστικότητας  $E_j=165$  GPa
- Κρίσιμη παραμόρφωση  $\epsilon_{j,crit}=1.70\%$
- Εφέλκυστική Αντοχή  $f_{jk}=3100$  MPa

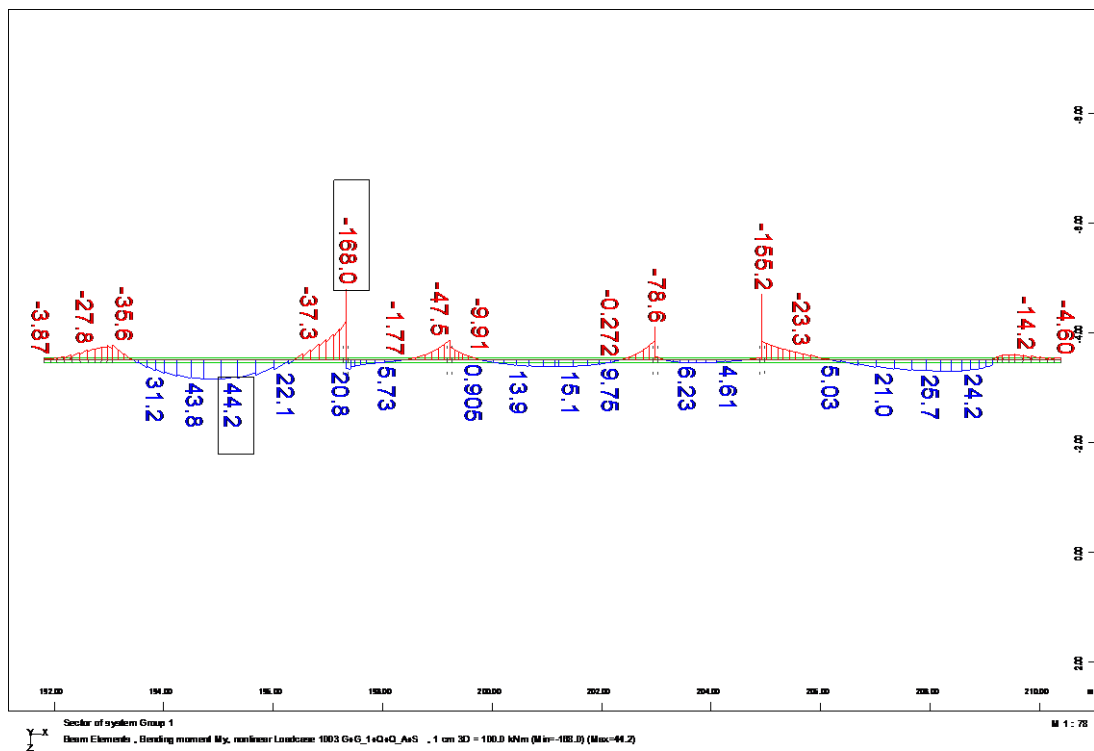


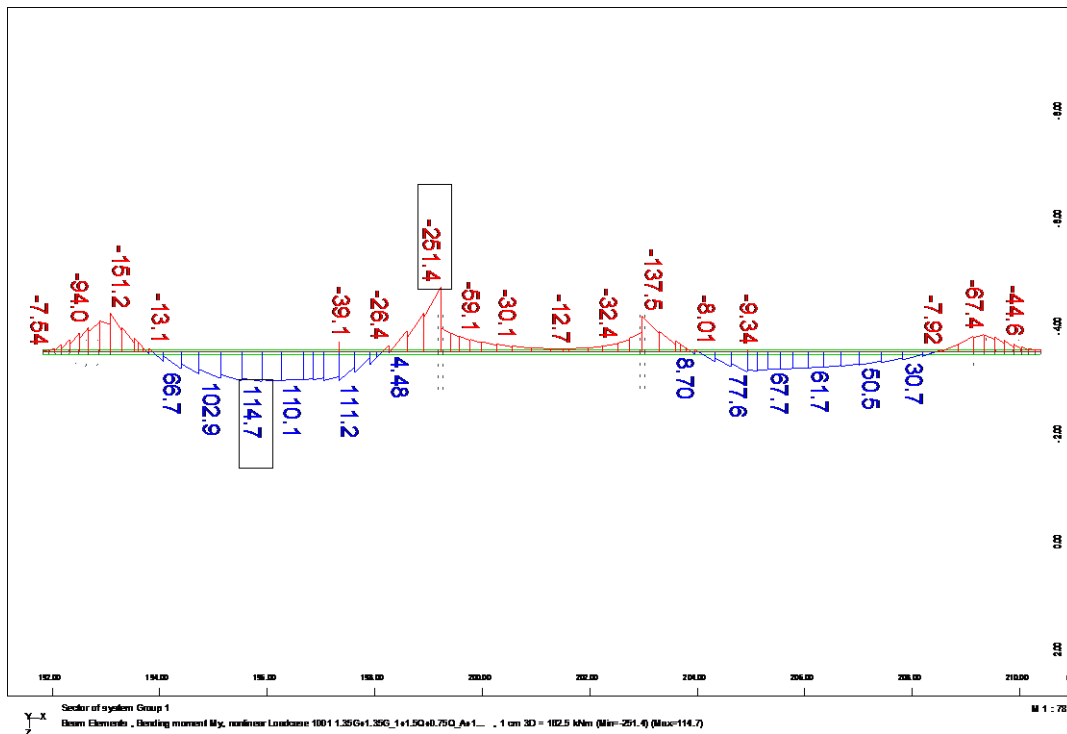
#### 4.4.1.1.1. Δοκοί ισογείου

Αρχικά παρουσιάζεται η δοκός από την οποία αποκόπτονται τα υποστυλώματα (Δ3)

Από το στατικό συνδυασμό: 1.35G+1.5q

Δ3 90/30





Παρατηρώντας τα διαγράμματα της καμπτικής ροπής, πριν και μετά τις τροποποιήσεις, γίνεται αντιληπτό ότι αλλάζει, εν μέρει, το στατικό προσομοίωμα. Επίσης:

- Οι παραμένουσες στηρίξεις επιβαρύνονται
- Το μήκος των ανοιγμάτων αυξάνεται
- Στην θέση των προηγούμενων στηρίξεων εμφανίζονται πλέον θετικές ροπές

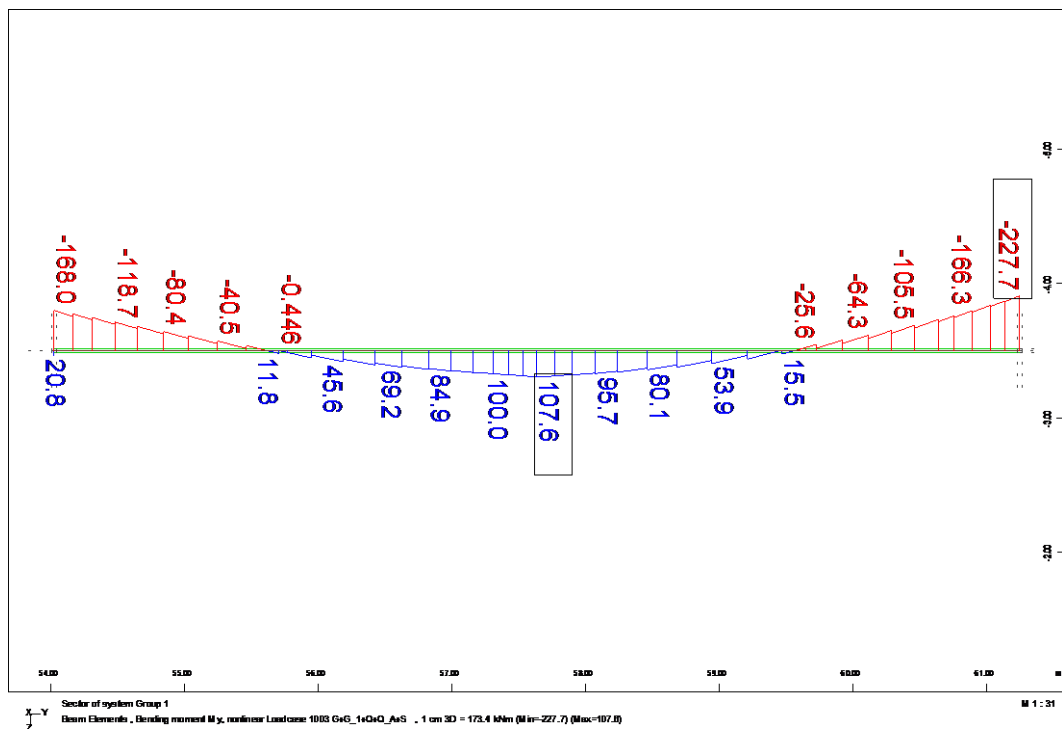
Για την αντιμετώπιση και την διαστασιολόγηση των ενισχύσεων γίνονται οι εξής παραδοχές:

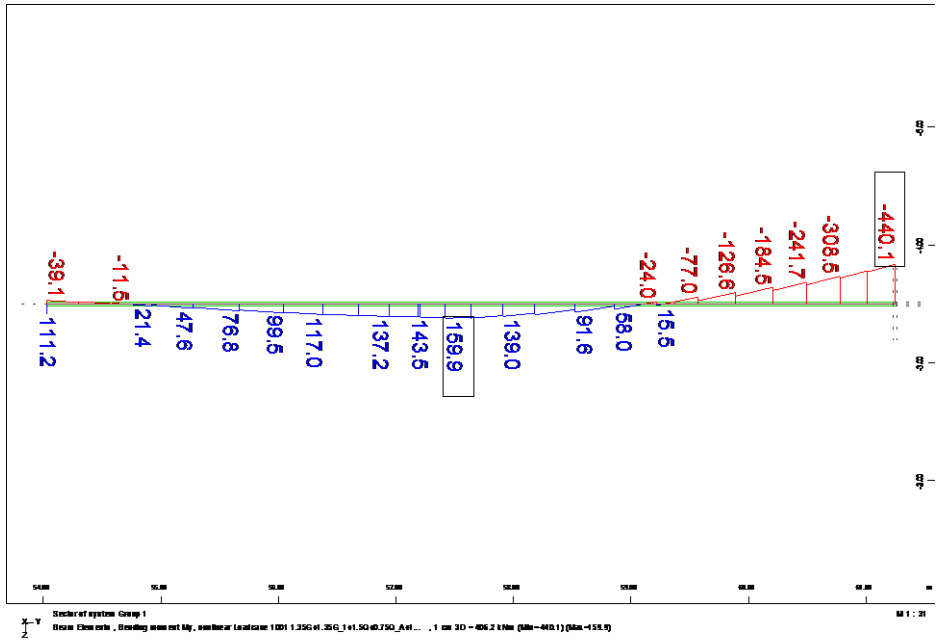
1. Η αντοχή έχει προκύψει από τα εντατικά μεγέθη του πρώτου προσομοιώματος
2. Στη θέση των στηρίξεων “ανεβαίνουν” τα μισά σίδερα του ανοίγματος, ενώ τα υπόλοιπα μισά συνεχίζουν να τρέχουν στο κάτω τμήμα της δοκού

Με χρήση των τύπων του ΚΑΝ.ΕΠΕ δημιουργήθηκε ένα φύλλο υπολογισμού Excel στο οποίο εισάγοντας τα μεγέθη πριν και μετά την επέμβαση, υπολογίζει τον απαιτούμενο σπλισμό των FRP.

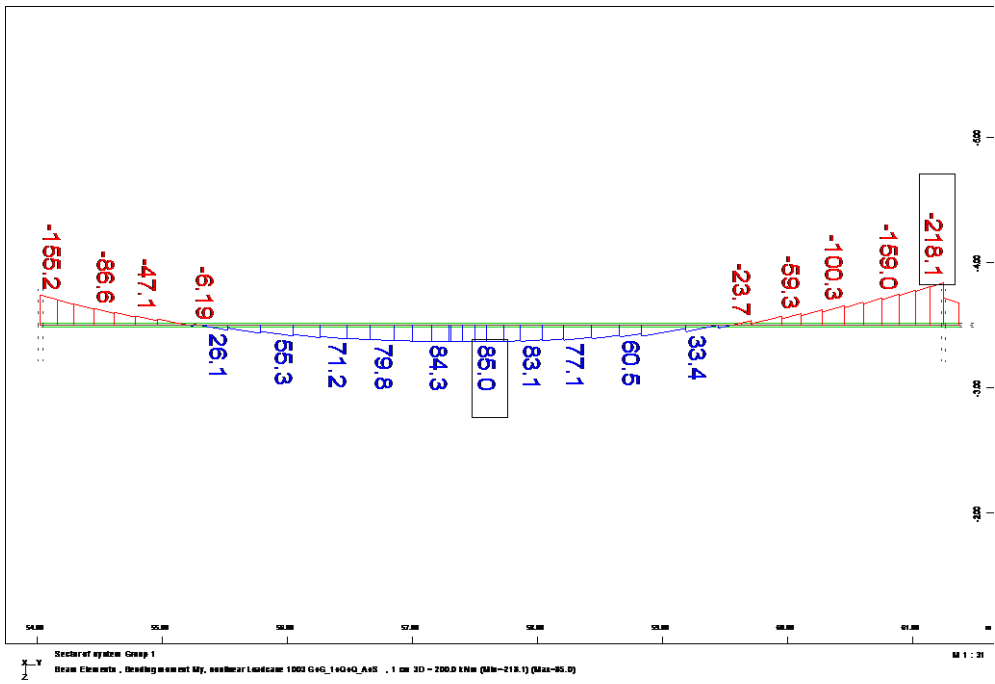
Διατομή	Αντοχή	Μγ μετά	ΔΜ	As FRP
Ανοιγμα 1	+44.6 kNm	+114.5 kNm	+69.9	38 mm <sup>2</sup>
Πρώην Γ	+44.6/2 kNm	+111.3 kNm	+89	48mm <sup>2</sup>
Παραμενουσα Α	-44.9 kNm	-251.4 kNm	206.5	111.54 mm <sup>2</sup>
Ανοιγμα 2	+15.4 kNm	-12.00 kNm	26	14 mm <sup>2</sup>
Παραμένουσα Β	-44.9 kNm	-251.4 kNm	209.5	111.54
Πρώην Δ	+44.6/2 kNm	+111.3 kNm	89	48
Άνοιγμα 3	+44.6 kNm	+114.5 kNm	69.9	38

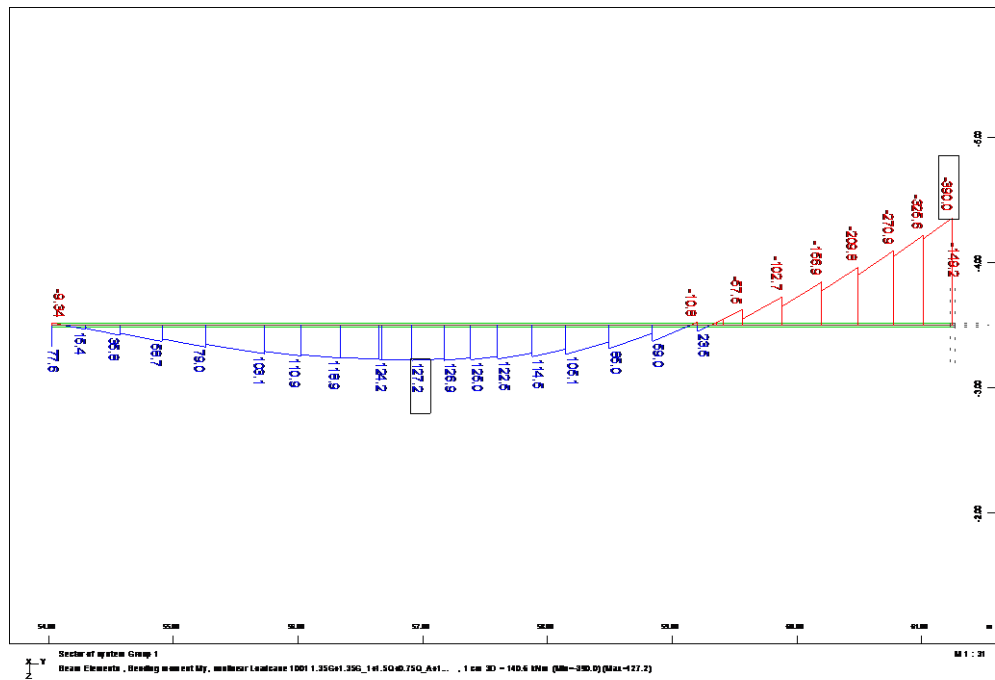
Δ10 120/45





Δ11 120/45

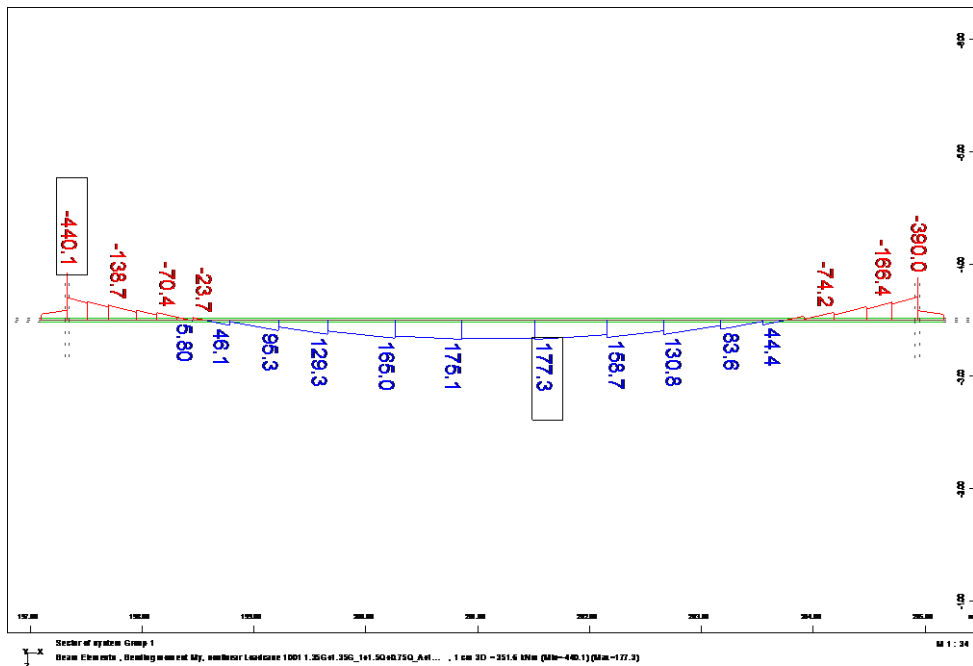
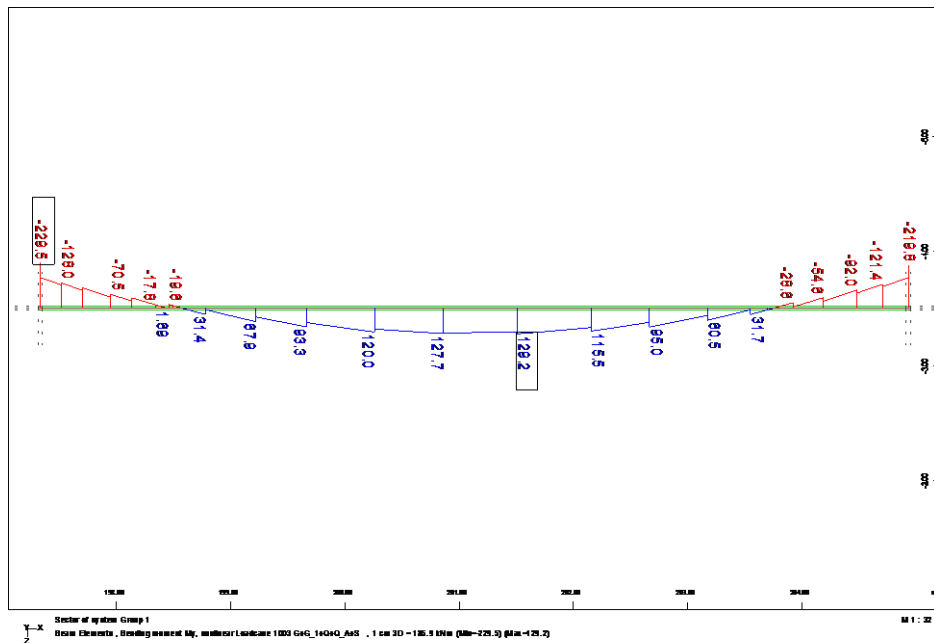




Για τις δοκούς Δ10 και Δ11 παρατηρούμε επίσης αλλαγή στο στατικό προσομοίωμα. Οι δύο δοκοί από αμφίπακτη συμπεριφορά τείνουν να συμπεριφερθούν σαν πρόβολοι. Γίνεται αντιληπτό από τα διαγράμματα, ότι αυξάνεται η ροπή στην παραμένουσα πάκτωση και στο άνοιγμα, ενώ στην διατομή της στηρίξεως που αφαιρείται η ροπή τείνει να μηδενιστεί. Αποφασίζεται, επομένως, η διατομή της στηρίξεως και του ανοίγματος, ενώ αυτή του πλέον ελεύθερου άκρου μένει ως έχει.

Διατομή	Αντοχή	Μγ μετά	ΔΜ	As FRP
Πάκτωση	229,5	440,1	210,5	95mm <sup>2</sup>
Άνοιγμα	104	160	66	30mm <sup>2</sup>
Ελεύθερο Άκρο	174	0	-	Δεν απαιτείται

ΔΟΚΟΣ 2 110/45

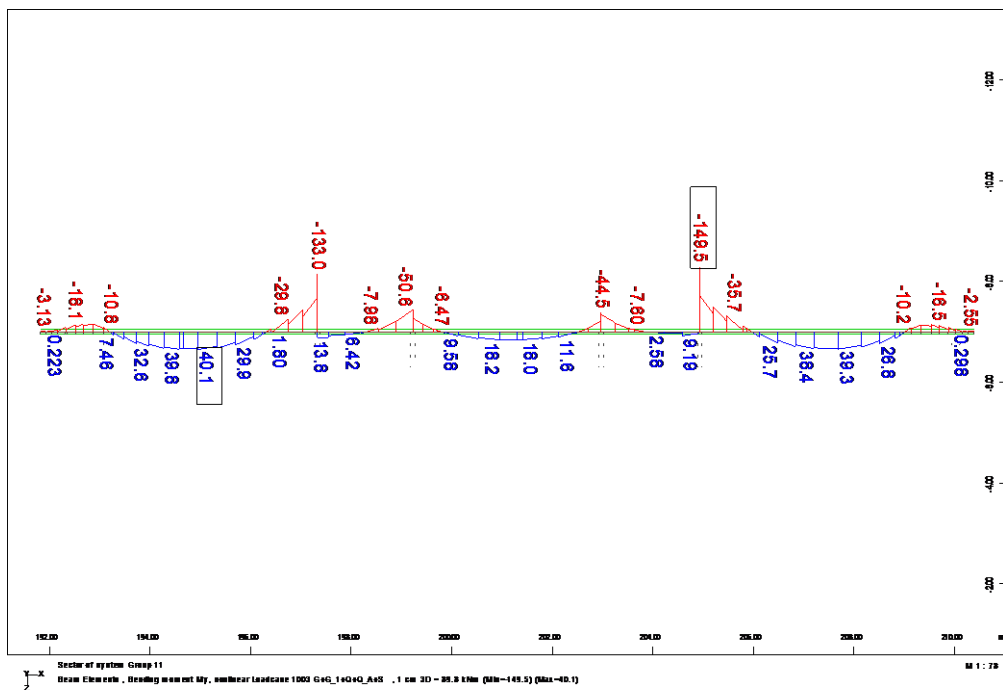


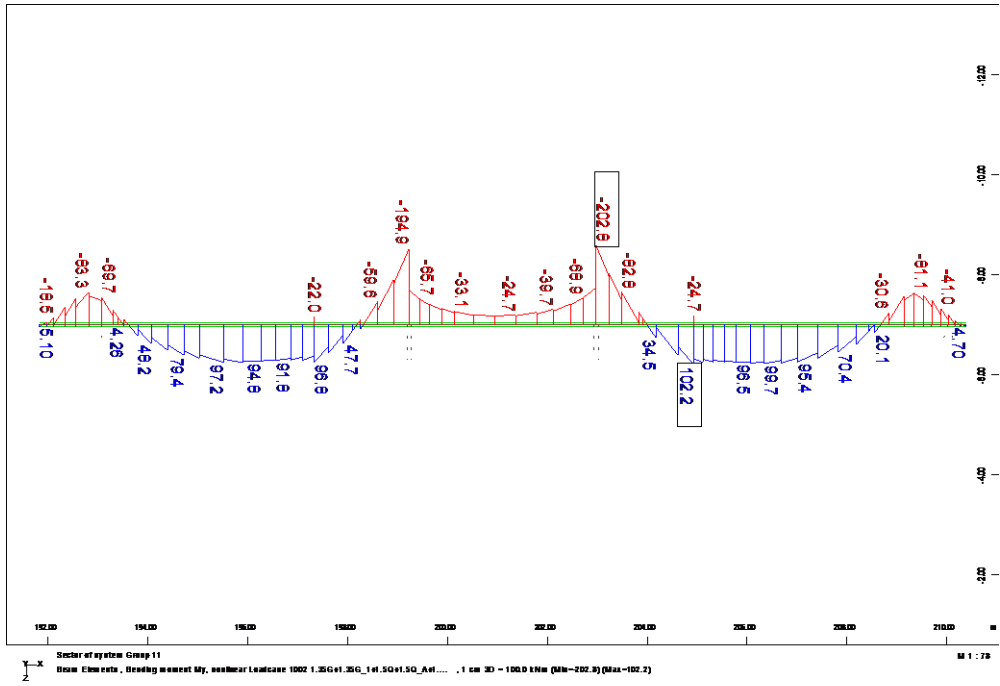
Στην δοκό Δ2 παρατηρούμε μείωση της ροπής του ανοίγματος με αποτέλεσμα να μη χρειάζεται ενίσχυση. Αντίθετα, γίνεται αντιληπτή σημαντική αύξηση της καταπόνησης στις διατομές των στηρίξεων.

Διατομή	Αντοχή	Μγ μετά	ΔΜ	As FRP
Στήριξη 1	229,5	440,1	210,6	93mm <sup>2</sup>
Άνοιγμα	192,2	177,3		Δεν απαιτείται

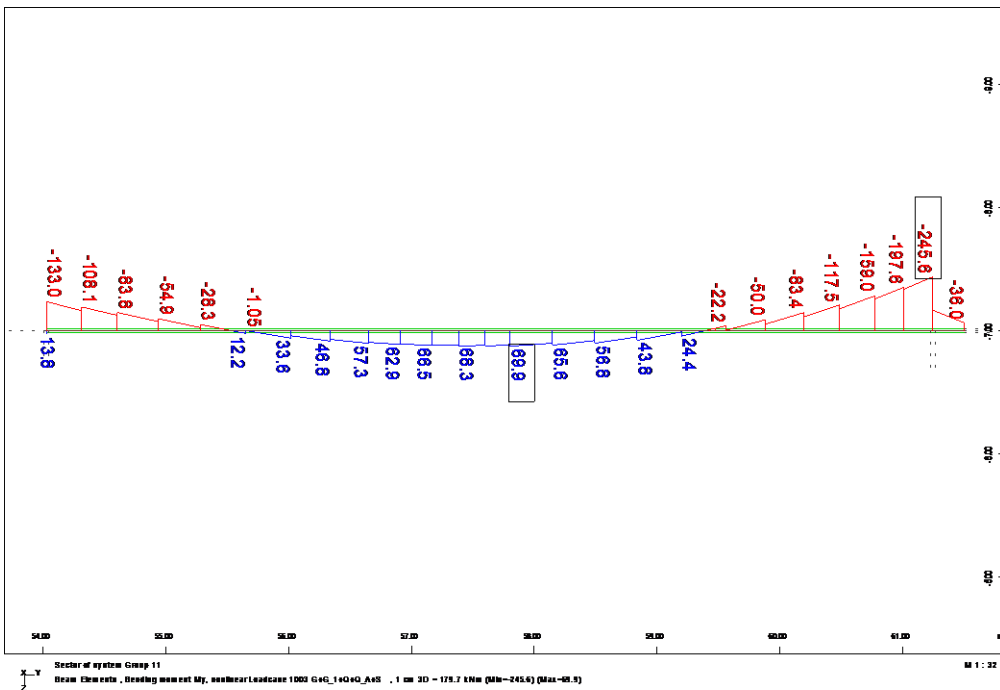
#### 4.4.1.1.2. Δοκοί ορόφου

Δ3 90/30

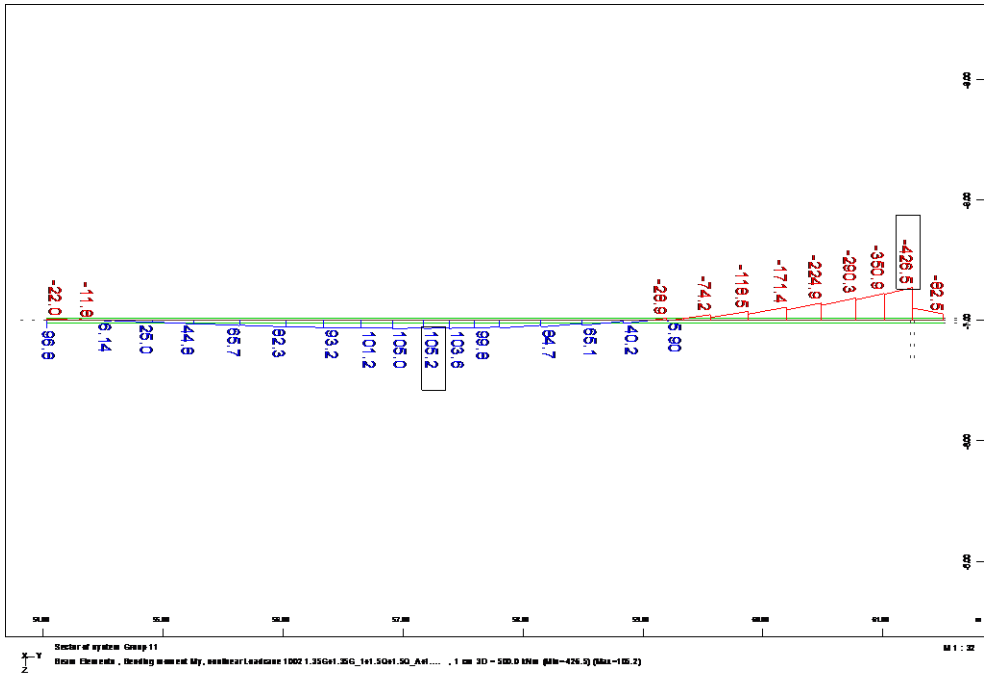




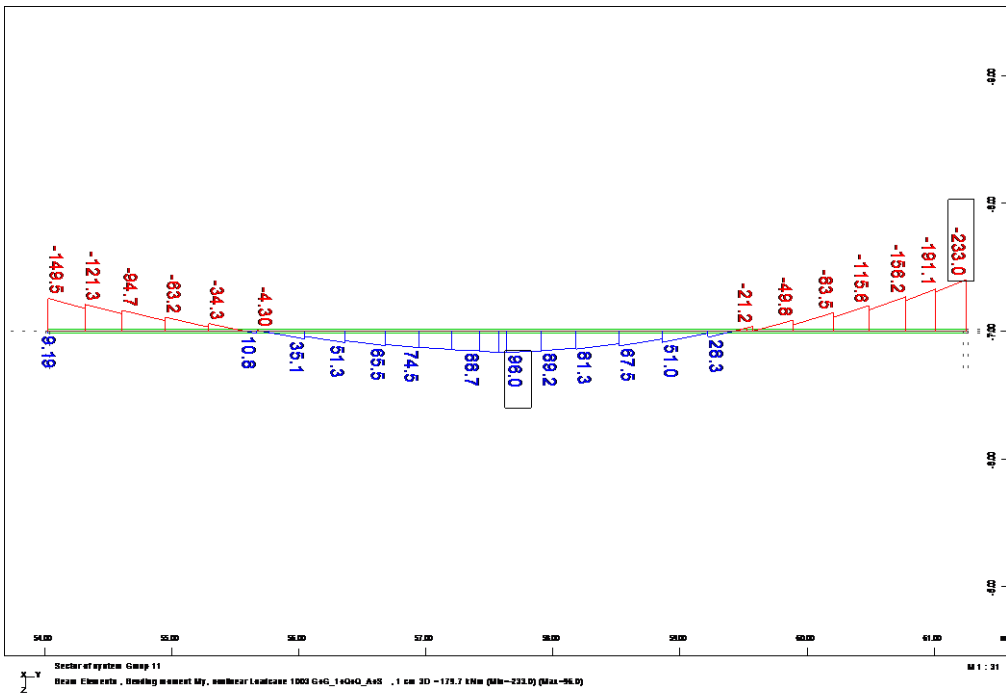
Δ10 120/45

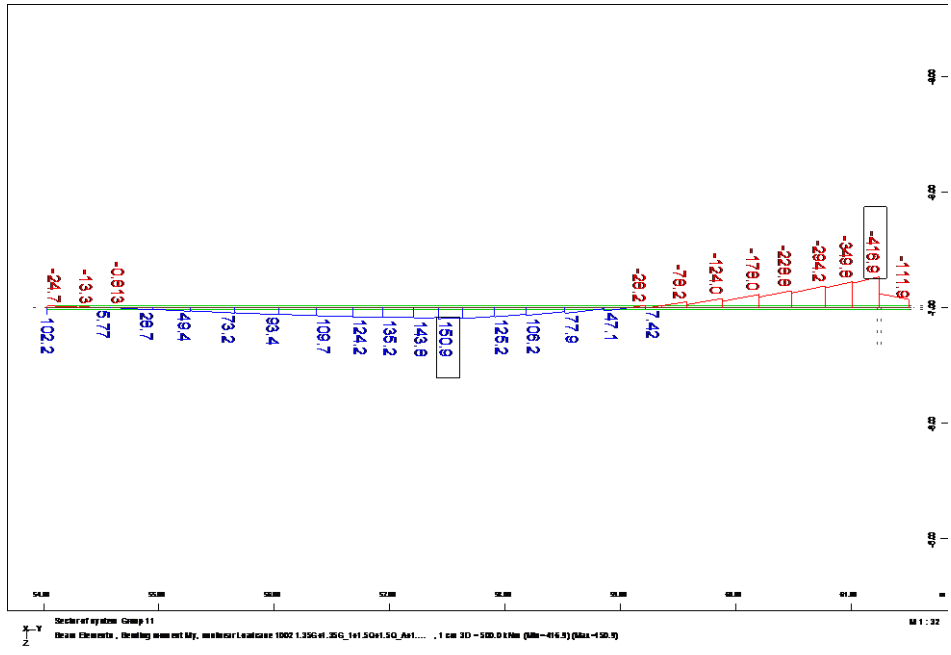




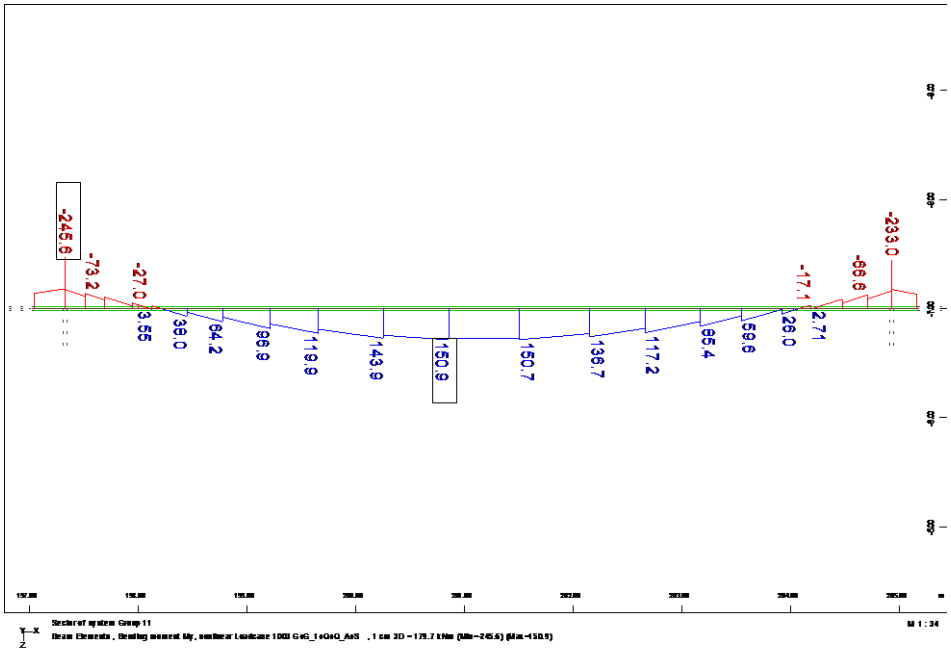


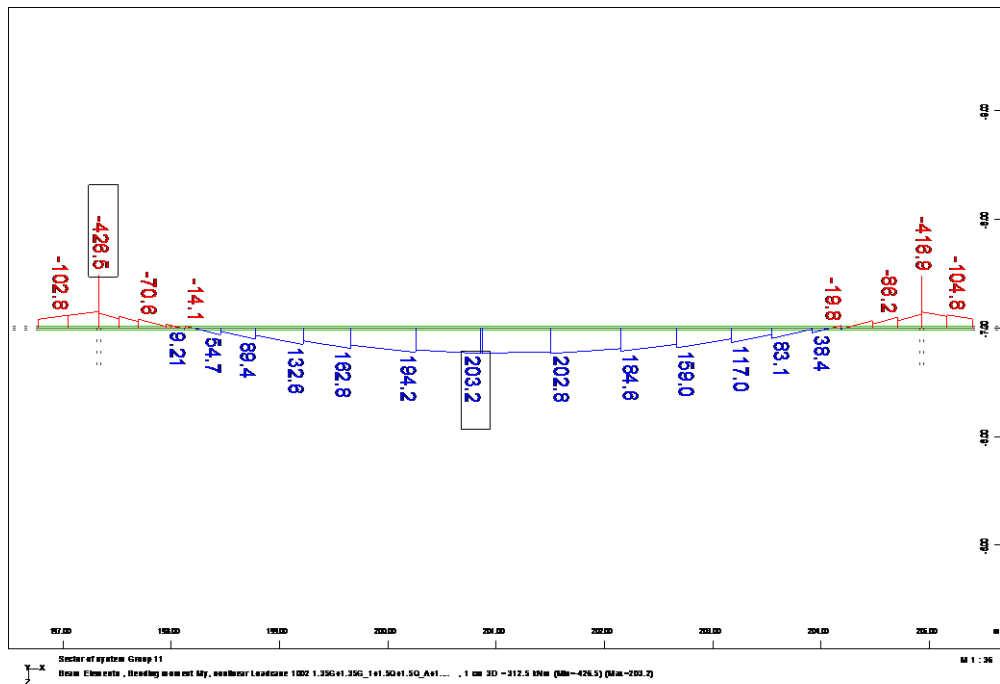
Δ11 120/45





Δ2 110/45





#### 4.4.1.2. ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΩΝ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

##### 4.4.1.2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε περίπτωση σωστής αγκύρωσης των άκρων του υλικού ενίσχυσης, αποτρέπεται η πρόωγη αποκόλληση του και έτσι το υλικό αστοχεί φθάνοντας στην παραμόρφωση αστοχίας του. Έναντι αυτής, πρέπει  $s_{jd} \leq f_{jk} / \gamma_m$  όπου  $\gamma_m = 1.2$  για την περίπτωση χρήσης ΙΟΠ. Η τιμή του  $f_{jk}$  δίνεται από τον τύπο  $f_{jk} = E_j \epsilon_{j,crit}$  όπου  $E_j$  είναι το μέτρο ελαστικότητας του υλικού ενίσχυσης ενώ το  $\epsilon_{j,crit} = k_v \epsilon_{j,max}$  όπου  $k_v$  συντελεστής που εκφράζει την περίπου τριγωνική κατανομή των παραμορφώσεων κατά μήκος της λοξής ρωγμής και λαμβάνεται ίσος με 0.5 και  $\epsilon_{j,max}$  η μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση του υλικού < 1.5%.

$$V_{jd} = \sigma_{jd} \rho_j b_w h_{j,ef} = 2nA_j \sigma_{jd} h_{j,ef} / s_j$$

Επιλέγεται ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διεύθυνσεως, SikaWrap® -600 C

Σε συνεχή φύλλα.

Με μέτρο ελαστικότητας  $E_{jd} = 242$  Gpa, εφελκυστική αντοχή  $f_{jk} = 3800$  Mpa, μέγιστης επιτρεπόμενης παραμόρφωσης  $\epsilon_{\epsilon,lim} = 1.5\%$  και πάχος 0,331 mm.

Σε περίπτωση σωστής αγκύρωσης των άκρων του υλικού ενίσχυσης, αποτρέπεται η πρόωγη αποκόλληση του και έτσι το υλικό αστοχεί φθάνοντας στην παραμόρφωση αστοχίας του

$$\epsilon_{j,crit} = 0,5 * \min(\epsilon_{ju}, 1,5\%) / 100 = 0,5 * 0,015 = 0,0075 \text{ (0.75\%)}$$

$$\text{Επομένως } f_{jk} = 242000 * 0,0075 = 1815 \text{ MPa και αντίστοιχα } \sigma_{jd} = 1815 / 1,2 = 1513 \text{ MPa}$$

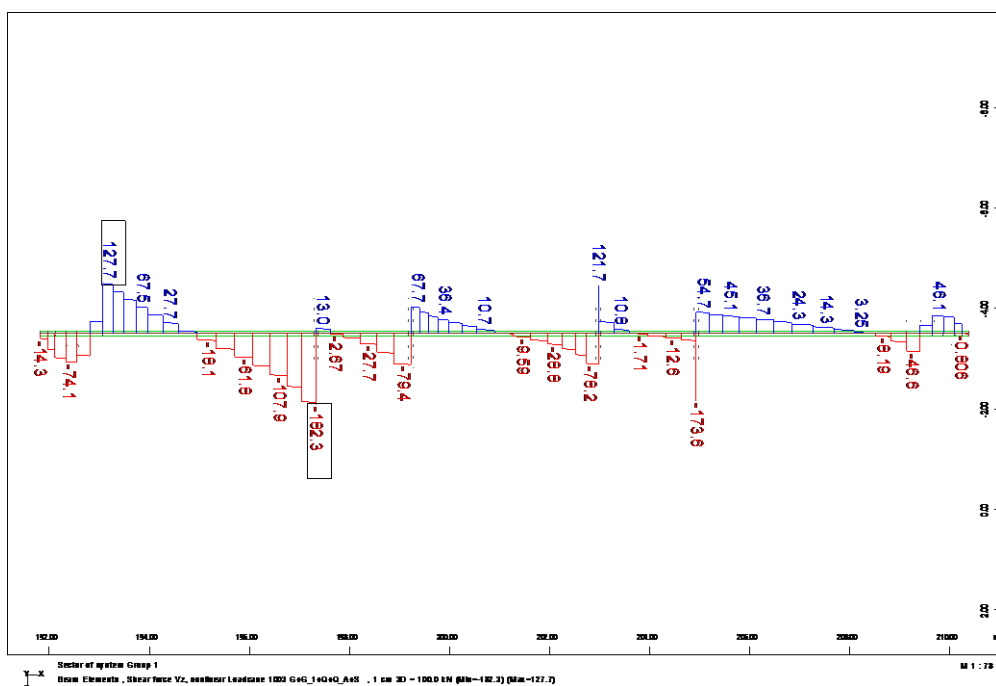
$$\text{Το συνολικό πάχος ενίσχυσης που απαιτείται είναι } t_j = V_{jd} / (2 * h_{j,ef} * \sigma_{jd})$$

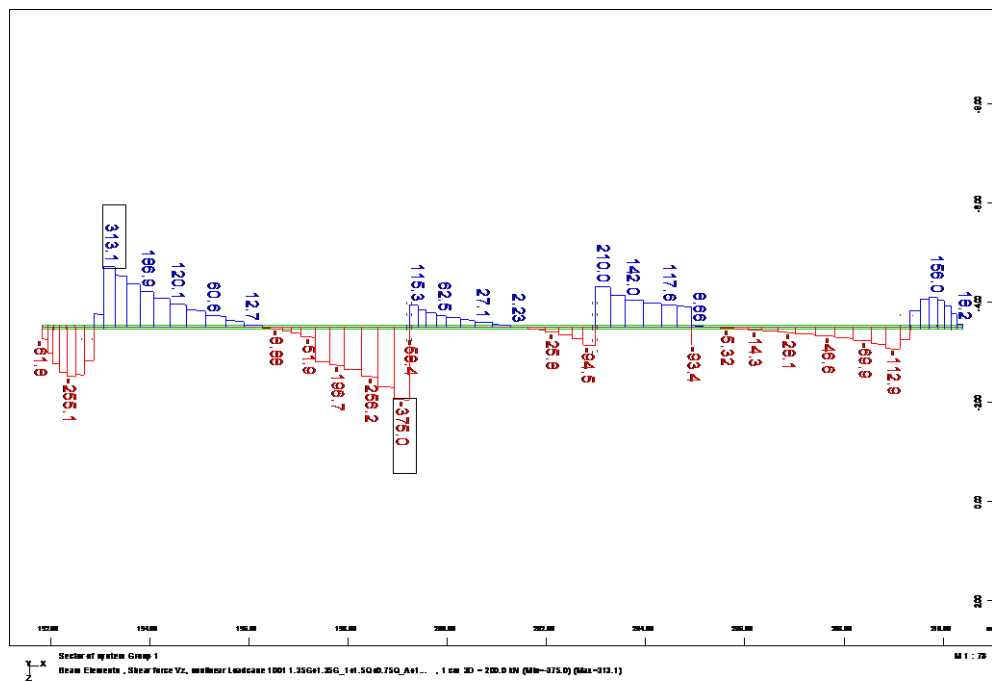
$$\text{Μπορεί να θεωρηθεί } h_{j,ef} = 2 / 3 d$$

Η αγκύρωση των υφασμάτων θα πραγματοποιηθεί με βλήτρα Τυπου Sika Anchor C πακτωμένα εντός της θλιβόμενης ζώνης του σκυροδέματος.(διείσδυση βλήτρων 10 cm εντός του σκυροδέματος) Θα τοποθετούνται 2 αγκύρια ανά πλευρά με μέγιστη απόσταση 30 cm.

#### 4.4.1.2.2 .ΔΟΚΟΙ ΙΣΟΓΕΙΟΥ

Δ3 90/30





Απαιτείται ενίσχυση της δοκού σε διάτμηση η οποία θα παραλάβει την τέμνουσα :

$$V_{jd}=375.0-182.3=192.7 \text{ kN}$$

$$h_{j,eff}=566,67 \text{ mm}$$

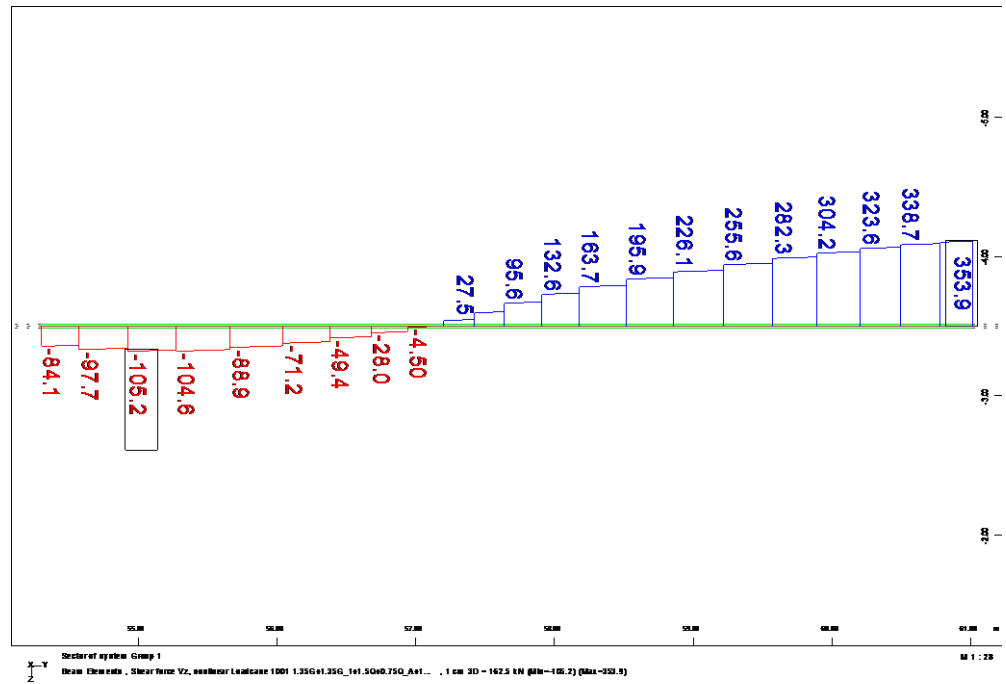
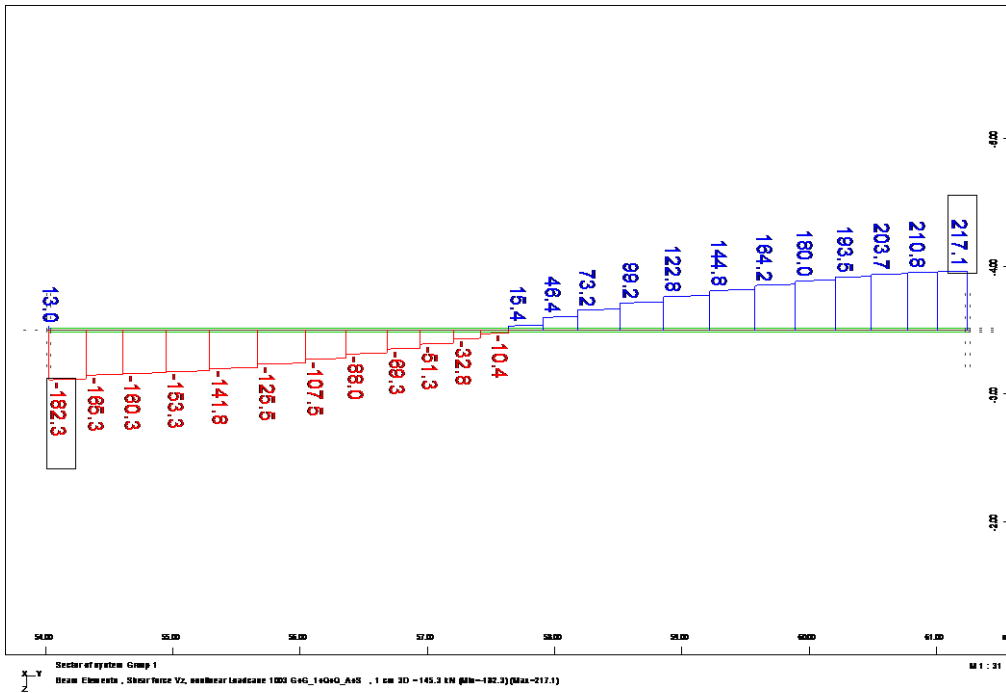
$$t_j=192.7/(2*556.67*1513*10^{-3})=0.114\text{mm}$$

Κάθε στρώση έχει πάχος 0,331mm απαιτείται λοιπόν  $0,114/0,331=0,34$  ,

Απαιτείται 1 στρώση ανθρακουφάσματος.

Προκύπτει λοιπόν απαίτηση ενίσχυσης με ένα συνεχές φύλλο, καθ' όλο το μήκος της δοκού.

Δοκός 10 120/45



Απαιτείται ενίσχυση της δοκού σε διάτμηση η οποία θα παραλάβει την τέμνουσα

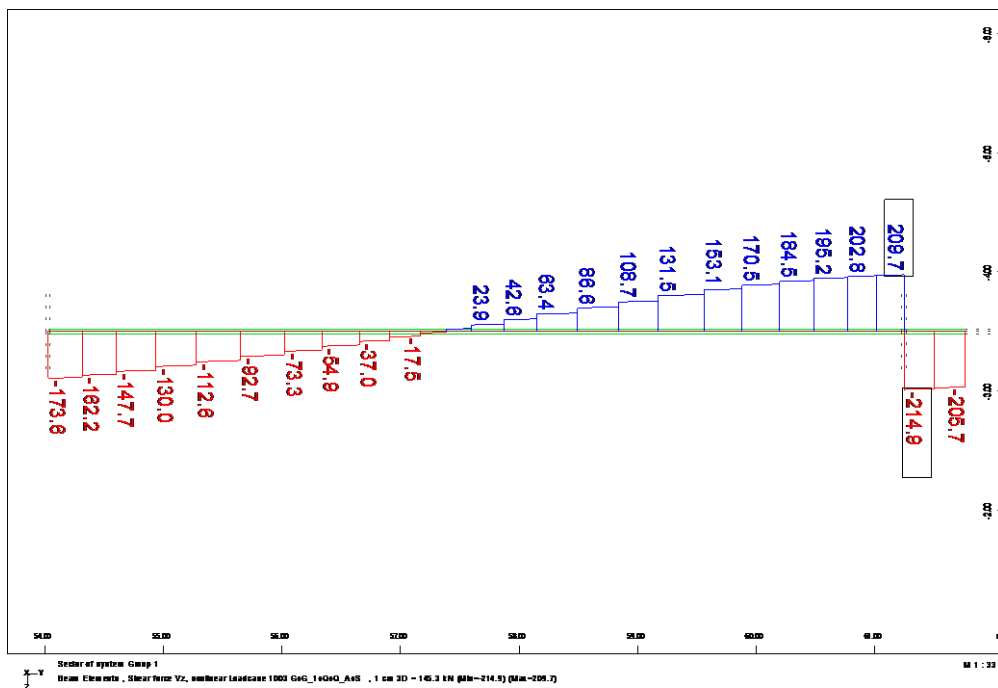
$$V_{jd}=353,0-217,1=135,9 \text{ kN}$$

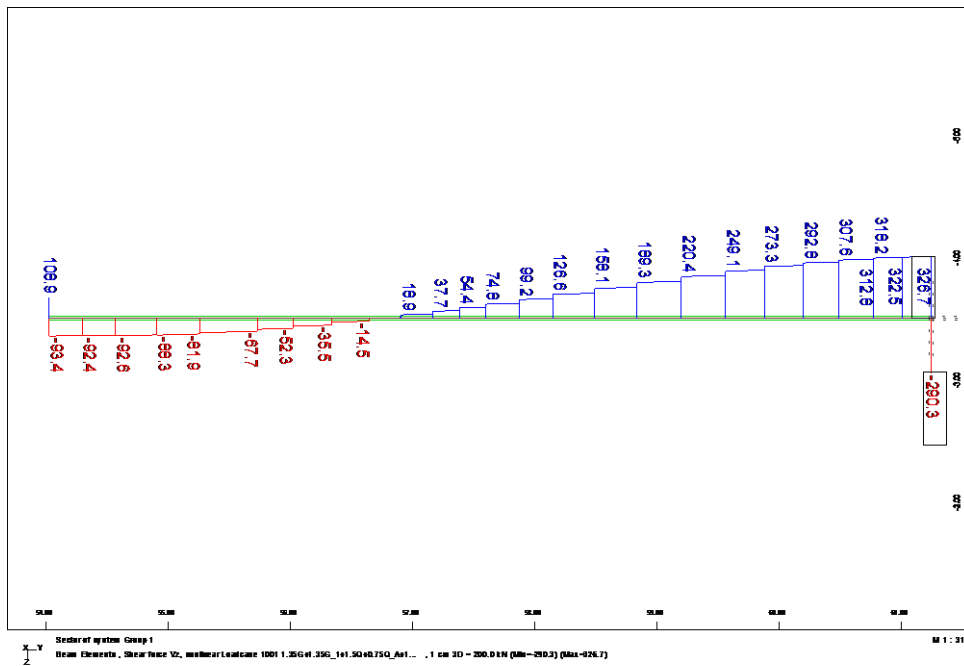
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προκύπτει απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης

$T_j=0.08\text{mm}$ . τοποθετείται 1 στρωση πάχους  $0,331\text{mm}$  σε όλο το μήκος της δοκού.

Η αγκύρωση πραγματοποιείται όπως παραπάνω.

#### Δοκός Δ11 110/45





Απαιτείται ενίσχυση της δοκού σε διάτμηση η οποία θα παραλάβει την τέμνουσα

$$V_{jd}=326.7-209.7=117 \text{ kN}$$

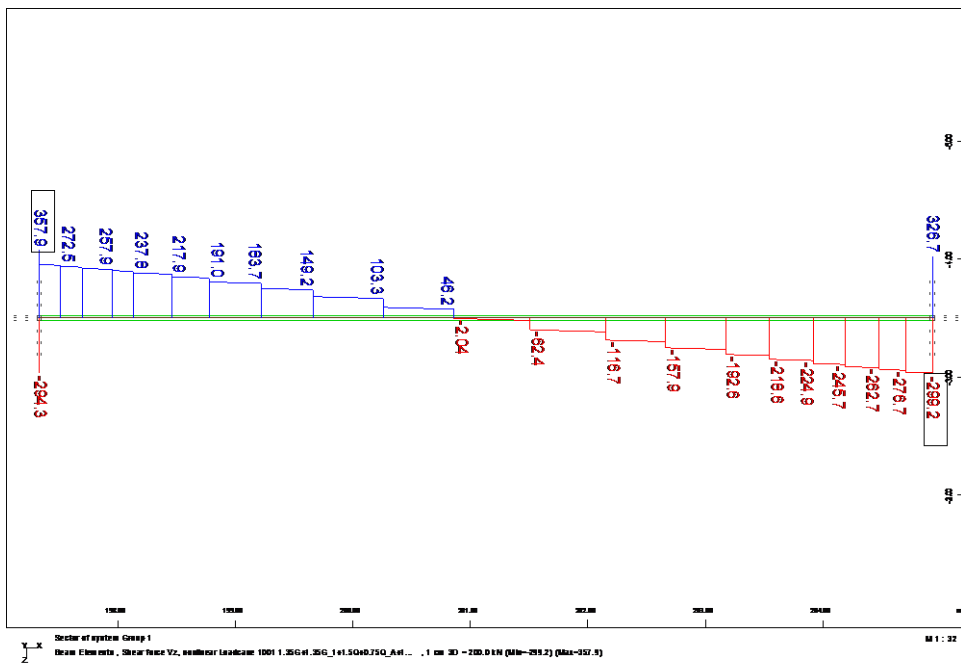
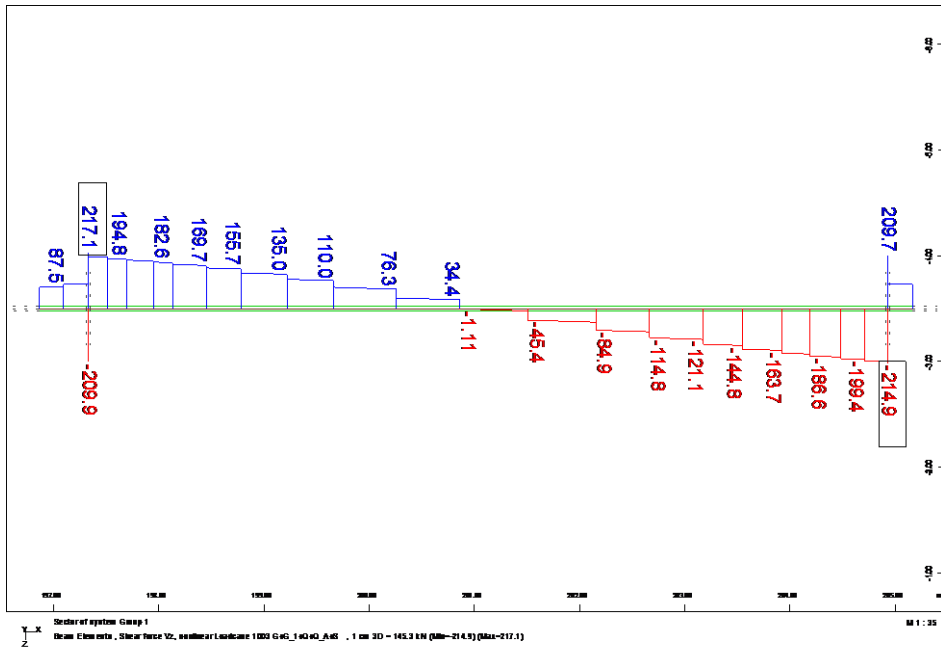
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προκύπτει απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης

$T_j=0.07\text{mm}$ . τοποθετείται 1 στρωση πάχους  $0,331\text{mm}$  σε όλο το μήκος της δοκού.

Η αγκύρωση πραγματοποιείται όπως παραπάνω



## ΔΟΚΟΣ Δ2



Απαιτείται ενίσχυση της δοκού σε διάτμηση η οποία θα παραλάβει την τέμνουσα

$$V_{jd} = 357,9 - 217,9 = 140 \text{ kN}$$

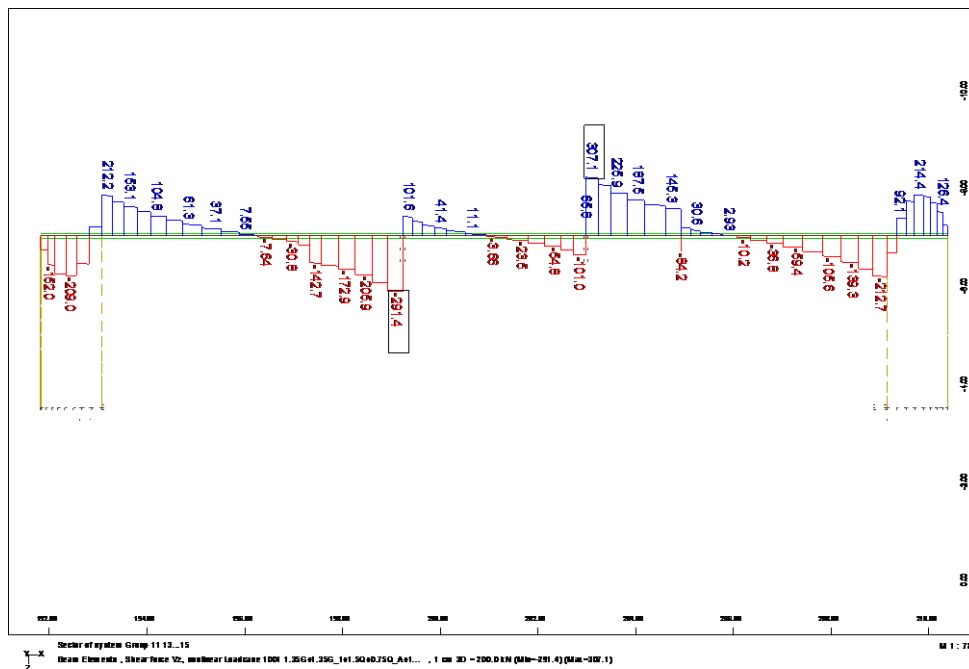
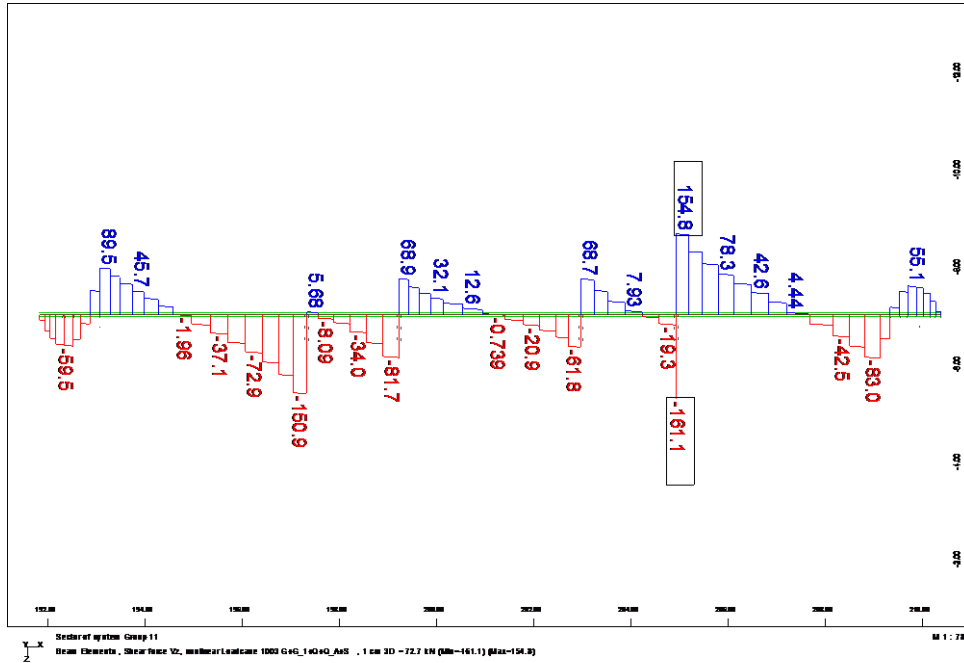
Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προκύπτει απαιτούμενο πάχος ενίσχυσης

$T_j=0.08\text{mm}$ . τοποθετείται 1 στρωση πάχους  $0,331\text{mm}$  σε όλο το μήκος της δοκού.

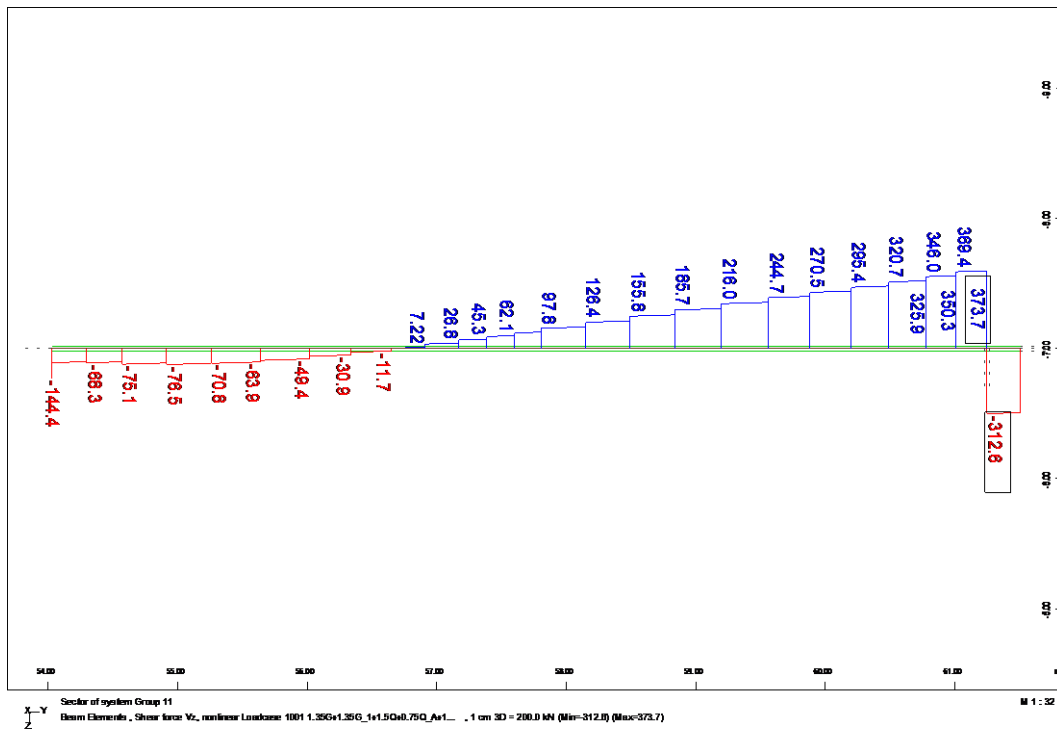
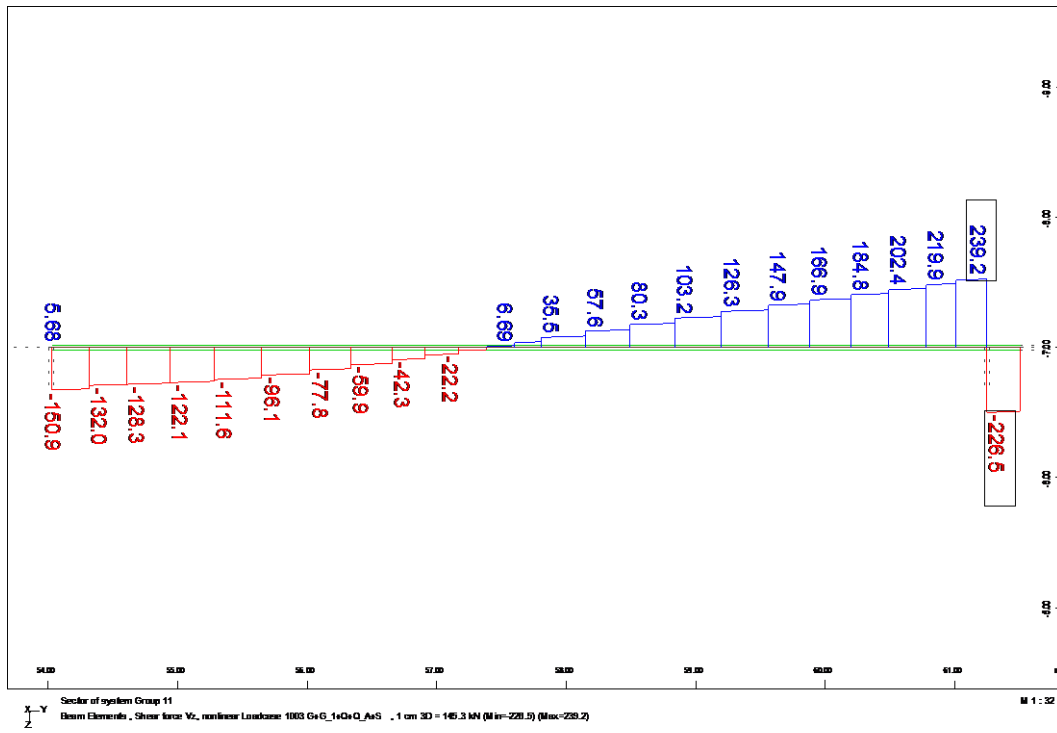
Η αγκύρωση πραγματοποιείται όπως παραπάνω

#### 4.4.1.2.3 .ΔΟΚΟΙ ΟΡΟΦΟΥ

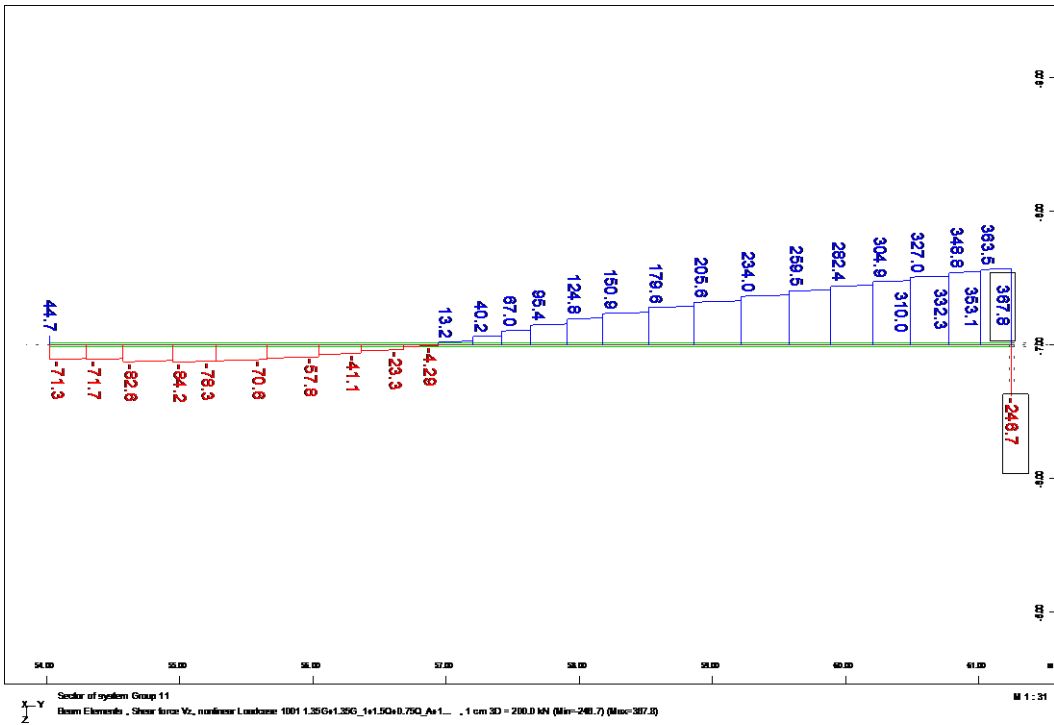
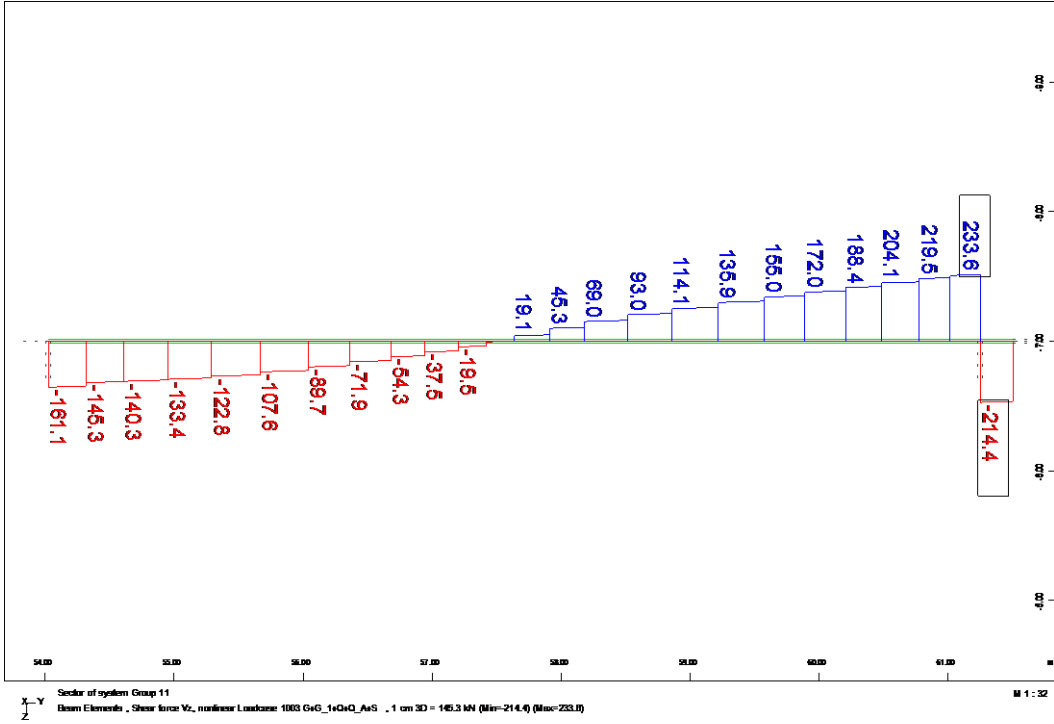
Δ3



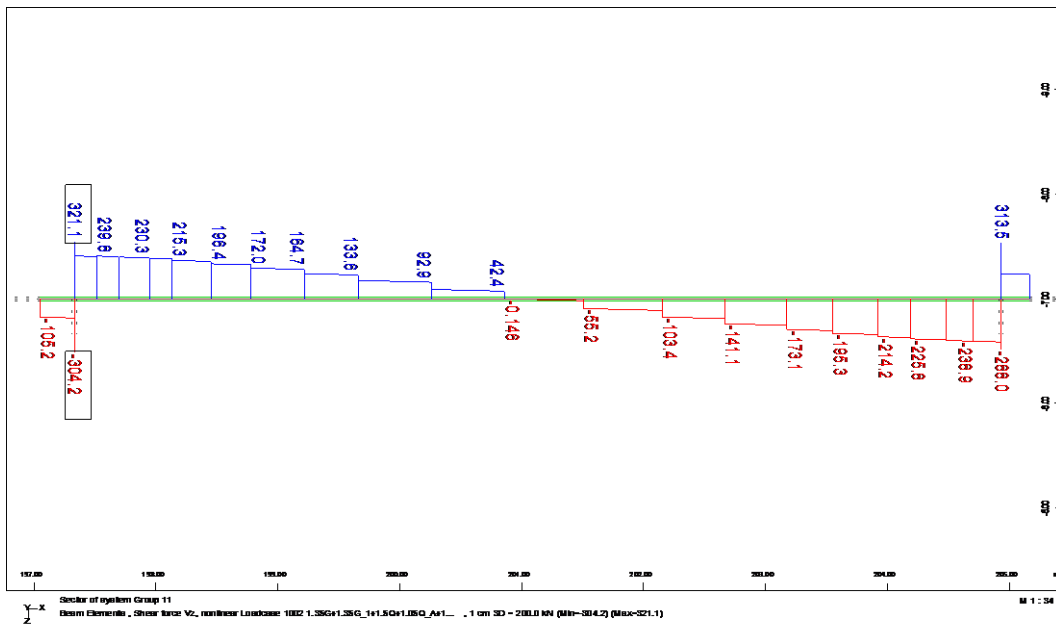
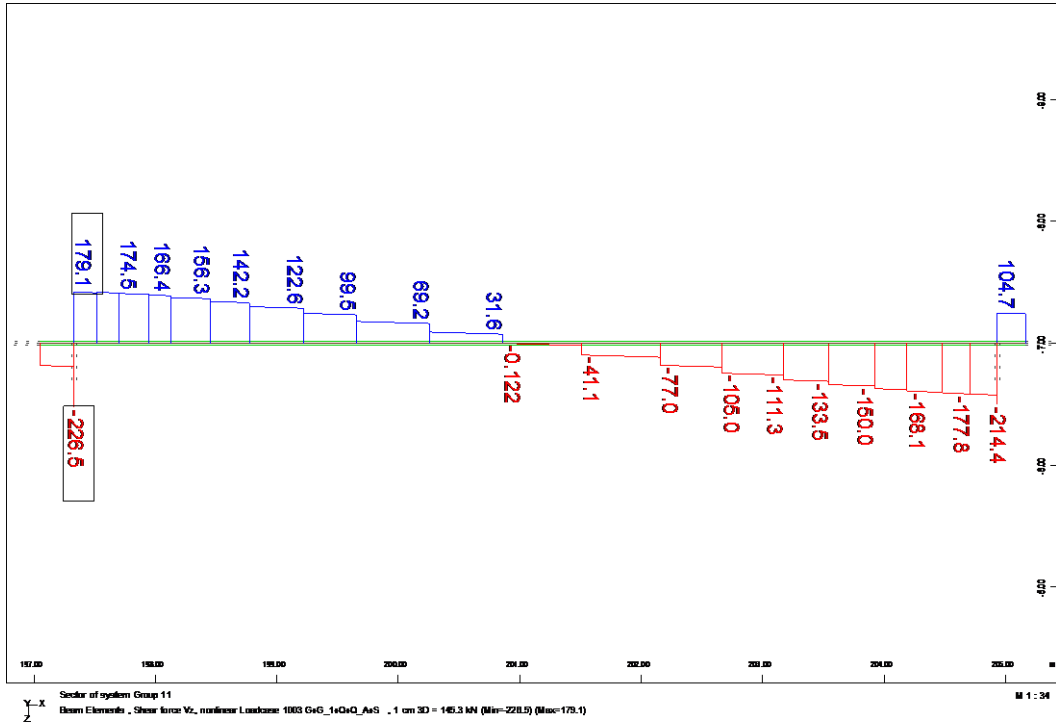
Δ10



Δ11



Δ2



Παρατηρούμε ότι προκύπτουν παραπλήσια μεγέθη και διαφορές για τις δοκούς του ορόφου με αυτές του ισογείου.

Έτσι, εφαρμόζονται ακριβώς τα ίδια μέτρα ενίσχυσης

#### 4.4.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΠΛΑΚΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Εφαρμόζουμε ενίσχυση με χρήση λωρίδων ινοπλισμένου πολυμερούς Sika® CarboDur® S και στις δύο διευθύνσεις του ανοίγματος, όσο και στις αρνητικές ροπές στην στήριξη.

Με την χρήση βλήτρων, επιτυγχάνεται η σωστή αγκύρωση των λωρίδων, ώστε η ενίσχυση να θεωρηθεί «κλειστή».

Στην περίπτωση αυτή η αστοχία επέρχεται από τη θραύση του σύνθετου υλικού.

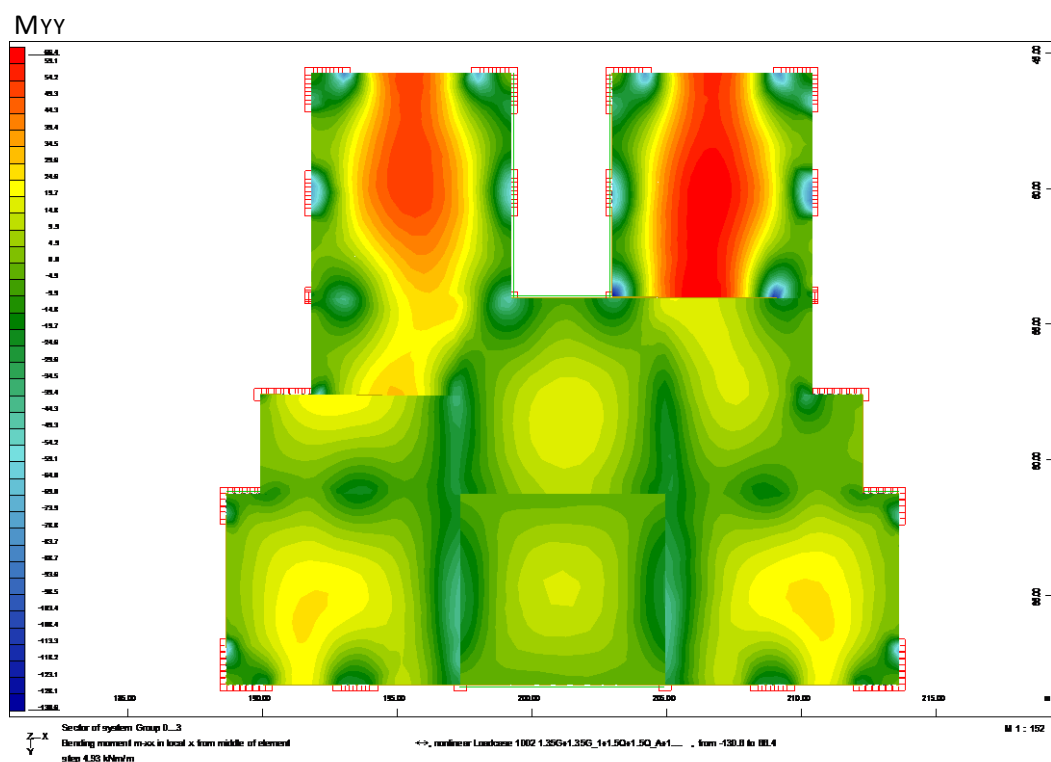
Αντικαθιστώντας:

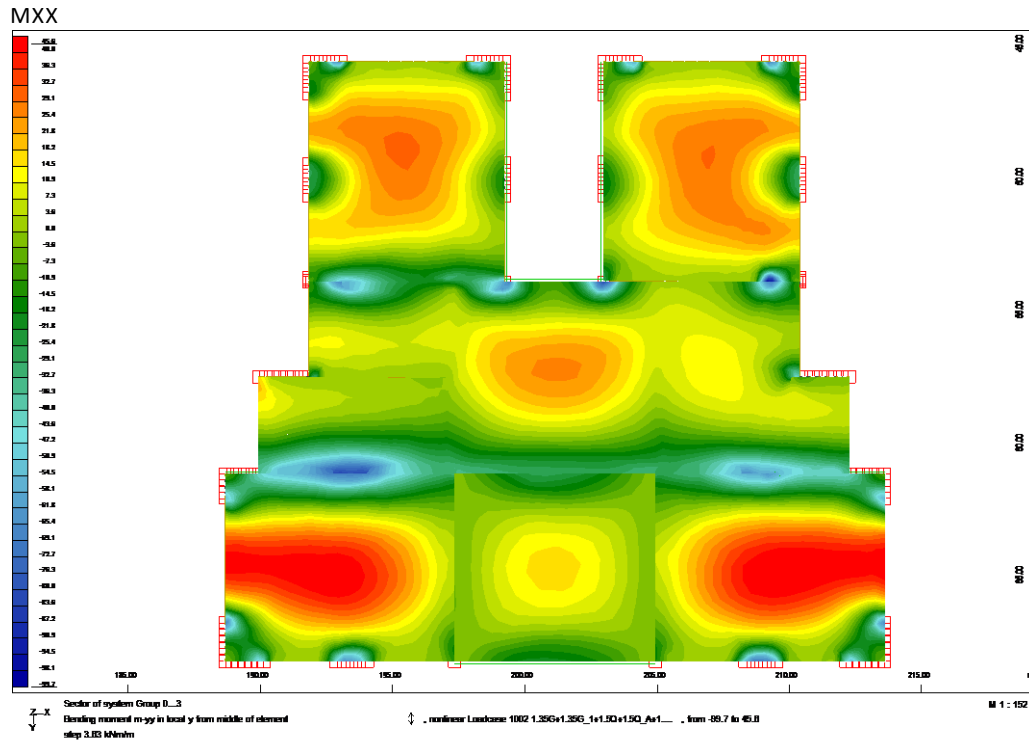
$$\epsilon_{j,crit}=1.7/100=0.017(1,7\%)$$

$$f_{jk}=165000*0.017=2805 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{jd}=2805/1.2=2337,5 \text{ MPa}$$

##### 4.4.2.1. Ισόγειο





Παρατηρείται ότι σημαντική αύξηση της καταπόνηση υφίστανται όσον αφορά την  $M_{yy}$  οι:

- Πλάκα Π4
- Πλάκα Π5

Και όσον αφορά την  $M_{xx}$  οι :

- Πλάκα Π1
- Πλάκα Π3
- Πλάκα Π4
- Πλάκα Π5
- Πλάκα Π6

#### 4.4.2.2. ΓΙΑ ΤΙΣ ΡΟΠΕΣ ΤΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ:

Εφαρμόζουμε την ενίσχυση με χρήση λωρίδων άνθρακα και στις δύο διευθύνσεις.

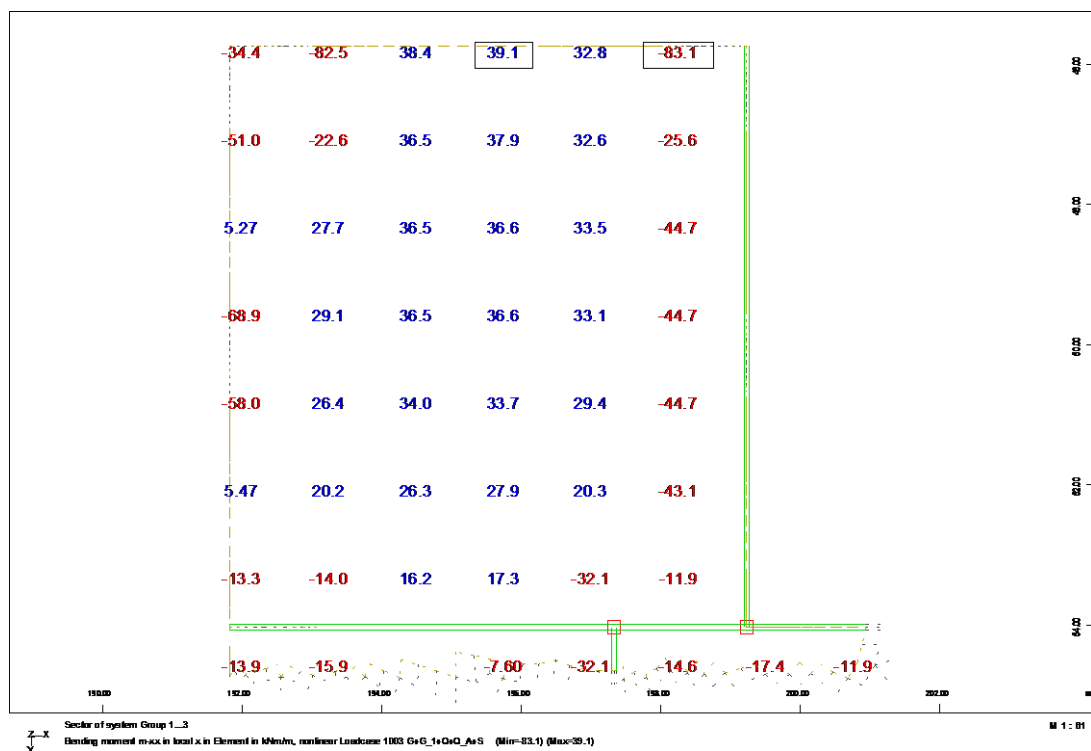
Με την χρήση βλήτρων, επιτυγχάνεται η σωστή αγκύρωση των λωρίδων, ώστε η ενίσχυση να θεωρηθεί «κλειστή».

Αντικαθιστώντας:

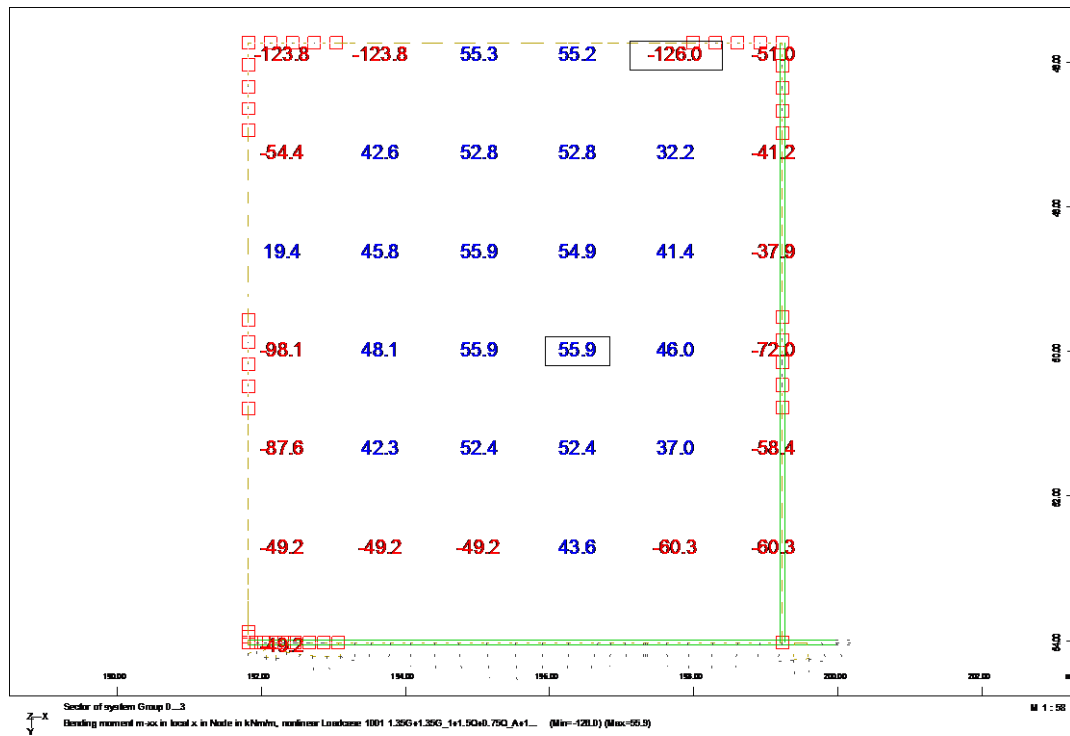
- $\epsilon_{j,crit}=1.7/100=0.017$  (1.7%)
- $f_{jk}=160000*0.017=2805\text{MPa}$
- $\sigma_{jd}=2805/1.2=2337.5\text{MPa}$

Πιο συγκεκριμένα για την ροπή Μψψ

Π4







Για την πλάκα σκυροδέματος Π4 εξετάζουμε την πλέον δυσμενέστερη διατομή ανόιγματος.

Η ροπή αντοχής της διατομής σύμφωνα με τις παραδοχές προκύπτει 36,6 kNm

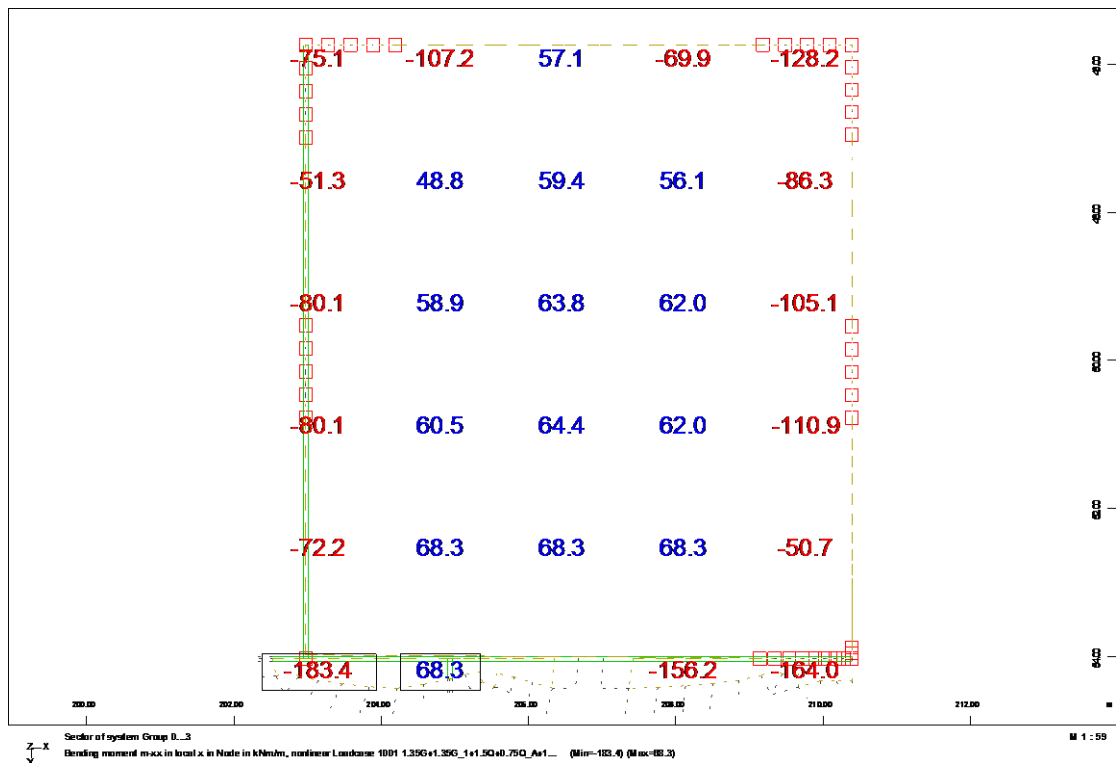
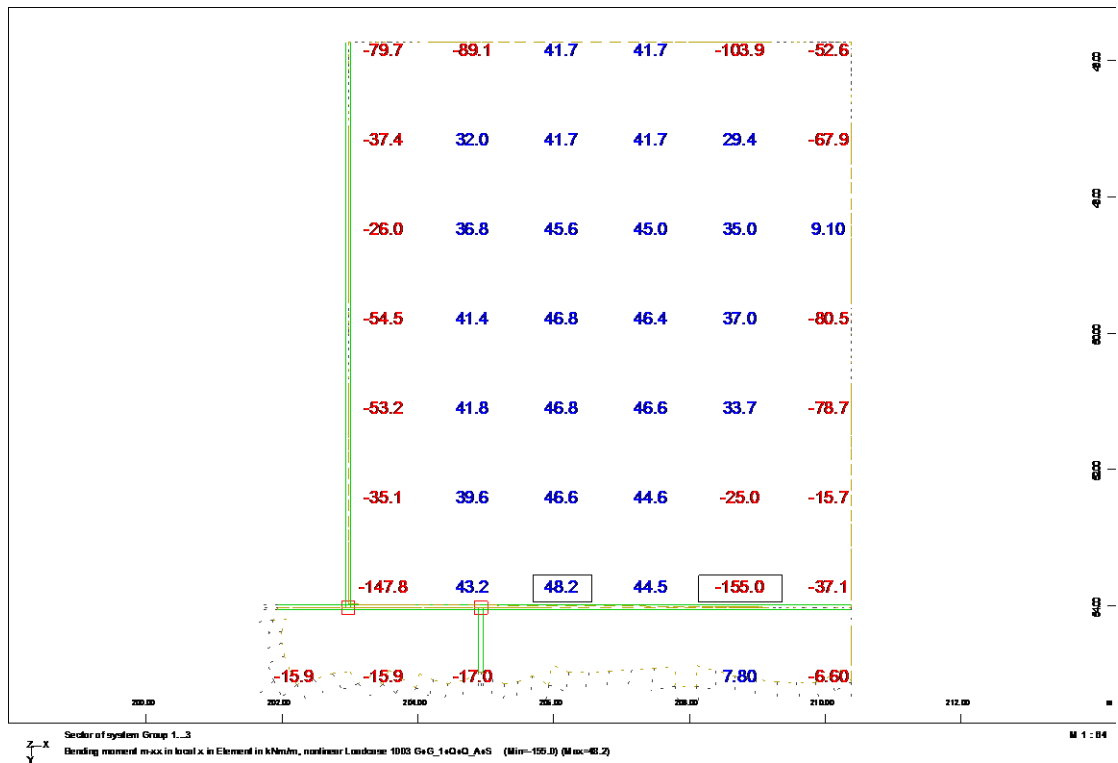
Η δρώσα ροπή που αναπτύσσεται μετά τις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις είναι  $M_{γγ}=55,9\text{kNm}$

Ο οπλισμός της ενίσχυσης καλείται να αναλάβει  $\Delta M_j=55,9-36,6=19,3\text{kNm}$

Τοποθετείται 1 στρώση πάχους 1,2 mm και πλάτους 50mm ανά 1 μέτρο πλάκας κατά την διεύθυνση χ.(s512)

Συνολικά 8 στρώσεις κατά χ.

Π5



Η ροπή της διατομής σύμφωνα με τις παραδοχές προκύπτει 46.6 kNm

Η δρώσα ροπή που αναπτύσσεται μετά τις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις είναι  $M_{yy}=64.4\text{kNm}$

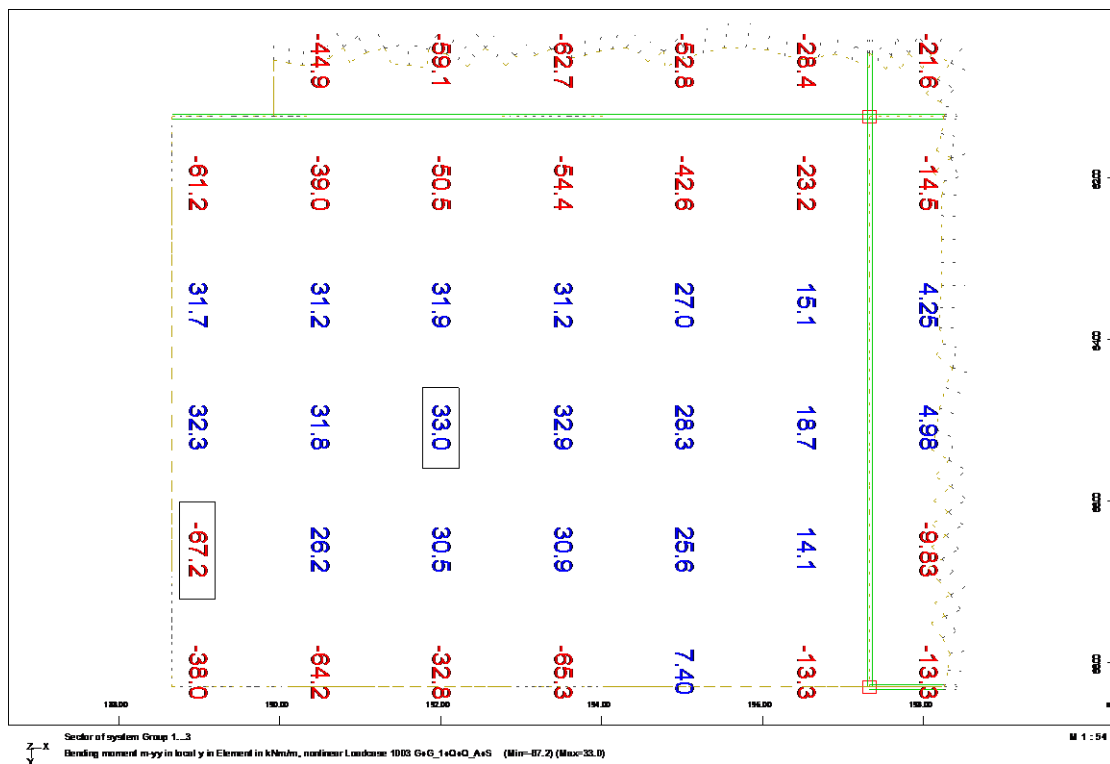
Ο σπλισμός της ενίσχυσης καλείται να αναλάβει  $\Delta M_j=64.4-46.6=17.8\text{kNm}$

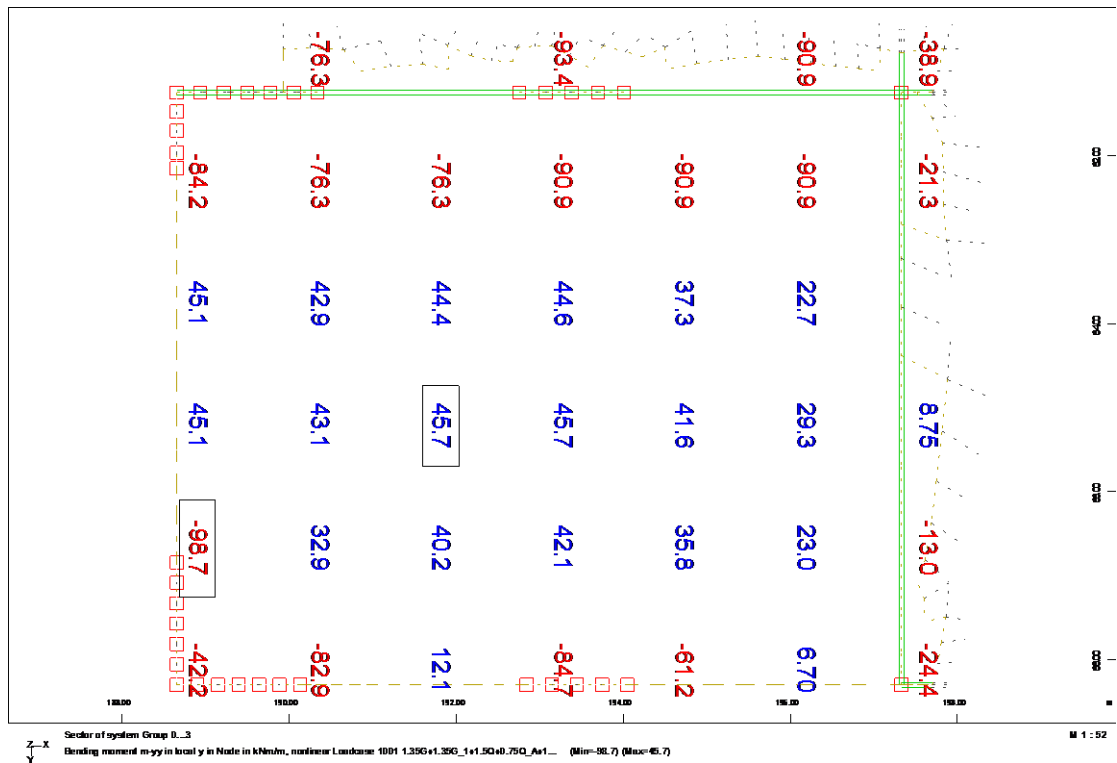
Τοποθετείται 1 στρώση πάχους 1,2 mm και πλάτους 50mm ανά 1 μέτρο πλάκας κατα την διεύθυνση χ.(s512)

Συνολικά 8 στρώσεις κατά χ.

$M_{xx}$

Π1





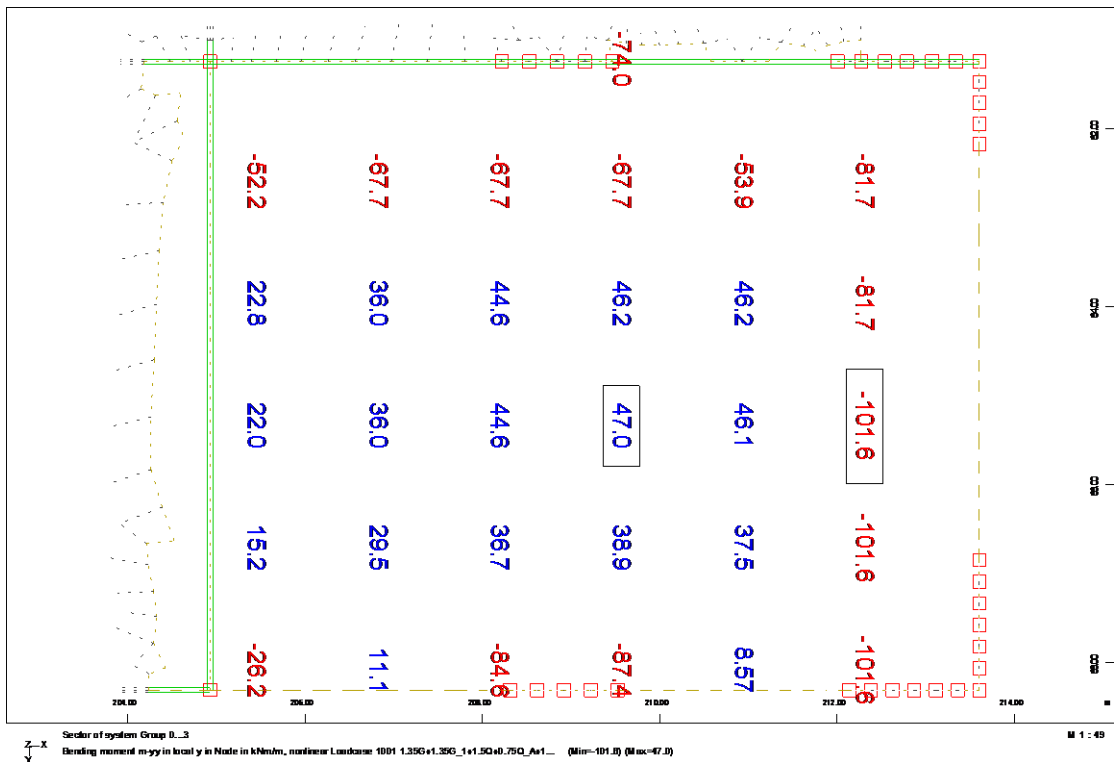
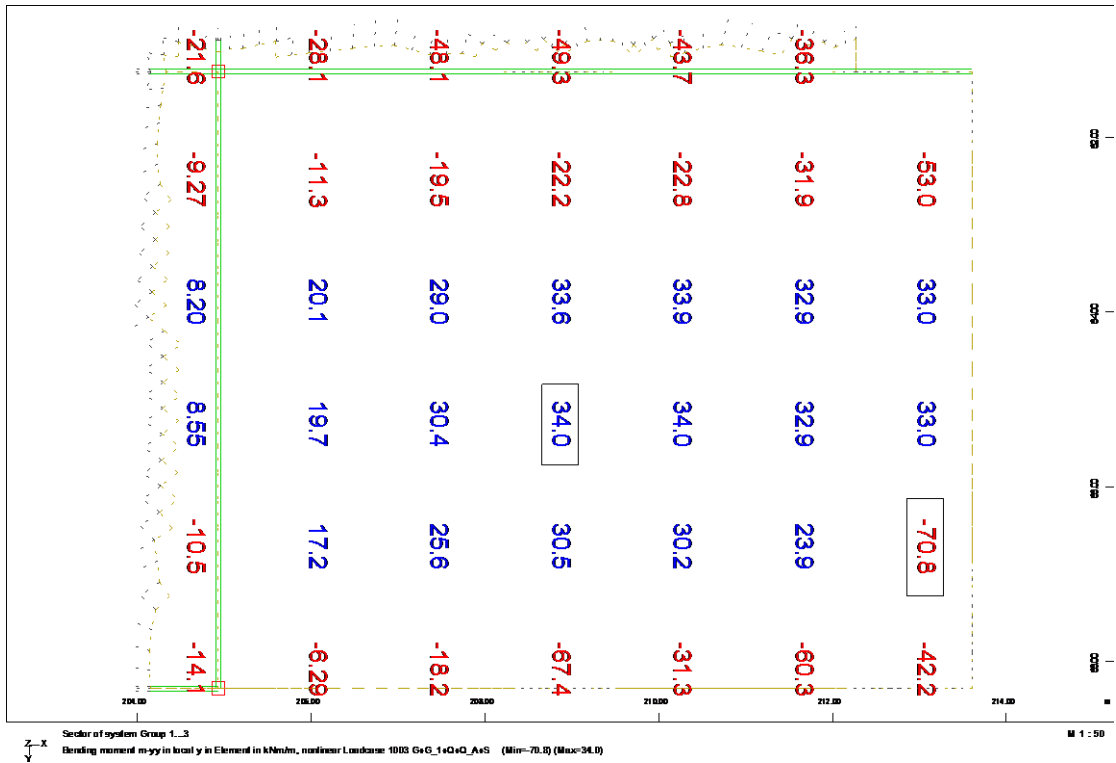
Η ροπή της διατομής σύμφωνα με τις παραδοχές προκύπτει 33kNm

Η δρώσα ροπή που αναπτύσσεται μετά τις αρχιτεκτονικές τροποποιήσεις είναι  $M_{yy}=45.7\text{kNm}$

Ο σπλισμός της ενίσχυσης καλείται να αναλάβει  $\Delta M_j=45.7-33=12.7\text{kNm}$

Τοποθετείται 1 στρώση πάχους 1,2 mm και πλάτους 50 mm ανά 1 μέτρο πλάκας.

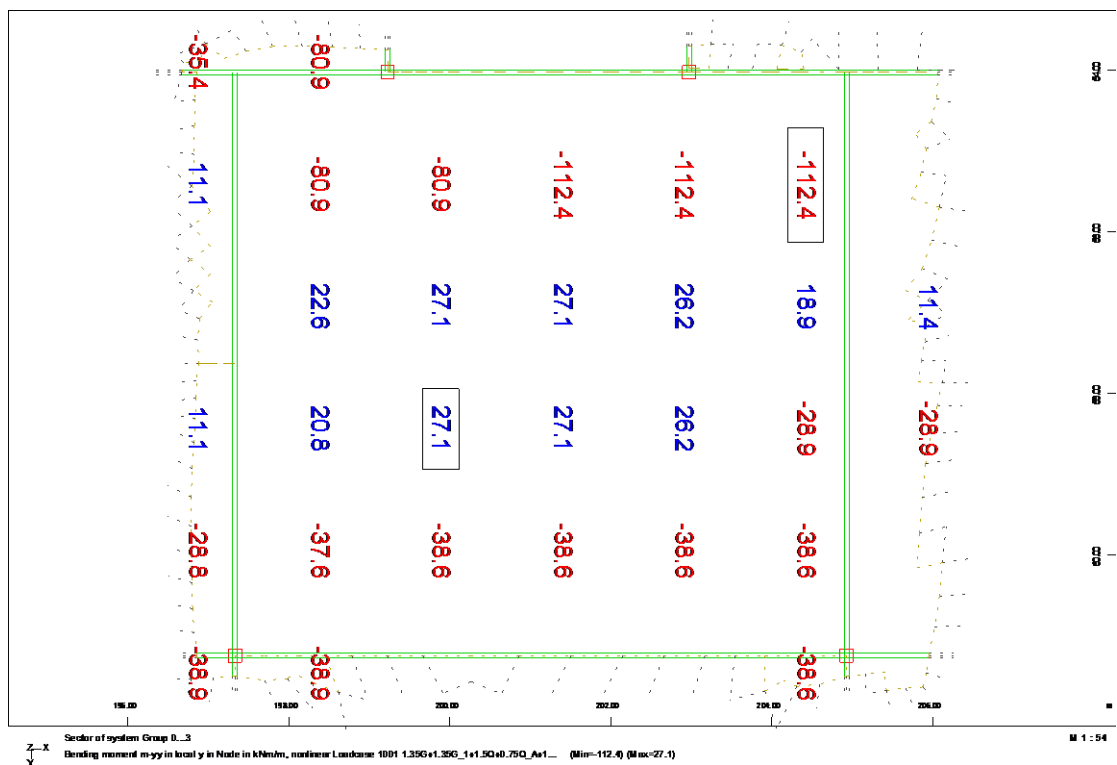
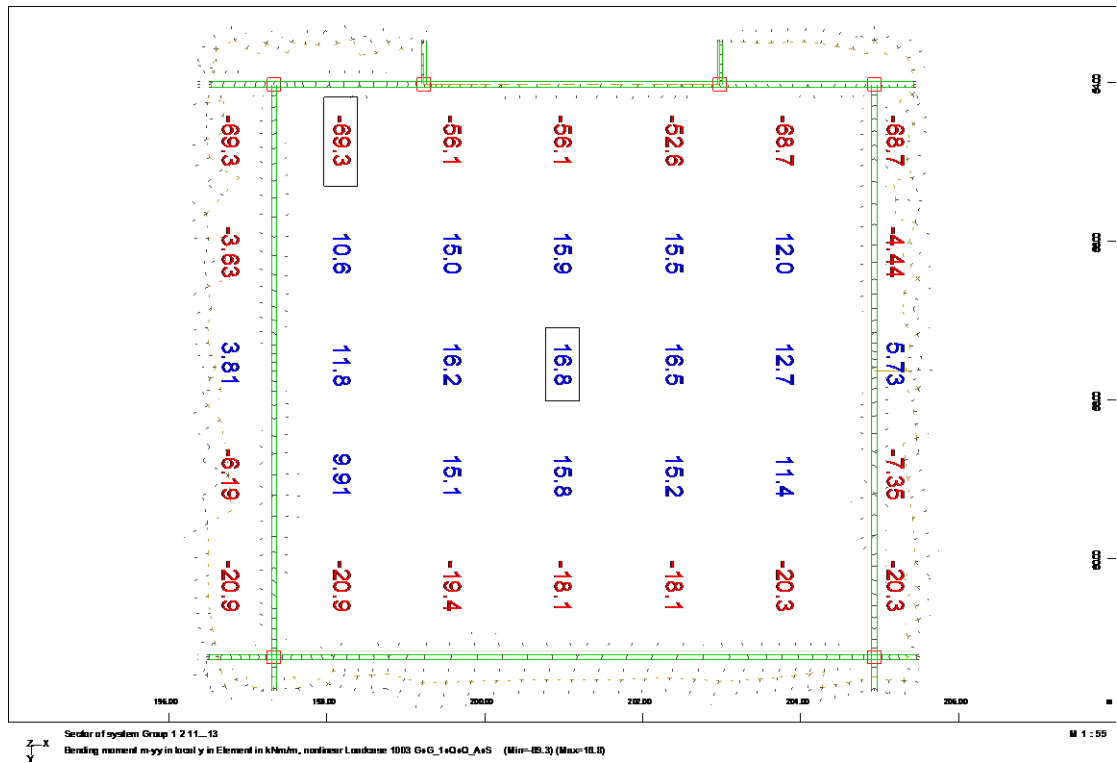
Συνολικά 7 στρωσεις κατά ψ σε όλη την πλάκα.



Ομοίως προκύπτει απαίτηση για: 1 στρώση πάχους 1,2 mm και πλάτους 50 mm ανά 1 μέτρο πλάκας.

Συνολικά 7 στρωσεις κατά ψ σε όλη την πλάκα

Π6



. Ομοίως προκύπτει απαίτηση για: 1 στρώση πάχους 1,2 mm και πλάτους 50 mm ανά 1 μέτρο πλάκας.

Συνολικά 6 στρώσεις κατά γ σε όλη την πλάκα.

Οι πλάκες Π4 και Π5 αναλύθηκαν και δεν απαιτούν ενίσχυση για καταπόνηση στην Μχ

Παρόμοιες απαιτήσεις προκύπτουν και για τις πλάκες του ορόφου.

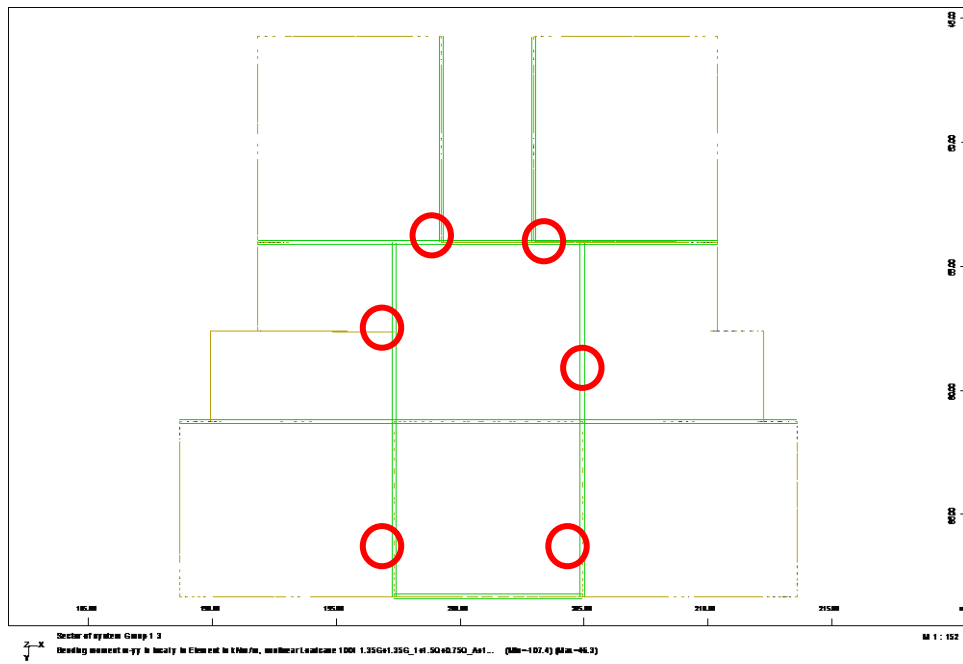
Εφαρμόζονται λοιπόν ακριβώς τα ίδια μέτρα ενίσχυσης.

#### 4.4.2.3. Για τις διατομές στηρίξεως:

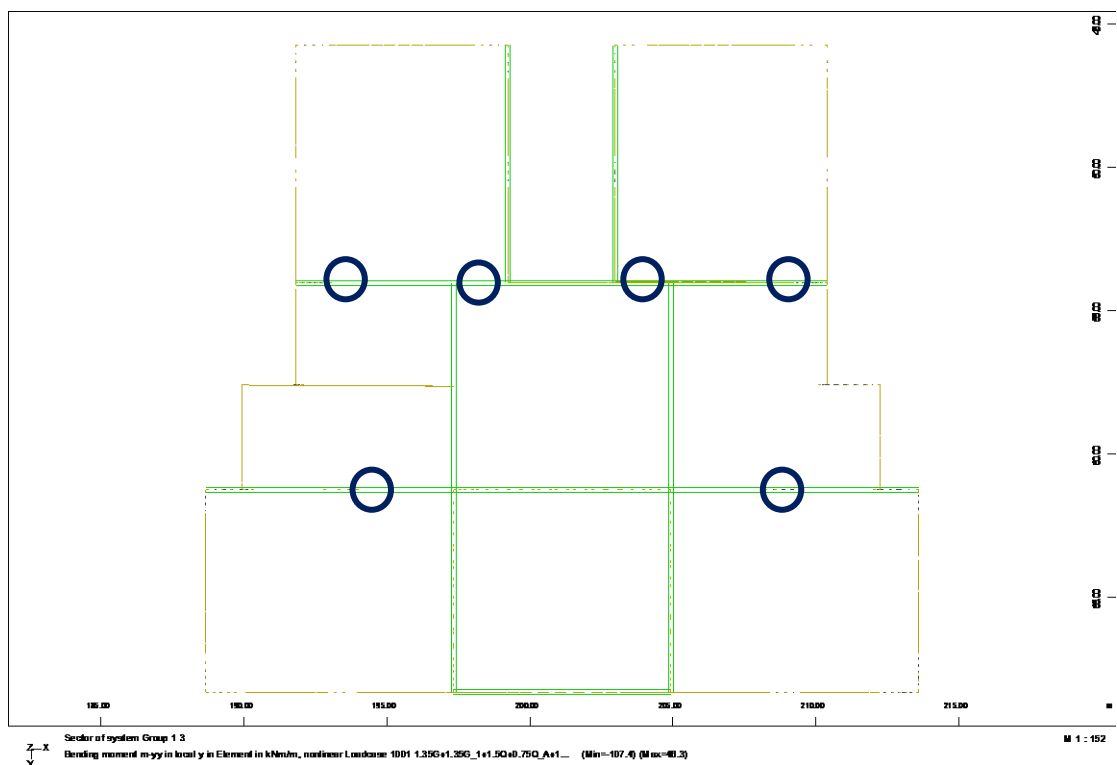
Μετά από σύγκριση των εντατικών μεγεθών των στηρίξεων, ακολουθώντας παρόμοια μεθοδολογία , σημειώνονται παρακάτω οι διατομές που απαιτούν ενίσχυση. Η ενίσχυση θα πραγματοποιηθεί με χρήση επικολλώμενων φύλλων στο άνω πέλμα της πλάκας ,όπου εμφανίζεται εφελκυσμός.

Η μορφή είναι ίδια και για τους δύο ορόφους.

*Ενίσχυση κατά X →*



Ενίσχυση κατά  $Y \downarrow$



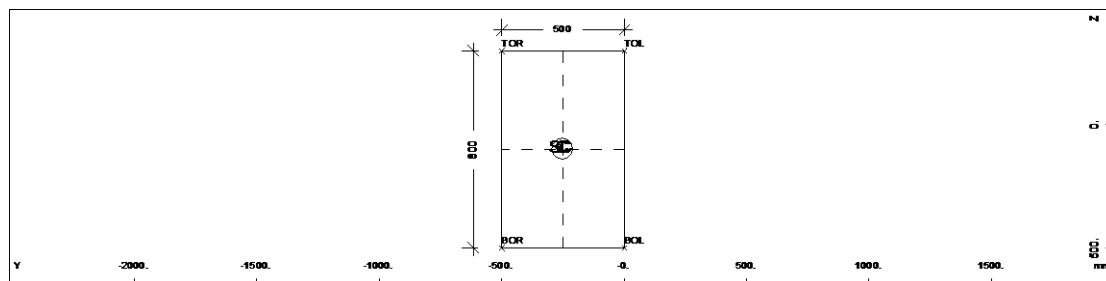
Στις παρακάτω διατομές τοποθετούνται 2 φύλλα Sika® CarboDur® S πλάτους 10 cm έκαστο με μεταξύ τους απόσταση 50 cm. Αγκυρώνονται στα σημεία αλλαγής της ροπής εντός των πλακών ώστε να ικανοποιείται ο έλεγχος απόληξης.



## 4.5 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Ενίσχυση υποστυλώματος σε κάμψη

K17 K18



Τα υποστυλώματα είχαν διαστασιολογηθεί σύμφωνα με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 ( Βασιλικό Διάταγμα της 19/26.2.1959).

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκε ο Αντισεισμικός Κανονισμός του 1959 και εξήχθησαν τα εξής εντατικά μεγέθη, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την διαστασιολόγηση.

- Αξονικό θλιπτικό φορτίο  $N_{ed}=460\text{kN}$  από συνδιασμό (G+Q)
- Τέμνουσα Κεφαλής  $V_{ed}=\varepsilon \cdot N_{ed}=0.08 \cdot 460=38\text{kN}$
- Ροπή Βάσης  $M_{ed}=V \cdot h=38 \cdot 3.5=135.8\text{ kNm}$

Όπου:

$\varepsilon$  : συντελεστής σεισμικής επιβαρύνσεως. Για το υφιστάμενο κτήριο σεισμικής περιοχής II και επικινδυνότητας εδάφους β προέκυψε 0,08

$h$  : ύψος υποστυλώματος , θεώρηση προβόλου

Με χρήση των πινάκων Saliger από το κείμενο των Γερμανικών Κανονισμών "Der eisenbeton" πανω στους οποίους βασίστηκε και ο Ελληνικός Αντισεισμικός του 1959, προέκυψε ως απαίτηση εφελκόμενου και συμμετρικού θλιβόμενου οπλισμού  $24\text{ cm}^2$ . ( $\rho_1=\rho_2=12\text{ cm}^2$ )

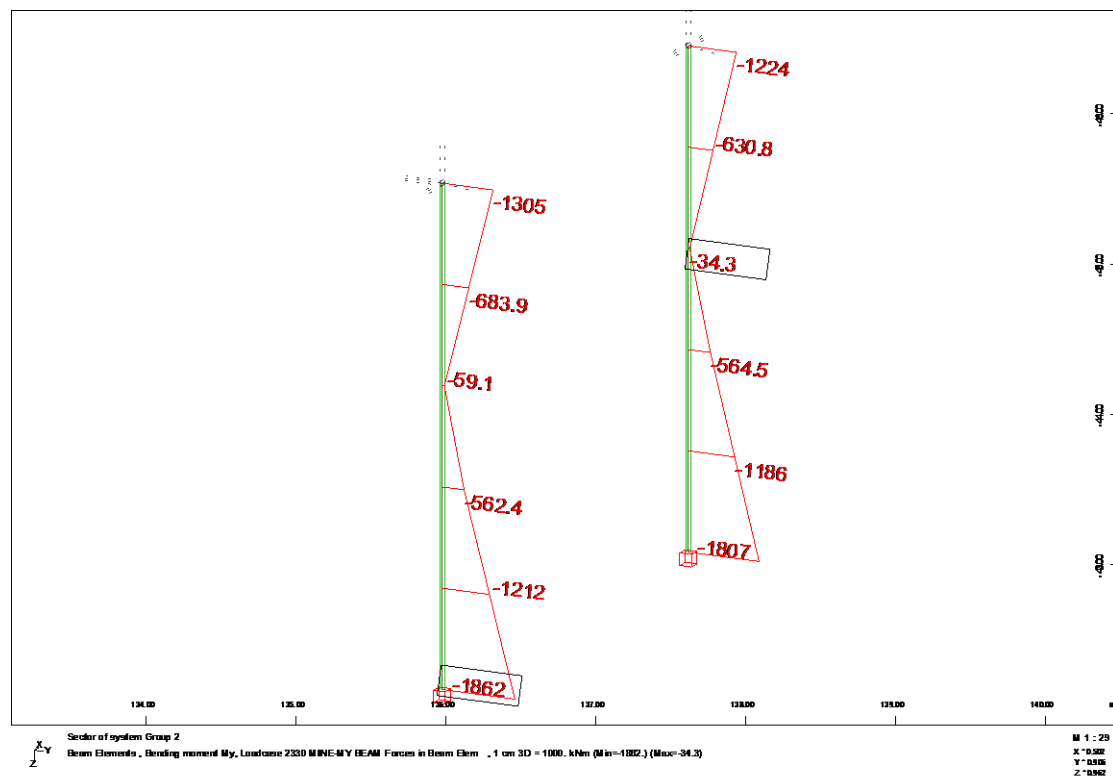
Οπότε θεωρήσαμε αυτόν τον οπλισμό ως υφιστάμενο.

Με χρήση των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και συγκεκριμένα της Σ2 του κεφαλαίου 7 υπολογίστηκε η γωνία στροφής στην διαρροή και στην συνέχεια η ροπή αντοχής της διατομής.

Προέκυψε λοιπόν  $M_{rdy}=1237\text{kNm}$

Έπειτα, για το τροποποιημένο μοντέλο, μετά την αφαίρεση των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε γραμμική ελαστική ανάλυση για τις στατικές φορτίσεις αλλά και ιδομορφική ελαστική ανάλυση για την σεισμική φόρτιση .

ισόγειο



Παρατηρούμε ότι η απαίτηση για  $M_y$  είναι πλέον 1862 kNm

Άρα η ροπή που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι:

$$\Delta M_y = 1862 - 1237 = 625 \text{ kNm}$$

Για την ενίσχυση, χρησιμοποιούμε ανθρακοελάσματα τύπου Sika CarboDur® E με πάχος στρώσης 1.2mm και χαρακτηριστική αντοχή 3500MPa

Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. στην περίπτωση αγκυρωμένης ενίσχυσης, με μορφή αστοχίας τη θραύση του σύνθετου υλικού, η αντοχή του υλικού ενίσχυση σε θραύση είναι ίση με τη χαρακτηριστική αντοχή του προς έναν συντελεστή που λαμβάνεται ίσο με 1.2. Έτσι,  $\sigma_{jd}=2805/1.2=2337,5\text{MPa}$ . Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ ορίζει ότι η αύξηση της καμπτικής ροπής κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά, δίνεται από τον σχέση:  $\Delta M = A_j * z * \sigma_{jd}$  όπου  $z$  ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων ο οποίος μπορεί να ληφθεί ίσο με  $0.9d_j$ .

Τοποθετείται 1 στρώση πλάτους 400mm και πάχους 1,2mm

$$A_j = 480\text{mm}^2$$

$$\text{Προκύπτει αύξηση της αντοχής } \Delta M_j = 480\text{mm}^2 * 702 * 2337.5 / 1000000 = 787,644\text{kNm}$$

Που επαρκεί.

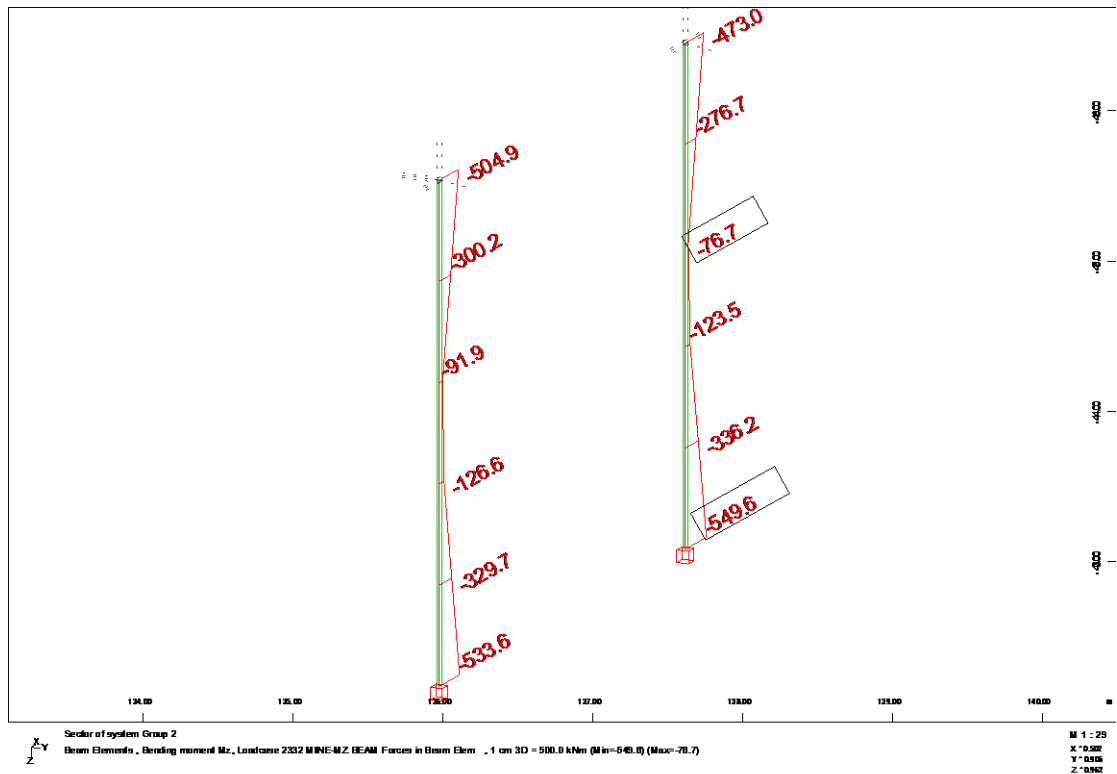
$M_{zz}$

Με χρήση των σχέσεων του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και συγκεκριμένα της Σ2 του κεφαλαίου 7 υπολογίστηκε η γωνία στροφής στην διαρροή και στην συνέχεια η ροπή αντοχής της διατομής

Προέκυψε λοιπόν :

$$M_{rdzz} = 761.59\text{ kNm}$$

Έπειτα, για το τροποποιημένο μοντέλο, μετά την αφαίρεση των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε γραμμική ελαστική ανάλυση για τις στατικές φορτίσεις αλλά και ιδομορφική ελαστική ανάλυση για την σεισμική φόρτιση .



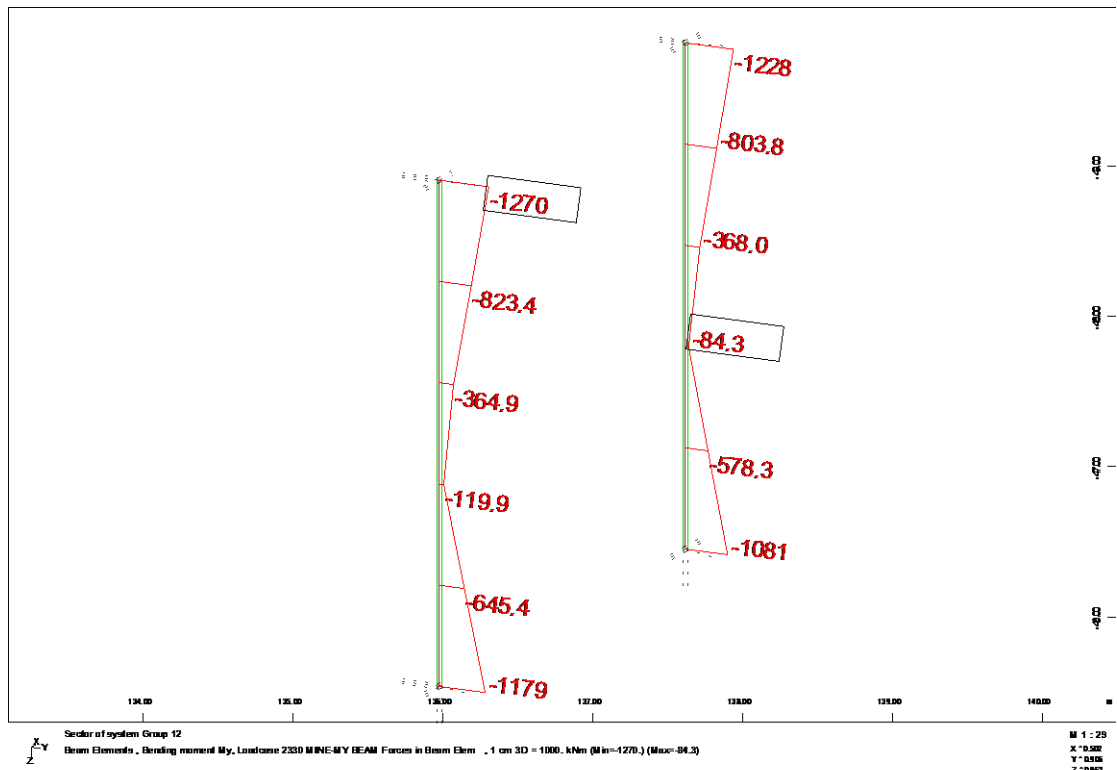
Υπάρχει απαίτηση για  $M_{zz} ed = 549,6 \text{ kNm} < M_{rd,z}$

Άρα δεν απαιτείται ενίσχυση σε αυτήν την διεύθυνση.

Όροφος

Για τα όμοια υποστυλώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου προκύπτουν τα εξής διαγράμματα :

$M_{yy}$



Ομοίως προκύπτει  $M_{rdy}=711,35\text{kNm}$

Υπάρχει απαίτηση για  $M_{ed,y}=1270\text{kNm}$

Αρα ο η ροπή που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός της ενίσχυσης είναι:

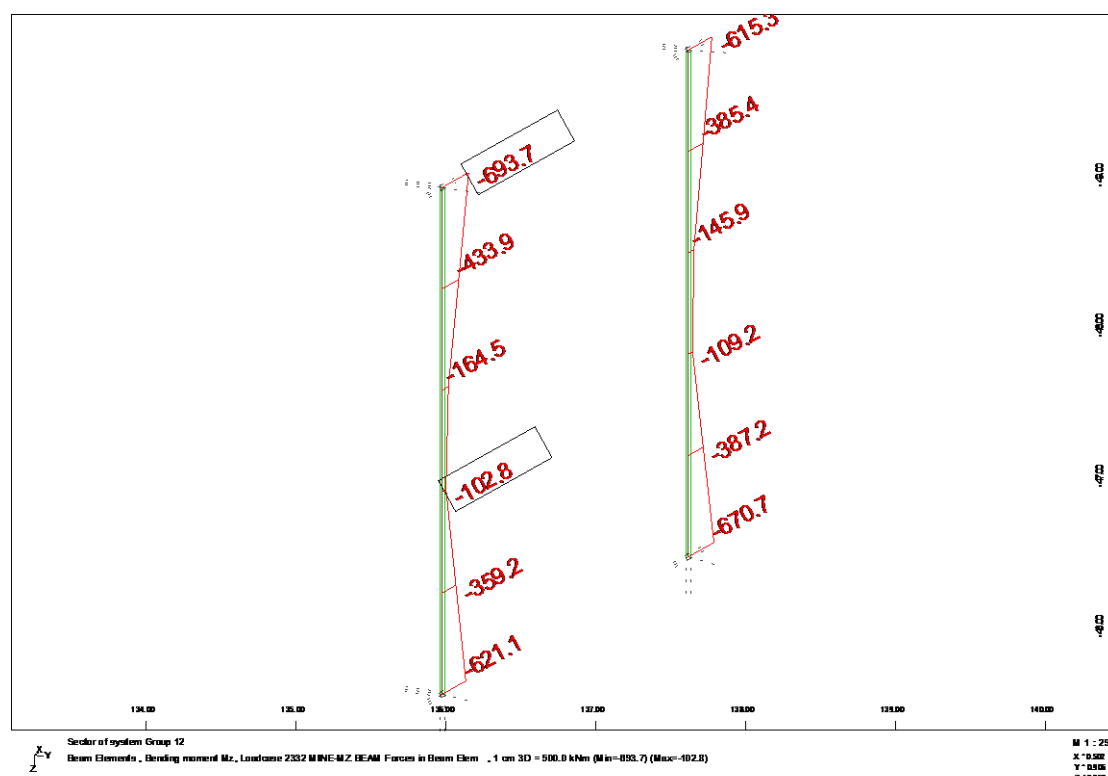
$$\Delta M_j = 558,65\text{kNm}$$

Τοποθετείται 1 στρώση πλάτους 400mm και πάχους 1.2mm

$$A_j = 480\text{mm}^2$$

Προκύπτει αύξηση αντοχής  $\Delta M = 787,644\text{ kNm}$  που επαρκεί.

Mzz



Προκύπτει αντοχή  $M_{rdz}=440.45\text{kNm}$

$M_{ed,z}=693.7\text{kN}$

Άρα ο η ροπή που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός της ενίσχυσης είναι:

$\Delta M_j=558,65\text{kNm}$

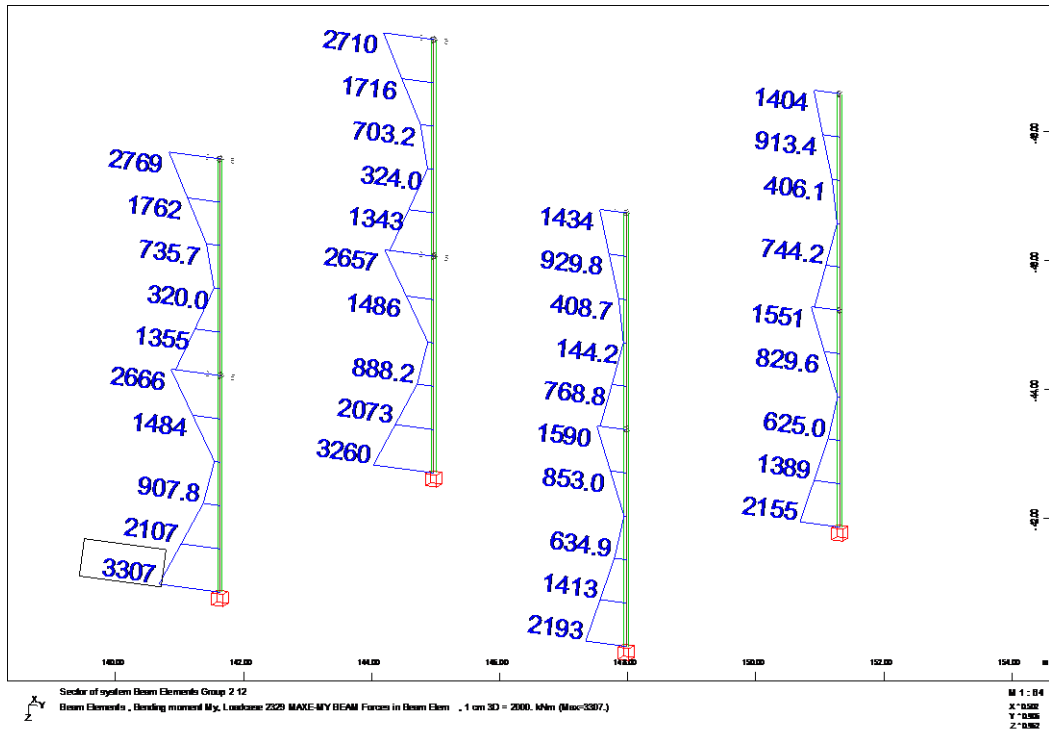
Τοποθετείται 1 στρώση πλάτους 400mm και πάχους 1.2mm

$A_j=480\text{mm}^2$

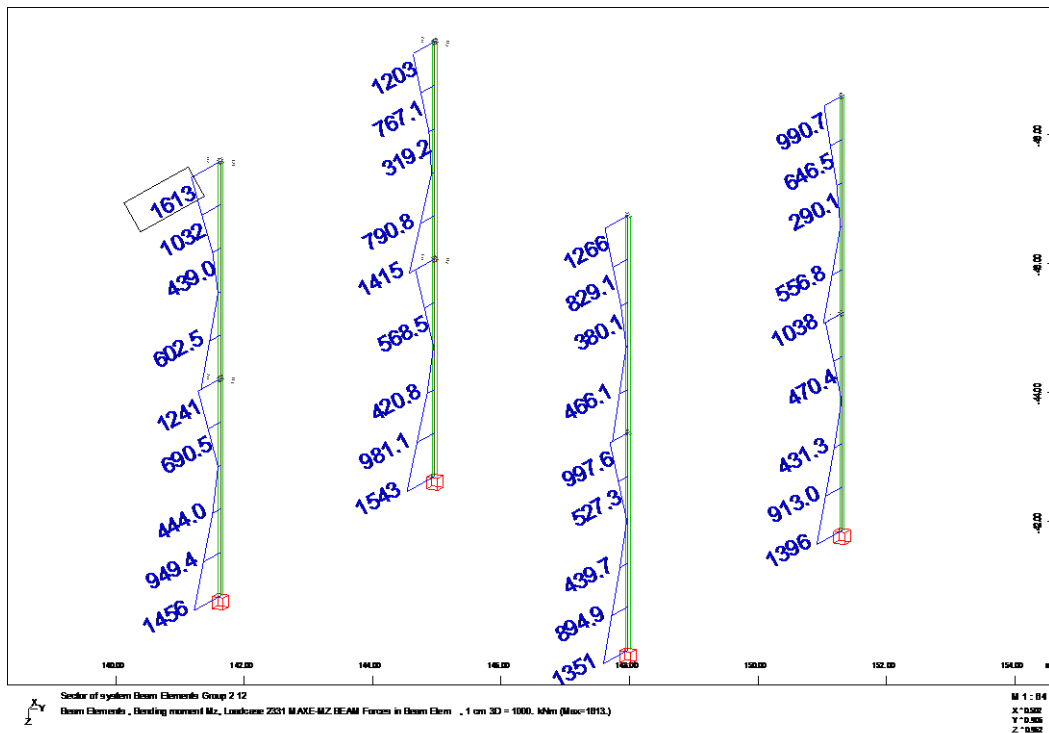
Προκύπτει αύξηση αντοχής  $\Delta M=484.7\text{ kNm}$  που επαρκεί.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία , παρουσιάζονται παρακάτω οι αναλύσεις, οι καταπονήσεις σε καμπτική ροπή και η διαστασιολόγηση των ενισχύσεων των υπόλοιπων υποστυλωμάτων .

# Myy



# Mzz



Όροφος		$M_{Rd}(kNm)$	$M_{ed}(kNm)$	$\Delta M_j (kNm)$	$A_{\text{τοποθετείται}}$	$\Delta M_{\text{τελικό}}$
1 <sup>ος</sup>	y	1359,9	3302	1942,1	2x1,2x600	2362,932
	z	1359,9	1543	183,1	1x1,2x500	984
2 <sup>ος</sup>	y	929,66	2693	1763,34	2x1,2x500	1969,11
	z	929,66	1613	683,34	1x1,2x500	984,55
1 <sup>ος</sup>	y	1062,5	2149	1086,5	1x1,2x700	1201,66
	z	1220,5	1396	175,5	1x1,2x300	590,73
2 <sup>ος</sup>	y	751,7	1654	902,3	1x1,2x800	1373,328
	z	865,1	1266	400,9	1x1,2x400	787,644

#### 4.5.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η συνεισφορά των υφιστάμενων οπλισμών διάτμησης στην ανάληψη της τέμνουσας δύναμης είναι αμφισβητήσιμη. Γι' αυτόν τον λόγο στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής γίνεται η παραδοχή μηδενικής συνεισφοράς στην αντοχή της εκάστοτε διατομής σε τέμνουσα θεωρείται πως συνίσταται αποκλειστικά από την αντοχή της διατομής σκυροδέματος  $V_{rd,c}$ .

Επιλέγεται ύφασμα με ίνες άνθρακα μονής διεύθυνσεως, SikaWrap® -600 C

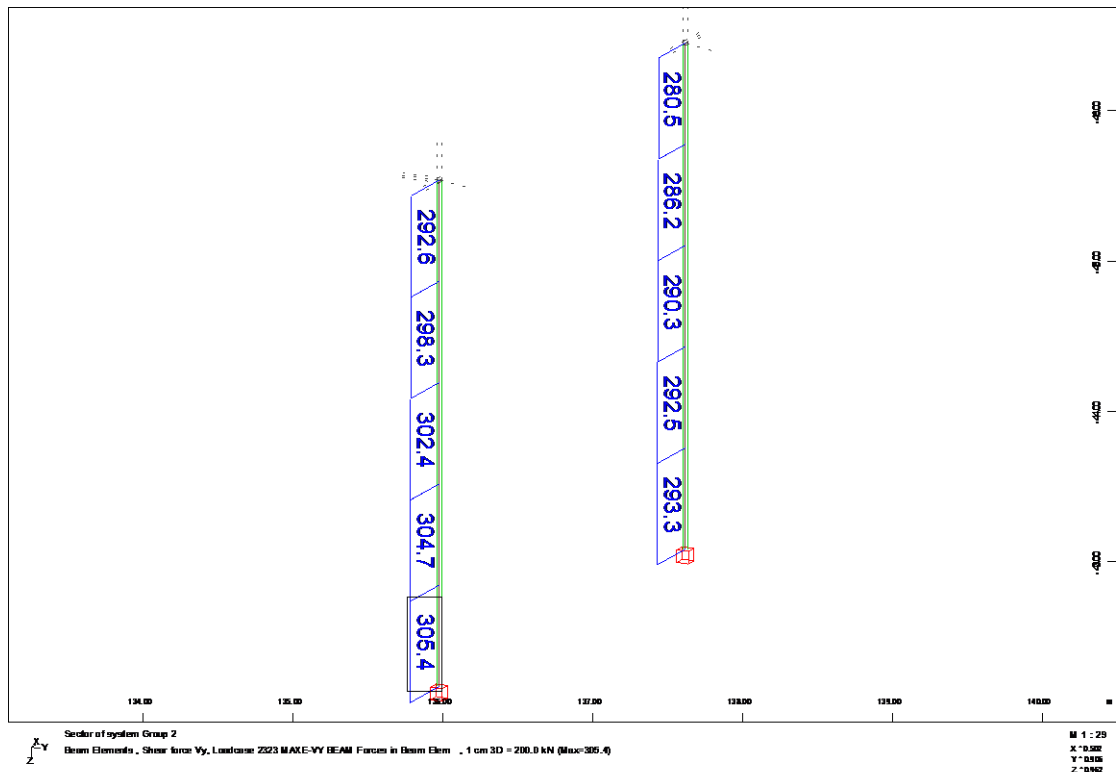
Σε συνεχή φύλλα.

Για τα υποστυλώματα K17 K18 προκύπτει  $V_{rd,c} = 139,45011$  kN

Από την φασματική ανάλυση προκύπτουν:

$V_{y,ed}$





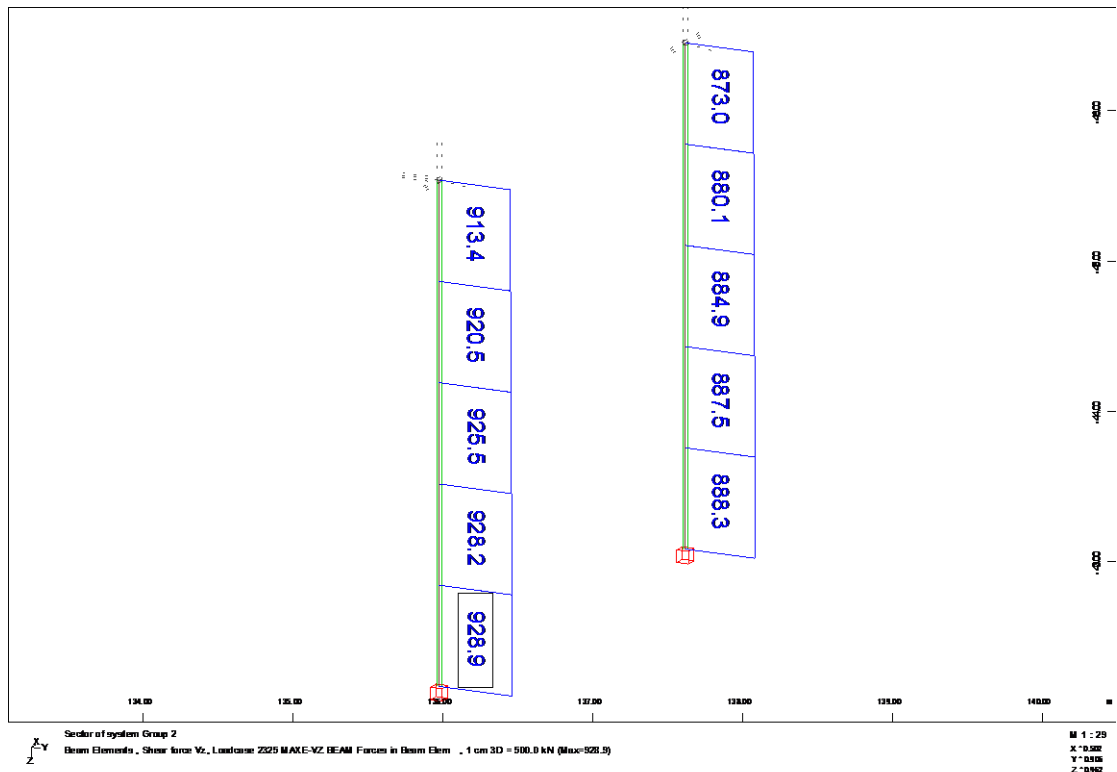
Προκύπτει απαίτηση  $V_{y,ed}=305.4$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_j = 305.4 - 139.5 = 165.9 \text{ kN}$$

Τοποθετείται μία στρώση σε κάθε παρειά στην διεύθυνση  $\psi$  που προσδίδει πρόσθετη αντοχή  $V_j=300\text{kN}$ .

$V_{z,ed}$



$$V_{rd,c} = 139.45 \text{ kN}$$

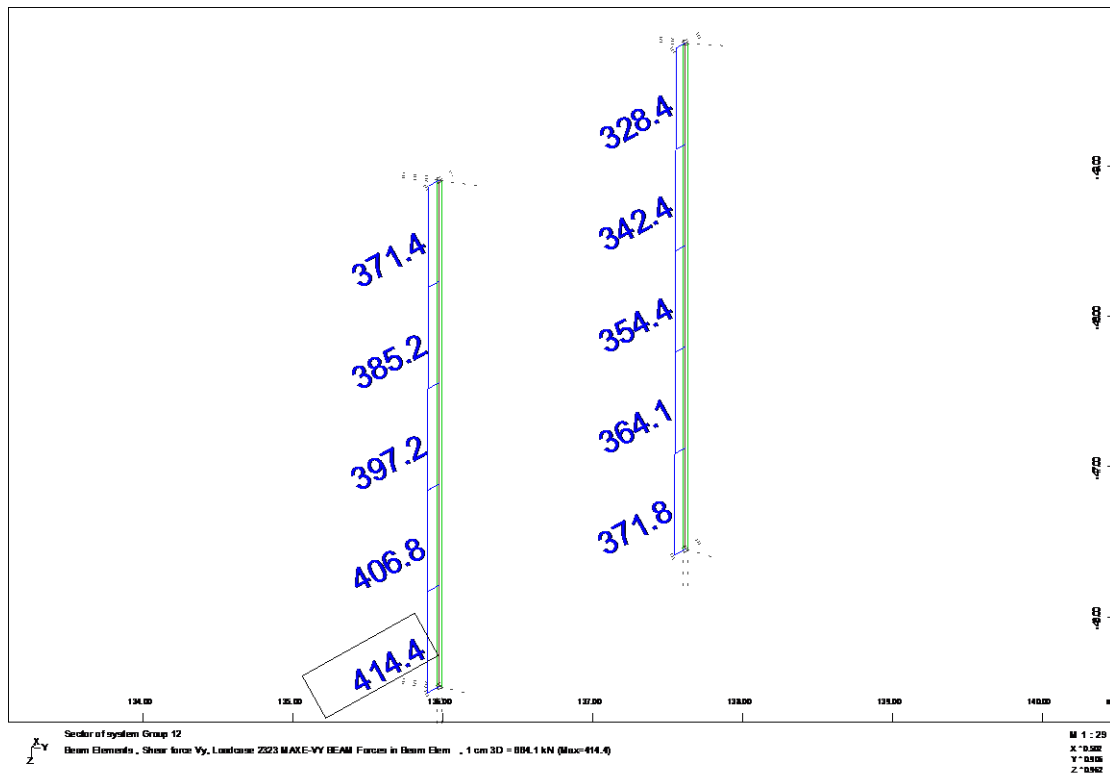
$$V_{z,ed} = 928.9 \text{ kN}$$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_{j,z} = 928.9 - 139.45 = 789.4 \text{ kN}$$

Τοποθετούνται 2 στρώσεις σε κάθε παρεία της διεύθυνσης z που προσδίδουν πρόσθετη αντοχή  $V_j = 1001.63 \text{ kN}$

V<sub>y</sub>



$$V_{rd,c}=139.45\text{kN}$$

$$V_{ed,y}=414.4$$

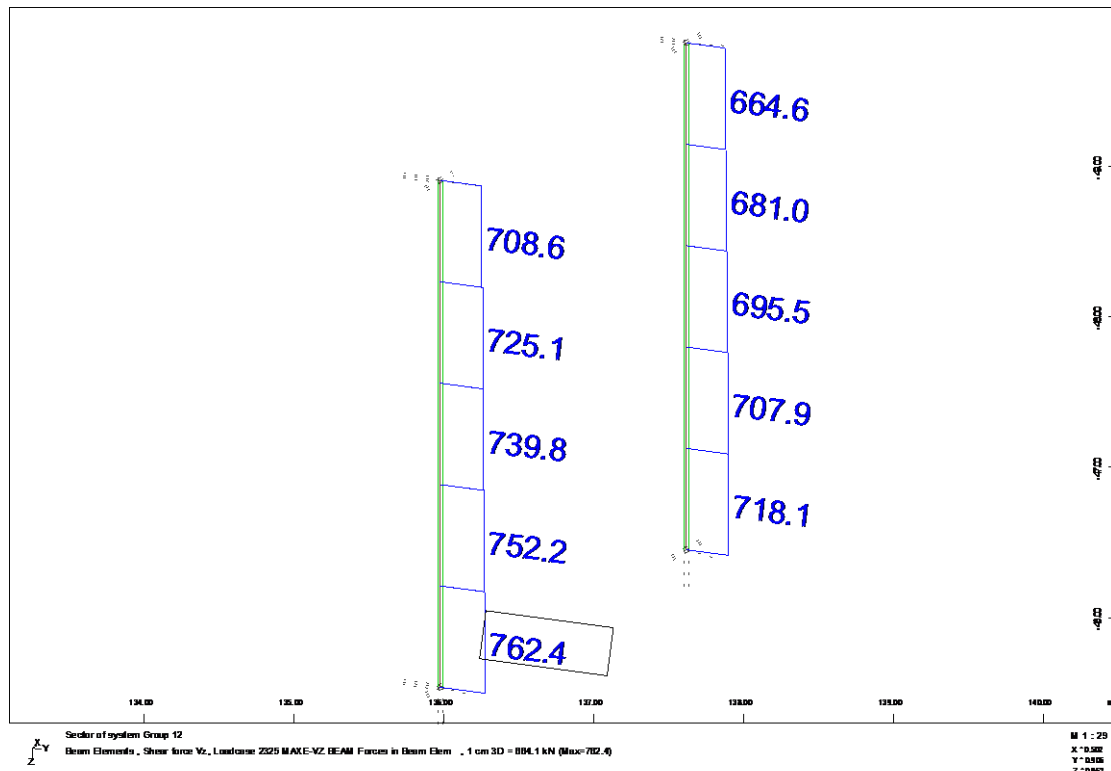
Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_{j,y}=414.4-139.45=274.9\text{ kN}$$

Τοποθετείται μία στρωση σε κάθε παρεία της διεύθυνσης  $\psi$  που προσδίδει πρόσθετη αντοχή:

$$V_j=300.38\text{ kN}$$

Vz



$V_{rd,c}=139.5$  kN

$V_{ed,z}=762.4$  kN

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_j = 762.4 - 139.5 = 622.9 \text{ kN}$$

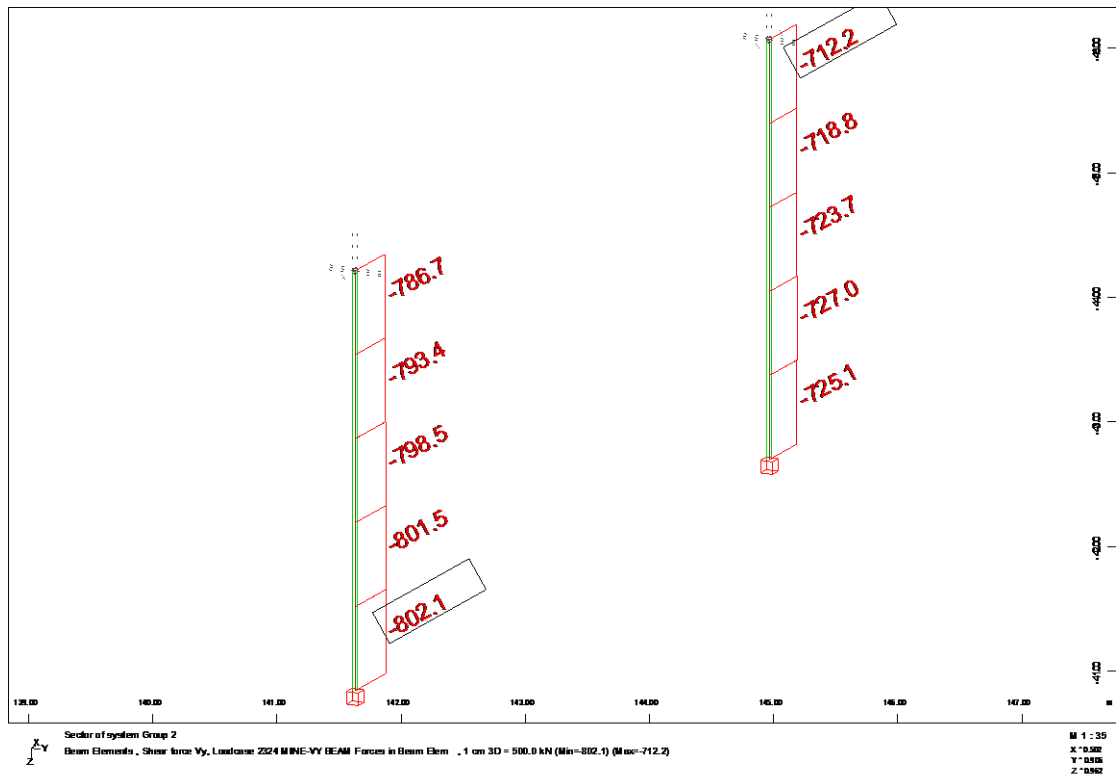
Τοποθετούνται δύο στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης z που προσδίδει συνολική αντοχή:

$$V_j = 1001.2 \text{ kN}$$

**K13 K14**

*Ισογειο*

V<sub>y</sub>



$V_{rd,c}=217.27 \text{ kN}$

$V_{ed,y}=802.1 \text{ kN}$

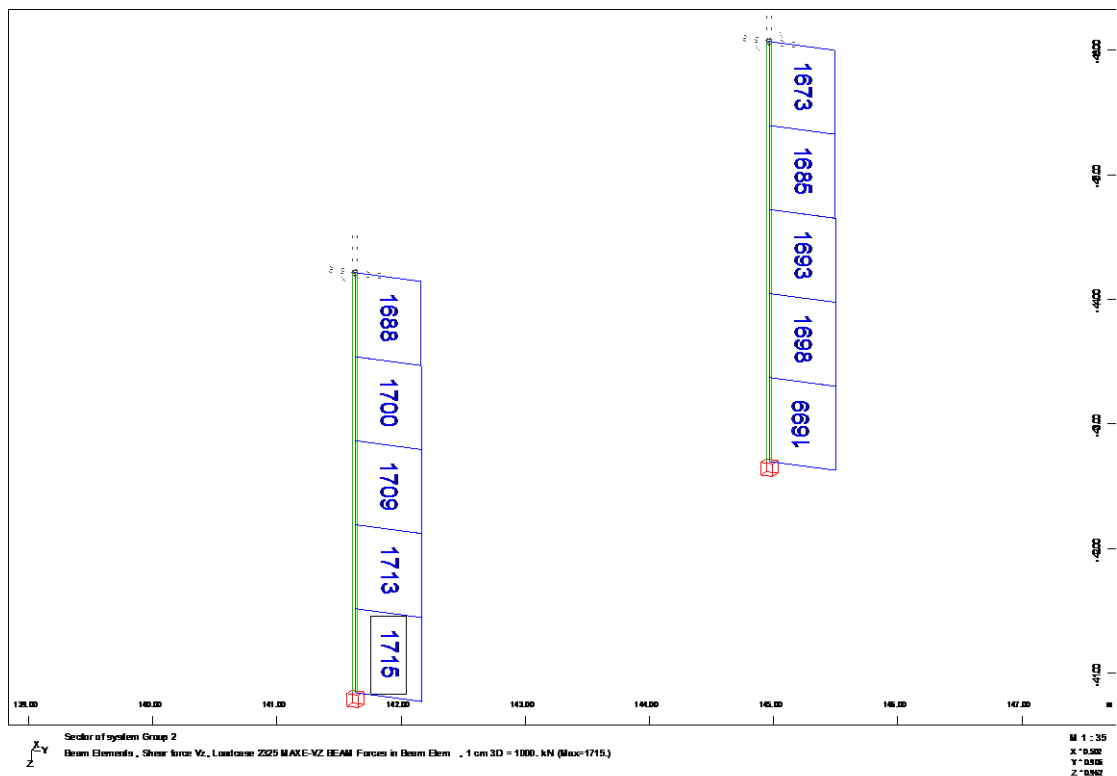
Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_j = 802.1 - 217.27 = 584.83 \text{ kN}$$

Τοποθετούνται δύο στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης  $y$  που προσδίδει πρόσθετη αντοχή:

$$V_j = 1001 \text{ kN}$$

Vz



$$V_{rd,c}=217.27 \text{ kN}$$

$$V_{ed,z}=1715 \text{ kN}$$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

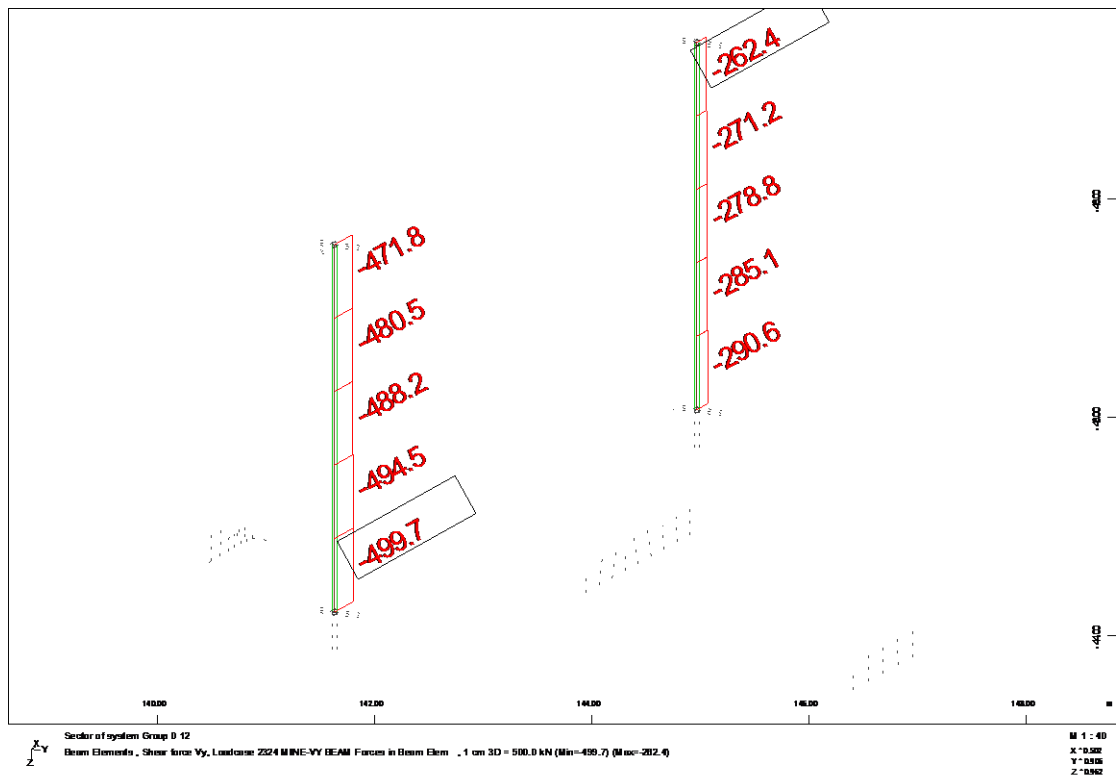
$$\Delta V_{j,z}=1715-217.27=1497.73 \text{ kN}$$

Τοποθετούνται τρεις στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης z που προσδίδει συνολική αντοχή:

$$V_{j,z}=1510 \text{ kN}$$

Όροφος

V<sub>y</sub>



$V_{rd,c}=217.27 \text{ kN}$

$V_{ed,y}=499.7$

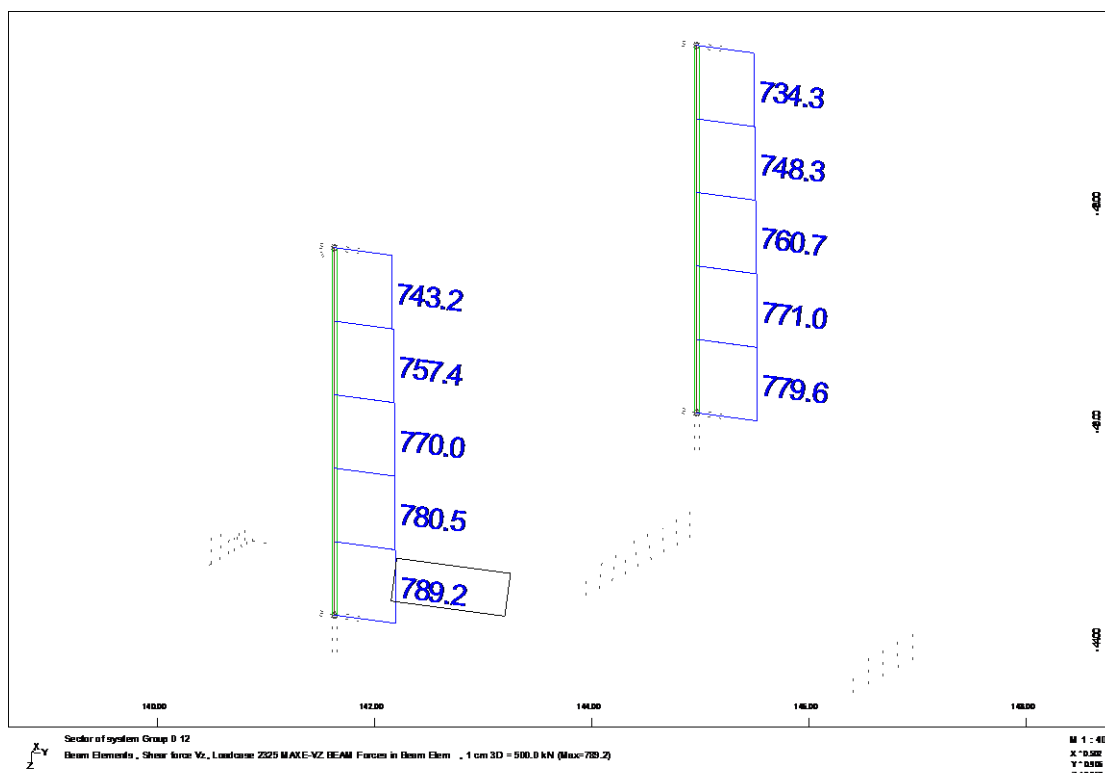
Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

$\Delta V_{j,y}=499.7-217.27=282.43 \text{ kN}$

Τοποθετείται μία στρώση σε κάθε παρειά της διεύθυνσης  $\psi$  που προσδίδει πρόσθετη αντοχή:

$V_{j,y}=500.54 \text{ kN}$

Vz



$$V_{rd,c}=217.27 \text{ kN}$$

$$V_{ed,z}=789.2$$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_{j,z}=789.2-217.27=571.93 \text{ kN}$$

Τοποθετούνται δύο στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης z που προσδίδει συνολική αντοχή:

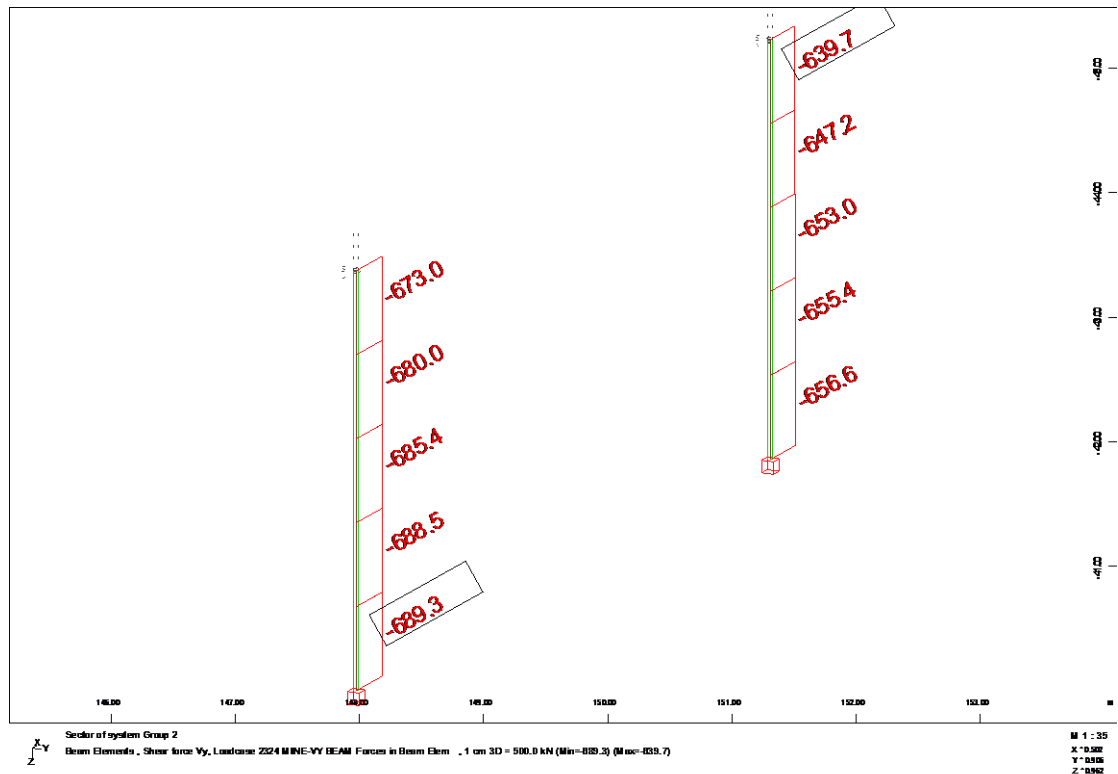
$$V_{j,z}=1001.275 \text{ kN}$$

K11 K12

Ισογειο



V<sub>y</sub>



$$V_{rd,c}=191.33\text{kN}$$

$$V_{ed,y}=689.3\text{kN}$$

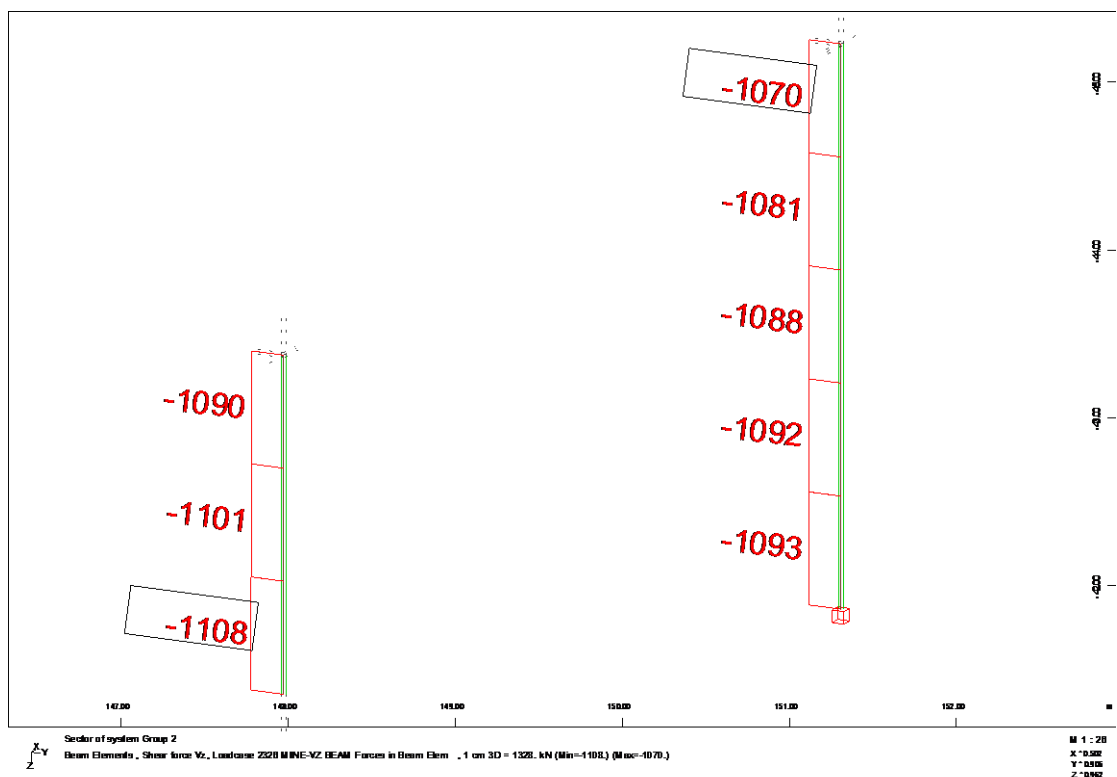
Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός ενίσχυσης είναι :

$$\Delta V_{j,y}=689.3-191.33=497.97\text{kN}$$

Τοποθετείται μία στρώση σε κάθε παρειά της διεύθυνσης  $\psi$  που προσδίδει συνολική αντοχή:

$$V_{j,y}=500.54\text{ kN}$$

Vz



$V_{rd,c}=191.33\text{kN}$

$V_{ed,z}=1108\text{kN}$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

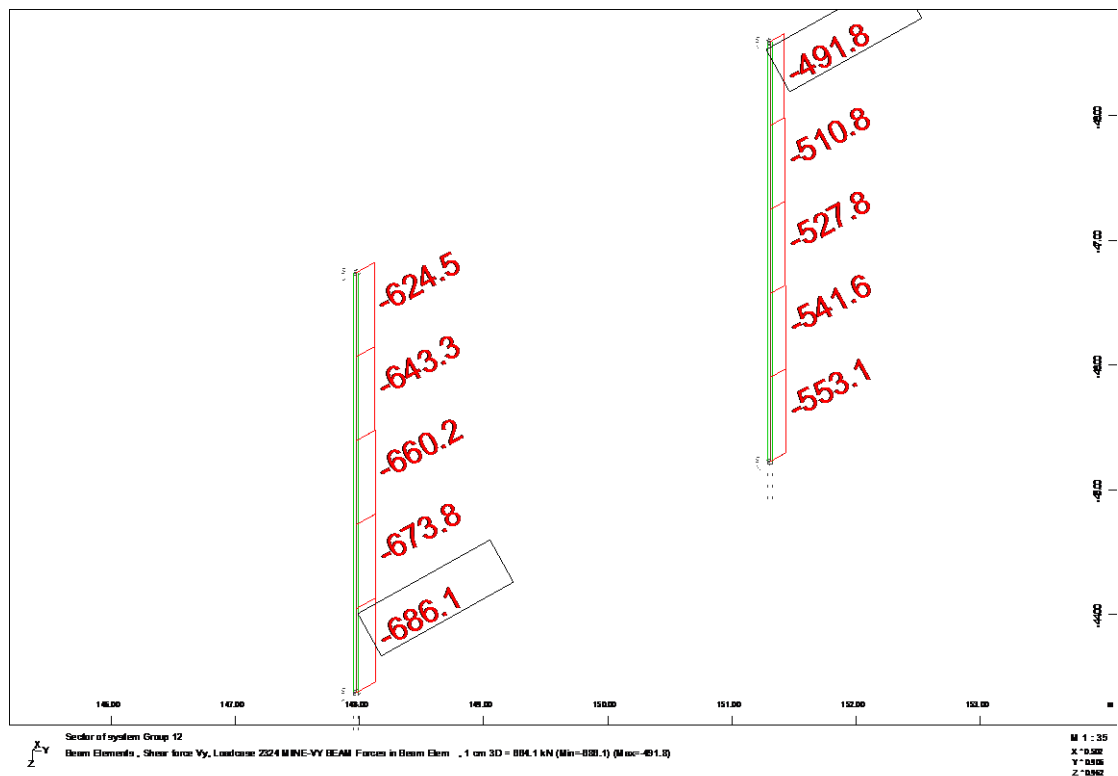
$\Delta V_j=1108-191.33=916.67\text{ kN}$

Τοποθετούνται δύο στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης z που προσδίδει συνολική αντοχή:

$V_{j,z}=1001.275\text{ kN}$

OROFOS

V<sub>y</sub>



$V_{rd,c}=191.33\text{ kN}$

$V_{ed,y}=686.1$

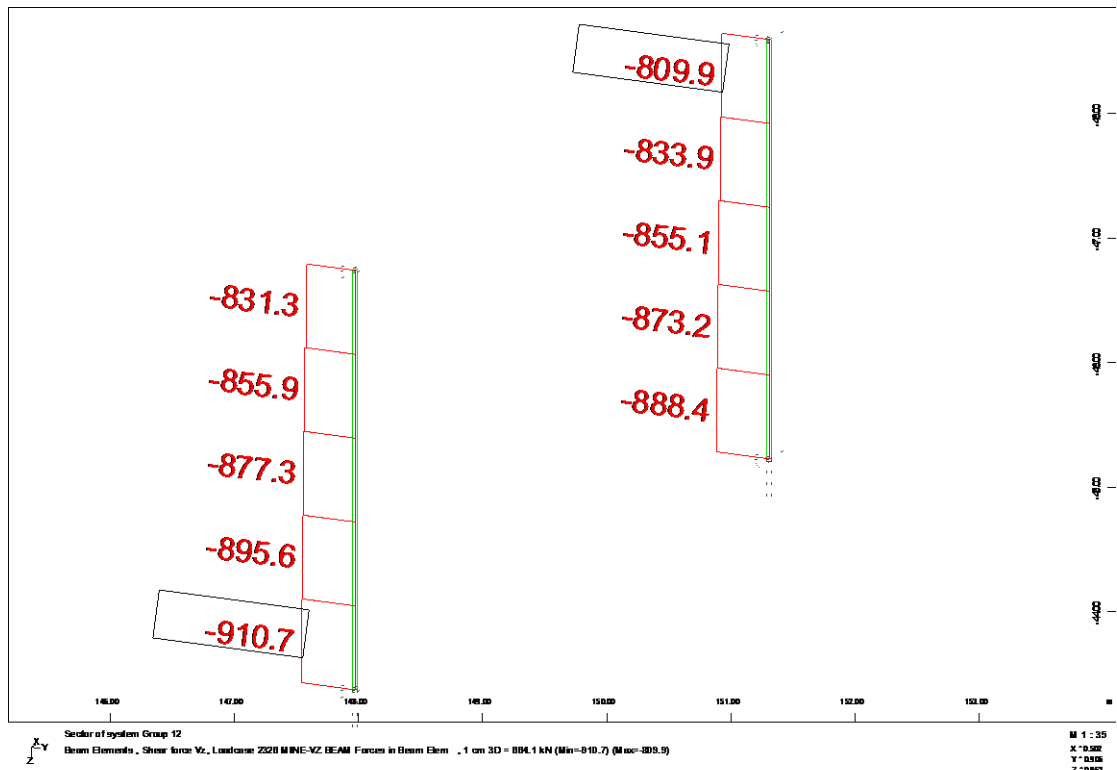
Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο σπλισμός ενίσχυσης είναι :

$\Delta V_j=686.1-191.33=494.77\text{ kN}$

Τοποθετείται μία στρώση σε κάθε παρειά της διεύθυνσης  $\psi$  που προσδίδει συνολική αντοχή:

$V_{j,y}=500.54\text{ kN}$

V<sub>z</sub>



$$V_{rd,c}=191.33\text{kN}$$

$$V_{ed,z}=910.7$$

Η τέμνουσα που καλείται να αναλάβει ο οπλισμός ενίσχυσης είναι :

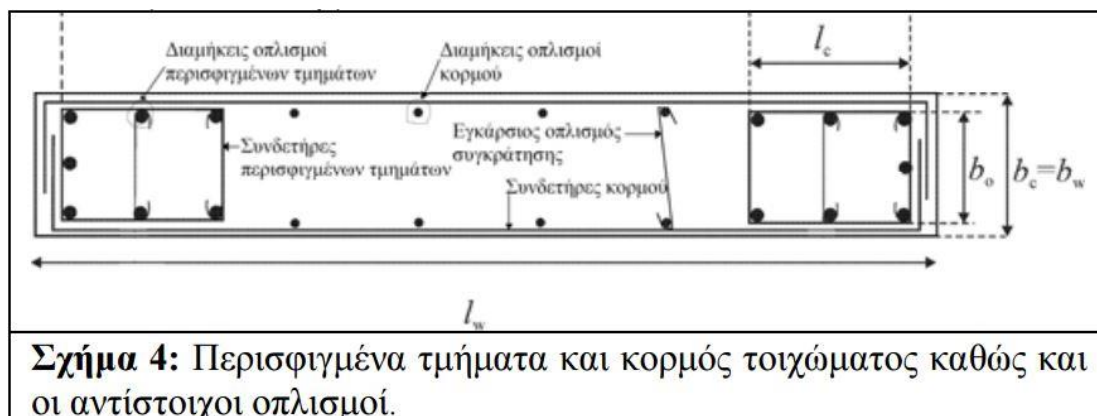
$$\Delta V_{j,z}=910.7-191.33=719.37\text{ kN}$$

Τοποθετούνται δύο στρώσεις σε κάθε παρειά της διεύθυνσης z που προσδίδει συνολική αντοχή:

$$V_{j,z}=1001.275\text{ kN}$$

## 4.6.ΤΟΙΧΕΙΑ

Σύμφωνα με τις σύγχρονες απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 2 και του ευρωκώδικα 8, η όπλιση του τοιχώματος αποτελείται από τις εξής περιοχές:

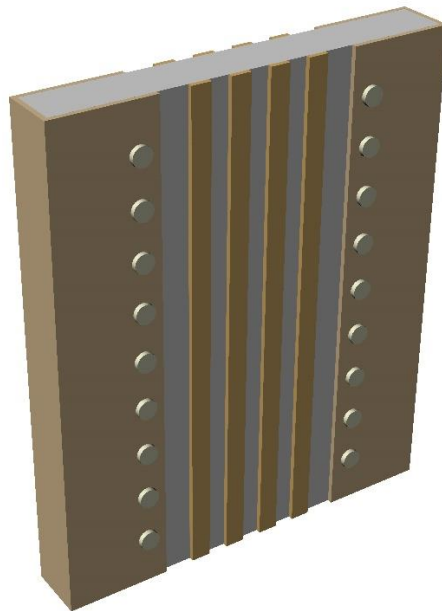


- Σε μια οριζόντια τομή του τοιχώματος διακρίνουμε τις εξής περιοχές: τα δύο ακραία περισφιγμένα τμήματα («κρυφοκολώνες») (μήκους  $l_c$  έκαστον) και τον κορμό.
- Αντιστοίχως οι οπλισμοί του τοιχώματος είναι: οι διαμήκεις οπλισμοί των περισφιγμένων τμημάτων, οι διαμήκεις οπλισμοί του κορμού, οι συνδετήρες περισφιγξης των περισφιγμένων τμημάτων, οι συνδετήρες του κορμού και οι σιγμοειδείς οπλισμοί συγκράτησης του διαμήκους οπλισμού του κορμού

Όσον αφορά στο υφιστάμενο κτίριο :

Η έννοια των περισφιγμένων τμημάτων (κρυφοκολώνων) δεν υπήρχε στους παλαιούς κανονισμούς. Η αποτίμηση της καμπτικής συμπεριφοράς των τοιχωμάτων, απουσία των σχεδίων των ξυλοτύπων δεν μπορεί να είναι ακριβής. Δεδομένο πρέπει να θεωρείται όμως, ότι η καμπτική αντοχή τους δεν επαρκεί στην ανάληψη της καταπόνησης που απαιτείται σύμφωνα με τους νεότερους αντισεισμικούς κανονισμούς.

Παρακάτω παρατίθεται ένα τυπικό σχέδιο – πρόταση για την ενίσχυση σε κάμψη των τοιχίων με χρήση επικολλητων υφασμάτων ,που σαν φιλοσοφία έχει την δημιουργία περισφιγμένων ακραίων τμημάτων.



#### 4.6.1. ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Η συνεισφορά των υφιστάμενων οπλισμών διάτμησης στην ανάληψη της τέμνουσας δύναμης είναι αμφισβητήσιμη. Γι' αυτόν τον λόγο στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής γίνεται η παραδοχή μηδενικής συνεισφοράς τους στην αντοχή της εκάστοτε διατομής. Θεωρείται πως η αντοχή σε διατμητική καταπόνηση συνίσταται αποκλειστικά από την αντοχή της διατομής σκυροδέματος  $V_{rd,c}$ .

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τοιχεία του ισογείου με τις διαστάσεις τους και τις καταπονήσεις από τον σεισμικό συνδιασμό. Με κόκκινο χρώμα στην αντίστοιχη στήλη σημειώνονται τα στοιχεία που απαιτούν ενίσχυση σε τέμνουσα.

NR		<b>b (m)</b>	<b>l (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>PZ (kN)</b>	<b>Fbase (kN)</b>	<b>V<sub>rd,max</sub> (kN)</b>	<b>V<sub>rd,c</sub> (kN)</b>	<b>check</b>
1	1x	0,3	1,46	3,5	-205,7	118,4832	1152,6	137,51	0
	1y	0,3	1,46	3,5	-193,5	111,456	1152,6	137,51	0
2	2x	0,3	1,46	3,5	-203,1	116,9856	1152,6	137,51	0
	2y	0,3	1,46	3,5	-192,3	110,7648	1152,6	137,51	0
3	3x	0,3	1,6	3,5	-327,9	188,8704	1291,7	148,81	1
	3y	0,3	1,2	3,5	-167,9	96,7104	894,24	144,33	0
4	4x	0,3	1,6	3,5	-316,4	182,2464	1291,7	148,81	1
	4y	0,3	1,2	3,5	-174,2	100,3392	894,24	148,81	0
5	5x	0,3	1,25	3,5	-569,7	328,1472	943,92	115,91	1
6	6x	0,3	1,25	3,5	-536,6	309,0816	943,92	115,91	1
7	7x	0,3	1,2	3,5	-151,8	87,4368	894,24	111,8	0
	7y	0,3	1,2	3,5	-169,7	97,7472	894,24	111,8	0
8	8x	0,3	1,2	3,5	-158,4	91,2384	894,24	111,8	0
	8y	0,3	1,2	3,5	-189,3	109,0368	894,24	111,8	0
9	9x	0,3	1,2	3,5	-188,6	108,6336	894,24	111,8	0

	<b>9y</b>	0,3	1,25	3,5	-190,9	109,9584	943,92	111,8	0
<b>10</b>	<b>10x</b>	0,3	1,2	3,5	-202,7	116,7552	894,24	111,8	1
	<b>10y</b>	0,3	1,25	3,5	-186,5	107,424	943,92	111,8	0
<b>19</b>	<b>19x</b>	0,3	1,2	3,5	-310,6	178,9056	894,24	111,8	1
<b>20</b>	<b>20x</b>	0,3	1,2	3,5	-311,5	179,424	894,24	111,8	1
<b>21</b>	<b>21x</b>	0,3	1,25	3,5	-613,8	353,5488	943,92	129,24	1
<b>22</b>	<b>22x</b>	0,3	1,25	3,5	-608,6	350,5536	943,92	129,24	1
<b>23</b>	<b>23x</b>	0,3	2,15	3,5	-292,1	168,2496	1838,2	194,5	0
<b>24</b>	<b>24x</b>	0,3	2,15	3,5	-292,2	168,3072	1838,2	194,5	0
<b>25</b>	<b>25y</b>	0,3	1,25	3,5	-351,3	202,3488	943,92	115,9	1
<b>26</b>	<b>26y</b>	0,3	1,25	3,5	-405,3	233,4528	943,92	115,9	1
<b>27</b>	<b>27y</b>	0,3	1,25	3,5	-413,2	238,0032	943,92	115,9	1
<b>28</b>	<b>28y</b>	0,3	1,25	3,5	-359,3	206,9568	943,92	115,9	1

Για τα στοιχεία ,λοιπόν, που από τον προηγούμενο έλεγχο προέκυψε ότι χρήζουν ενισχύσεως, εφαρμόστηκαν χιαστί μανδύες ελασμάτων FRP

- Πλάτους  $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
- Μέτρου ελαστικότητας  $E = 165 \text{ GPa}$
- Μέγιστης παραμόρφωσης  $\epsilon_{j,max} = 1,5\%$
- Κρίσιμης παραμόρφωσης  $\epsilon_{j,crit} = 0.5 * 1.5 = 0.75\%$
- Κρίσιμης τάσης διαστασιολόγησης  $\sigma_{j,crit} = 1031,25 \text{ Mpa}$

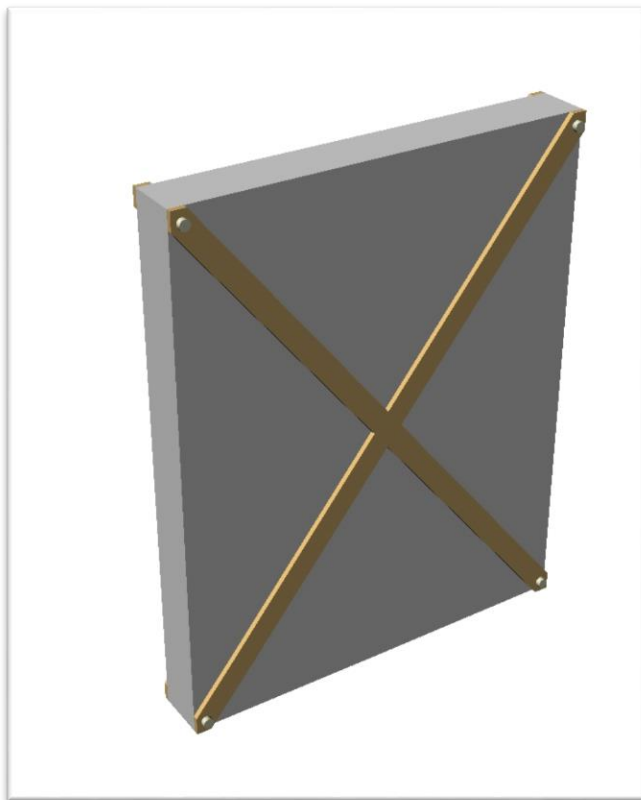
και στις δύο πλευρές όπως στο παρακάτω σχήμα:



Έτσι για κάθε ένα από το σύνολο τεσσάρων ελασμάτων σε κάθε τοίχιο(2 σε κάθε πλευρα), παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα το απαιτούμενο πάχος.

check	$\Delta V_j$ (kN)		$\cos\theta$	$V_{j,i}$ (kN)	$h_{eff}$ (mm)	$t_{j,req}$ (mm)
0	0		0,385	0	100	0
0	0		0,385	0	100	0
0	0		0,385	0	100	0
0	0		0,385	0	100	0
1	40,0604	x	0,416	48,17734	100	0,12
0	0		0,324	0	100	0,00
1	33,4364	x	0,416	40,2112	100	0,10
0	0		0,324	0	100	0,00
1	212,2372		0,336	315,5133	100	0,76
1	193,1716		0,336	287,1702	100	0,70
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,324	0	100	0,00
0	0		0,336	0	100	0,00
1	4,9552	x	0,324	7,639267	100	0,02
0	0		0,336	0	100	0,00
1	67,1056	x	0,324	103,4545	100	0,25
1	67,624	x	0,324	104,2537	100	0,25
1	224,3088		0,336	333,459	100	0,81

1	221,3136		0,336	329,0063	100	0,80
0	0		0,523	0	100	0,00
0	0		0,523	0	100	0,00
1	86,4488		0,336	128,5154	100	0,31
1	117,5528		0,336	174,7548	100	0,42
1	122,1032		0,336	181,5195	100	0,44
1	91,0568		0,336	135,3657	100	0,33

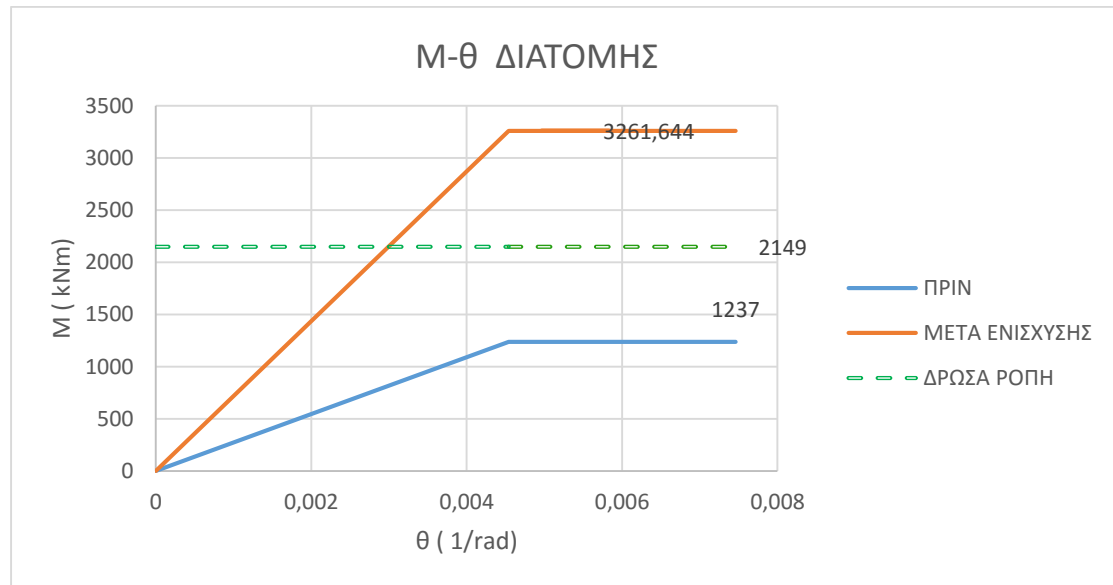


Πραγματοποιήθηκε Μη γραμμικός έλεγχος στις διατομές της βάσης των υποστυλωμάτων Κ17 Κ18 , Κ13 Κ14 και Κ11 Κ12 για τα οποία είχε υπολογιστεί- εκτιμηθεί ο υφιστάμενος οπλισμός κάμψεως με χρήση του Κανονισμού Ο.Σ. του 1954.

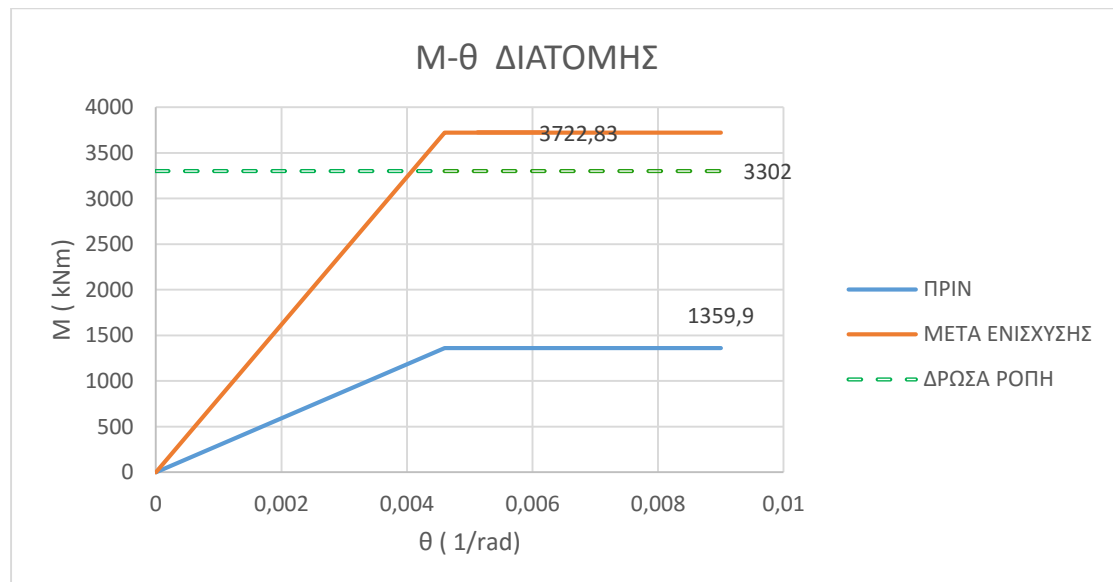
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα Ροπής αντοχής – Γωνίας στροφής διαρροής , πριν και μετά την ενίσχυση.

Για τα υποστυλώματα ισογείου, ροπή  $M_y$

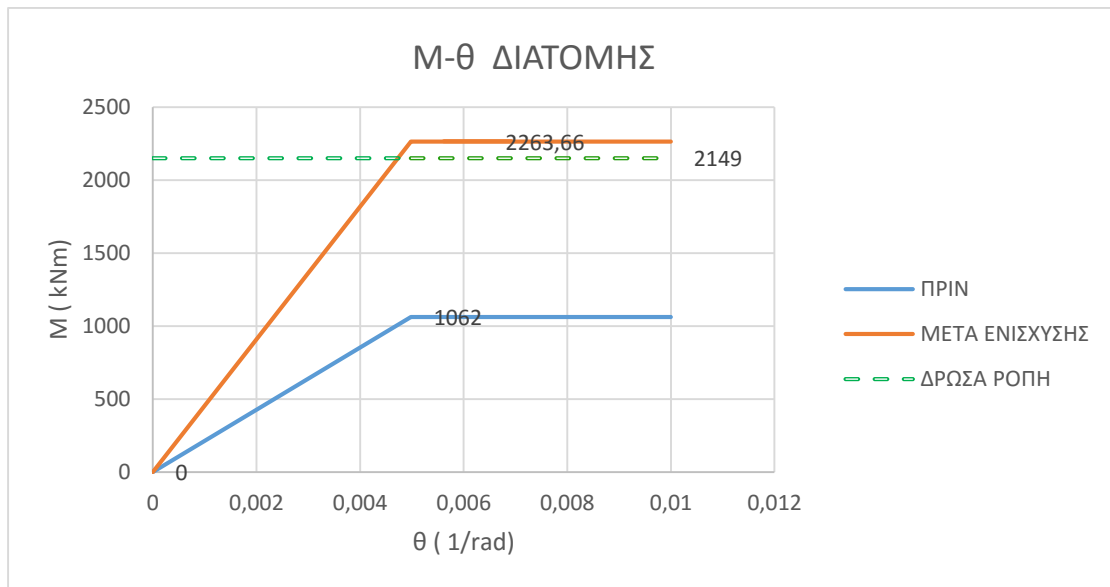
Κ17 Κ18



Κ13-Κ14



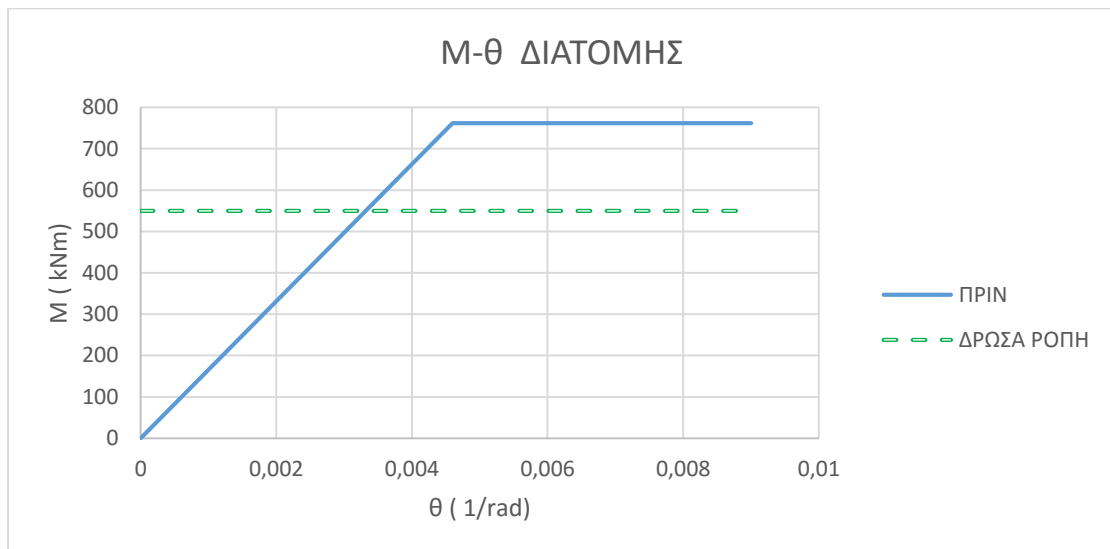
K11-K12



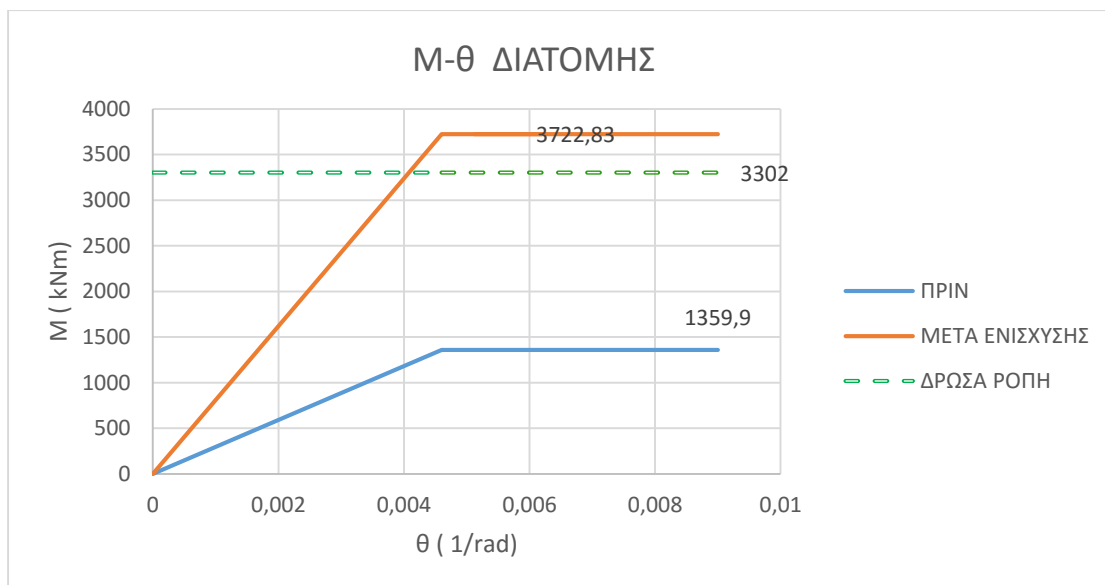
Για τα υποστυλώματα ισογείου, ροπή  $M_z$

K11 K12

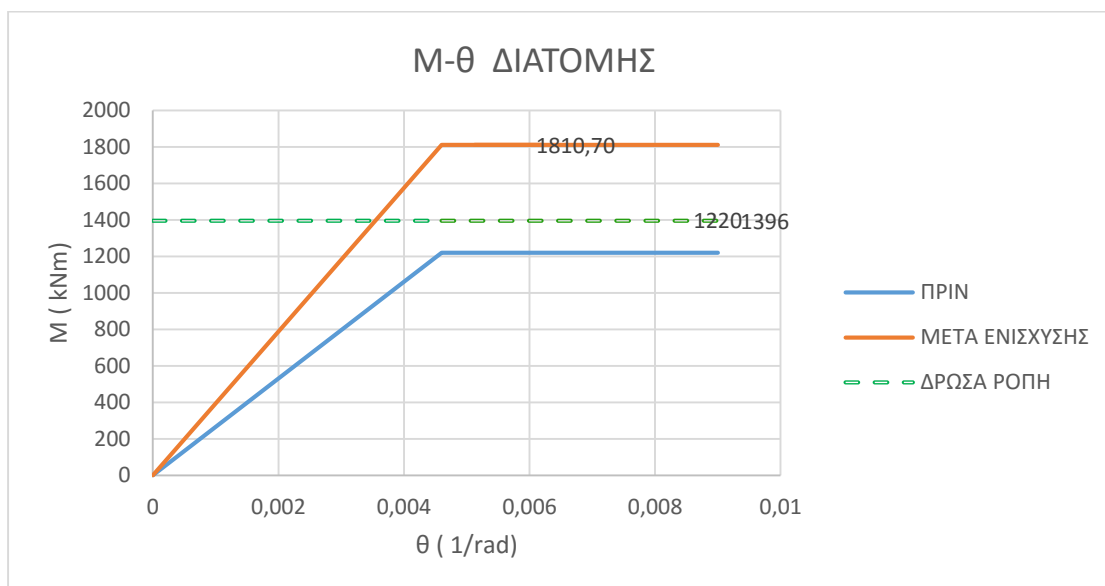
Δεν απαιτήθηκε ενίσχυση:



K13 K14



K11 K12

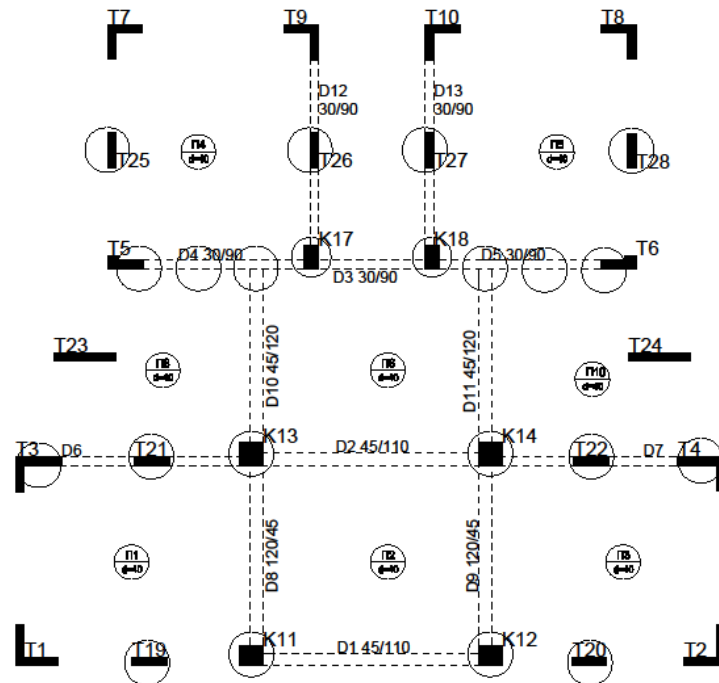


Αντιστοιχή συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα υποστυλώματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου.

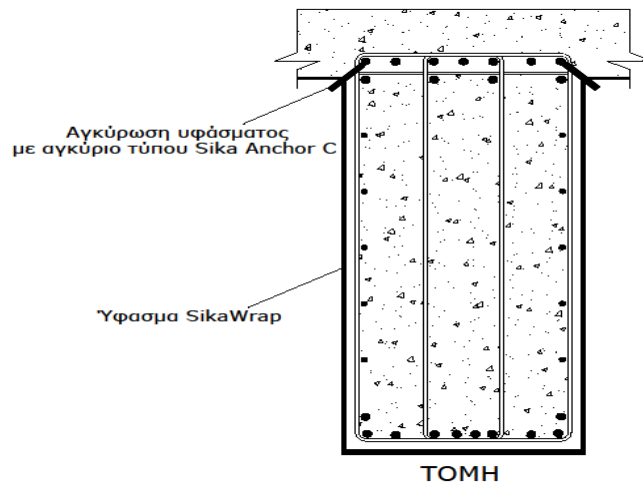
Η εφαρμογή της ενίσχυσης κρίνεται επιτυχής.

Μετά την διαδικασία ανάλυσης, η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας οδήγησε στις εξής τροποποιήσεις.

Παρουσιάζονται παρακάτω συγκεντρωτικά τα μέλη που κρίθηκαν ότι χρήζουν ενίσχυσης.

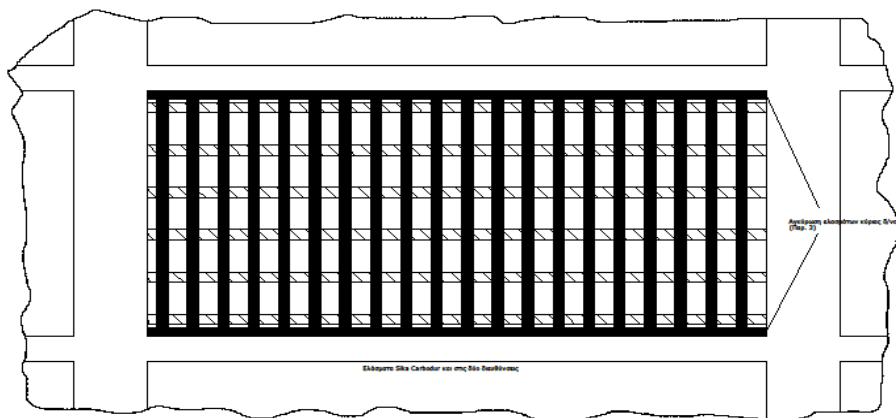


Στην συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες χαρακτηριστικές λεπτομέρειες:



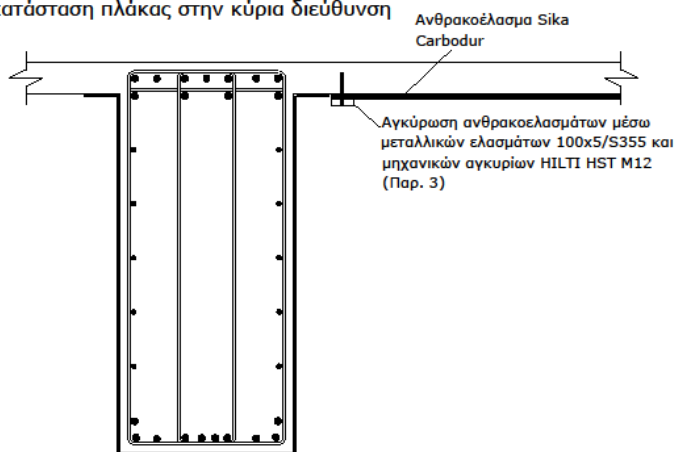
ΕΙΚΟΝΑ 1 ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑ ΔΟΚΟΥ

Ενδεικτική άνοψη ενίσχυσης πλάκων με ελάσματα ινοπλισμένων πολυμερών  
(κλ. 1:25)



ΕΙΚΟΝΑ 2 ΑΝΩΨΗ ΠΛΑΚΑΣ

ΕΛ1. Αποκατάσταση πλάκας στην κύρια διεύθυνση



ΕΙΚΟΝΑ 3 ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Δεδομένου ότι οι διαμήκεις σπλισμοί των δοκών δεν ήταν γνωστοί, έγινε παραδοχή μηδενικής συνεισφοράς τους στην ανάληψη της έντασης. Με χρήση του προγράμματος SOFISTIK FEM, ορίστηκαν τα είδη των υλικών της διατομής, σκυρόδεμα και έλασμα FRP

,καθώς και οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχής σχεδιασμού τους , σε θλίψη για το σκυρόδεμα και σε εφελκυσμό για το επικολητό έλασμα .Αξίζει να σημειωθεί ότι για το έλασμα δεν υπήρχε τυποποιημένο υλικό FRP στην βιβλιοθήκη του προγράμματος ,επιλέχθηκε συμβατικός χάλυβας στον οποίο έγιναν οι απαραίτητες τροποποιήσεις προκειμένου να αποκτήσει το μέτρο ελαστικότητας και τις αντοχές που έχουν αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια .Πιο συγκεκριμένα για το έλασμα, κρίσιμη τάση επιλέχθηκε η τιμή αστοχίας του υλικού με θεώρηση ορθής αγκύρωσης. Στην συνέχεια δημιουργήθηκε μοντέλο της δοκού με διαστάσεις ίδιες με της πραγματικής διατομής σκυροδέματος, μαζί με το έλασμα, αντίστοιχα με τις ίδιες διαστάσεις που προέκυψαν κατά την διαστασιολόγησή του.

Ακολουθήθηκε επαναληπτική διαδικασία ως εξής:

Αυξάναμε την τιμή της δρώσας ροπής στην διατομή μέχρις ότου να μας εμφανίσει ο αλγόριθμος μήνυμα αποτυχίας. Η τιμή της ροπής για την οποία επέρχονταν αυτή η αποτυχία είναι και η πραγματική ροπή αντοχής της δοκού.



## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε ως στόχο, μέσα από την κατάλληλη προσομοίωση, την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς και την ενίσχυση ενός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου το οποίο είχε διαστασιολογηθεί σύμφωνα με τον πρώτο Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 ( Βασιλικό Διάταγμα της 19/26.2.1959) καθώς και τον Κανονισμό Ο.Σ. του 1954 (Βασιλικό Διάταγμα της 18.2/26.7.1954). Τα σχέδια της αρχικής μελέτης δεν ήταν διαθέσιμα.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εργασία αυτή.

1) Σχετικά με την παραδοχή ότι οι αντοχές της εκάστοτε διατομής πλακών και δοκών ελήφθησαν ίσες με τα εντατικά μεγέθη που εξήχθησαν από το πρώτο προσομοίωμα, που φέρει το σύνολο του φέροντος οργανισμού για γραμμικό ελαστικό συνδυασμο G+Q:

- Είναι μια ταχεία μέθοδος για την εκτίμηση της αντοχής και της απόκρισης των πλακών και των δοκών μιας υφιστάμενης κατασκευής σε περίπτωση που η πρόσβαση στα σχέδια της αρχικής μελέτης δεν είναι εφικτή. Ωστόσο για ακριβέστερη ανάλυση της συμπεριφοράς προτείνεται ο επί τόπου έλεγχος και καταγραφή τυχών βλαβών ή φθορών (ρηγμάτωση, απολεπίσεις, αποφλοιώσεις διατομών) και εκτέλεση διερευνητικών εργασιών μετρήσεων όπως σκαναρίσματα και έλεγχος δοκιμών ώστε να εισαχθούν μειωτικοί συντελεστές αντοχής στο προσοίωμα.
- Για τα μέλη, η διαστασιολόγηση των οποίων προκύπτει από κρίσιμους τους στατικούς συνδυασμούς φορτίσεων (πλάκες και δοκοί), η εκτίμηση της αντοχής τους μέσω αυτής της μεθόδου κρίνεται ικανοποιητική. Στην εν λόγω διπλωματική για τα στοιχεία πλακών και δοκών οι απαιτήσεις ενισχύσεων λόγω της αρχιτεκτονικής τροποποίησης (αλλαγή στατικού μοντέλου) φαίνονται λογικές κυρίως όσον αφορά τις θέσεις στις οποίες η ενίσχυση απαιτείται.

2) Σύγκριση Αντισεισμικού Κανονισμού 1959 με τις σύγχρονες απαιτήσεις του Ευρωκώδικα

- Όσον αφορά κυρίως στα κατακόρυφα μέλη είναι σαφής η υποεκτίμηση της σεισμικής εντάσεως κατά την ανάλυση, με αποτέλεσμα την μη επαρκή διαστασιολόγηση των μελών. Επιπροσθέτως, η διαδικασία εφαρμογής του οπλισμού διάτμησης κρίνεται επίσης ελλιπής καθώς δεν αγκυρωνόταν στον οπλισμό κάμψευς, με αποτέλεσμα η συνεισφορά του στην ανάληψη της τέμνουσας δύναμης να είναι αμφισβητησιμη και να μην προφέρει καμία απολύτως περίσφιξη.
- Η διαφορά στις απαιτήσεις ελάχιστου οπλισμού κάμψευς και διάτμησης κυρίως εντός των κρίσιμων διατομών των στοιχείων δοκών και υποστυλωμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική.
- Το ίδιο ισχύει και για τις απαιτήσεις όπλισης των τοιχίων, όπου η έννοια των περισφυγμένων ακραίων τμημάτων δεν υπήρχε στους παλαιότερους κανονισμούς.

3) Σχετικά με την εφαρμογή ιδιομορφικής ελαστικής ανάλυσης για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς.

- Για κτίρια στα οποία η πρόσβαση στα σχέδια της αρχικής μελέτης δεν είναι εφικτή είναι σχεδόν απαραίτητη, ωστόσο είναι σίγουρο ότι θα μας οδηγήσει σε υπερδιαστασιολόγηση και αρα σε αντιοικονομικό σχεδιασμό.
  - Θα έπρεπε να πραγματοποιηθεί μη γραμμική στατική ανάλυση Σταδιακής Εξώθησης (pushover) ώστε αποτιμηθεί η πραγματική συμπεριφορά της κατασκευής. Να ευρεθούν οι ακριβείς θέσεις σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων το σημείο επιτελεσματικότητας της κατασκευής. Κάτι τέτοιο όμως είναι αδύνατο καθώς δεν υπάρχει πρόσβαση στην αρχική μελέτη.
  - Ειδικότερα όμως για κτίρια υψηλής σπουδαιότητας όπως σχολεία, νοσοκομεία ή μουσεία το υψηλό κόστος που θα έχει ως αποτέλεσμα είναι ήσσονος σημασίας.
- 4) Σχετικά με την εφαρμογή ενίσχυσης με την Χρήση επικολλητών φύλλων FRP.
- Κυρίως σε περιπτώσεις που ο λόγος της επέμβασης είναι αρχιτεκτονικός, η εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι απαραίτητη καθώς δεν διαταράσσει την ουτε λειτουργία αλλά ούτε και την αισθητική του υφιστάμενου κτιρίου μετά την εφαρμογή της.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ρουσόπουλος Α. «Αντισεισμικά Κατασκευαί» Έκδοσης 3
2. 10<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών» (2004)
3. Εγχειρίδιο Χρήσης Sofistik FEM
4. Χιώτης Δ. Δημήτριος, (2012) , Μεταπτυχιακή Εργασία, «Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή»