



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

---

## Θέματα σχεδιασμού πολυώροφου μεταλλικού κτιρίου



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αλεξόπουλος Κωνσταντίνος  
Χονδρογιάννης Κωνσταντίνος**

**Επιβλέπων: Ιωαννίδης Γεώργιος**

**Αθήνα, Οκτώβριος 2012  
ΕΜΚ ΔΕ 2012/35**

Αλεξόπουλος Γ. Κωνσταντίνος, Χονδρογιάννης Δ. Κωνσταντίνος (2012).  
Θέματα σχεδιασμού πολυώροφου μεταλλικού κτιρίου  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2012/35  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Alexopoulos G. Konstantinos, Chondrogiannis D. Konstantinos (2012).  
Design issues of a multi-storey steel building  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2012/35  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

# Πίνακας περιεχομένων

|  |     |
|--|-----|
| Περίληψη .....   | 1   |
| Abstract .....   | 2   |
| Ευχαριστίες .....  | 3   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή</b> .....  | 4   |
| 1.1 Γενικά .....   | 4   |
| 1.1.1 Αντικείμενο διπλωματικής .....   | 4   |
| 1.1.2 Περιγραφή κτιρίου .....  | 4   |
| 1.1.3 Διαμόρφωση του μοντέλου .....  | 5   |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Φορτία κατασκευής</b> .....                                     | 6   |
| 2.1 Μόνιμα Φορτία .....  | 6   |
| 2.1.1 Γενικά .....   | 6   |
| 2.1.2 Υπολογισμός φορτίων .....  | 6   |
| 2.2 Κινητά φορτία .....  | 7   |
| 2.2.1 Γενικά .....   | 7   |
| 2.2.2 Υπολογισμός φορτίων .....  | 9   |
| 2.3 Φορτίο ανέμου .....  | 9   |
| 2.3.1 Γενικά .....   | 9   |
| 2.3.2 Υπολογισμός φορτίων .....  | 17  |
| 2.4 Φορτίο Χιονιού .....   | 21  |
| 2.4.1 Γενικά .....   | 21  |
| 2.4.2 Υπολογισμός .....  | 25  |
| 2.5 Σεισμικές δράσεις .....  | 25  |
| 2.5.1 Γενικά .....   | 25  |
| <b>Κεφάλαιο 3: Συνδυασμοί δράσεων</b> .....                                    | 31  |
| 3.1 Συνδυασμοί σε Ο.Κ.Α και Ο.Κ.Λ. .....                                       | 31  |
| 3.2 Παράμετροι συνδυασμών .....  | 32  |
| 3.3 Φορτία κατασκευής και Συνδυασμοί φόρτισης .....                            | 34  |
| <b>Κεφάλαιο 4: Δομικά στοιχεία της κατασκευής-στοιχεία σχεδιασμού</b> .....    | 36  |
| 4.1 Δομικά στοιχεία .....  | 36  |
| 4.2 Σχεδιασμός .....   | 38  |
| 4.3 Έλεγχοι .....  | 39  |
| <b>Κεφάλαιο 5: Σεισμική ανάλυση της κατασκευής</b> .....                       | 68  |
| 5.1 Γενικά .....   | 68  |
| 5.2 Δυναμική φασματική μέθοδος .....   | 68  |
| 5.2.1 Υπολογισμός και αποτελέσματα .....                                       | 69  |
| 5.3 Απλοποιημένη φασματική μέθοδος .....                                       | 75  |
| 5.3.1 Υπολογισμός και αποτελέσματα .....                                       | 75  |
| 5.3.2 Σύγκριση δυναμικής φασματικής και απλοποιημένης φασματικής μεθόδου ..... | 76  |
| <b>Κεφάλαιο 6: Έλεγχος της κατασκευής-Ανάλυση και διαστασιολόγηση</b> .....    | 78  |
| 6.1 Γενικά .....   | 78  |
| 6.2 Υποστυλώματα .....   | 78  |
| 6.3 Δοκάρια (κύρια και δευτερεύοντα) .....                                     | 84  |
| 6.3.1 Κύρια δοκάρια .....  | 86  |
| 6.3.2 Δευτερεύοντα δοκάρια .....   | 93  |
| 6.4 Ικανοτικός έλεγχος συνδέσμων δυσκαμψίας .....                              | 97  |
| 6.5 Σύμμικτη πλάκα .....   | 109 |
| 6.5.1 Γενικά .....   | 109 |
| 6.5.2 Σύμμικτη πλάκα .....   | 109 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.5.3 Υπολογισμος και αποτελέσματα .....  | 110 |
| 6.6 Ανάλυση και διαστασιολόγηση συνδέσεων .....   | 118 |
| 6.6.1 Σχεδιασμός πακτωμένης σύνδεσης δοκού υποστυλώματος .....  | 119 |
| 6.6.2 Υπολογισμός σύνδεσης δοκός - δοκός (κορμός) .....   | 137 |
| 6.6.3 Σύνδεση κόμβου δοκού – υποστυλώματος με το σύνδεσμο δυσκαμψίας .....  | 146 |
| 6.6.3.1 Σχεδιασμός πακτωμένης σύνδεσης δοκού με δοκό .....  | 149 |
| 6.7 Υπολογισμός έδρασης υποστυλώματος .....   | 162 |
| 6.8 Κυψελωτή δοκός .....  | 165 |
| 6.8.1 Αντοχή των απλών ταυ που διαμορφώνονται στη θέση του πολυγωνικού<br>ανοίγματος στην περιοχή που αυτό έχει το μέγιστο ύψος $h_0$ ..... | 166 |
| 6.8.2 Αντοχή συμπαγών τμημάτων του κορμού .....   | 168 |
| 6.9 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας .....  | 169 |
| 6.9.1 Γενικά .....  | 169 |
| <b>Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα</b> .....   | 179 |
| Βιβλιογραφία .....  | 181 |

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2012/35

**Θέματα σχεδιασμού πολυώροφου μεταλλικού κτιρίου**  
Αλεξόπουλος Γ. Κωνσταντίνος, Χονδρογιάννης Δ. Κωνσταντίνος  
(Επιβλέπων: Ιωαννίδης Γ.)

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διαστασιολόγηση και ο έλεγχος επάρκειας μιας υφιστάμενης μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα του εμπορίου για την ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το SAP2000 v.15. Για τον υπολογισμό των φορτίων χρησιμοποιήθηκε ο Ευρωκώδικας 1 ενώ για τον έλεγχο επάρκειας της κατασκευής ο Ευρωκώδικας 3. Πιο αναλυτικά: Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή της κατασκευής. Στο κεφάλαιο 2 υπολογίζονται τα φορτία της κατασκευής. Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η καταγραφή των απαιτούμενων συνδυασμών φορτίσεων. Στο κεφάλαιο 4 ελέγχεται η σεισμική απόκριση της κατασκευής με τη μέθοδο της δυναμικής φασματικής και της απλοποιημένης μεθόδου, εισάγονται και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Στο κεφάλαιο 5 γίνεται η περιγραφή των δομικών στοιχείων της κατασκευής, σημειώνονται οι απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας και γίνεται η κατάταξη των μελών. Εν συνεχεία, γίνονται οι έλεγχοι επάρκειας των δομικών στοιχείων στις δυσμενέστερες διατομές καθώς και ο ικανοτικός έλεγχος του διαγωνίου συνδέσμου δυσκαμψίας. Στο κεφάλαιο 6 υπάρχει η ανάλυση και η διαστασιολόγηση των δομικών στοιχείων, των συνδέσεων και της σύμμικτης πλάκας. Τέλος, στο κεφάλαιο 7 εξάγονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας.

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2012/35

## **Design issues of a multi-storey steel building**

Alexopoulos G. Konstantinos, Chondrogiannis D. Konstantinos  
(supervised by Ioannidis G.)

### **Abstract**

The aim of this diploma is the study and the design of a seven-storey steel structure using a software package. Specifically, we used SAP2000 v.15. For the load's computing we used Eurocode 1 and for the adequacy control Eurocode 3 was used. More analytically: In the first chapter, there is the structure's define. In the second chapter, we calculate the structure's loads. In the third chapter, there is the booking of the necessary load's combinations. In the fourth chapter, we check the seismic response of the structure using the Spectral Analysis and the Equivalent Analysis, we import and compare the two method's results. In the fifth chapter, we describe the structural elements and we mark the necessary coefficients. Also, there is the classification of the structural elements. Then, the adequacy controls of the structural elements in the most adverse sections are checked. Finally, the capacity design of the diagonal rigidity bond is checked. In the sixth chapter, there is the analysis and the designed of the structural elements, of the joints and the composite slab. Finally, in the seventh chapter, the conclusions of this diploma are extracted.

## Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες προς τον κ Γ. Ιωαννίδη, καθηγητή του Εργαστηρίου Μεταλλικών Κατασκευών, του τομέα Δομοστατικής του Εθνικού Μετσοβίου Πόλυτεχνείου, για τη συμπαράσταση και τη συμβολή του στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την αμέριστη συμπαράσταση και τη βοήθεια που μας προσέφεραν, ώστε να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας αδιάκοπα και απερίσπαστα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά

#### 1.1.1 Αντικείμενο διπλωματικής

Οι ραγδαίες και μεγάλες αλλαγές σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής τα τελευταία χρόνια έχουν ωθήσει την ανάπτυξη του κατασκευαστικού κλάδου. Ο κατασκευαστικός κλάδος ανανεώνεται με νέες τεχνολογίες, νέες μεθόδους σχεδιασμού, νέους κατασκευαστικούς τρόπους και μέσα. Έτσι πλέον δίνεται η δυνατότητα, στον σύγχρονο μηχανικό, μελέτης και εκτέλεσης πιο σύνθετων και πιο πολύπλοκων έργων από ό,τι στο παρελθόν. Τη δυνατότητα αυτή ενισχύουν τα σύγχρονα πακέτα λογισμικού στατικής ή δυναμικής ανάλυσης και διαστασιολόγησης κατασκευών, που μειώνουν θεαματικά τους, άλλοτε τεράστιους, υπολογιστικούς χρόνους. Είναι φανερό πλέον ότι για ένα σύγχρονο μηχανικό επιτακτική είναι η συνεχής ενημέρωσή του πάνω στα καινοτόμα εργαλεία, μεθόδους σχεδιασμού και εκμετάλλευσης των δομικών υλικών. Πολλά γράφονται και ακούγονται για τα πλεονεκτήματα των μεταλλικών κατασκευών με κυριότερο την πλήρη εναρμόνισή τους με τις αρχές της αειφόρου –ή βιώσιμης- ανάπτυξης.

Η μελέτη και η σχεδίαση μιας τέτοιας μεταλλικής κατασκευής θα αποτελέσει αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θα μελετηθεί ένα επταόροφο μεταλλικό κτίριο. Θα παρουσιαστούν τα γενικά στοιχεία της κατασκευής, οι επιβαλλόμενες φορτίσεις, τα επιμέρους στοιχεία, οι έλεγχοι αντοχής τους και η σεισμική ανάλυσή τους.

#### 1.1.2 Περιγραφή κτιρίου

Το υπό μελέτη κτίριο είναι επταόροφο, επιφάνειας κάτοψης  $464 \text{ m}^2$  με μέγιστες διαστάσεις κάτοψης  $34,1 \times 12,00 \text{ m}$  και έχει συνολικό ύψος  $30,94 \text{ m}$ . Το ύψος ισογείου ορίζεται στα  $6,94 \text{ m}$ , ενώ οι ανώτεροι όροφοι έχουν ύψος  $4,0 \text{ m}$ . Οι πλάκες διαμορφώνονται από σύμμικτη διατομή αποτελούμενη από στραντζαριστό χαλυβδόφυλλο και επιτόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Τα υπόλοιπα φέροντα στοιχεία είναι αμιγώς χαλύβδινα από πρότυπες ευρωπαϊκές ή σύνθετες διατομές. Υπάρχουν διαδοκίδες στηριζόμενες στις κύριες δοκούς με συνδέσεις τέμνουσας υποδιαιρώντας το συνολικό άνοιγμα της πλάκας σε μικρότερα ίσα ανοίγματα  $3,0 \text{ m}$  το καθένα. Η διατομή τους διαμορφώνεται με εξαγωνικά ανοίγματα στον κορμό μετά από κατάλληλη κοπή δοκού πρότυπης διατομής. Οι κύριες δοκοί είναι προδιαγεγραμμένων διατομών και συνδέονται με συνδέσεις ροπής στα υποστυλώματα. Το κτίριο διαθέτει 8 υποστυλώματα σύνθετης σταυροειδούς διατομής. Για την ανάληψη των σεισμικών δράσεων το κτίριο φέρει δικτυωτούς συνδέσμους με εκκεντρότητα σε 2 φατνώματα των πλαισίων που είναι παράλληλα στη μεγάλη διάστασή του και σε 3 πλαίσια παράλληλα στη μικρή. Οι διαγώνιοι των εν λόγω συνδέσμων φέρουν επίσης συνδέσεις ροπής στα άκρα τους.



### 1.1.3 Διαμόρφωση του μοντέλου

Για το σχεδιασμό του φορέα τόσο για το βασικό όσο και για το σεισμικό συνδυασμό δράσεων μορφώνεται τρισδιάστατο μοντέλο στο οποίο σχεδιάζονται οι σταυροειδείς διατομές των υποστυλωμάτων καθώς και όσες από τις διατομές των δοκών φέρουν πρόσθετα συγκολλητά ελάσματα στα πέλματά τους. Οι διατομές με εξαγωνικά ανοίγματα στον κορμό τους υπολογίζονται σαν τις αντίστοιχες συγκολλητές με το ύψος των κυβελωτών διατομών, δηλαδή με συμπαγή κορμό. Θεωρείται εξασφαλισμένη η διαφραγματική λειτουργία στις στάθμες των ορόφων. Οι διαδοκίδες είναι αρθρωτά συνδεδεμένες στις κύριες δοκούς (συνδέσεις τέμνουσας) ενώ οι κύριες δοκοί είναι πακτωμένες στα υποστυλώματα (συνδέσεις ροπής). Το ίδιο ισχύει και για τις διαγώνιους των συνδέσεων δυσκαμψίας οι οποίες φέρουν επίσης συνδέσεις ροπής στα άκρα τους. Όλα τα υποστυλώματα είναι πακτωμένα στη βάση τους στη διεύθυνση Y ενώ στη διεύθυνση X είναι πακτωμένα μόνο τα 2 ενδιάμεσα υποστυλώματα καθενός από τα 2 πλαίσια που είναι αυτά που ανήκουν στα φατνώματα που φέρουν και τους κατακόρυφους συνδέσμους ακαμψίας. Τα υποστυλώματα στην εν λόγω διεύθυνση συνδέονται αρθρωτά στη βάση. Τα πλαίσια θεωρούνται αμετάθετα λόγω της διάταξης των κατακόρυφων συνδέσμων ακαμψίας και στις δύο κύριες διευθύνσεις του κτιρίου.



Σχήμα 1.1 Γενική άποψη της κατασκευής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Φορτία κατασκευής

#### 2.1 Μόνιμα Φορτία

##### 2.1.1 Γενικά

Σε αυτή την κατηγορία δράσεων ανήκουν κυρίως όλες οι δράσεις που προκύπτουν από το ίδιο βάρος των στοιχείων της κατασκευής. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι φέροντα ή μη φέροντα και το ίδιο βάρος τους υπολογίζεται γενικά βάσει των ονομαστικών τους διαστάσεων και των χαρακτηριστικών τιμών των πυκνοτήτων τους.

Στα μη φέροντα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων:

- Επικαλύψεις δώματος.
- Διαχωριστικά πετάματα.
- Κιγκλιδώματα και στηθαία ασφαλείας.
- Τοιχοποιία, επιχρίσματα και στοιχεία επένδυσης τοίχων.
- Ψευδοροφές/ αναρτημένες οροφές.
- Θερμομόνωση.
- Μόνιμες εγκαταστάσεις εξυπηρέτησης (H/M εγκαταστάσεις), όπως πχ. εξοπλισμός για ανελκυστήρες και κυλιόμενες σκάλες, εξοπλισμό θέρμανσης-εξαερισμού-κλιματισμού, ηλεκτρικό εξοπλισμό, σωλήνες χωρίς το περιεχόμενο τους, καλώδια και αγωγούς καλωδίων .

##### 2.1.2 Υπολογισμός φορτίων

Ιδιο Βάρος Στοιχείων: η τιμή του δεν ορίζεται συγκεκριμένα ως κάποια τιμή αλλά το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα το βάρος κάθε στοιχείου με βάση τον όγκο του και το ειδικό βάρος του υλικού του που ορίζεται από τον χρήστη και εδώ παίρνει την τιμή  $78,5 \text{ KN/m}^3$  .Το φορτίο ασκείται στο κέντρο βάρους κάθε μέλους ως κατανεμημένο και η διεύθυνση του λαμβάνεται και αυτή αυτόματα από το πρόγραμμα ίδια με την διεύθυνση της βαρύτητας.

Ιδιο Βάρος Πλάκας: η τιμή του ορίζεται  $25 \text{ kN/m}^3$  .Το πάχος της πλάκας έχει αρχικά θεωρηθεί  $12\text{cm}$ , άρα το φορτίο είναι  $3 \text{ kN/m}^2$ . Το φορτίο είναι κατανεμημένο σε όλη την επιφάνεια της πλάκας και στη συνέχεια υπολογίζεται η κατανομή του στις μεταλλικές δοκούς.

Πρόσθετο Μόνιμο Πλάκας: Η τιμή του ορίστηκε σε  $0,50 \text{ kN/m}^2$  και θεωρείται ότι ασκείται σε όλη την επιφάνεια της πλάκας. Στη συνέχεια έγινε η κατανομή του στις μεταλλικές δοκούς. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν το ίδιο βάρος των

χαλυβδόφυλλων, της ψευδοροφής, και του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού που βρίσκεται πάνω στις πλάκες.

## 2.2 Κινητά φορτία

### 2.2.1 Γενικά

Τα φορτία αυτά προκύπτουν από τη χρήση (φυσιολογική, καθώς και σπάνια αλλά αναμενόμενη, όπως στοίβαξη κινητού εξοπλισμού, οχημάτων, συγκέντρωση ατόμων). Λόγω της φύσεως των φορτίων αυτών, δεν είναι επακριβές το βάρος και η θέση τους, γι' αυτό και προσδιορίζονται στατιστικά, οι δε τιμές εφαρμογής τους δίνονται από τους κανονισμούς και στην περίπτωση μας οι παράμετροι υπολογισμού είναι σύμφωνοι με τον EC0.

Κινητό πλάκας: για τον προσδιορισμό των επιβαλλόμενων φορτίων, οι χώροι των δαπέδων υποδιαιρούνται σε κατηγορίες σύμφωνα με τη χρήση τους, όπως εξειδικεύεται στα επόμενα.

#### Κύριες κατηγορίες χρήσης

- ⇒ Χώροι διαμονής, κοινωνικών εκδηλώσεων, εμπορικών καταστημάτων και γραφείων (4 κατηγορίες : A, B, C και D).
- ⇒ Χώροι αποθήκευσης και βιομηχανικών χρήσεων (2 κατηγορίες: E1 και E2)
- ⇒ Χώροι στάθμευσης και κυκλοφορίας οχημάτων (εκτός από γέφυρες, 2 κατηγορίες: F και G)
- ⇒ Στέγες (3 κατηγορίες: H, I και K)

Σύμφωνα με το εθνικό προσάρτημα για την πρώτη από τις προαναφερόμενες ομάδες χρήσεων ισχύουν οι ακόλουθες διακρίσεις:

| Κατηγορία   | Συγκεκριμένη Χρήση  | Παράδειγμα   |
|---|---|--|
| <b>A</b>  | <b>Χώροι διαμονής</b>   | Δωμάτια σε κτίρια κατοικιών και σπίτια.<br>Θάλαμοι και πτέρυγες σε νοσοκομεία.<br>Υπνοδωμάτια σε ξενοδοχεία και ξενώνες,<br>κουζίνες και τουαλέτες.  |
| <b>B</b><br><b>C</b>  | <b>Χώροι γραφείων</b><br><b>Χώροι στους οποίους οι άνθρωποι μπορεί να συναθροισθούν</b> (με εξαίρεση τους χώρους που κατατάσσονται στις κατηγορίες A,B, και D <sup>1)</sup> ) | <b>C1:</b> Χώροι με τραπέζια κλπ.<br>Π.χ. σχολικοί χώροι, νηπιαγωγεία, καφενεία, εστιατόρια, αίθουσες φαγητού, αναγνώστῆρια, χώροι υποδοχής.<br><b>C2:</b> Χώροι με σταθερά καθίσματα, Π.χ. χώροι σε εκκλησίες, θέατρα ή κινηματογράφους, αίθουσες συνεδριάσεων, αίθουσες ομιλίας, αίθουσες συγκεντρώσεων, χώροι αναμονής, χώροι αναμονής σε σιδηροδρομικούς σταθμούς.<br><b>C3:</b> Χώροι χωρίς εμπόδια στη διακίνηση του κοινού, π.χ. χώροι σε μουσεία, εκθεσιακοί χώροι, κλπ. και χώροι πρόσβασης σε δημόσια και διοικητικά κτήρια, ξενοδοχεία και νοσοκομεία. Προαύλια σιδηροδρομικών σταθμών.<br><b>C4:</b> Χώροι για πιθανές σωματικές δραστηριότητες, π.χ. αίθουσες χορού, αίθουσες γυμναστικής και θεατρικές σκηνές<br><b>C5:</b> Χώροι προσβάσιμοι από μεγάλα πλήθη, π.χ. για δημόσιες εκδηλώσεις όπως αίθουσες συναυλιών, κλειστά γήπεδα, εξέδρες γηπέδων, εξώστες και χώροι πρόσβασης, πλατφόρμες σιδηροδρόμων. |
| <b>D</b>  | <b>Χώροι με εμπορικά καταστήματα</b>  | <b>D1:</b> Χώροι σε καταστήματα λιανικής πώλησης, γενικά<br><b>D2:</b> Χώροι σε πολυκαταστήματα  |
| <sup>1)</sup> Εφιστάται η προσοχή στο 6.3.1.1(2), και συγκεκριμένα για το C4 και C5. Βλέπε EN 1990 στην περίπτωση που πρέπει να εξετασθούν οι δυναμικές επιδράσεις. Για την Κατηγορία E, βλέπε πίνακα 6.3 |   |  |

Πίνακας 2.1 Ομάδες χρήσεως

Οι δε αντίστοιχες τιμές των δράσεων  $q_k$  (ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο) και  $Q_k$  (συγκεντρωμένο φορτίο) συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα του Εθνικού Προσαρτήματος.

| Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_k$<br>[kN] |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------|
| <b>Κατηγορία A και Κατηγορία B</b> |                               |               |
| - Δάπεδα                           | 2,0                           | 2,0           |
| - Σκάλες                           | 3,5                           | 2,0           |
| - Μπαλκόνια                        | 5,0                           | 3,0           |
| <b>Κατηγορία C</b>                 |                               |               |
| - C1                               | 3,0                           | 3,0           |
| - C2                               | 5,0                           | 4,0           |
| - C3                               | 5,0                           | 4,0           |
| - C4                               | 5,0                           | 4,0           |
| - C5                               | 7,5                           | 4,5           |
| <b>Κατηγορία D</b>                 |                               |               |
| - D1                               | 5,0                           | 4,0           |
| - D2                               | 5,0                           | 4,0           |

Πίνακας 2.2 Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών

Το συγκεντρωμένο φορτίο  $Q_k$  προσδιορίζεται για τοπικούς έλεγχους και θα λαμβάνεται υπόψη ότι δρα μόνο του.

Κινητό στέγης: οι στέγες θα κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες ανάλογα με την προσβασιμότητά τους, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

| Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών | Συγκεκριμένη Χρήση   |
|------------------------------------|--|
| H                                  | Στέγες μη-προσβάσιμες παρά μόνο για την κανονική συντήρηση και για επισκευή. |
| I                                  | Στέγες προσβάσιμες για χρήση σύμφωνα με τις κατηγορίες A έως D               |
| K                                  | Στέγες προσβάσιμες για ειδικές χρήσεις, όπως ελικοδρόμια                     |

Πίνακας 2.3 Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών στέγης

## 2.2.2 Υπολογισμός φορτίων

Κινητό πλάκας: Η χρήση του κτιρίου που αναλύεται σε αυτή την διπλωματική ανήκει στην κατηγορία χρήσης B “χώροι γραφείων”, επομένως σύμφωνα με τις παραμέτρους η τιμή του φορτίου αυτού είναι  $2,00 \text{ KN/m}^2$ . Το φορτίο αυτό στη συνέχεια κατανέμεται στις μεταλλικές δοκούς του κτιρίου

Κινητό στέγης: Εδώ η στέγη είναι προσβάσιμη και επομένως ανήκει στην κατηγορία I, άρα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα και τον Πίνακα 2.2 το κατανεμημένο φορτίο είναι  $2 \text{ kN/m}^2$ . Στη συνέχεια αυτό το φορτίο κατανέμεται στις μεταλλικές δοκούς του τελευταίου ορόφου.

## 2.3 Φορτίο ανέμου

### 2.3.1 Γενικά

Ο υπολογισμός των δράσεων του ανέμου στο κτίριο βασίστηκε στους κανόνες και τις μεθόδους που ορίζει ο Ευρωκώδικας 1, Μέρος 1-4, για έργα πολιτικού μηχανικού ύψους μέχρι και 200m. Οι δράσεις του ανέμου κατατάσσονται στις μεταβλητές καθορισμένες δράσεις και ως έτσι θα ληφθούν υπόψη στους συνδυασμούς των δράσεων σχεδιασμού σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) και σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ), που παρατίθενται σε επόμενη ενότητα.

### Κατηγορίες εδάφους- Παράμετροι εδάφους

Το έδαφος χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το ανάγλυφο της περιοχής, την τραχύτητα του εδάφους και το ύψος των εμποδίων εν σχέση με τη μεταξύ τους απόσταση. Οι κατηγορίες και οι αντίστοιχες παράμετροί τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

| Κατηγορία εδάφους  | $z_0$<br>m | $z_{min}$<br>m |
|--|------------|----------------|
| 0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα  | 0,003      | 1              |
| I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια   | 0,01       | 1              |
| II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων                                   | 0,05       | 2              |
| III Περιοχή με κανονική κάλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση) | 0,3        | 5              |
| IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.   | 1,0        | 10             |

Πίνακας 2.2 Κατηγορίες εδάφους και παράμετροι εδάφους

### Πίεση ταχύτητας αιχμής $q_p(z)$

Η πίεση ταχύτητας αιχμής σε ύψος  $z$ , δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$q_p(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times 0,5 \times \rho \times v_m^2(z)$$

όπου:

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα που εξαρτάται από το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση που αναμένονται σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια ανεμοθύελλας ( $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$I_v(z)$  είναι η ένταση στροβιλισμού σε ύψος  $z$ , η οποία υπολογίζεται από τις σχέσεις:

$$I_v(z) = k_i / (c_0(z) \times \ln(z/z_0)) \quad \text{για } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{για } z < z_{min}$$

όπου:

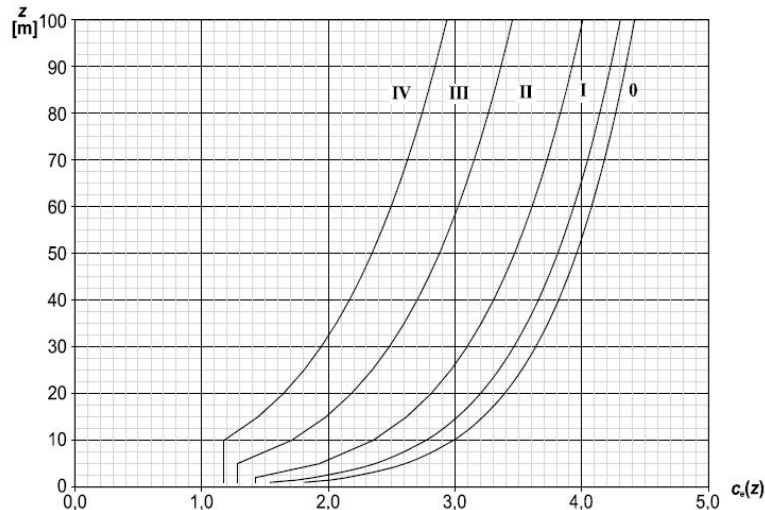
$k_i$  συντελεστής στροβιλισμού (ίσος με τη μονάδα)

$c_e(z)$  είναι ο συντελεστής έκθεσης, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$c_e(z) = q_p(z) / q_b$$

ή

για επίπεδο έδαφος και ανάλογα με την κατηγορία του εδάφους δίνεται από το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης  $c_e(z)$  για  $c_o=1,0$ ,  $k_r=1,0$

Σχήμα 2.1 Διάγραμμα συντελεστή έκθεσης

### Βασική πίεση $q_b$

Η βασική πίεση δίνεται από τη σχέση:

$$q_b = 0,5 \times \rho \times v_b^2$$

όπου:

$v_b$  είναι η βασική ταχύτητα του, που ορίζεται συνάρτηση της εποχής του έτους και της διεύθυνσης του ανέμου, σε ύψος 10m πάνω από έδαφος κατηγορίας II, από τη σχέση:

$$v_b = C_{dir} \times C_{season} \times v_{b,0}$$

όπου:

$C_{dir}$  είναι ο συντελεστής διεύθυνσης (λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα)

$C_{season}$  είναι ο συντελεστής εποχής (λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα)

$v_{b,0}$  είναι η τιμή της βασικής ταχύτητας του ανέμου.

### Μέση ταχύτητα ανέμου $v_m(z)$

Μέση ταχύτητα ανέμου  $v_m(z)$  είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  από το έδαφος και εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και την τοπογραφική διαμόρφωση. Δίνεται από τη σχέση:

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b$$

όπου:

$c_r(z)$  είναι ο συντελεστής τραχύτητας

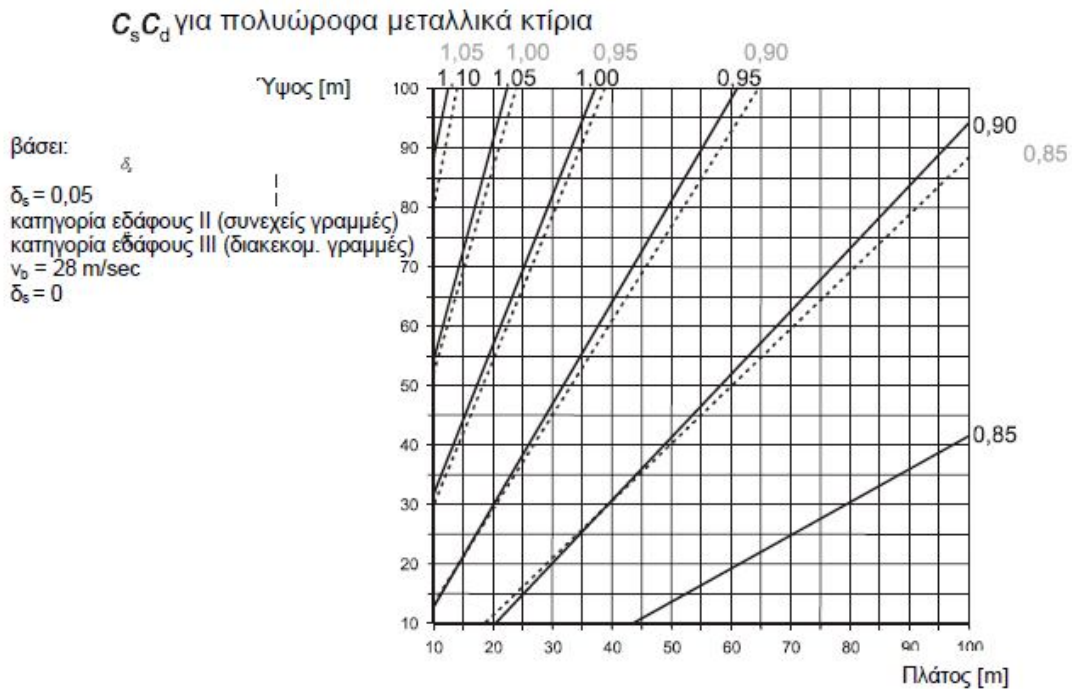
$c_o(z)$  είναι ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης (προτεινόμενη τιμή 1,00)

### Δυναμικός συντελεστής $c_{scd}$

Ο συντελεστής αυτός απαρτίζεται από δύο επιμέρους παραμέτρους, την παράμετρο  $c_s$ , η οποία λαμβάνει υπόψη της τη μειωτική επίδραση στη δράση του ανέμου λόγω μη ταυτόχρονης ύπαρξης των πιέσεων αιχμής από άνεμο επί της επιφάνειας, και τη δυναμική παράμετρο  $c_d$ , που λαμβάνει υπόψη της την αυξημένη επίδραση των ταλαντώσεων λόγω στροβιλισμού.

Ο δυναμικός συντελεστής εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, το ύψος και το πλάτος της και μπορεί να εκτιμηθεί είτε με τη βοήθεια των παρακάτω

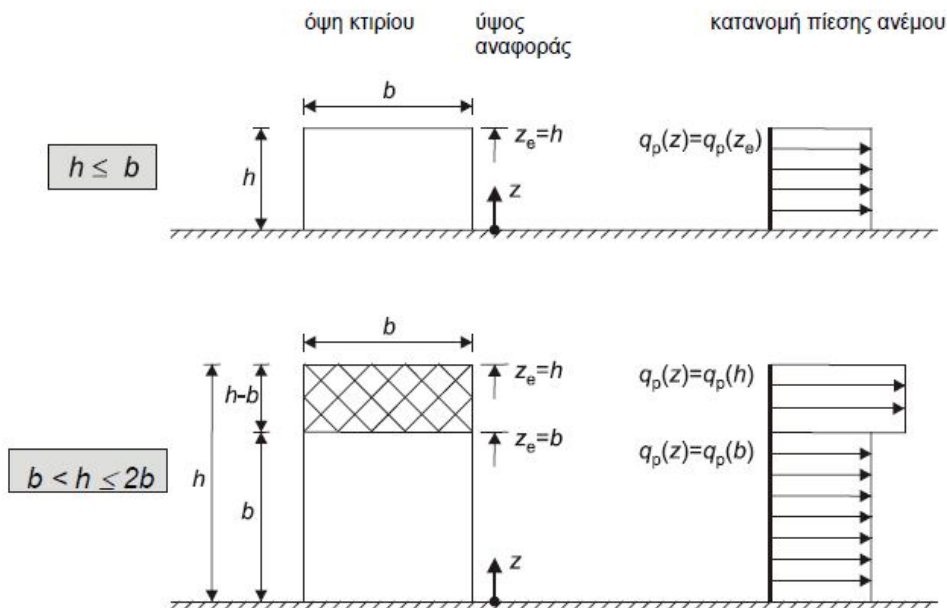
διαγραμμάτων ή αν υπερβαίνει την τιμή 1,10, σύμφωνα με μια λεπτομερή διαδικασία η οποία δεν περιγράφεται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.



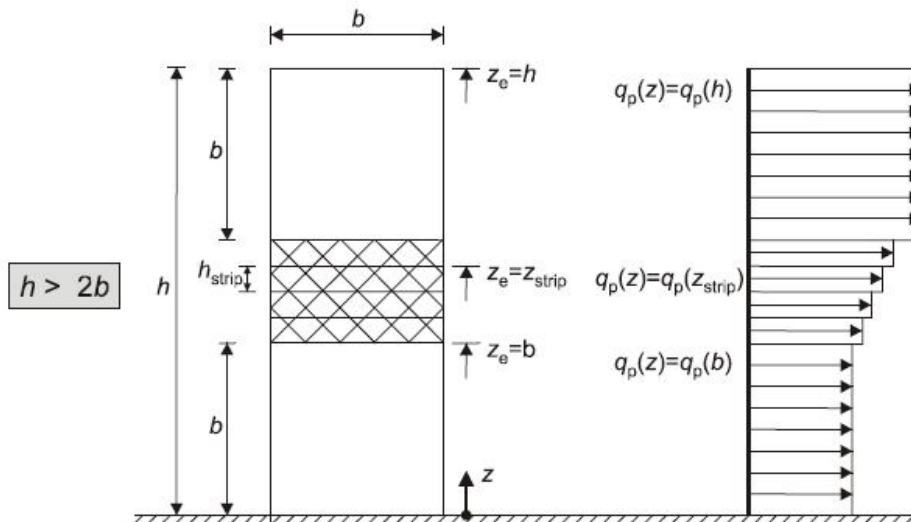
Σχήμα 2.2 Διάγραμμα συντελεστή  $c_s c_d$

Υψος αναφοράς  $Z_e$

Ο προσδιορισμός του ύψους αναφοράς για τους προσήνεμους τοίχους ανάλογα με τη σχέση ύψους  $h$  και πλάτους  $b$  του κτιρίου γίνεται στα παρακάτω σχήματα.







ΣΗΜΕΙΩΣΗ Η πίεση ανέμου θα θεωρείται ομοιόμορφη σε κάθε οριζόντια λωρίδα.

Ύψος αναφοράς,  $z_e$ , που εξαρτάται από τα  $h$  και  $b$ , και αντιστοιχούσα κατανομή πιέσεων

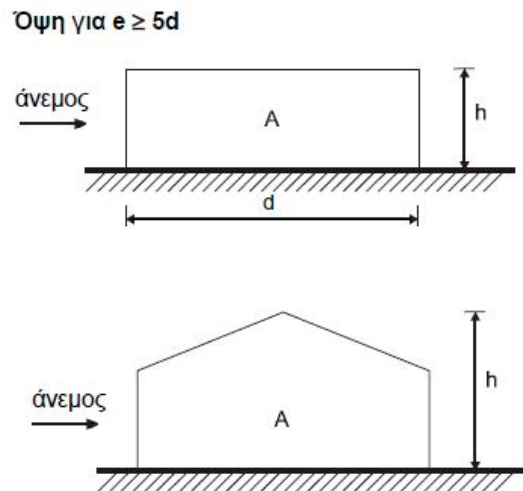
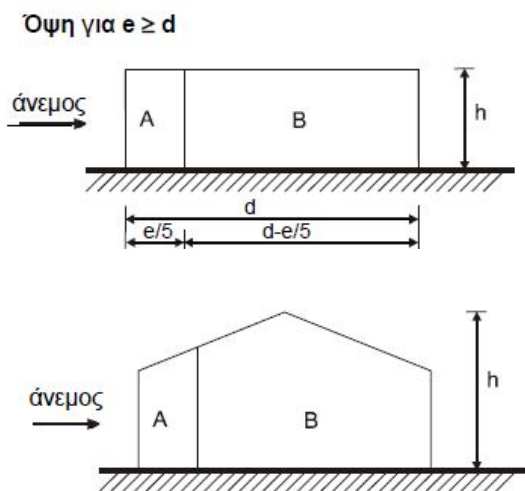
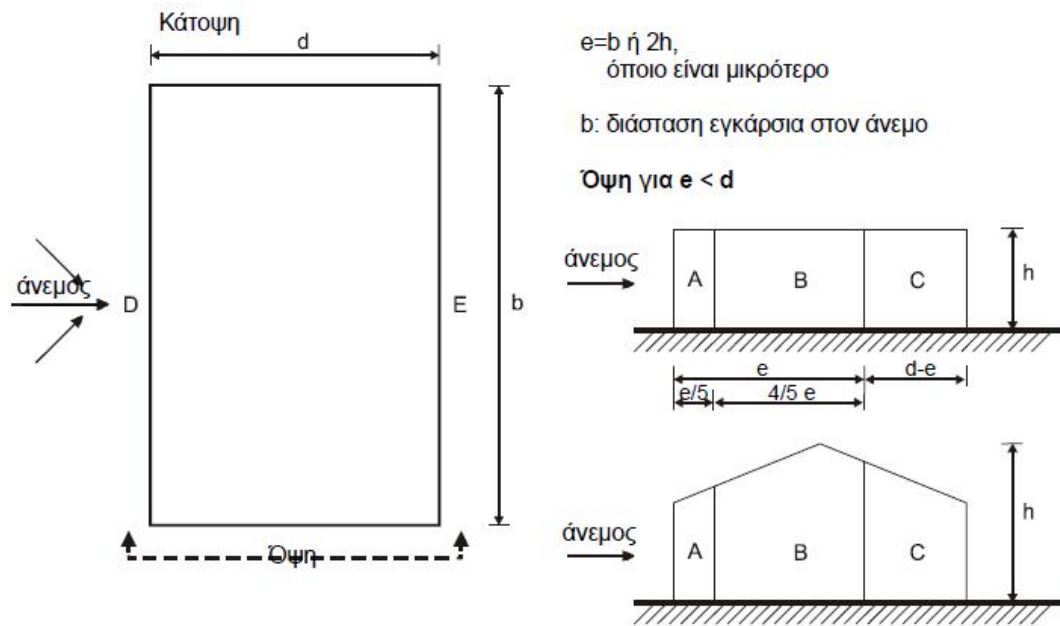
Σχήμα 2.3 Ύψος αναφοράς  $Z_e$

Για τον υπήνεμο τοίχο και τους παράπλευρους τοίχους το ύψος αναφοράς λαμβάνεται ίσο με το ύψος του κτιρίου.

#### Αεροδυναμικοί συντελεστές πίεσης και δύναμης

Οι αεροδυναμικοί συντελεστές πίεσης και δύναμης διακρίνονται σε συντελεστές εσωτερικής  $c_{pi}$  και συντελεστές εξωτερικής πίεσης  $c_{pe}$ . Οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης δίνουν την επίδραση του ανέμου στις εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων, ενώ οι συντελεστές εσωτερικής πίεσης δίνουν την επίδραση του ανέμου στις εσωτερικές επιφάνειες των κτιρίων. Επιπλέον οι συντελεστές εξωτερικής πίεσης διακρίνονται σε καθολικούς και τοπικούς συντελεστές. Οι τοπικοί συντελεστές  $c_{pe,1}$  αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μικρότερες ή ίσες από  $1 \text{ m}^2$  π.χ. για το σχεδιασμό μικρών στοιχείων και στερεώσεων. Οι καθολικοί συντελεστές  $c_{pe,10}$  αφορούν τους συντελεστές πίεσης για φορτιζόμενες επιφάνειες μεγαλύτερες των  $10 \text{ m}^2$ .

Τέλος χρησιμοποιούνται και οι αεροδυναμικοί συντελεστές τριβής  $c_f$ , οι οποίοι εκφράζουν τις επιδράσεις της τριβής του ανέμου στις παράλληλες, προς τη διεύθυνση του ανέμου, πλευρές. Οι συντελεστές αεροδυναμικής πίεσης και δύναμης δίνονται από τους παρακάτω σχήματα και πίνακες, για κατακόρυφους τοίχους και δικλινείς στέγες, για διευθύνσεις ανέμου  $0^\circ$  και  $90^\circ$  και ανάλογα με το λόγο  $h/d$  ή την κλίση  $\alpha^\circ$  αντίστοιχα. Για ενδιάμεσες τιμές των πινάκων χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.



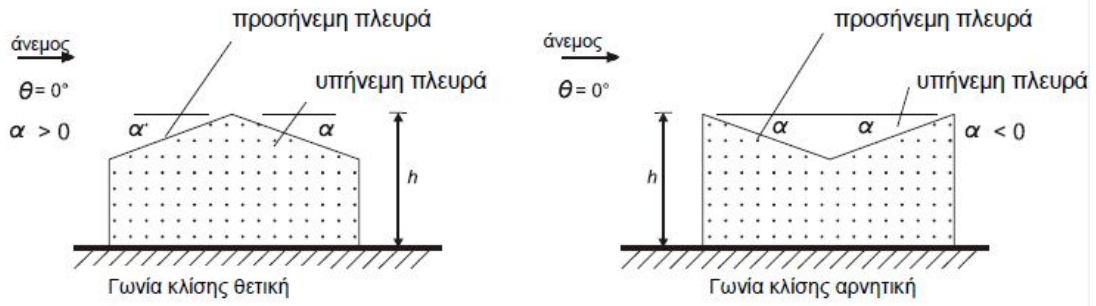
Υπόμνημα για κατακόρυφους τοίχους

Σχήμα 2.4 Υπόμνημα για κατακόρυφους τοίχους

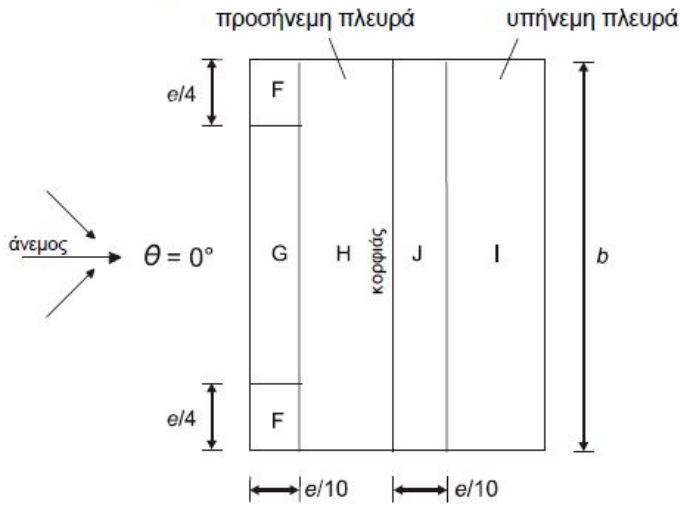
Προτεινόμενες τιμές συντελεστών εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων ορθογωνικής κάτοψης

| Ζώνη        | A           |            | B           |            | C           |            | D           |            | E           |            |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|             | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| 5           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,7        |            |
| 1           | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,8        | +1,0       | -0,5        |            |
| $\leq 0,25$ | -1,2        | -1,4       | -0,8        | -1,1       | -0,5        |            | +0,7        | +1,0       | -0,3        |            |

Πίνακας 2.3 Προτεινόμενες τιμές συντελεστών εξωτερικής πίεσης για κατακόρυφους τοίχους κτιρίων ορθογωνικής κάτοψης



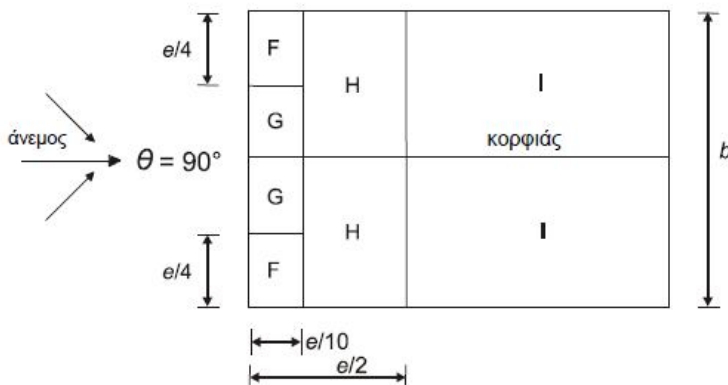
(α) γενικά



(β) διεύθυνση ανέμου  $\theta = 0^\circ$

$e = b$  ή  $2h$   
 όποιο είναι μικρότερο

$b$  : διάσταση εγκάρσια  
 στον άνεμο



(γ) διεύθυνση ανέμου  $\theta = 90^\circ$

**Υπόμνημα για δικλινείς στέγες**

Σχήμα 2.5 Υπόμνημα για δικλινείς στέγες

Πίνακας 2.4

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες

| Γωνία Κλίσης<br>$\alpha$ | Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 0^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |             |            |
|--------------------------|--|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                          | F  |            | G           |            | H           |            | I           |            | J           |            |
|                          | $C_{pe,10}$                                  | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| -45°                     | -0,6   |            | -0,6        |            | -0,8        |            | -0,7        |            | -1,0        | -1,5       |
| -30°                     | -1,1   | -2,0       | -0,8        | -1,5       | -0,8        |            | -0,6        |            | -0,8        | -1,4       |
| -15°                     | -2,5   | -2,8       | -1,3        | -2,0       | -0,9        | -1,2       | -0,5        |            | -0,7        | -1,2       |
| -5°                      | -2,3   | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | +0,2        |            | +0,2        |            |
|                          |  |            |             |            |             |            | -0,6        |            | -0,6        |            |
| 5°                       | -1,7   | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,6        | -1,2       | -0,6        |            | +0,2        |            |
|                          | +0,0   |            | +0,0        |            | +0,0        |            | -0,6        |            | -0,6        |            |
| 15°                      | -0,9   | -2,0       | -0,8        | -1,5       | -0,3        |            | -0,4        |            | -1,0        | -1,5       |
|                          | +0,2   |            | +0,2        |            | +0,2        |            | +0,0        |            | +0,0        | +0,0       |
| 30°                      | -0,5   | -1,5       | -0,5        | -1,5       | -0,2        |            | -0,4        |            | -0,5        |            |
|                          | +0,7   |            | +0,7        |            | +0,4        |            | +0,0        |            | +0,0        |            |
| 45°                      | -0,0   |            | -0,0        |            | -0,0        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |
|                          | +0,7   |            | +0,7        |            | +0,6        |            | +0,0        |            | +0,0        |            |
| 60°                      | +0,7   |            | +0,7        |            | +0,7        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |
| 75°                      | +0,8   |            | +0,8        |            | +0,8        |            | -0,2        |            | -0,3        |            |

Πίνακας 2.5

Συντελεστές εξωτερικής πίεσης για δικλινείς στέγες

| Γωνία Κλίσης<br>$\alpha$ | Ζώνη για διεύθυνση ανέμου $\Theta = 90^\circ$ |            |             |            |             |            |             |            |
|--------------------------|---|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
|                          | F   |            | G           |            | H           |            | I           |            |
|                          | $C_{pe,10}$                                   | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| -45°                     | -1,4  | -2,0       | -1,2        | -2,0       | -1,0        | -1,3       | -0,9        | -1,2       |
| -30°                     | -1,5  | -2,1       | -1,2        | -2,0       | -1,0        | -1,3       | -0,9        | -1,2       |
| -15°                     | -1,9  | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | -0,8        | -1,2       |
| -5°                      | -1,8  | -2,5       | -1,2        | -2,0       | -0,7        | -1,2       | -0,6        | -1,2       |
| 5°                       | -1,6  | -2,2       | -1,3        | -2,0       | -0,7        | -1,2       | -0,6        |            |
| 15°                      | -1,3  | -2,0       | -1,3        | -2,0       | -0,6        | -1,2       | -0,5        |            |
| 30°                      | -1,1  | -1,5       | -1,4        | -2,0       | -0,8        | -1,2       | -0,5        |            |
| 45°                      | -1,1  | -1,5       | -1,4        | -2,0       | -0,9        | -1,2       | -0,5        |            |
| 60°                      | -1,1  | -1,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,0       | -0,5        |            |
| 75°                      | -1,1  | -1,5       | -1,2        | -2,0       | -0,8        | -1,0       | -0,5        |            |

### 2.3.2 Υπολογισμός φορτίων

Με βάση τον Ευρωκώδικα 1 υπολογίζουμε τα εξής:

|   |
|---|
| Κατηγορία εδάφους: IV   |
| Πυκνότητα αέρα $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$   |
| $V_{bo}=27\text{m/sec}$   |
| $C_{pi,min} = -0,3$ και $C_{pi,max} = 0,2$ επειδή δε γνωρίζουμε το $\mu$          |
| Συντελεστής τριβής: $C_{fr}=0,02$   |
| Συντελεστής $C_sCd=0,94$ από τον EC1  |
| Ορθογωνική κάτοψη $12\text{m}\times 34,1\text{m}$                                 |
| Ύψος $30,94\text{m}$  |
| Συντελεστής εποχής $C_{season}=1$   |
| $C_{dir}=1$   |
| Κλίση στέγης $\alpha=0^0$   |
| $Z_e=Z_i=30,94\text{m}$   |
| $Z_o=1$ , $Z_{min}=10$ από τον Ευρωκώδικα   |
| $K_p=0,19 * \left(\frac{Z_o}{0,05}\right)^{0,07} =0,234$                          |
| $C_r(z)=K_r * \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)=0,803$                                |
| $C_o(z)=1$ , πρόταση από EC1  |
| Ένταση στροβιλισμού: $l_v = \frac{K_i}{C_o \ln\left(\frac{Z}{Z_o}\right)} =0,291$ |
| $V_{bo}=V_b=27\text{m/sec}$   |
| $V_m = C_r(z) * C_o(z) * V_b =21,681\text{m/sec}$                                 |
| $Q_b = \frac{1}{1000} \rho V_b^2 =0,456$  |
| $Q_p = \frac{[1 + 7 \ln(z)]}{1000} * \frac{1}{2} \rho V_m^2(z) =0,892$            |
| $C_e(z) = \frac{q_p}{q_b} =1,96$  |

Πίνακας 2.5 Βασικοί συντελεστές και γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής

Άνεμος εγκάρσιος στην πλευρά 34,1m ( $\theta=0^\circ$ )

|           | Μήκος(m) | Εμβαδόν ( $m^2$ ) |
|-----------|----------|-------------------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ Α | 6,82     | 211,01            |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Β | 5,18     | 160,27            |
| ΠΕΡΙΟΧΗ C | 0        | 0                 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ D | 34,1     | 1055,05           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ E | 34,1     | 1055,05           |

Πίνακας 2.6 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιοχών φόρτισης για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά 34,1 m

$$e = \min(34,1, 61,88) = 34,1 \text{ m}$$

$$d = 12,1 \text{ m}$$

$$e > d$$

και

$$F_{w,e} = C_s C_d * A_{ref} * q_p(z) * C_{pe}$$

$$F_{w,i} = A_{ref} * q_p(z) * C_{pi}$$

$$\frac{h}{d} = 2,6$$

Από το Σχήμα 2.4 έχουμε:

| $C_{pi,max}=0,2$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ |       |
|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                  | Wi               | We               | Wολ              | Cpe   |
| A                | 0,18             | -1,07            | -1,25            | -1,2  |
| B                | 0,18             | -0,72            | -0,9             | -0,8  |
| C                | 0                | 0                | 0                | 0     |
| D                | 0,18             | 0,72             | 0,54             | 0,8   |
| E                | 0,18             | -0,52            | -0,7             | -0,58 |

Πίνακας 2.7 Φορτίσεις ανέμου για  $C_{pi,max}=0,2$  για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 34,1 m

| $C_{pi,min}=-0,3$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ |       |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                   | Wi               | We               | Wολ              | Cpe   |
| A                 | -0,27            | -1,07            | -0,8             | -1,2  |
| B                 | -0,27            | -0,72            | -0,45            | -0,8  |
| C                 | 0                | 0                | 0                | 0     |
| D                 | -0,27            | 0,72             | 0,99             | 0,8   |
| E                 | -0,27            | -0,52            | -0,25            | -0,58 |

Πίνακας 2.8 Φορτίσεις ανέμου για  $C_{pi,min}=-0,3$  για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 34,1 m

| C <sub>ri</sub> =0,2 | W <sub>i</sub> | W <sub>e</sub> | C <sub>pe</sub> | W <sub>ολ</sub> |
|----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ F            | 0,18           | -1,43          | -1,6            | -1,61           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ G            | 0,18           | -0,99          | -1,1            | -1,16           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Η            | 0,18           | -0,63          | -0,7            | -0,81           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Ι            | 0,18           | -0,18 ή 0,18   | -0,2 ή 0,2      | -0,36           |

Πίνακας 2.9 Φορτίσεις ανέμου στη στέγη για C<sub>ri</sub>=0,2 για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 34,1m

| C <sub>ri</sub> =-0,3 | W <sub>i</sub> | W <sub>e</sub> | C <sub>pe</sub> | W <sub>ολ</sub> |
|-----------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ F             | -0,27          | -1,43          | -1,6            | -1,16           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ G             | -0,27          | -0,99          | -1,1            | -0,72           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Η             | -0,27          | -0,63          | -0,7            | -0,36           |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Ι             | -0,27          | -0,18 ή 0,18   | -0,2 ή 0,2      | 0,45            |

Πίνακας 2.10 Φορτίσεις ανέμου στη στέγη για C<sub>ri</sub>=-0,3 για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 34,1m

Άνεμος εγκάρσιος στην πλευρά 12m (θ=90°)

|           | Μήκος(m) | Εμβαδόν ( m <sup>2</sup> ) |
|-----------|----------|----------------------------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ Α | 2,4      | 74,26                      |
| ΠΕΡΙΟΧΗ Β | 9,6      | 297,02                     |
| ΠΕΡΙΟΧΗ C | 22,1     | 683,77                     |
| ΠΕΡΙΟΧΗ D | 12       | 371,28                     |
| ΠΕΡΙΟΧΗ E | 12       | 371,28                     |

Πίνακας 2.11 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά περιοχών φόρτισης για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά 12 m

| C <sub>ri,max</sub> =0,2 | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ |                 |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
|                          | W <sub>i</sub>   | W <sub>e</sub>   | W <sub>ολ</sub>  | C <sub>pe</sub> |
| A                        | 0,18             | -1,07            | -1,25            | -1,2            |
| B                        | 0,18             | -0,72            | -0,9             | -0,8            |
| C                        | 0,18             | -0,45            | -0,63            | -0,5            |
| D                        | 0,18             | 0,71             | 0,53             | 0,79            |
| E                        | 0,18             | -0,43            | -0,6             | -0,48           |

Πίνακας 2.12 Φορτίσεις ανέμου για C<sub>ri,max</sub>=0,2 για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 12 m

| $C_{pi, \min} = -0,3$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ | $\frac{KN}{m^2}$ |       |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
|                       | Wi               | We               | Wολ              | Cpe   |
| A                     | -0,27            | -1,07            | -0,8             | -1,2  |
| B                     | -0,27            | -0,72            | -0,45            | -0,8  |
| C                     | -0,27            | -0,45            | -0,18            | -0,5  |
| D                     | -0,27            | 0,71             | 0,98             | 0,79  |
| E                     | -0,27            | -0,43            | -0,16            | -0,48 |

Πίνακας 2.11 Φορτίσεις ανέμου για  $C_{pi, \min} = -0,3$  για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 12 m

| $C_{pi} = 0,2$ | Wi   | We           | Cpe        | Wολ   |
|----------------|------|--------------|------------|-------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ F      | 0,18 | -1,43        | -1,6       | -1,61 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ G      | 0,18 | -0,99        | -1,1       | -1,16 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ H      | 0,18 | -0,63        | -0,7       | -0,81 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ I      | 0,18 | -0,18 η 0,18 | -0,2 η 0,2 | -0,36 |

Πίνακας 2.12 Φορτίσεις ανέμου στη στέγη για  $C_{pi} = 0,2$  για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 12m

| $C_{pi} = -0,3$ | Wi    | We           | Cpe        | Wολ   |
|-----------------|-------|--------------|------------|-------|
| ΠΕΡΙΟΧΗ F       | -0,27 | -1,43        | -1,6       | -1,16 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ G       | -0,27 | -0,99        | -1,1       | -0,72 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ H       | -0,27 | -0,63        | -0,7       | -0,36 |
| ΠΕΡΙΟΧΗ I       | -0,27 | -0,18 ή 0,18 | -0,2 ή 0,2 | 0,45  |

Πίνακας 2.13 Φορτίσεις ανέμου στη στέγη για  $C_{pi} = -0,3$  για άνεμο εγκάρσιο στην πλευρά των 12m

Τα τελικά και δυσμενέστερα αποτελέσματα για  $\theta = 0^\circ$ :

| πλευρές | $q(KN/m^2)$ |
|---------|-------------|
| 1       | 0,99        |
| 2       | -0,7        |
| 3       | -1,25       |
| 4       | -1,25       |

Πίνακας 2.14 Τελικές φορτίσεις ανέμου στην κατασκευή για  $\theta = 0^\circ$

Στέγη:  $\theta = 0^{0+}$ :  $0,45 \text{ KN/m}^2$  WIND  $0^+$   
Και  $\theta = 0^{0-}$ :  $-1,61 \text{ KN/m}^2$  WIND  $0^-$

Τα τελικά και δυσμενέστερα αποτελέσματα για  $\theta = 90^\circ$ :



| πλευρές | q(KN/m <sup>2</sup> ) |
|---------|-----------------------|
| 1       | 0,98                  |
| 2       | -0,6                  |
| 3       | -1,25                 |
| 4       | -1,25                 |

Πίνακας 2.15 Τελικές φορτίσεις ανέμου για στην κατασκευή για  $\theta=90^\circ$

Στέγη:  $\theta=90^{0+}$ : 0,45KN/m<sup>2</sup> WIND 90<sup>+</sup>  
και  $\theta=90^{0-}$ : -1,61 KN/m<sup>2</sup> WIND 90<sup>-</sup>

## 2.4 Φορτίο Χιονιού

### 2.4.1 Γενικά

Το φορτίο χιονιού κατατάσσεται στις μεταβλητές σταθερές δράσεις. Προκαλείται από την εναπόθεση του χιονιού σε οριζόντιες ή κεκλιμένες στέγες και είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις περιοχές όπου επικρατεί κρύος καιρός και είναι συνήθεις μεγάλες χιονοπτώσεις. Τα φορτία του χιονιού αντιμετωπίζονται ως καταναμημένα φορτία, με πιθανές μειώσεις για τις απότομες κλίσεις στεγών. Η προσέγγιση αυτή δεν λαμβάνει υπόψη περιπτώσεις όπως αυξανόμενη χιονόπτωση σε μεγαλύτερα υψόμετρα ή τοπικά υψηλότερα φορτία λόγω κίνησης της μάζας του χιονιού, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει πλήρη ή μερική κατάρρευση. Επίσης ο EC δεν καλύπτει τοποθεσίες με υψόμετρο πάνω από 1500m πρέπει να γίνεται ειδική μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Για τις περιοχές δε με ιδιαίτερες κλιματικές συνθήκες, όπως υψηλές ταχύτητες ανέμου και λιώσιμο χιονιού, γίνονται ειδικές τροποποιήσεις που περιγράφονται στις ειδικές μορφές συγκέντρωσης χιονιού.

Η δράση του χιονιού θεωρείται ότι εξασκείται στις στέγες των κτηρίων και άλλων τεχνικών έργων. Ως δράση του χιονιού το οποίο έχει συσσωρευθεί είτε από ελεύθερη πτώση είτε έχει παρασυρθεί. Η δράση του χιονιού θεωρείται στατική, μεταβλητή στον χρόνο και σταθερή στον χώρο.

Το φορτίο χιονιού στην στέγη S, προκύπτει από το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος,  $s_k$ , (σε kPa) και το οποίο τροποποιείται με μια σειρά συντελεστών οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους :

- Την διαφοροποίηση του φορτίου από το έδαφος στην στέγη (συντελεστής σχήματος  $\mu$ )
- Την έκθεση της στέγης στα καιρικά φαινόμενα (συντελεστής έκθεσης,  $C_e$ )
- Την επίδραση της θερμοκρασίας στην συσσώρευση του χιονιού στην στέγη (θερμικός συντελεστής,  $C_t$ ).

Είναι δηλαδή:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k$$

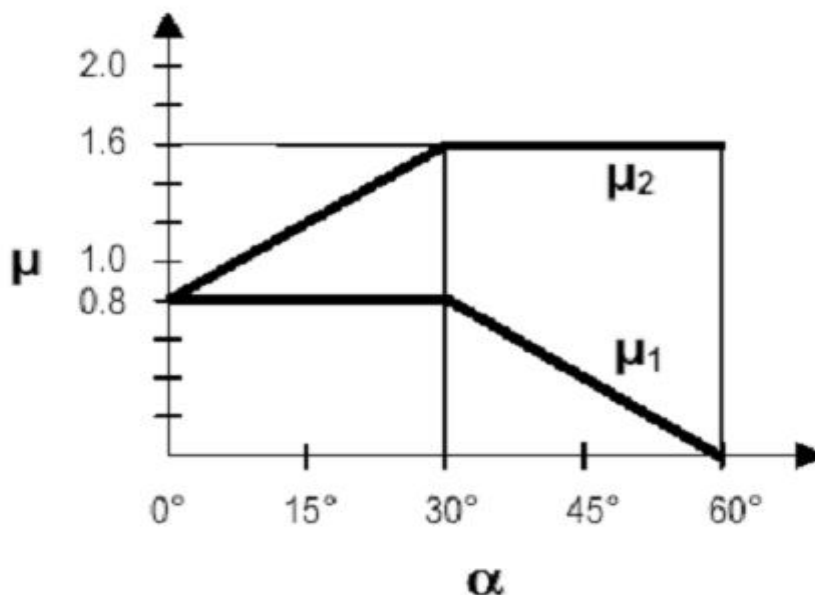
Αναλυτικότερα κάθε συντελεστής ορίζεται ως εξής:

⇒ Συντελεστής σχήματος ( $\mu$ ):

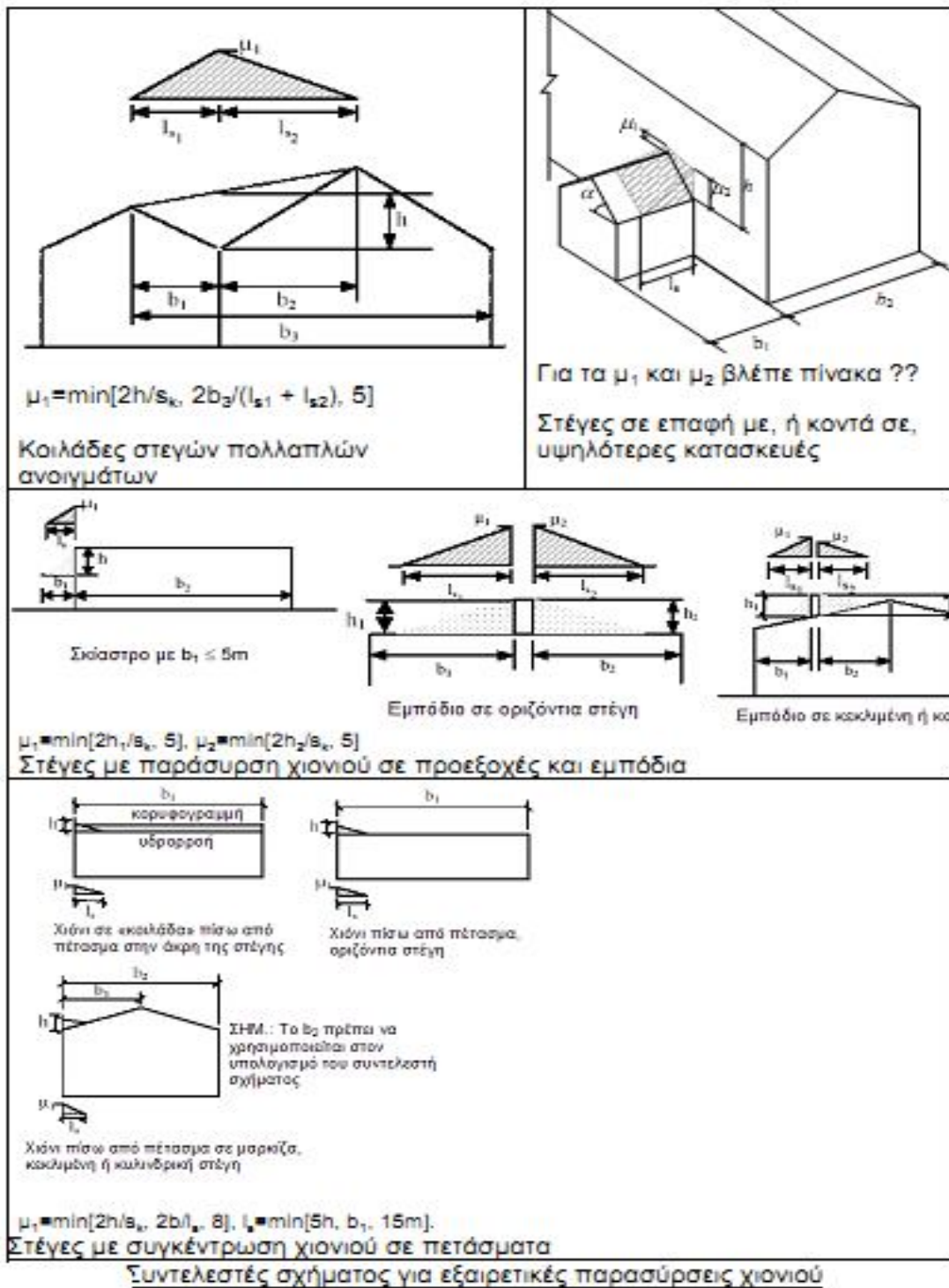
Οι συντελεστές σχήματος της στέγης χρησιμοποιούνται για την αναγωγή από το φορτίο χιονιού στο έδαφος σε φορτίο χιονιού στην στέγη. Γενικώς το φορτίο χιονιού στην στέγη εξαρτάται από:

- Το σχήμα της στέγης και την κλίση της στέγης. Γενικώς θεωρείται ότι το χιόνι δεν μπορεί να παραμείνει σε στέγες με κλίση μεγαλύτερη των  $60^\circ$ , εκτός αν υπάρχουν εμπόδια, προεξοχές ή φράχτες.
- Τις θερμικές ιδιότητες της στέγης και την παραγόμενη θερμότητα κάτω από την στέγη.
- Την τραχύτητα της επιφάνειας της στέγης
- Την γειτνίαση με άλλα υψηλότερα κτήρια
- Την τοπογραφία της περιοχής
- Το μικροκλίμα της περιοχής (και κυρίως την έκθεση στον άνεμο)

Ο συντελεστής σχήματος στέγης  $\mu$ , δίνονται από το παρακάτω διάγραμμα για παρασυρόμενο και μη παρασυρόμενο χιόνι για περιπτώσεις μη εξαιρετικής μετατόπισης. Για τις περιπτώσεις εξαιρετικής μετατόπισης του χιονιού οι συντελεστές σχήματος είναι διαφορετικοί όπως προβλέπει ο EC στο παράρτημα Β.



Σχήμα 2.6 Συντελεστής σχήματος φορτίου χιονιού



Σχήμα 2.7

## Σχήμα 2.8

Συντελεστές σχήματος φορτίου χιονιού για εξαιρετικές μετατοπίσεις χιονιού για στέγες σε επαφή με, ή κοντά σε, υψηλότερες κατασκευές.

| Συντελεστής Σχήματος  | Γωνία κλίσης της στέγης $\alpha_1$ |                                     |                                  |                       |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|   | $0^\circ < \alpha_1 \leq 15^\circ$ | $15^\circ < \alpha_1 \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha_1 < 60^\circ$ | $60^\circ < \alpha_1$ |
| $\mu_1$   | $\mu_2$                            | $\mu_2 / (30 - \alpha_1) / 15$      | 0                                | 0                     |
| $\mu_2$   | $\mu_2$                            | $\mu_2$                             | $\mu_2 / (60 - \alpha_1) / 30$   | 0                     |
| Σημείωση: $\mu_2 = \min\{2h/a_1, 2b/l_0, 8/l_0, b_{\max}/b_1, b_2/l_0\}$ , $l_0 = \min\{5h, b_1, 15m\}$ . |                                    |                                     |                                  |                       |

Στον Ευρωκώδικα δίνονται συντελεστές σχήματος στέγης για μια ποικιλία μορφών στέγης. Για ορισμένες μορφές στέγης, πρέπει να εξεταστούν διάφορες περιπτώσεις φορτίσεως επειδή είναι πιθανές διάφορες διατάξεις των φορτίων (με ή χωρίς παράσυρση του χιονιού).

### Συντελεστής Έκθεσης ( $C_e$ )

Η έκθεση μιας κατασκευής στην δράση του ανέμου καθώς και η διάδοση της θερμότητας διαμέσου μίας μη μονωμένης στέγης επηρεάζουν την συσσώρευση του χιονιού στην στέγη. Για να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα αυτά ο EC εισάγει τον συντελεστή έκθεσης,  $C_e$ .

Γενικώς ο συντελεστής έκθεσης λαμβάνεται ίσος με την μονάδα  $C_e=1$ , εκτός αν η κατασκευή είναι προφυλαγμένη ή εκτεθειμένη οπότε ο συντελεστής  $C_e$  αυξομειώνεται κατά 20% αντιστοίχως.

Διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις :

I) Εκτεθειμένο περιβάλλον  $C_e = 0.8$ . Πρόκειται για επίπεδες εκτάσεις χωρίς εμπόδια με καθόλου ή λίγη προστασία από το φυσικό ανάγλυφο, τις υψηλότερες κατασκευές ή δέντρα.

II) Κανονικό περιβάλλον  $C_e = 1.0$ , όπου δεν υπάρχει σημαντική μετακίνηση χιονιού από τον άνεμο.

III) Προφυλαγμένο περιβάλλον  $C_e = 1.2$  στο οποίο η κατασκευή είναι σημαντικά χαμηλότερα από το φυσικό ανάγλυφο ή προστατεύεται από κτήρια ή δέντρα.



Σχήμα 2.9 Κατηγορίες περιβάλλοντος σχετικά με την θέση της κατασκευής

### Θερμικός Συντελεστής ( $C_t$ )

Ο θερμικός συντελεστής που καθορίζει τη μείωση του φορτίου χιονιού ως συνέπεια της ροής θερμότητας διαμέσου της στέγης που προκαλεί τήξη του χιονιού. Για κανονικές συνθήκες θερμικής μόνωσης της στέγης είναι  $C_t = 1.0$ . Μπορεί να επιτρέπονται μικρότερες τιμές, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επιρροή της

απώλειας θερμότητας μέσω της στέγης, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις γυάλινες στέγες.

Όμως, δεν είναι σπάνιες περιπτώσεις όπου σε μια μεγάλη χιονόπτωση παρατηρείται ταυτόχρονα και βλάβη στο σύστημα θέρμανσης (π.χ. από διακόπτη του ηλεκτρικού ρεύματος ή πάγωμα πετρελαίου). Συνεπώς καλό είναι ο θερμικός συντελεστής να λαμβάνεται  $C_t = 1.0$  συντηρητικά.

Οι συντελεστές  $C_e$ ,  $C_t$  είναι επιλεγμένοι ώστε η πιθανότητα υπέρβαση του φορτίου χιονιού επί της στέγης που υπολογίζεται να μην ξεπερνά την πιθανότητα υπέρβασης της χαρακτηριστικής τιμής του φορτίου χιονιού επί του εδάφους  $s_k$ .

#### Το χαρακτηριστικό φορτίο χιονιού στο έδαφος ( $s_k$ )

Είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου χιονιού επί του εδάφους. Είναι το φορτίο με ετήσια πιθανότητα υπέρβασης 2% σε  $[kN/m^2]$ , εξαιρουμένων των εξαιρετικών φορτίων χιονιού. Η χαρακτηριστική αυτή τιμή συναρτάται από τη ζώνη στην οποία βρίσκεται η τοποθεσία της κατασκευής και από το υψόμετρο της περιοχής και μάλιστα με παραβολικό τρόπο.

Η σχέση που δίνει το φορτίο αυτό είναι :

$$s_k = (0.420 \cdot z - 0.030) \cdot \left[ 1 + \left( \frac{A}{917} \right)^2 \right], [kN/m^2]$$

Όπου  $z$ : η ζώνη που ανήκει το κτήριο γεωγραφικά με βάση τον EC.

$A$ : το υψόμετρο της περιοχής σε m.

## 2.4.2 Υπολογισμός

Το φορτίο του χιονιού υπολογίστηκε σε  $0,84 kN/m^2$ . Το φορτίο αυτό εισήχθη στο πρόγραμμα ως κατανεμημένο. Η διεύθυνση του φορτίου είναι αυτή της βαρύτητας.

## 2.5 Σεισμικές δράσεις

### 2.5.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού αναπτύσσονται στο έδαφος επιταχύνσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες), που έχουν ως συνέπεια τη δημιουργία αδρανειακών δυνάμεων επί των κατασκευών. Από τις δυνάμεις αυτές, οι οριζόντιες θεωρούνται οι πλέον σοβαρές, χωρίς αυτό να σημαίνει, ότι και οι κατακόρυφες δε μπορούν να αποβούν καταστροφικές υπό ορισμένες συνθήκες.

Η χώρα μας βρίσκεται σε μία εξαιρετικά σεισμογενή περιοχή και ως εκ τούτου οι σεισμικές δράσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των κατασκευών. Ως σεισμικές δράσεις σχεδιασμού θεωρούνται οι ταλαντώσεις του κτιρίου λόγω του σεισμού, οι οποίες ονομάζονται και σεισμικές διεγέρσεις ή σεισμικές δονήσεις. Οι σεισμικές δράσεις κατατάσσονται επίσης στις τυχηματικές και δεν συνδυάζονται με άλλες τυχηματικές δράσεις, όπως επίσης δεν συνδυάζονται με

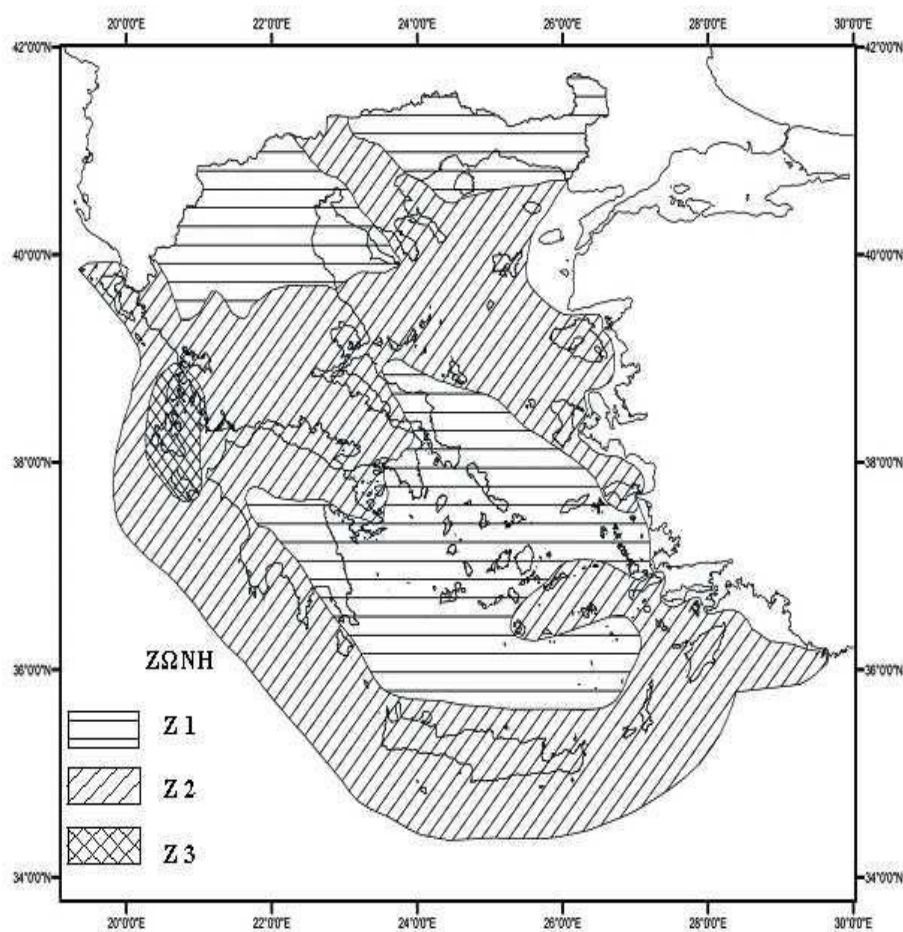
τις δράσεις λόγω ανέμου. Είναι λοιπόν αδρανειακές δυνάμεις που προέρχονται από την αντίσταση της μάζας της κατασκευής στην μεταδιδόμενη σε αυτήν κίνηση από το έδαφος. Κατά συνέπεια οι σεισμικές δράσεις εξαρτώνται από την φύση της σεισμικής κίνησης του εδάφους (καθοριζόμενη από την επιτάχυνση, την ταχύτητα, τη χρονική διάρκεια και τη διεύθυνση) και την συμπεριφορά της κατασκευής (καθοριζόμενη από την ακαμψία, την κατανομή μάζας, την απόσβεση, τις ιδιότητες του υλικού κ.τ.λ.).

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8, τα σεισμικά αποτελέσματα και τα αποτελέσματα των άλλων δράσεων που περιλαμβάνονται στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού μπορούν να υπολογιστούν με βάση γραμμική-ελαστική συμπεριφορά του φορέα. Μπορεί λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ακόλουθους δύο τύπους γραμμικής-ελαστικής ανάλυσης:

- Μέθοδος ανάλυσης οριζόντιας φόρτισης
- Ιδιομορφική ανάλυση φάσματος απόκρισης

### Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας

Η ένταση των εδαφικών σεισμικών διεγέρσεων, καθορίζεται συμβατικά με μία μόνη παράμετρο, τη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $A$  και καθορίζεται ανάλογα με την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία βρίσκεται το έργο. Η Ελλάδα χωρίζεται σε τρεις Ζώνες Σεισμικής Επικινδυνότητας (I, II, III) τα όρια των οποίων καθορίζονται στον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης, η οποία έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια (ή περίοδο επαναφοράς 457 έτη). Το κτίριο μας θα θεωρήσουμε ότι βρίσκεται στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας I.



Σχήμα 2.10 Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας

### Σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

Σε κάθε ζώνη αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης  $A$  που έχει ληφθεί από τον χάρτη ζωνών στο Εθνικό Προσάρτημα, και σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα έχει πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 χρόνια, (η περίοδος επαναφοράς είναι 475 χρόνια), με βάση την σχέση  $A=a \times g$ . Για ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, η σεισμική επιτάχυνση του εδάφους είναι  $A=0,16 \times g$

| Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας | I    | II   | III  |
|--------------------------------|------|------|------|
| $a$                            | 0,16 | 0,24 | 0,36 |

Πίνακας 2.16 Σεισμική επιτάχυνση εδάφους

### Προσδιορισμός της κατηγορίας εδάφους

Από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, τα εδάφη κατατάσσονται σε 5 κατηγορίες A, B, Γ, Δ, E και X. Το κτίριο εδράζεται σε έδαφος κατηγορίας B (αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων, ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος) σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 του Ευρωκώδικα 8, ο οποίος καθορίζει την κατηγορία εδάφους από την στρωματογραφία και τις παραμέτρους που δίνονται σε αυτόν.

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ   |
|-----------|---|
| A         | Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση<br><br>Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ.<br><br>Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.         |
| B         | Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη.<br><br>Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.<br><br>Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.                                    |
| Γ         | Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ.<br><br>Ιλοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.  |
| Δ         | Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλαστιμότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.   |
| X         | Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων)<br><br>Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα.<br><br>Απότομες κλιθείς καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. |

Πίνακας 2.17 Κατηγορία εδάφους

### Συντελεστής σπουδαιότητας

Τα κτίρια κατατάσσονται σε τέσσερις κατηγορίες σπουδαιότητας ανάλογα με τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες που μπορεί να έχει ενδεχόμενη καταστροφή ή

διακοπή της λειτουργίας τους. Σε κάθε κατηγορία σπουδαιότητας αντιστοιχεί μια τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας  $\gamma_I$ . Για κατηγορία σπουδαιότητας I (συνήθη κτίρια κατοικιών και γραφείων, βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία κ.τ.λ.) ο συντελεστής σπουδαιότητας είναι  $\gamma_I=1,00$ .

#### Συντελεστής Συμπεριφοράς $q$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  εισάγει τη μείωση των σεισμικών επιταχύνσεων της πραγματικής κατασκευής λόγω μετελαστικής συμπεριφοράς, σε σχέση με τις επιταχύνσεις που προκύπτουν υπολογιστικά σε απεριόριστα ελαστικό σύστημα. Μέγιστες τιμές του συντελεστή  $q$  δίδονται στον παρακάτω Πίνακα, ανάλογα με το είδος του υλικού κατασκευής και τον τύπο του δομικού συστήματος. Οι τιμές αυτές ισχύουν εφόσον για το σεισμό σχεδιασμού έχουμε έναρξη διαρροής του συστήματος (πρώτη πλαστική άρθρωση) και με την περαιτέρω αύξηση της φόρτισης είναι δυνατός ο σχηματισμός αξιόπιστου μηχανισμού διαρροής με τη δημιουργία ικανού αριθμού πλαστικών αρθρώσεων.

| <b>ΥΛΙΚΟ</b>                           | <b>ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΝΣΤΗΜΑ</b>  | <b>q</b> |
|--|---|----------|
| <b>1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>          | α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα  | 3,50     |
|  | β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι  | 3,00     |
|  | γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους | 2,00     |
| <b>2. ΧΑΛΥΒΑΣ</b>                      | α. Πλαίσια  | 4,00     |
|  | β. Δικτυωτοί σύνδεσμοί με εκκεντρότητα  | 4,00     |
|  | γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα   |          |
|  | • διαγώνιοι σύνδεσμοι   | 3,00     |
|  | • σύνδεσμοι τύπου V ή L   | 1,50     |
| • σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται) | 1,00  |          |
| <b>3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ</b>                    | α. Με οριζόντια διαζώματα   | 1,50     |
|  | β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα  | 2,00     |
|  | γ. Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)   | 2,50     |
| <b>4. ΞΥΛΟ</b>                         | α. Πρόβολοι   | 1,00     |
|  | β. Δοκοί – Τόξα- Κολλητά πετάσματα  | 1,50     |
|  | γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις  | 2,00     |
|  | δ. Πετάσματα με ηλώσεις   | 3,00     |

Πίνακας 2.18 Συντελεστής συμπεριφοράς  $q$



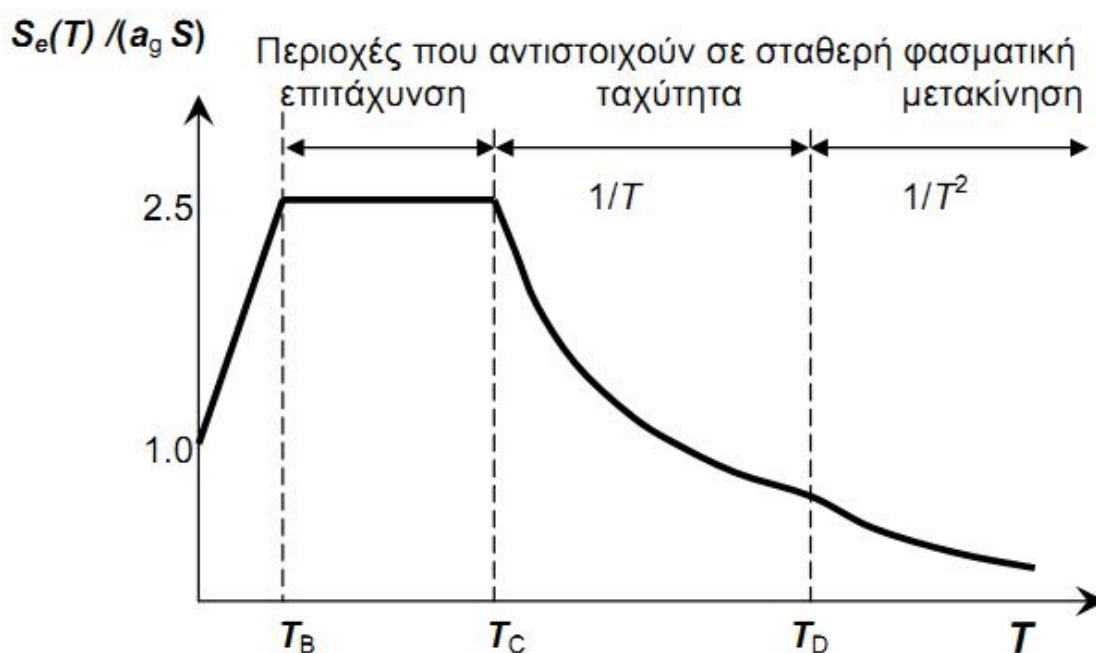
Στο έργο μας λαμβάνουμε  $q=4,00$ .

### Φάσμα Σχεδιασμού

Σε οριζόντιο επίπεδο η σεισμική δράση δρα ταυτόχρονα και ανεξάρτητα σε δύο κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις που έχουν το ίδιο φάσμα απόκρισης.

Η σεισμική δράση σχεδιασμού καθορίζεται στον EC8 μέσω του φάσματος επιταχύνσεων σχεδιασμού. Αυτό, βασικώς, προκύπτει από το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων (με απόσβεση 5%) με διαίρεση των φασματικών επιταχύνσεων δια του συντελεστή συμπεριφοράς,  $q$ .

Το ελαστικό φάσμα επιταχύνσεων με απόσβεση 5% του EC8 δίνεται σχηματικά στο επόμενο σχήμα. Περιλαμβάνει μία περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, μεταξύ περιόδων  $T_B$  και  $T_C$  με τιμή 2.5 φορές τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση  $a_g S$ , που ακολουθείται από μία περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας μεταξύ περιόδων  $T_C$  και  $T_D$ , όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του  $1/T$ , και μία περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης, όπου η φασματική επιτάχυνση είναι ανάλογη του  $1/T^2$ . Οι τιμές του πολλαπλασιαστικού συντελεστή  $S$  και των περιόδων  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  δίνονται στον Πίνακα για τις κατηγορίες εδάφους A, B, C, D ή E του EC8.



Σχήμα 2.11 Ελαστικό φάσμα EC8 στην οριζόντια διεύθυνση για απόσβεση 5%

| Κατηγορία Εδάφους | S    | T <sub>B</sub> (s) | T <sub>C</sub> (s) | T <sub>D</sub> (s) |
|-------------------|------|--------------------|--------------------|--------------------|
| A                 | 1.0  | 0.15               | 0.4                | 2.5                |
| B                 | 1.2  | 0.15               | 0.5                | 2.5                |
| C                 | 1.15 | 0.20               | 0.6                | 2.5                |
| D                 | 1.35 | 0.20               | 0.8                | 2.5                |
| E                 | 1.4  | 0.15               | 0.5                | 2.5                |

Πίνακας 2.19 Παράμετροι οριζόντιου ελαστικού φάσματος για τις τυποποιημένες κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με τον EC8.

Στις περιοχές σταθερής φασματικής επιτάχυνσης, ταχύτητας και μετακίνησης, το φάσμα σχεδιασμού προκύπτει από το ελαστικό με απόσβεση 5% με διαίρεση δια του q. Ο ανερχόμενος κλάδος για ιδιοπεριόδους μέχρι  $T \leq T_B$  προκύπτει από γραμμική παρεμβολή μεταξύ:

– της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης,  $S_{ag}$ , δια συντελεστή ίσου με 1.5, που εκφράζει υπεραντοχή σε σχέση με την αντοχή σχεδιασμού και της σταθερής επιτάχυνσης σχεδιασμού, για  $T = 0$  και

–  $2.5a_g/q$  για  $T = T_B$ .

Επιπλέον, τίθεται ένα κάτω όριο στη φασματική επιτάχυνση σχεδιασμού, ίσο με 20% της μέγιστης επιτάχυνσης στο βράχο,  $a_g$ . Έτσι τελικώς το φάσμα επιταχύνσεων σχεδιασμού στην οριζόντια διεύθυνση δίνεται από τις σχέσεις:

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g S \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq 0.2a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g S \frac{2.5}{q} \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq 0.2a_g \end{cases}$$

## Κεφάλαιο 3

### Συνδυασμοί Δράσεων

#### 3.1 Συνδυασμοί σε Ο.Κ.Α και Ο.Κ.Λ.

##### Συνδυασμοί δράσεων σε Ο.Κ.Α.

Για κάθε κρίσιμη περίπτωση φόρτισης, οι τιμές σχεδιασμού των αποτελεσμάτων των δράσεων θα προσδιορισθούν συνδυάζοντας τις τιμές των δράσεων που θεωρείται ότι δρουν ταυτόχρονα. Κάθε συνδυασμός δράσεων θα πρέπει να περιλαμβάνει μια κυρίαρχη (δεσπόζουσα) μεταβλητή δράση ή μια τυχηματική/σεισμική δράση.

##### Θεμελιώδεις συνδυασμοί για μόνιμες και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

ή

$$\begin{cases} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{cases}$$

$$0,85 \leq \xi \leq 1,00$$

##### Συνδυασμοί για τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ή } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

##### Συνδυασμοί για καταστάσεις σεισμικού σχεδιασμού

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{ED} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

##### Συνδυασμοί δράσεων σε Ο.Κ.Λ.

Οι συνδυασμοί σχεδιασμού που ορίζονται για τον έλεγχο στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι οι ακόλουθοι:

Χαρακτηριστικός συνδυασμός (μη-αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} Q_{k,i} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Συχνός συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

Οιονεί –μόνιμος συνδυασμός (αναστρέψιμη ΟΚΛ)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

### 3.2 Παράμετροι συνδυασμών

Μειωτικοί συντελεστές (συντελεστές συνδυασμού)  $\psi$

Οι (μειωτικοί) συντελεστές συνδυασμού ( $\psi$ ) εφαρμόζονται στις χαρακτηριστικές τιμές των φορτίων, εφόσον χρειάζεται να ληφθούν υπόψη σπάνια, συχνά ή οιονεί –μόνιμα γεγονότα. Οι τιμές αυτών είναι σύμφωνα με τον EC:

| Δράσεις  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|--|----------|----------|----------|
| Επιβαλλόμενα φορτία σε κτήρια, κατηγορία (βλέπε EN 1991-1-1)                                       |          |          |          |
| Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτήρια κατοικιών  | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Κατηγορία B: χώροι γραφείων  | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης   | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων  | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης   | 1,0      | 0,9      | 0,8      |
| Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων<br>βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$                       | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων<br>$30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$ | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Κατηγορία H: στέγες  | 0        | 0        | 0        |
| Φορτία χιονιού επάνω σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-3)*  |          |          |          |
| Φιλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία  | 0,70     | 0,50     | 0,20     |
| Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{ m}$          | 0,70     | 0,50     | 0,20     |
| Υπόλοιπα Κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{ m}$       | 0,50     | 0,20     | 0        |
| Φορτία ανέμου σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-4)  | 0,6      | 0,2      | 0        |
| Θερμοκρασία (μη-πυρκαϊάς) σε κτήρια (βλέπε EN 1991-1-5)  | 0,6      | 0,5      | 0        |

Πίνακας 3.1 Προτεινόμενες τιμές συντελεστών  $\psi$

Τιμές σχεδιασμού δράσεων

Σύμφωνα με τον EC οι τιμές για Ο.Κ.Α. διαμορφώνονται ως εξής :

| Καταστάσεις σχεδιασμού με διάρκεια και παροδικές καταστάσεις σχεδιασμού<br>(Εξίσ. 6.10) | Μόνιμες Δράσεις                  |                                  | Κυρίαρχη μεταβλητή δράση (*) | Συνοδευτική μεταβλητή δράση (**) |                                   |
|---|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|   | Δυσμενείς                        | Ευνοϊκές                         |                              | Κύρια (εάν υφίσταται)            | Άλλες                             |
|   | $\gamma_{G_i, sup} G_{k_i, sup}$ | $\gamma_{G_i, inf} G_{k_i, inf}$ | $\gamma_{Q_i} Q_{k_i}$       |                                  | $\gamma_{Q_i} \psi_{Q_i} Q_{k_i}$ |

(\*) Μεταβλητές δράσεις είναι αυτές που εξετάζονται στον Πίνακα Α1.1

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Οι τιμές  $\gamma$  είναι:  
 $\gamma_{G_i, sup} = 1,10$   
 $\gamma_{G_i, inf} = 0,90$   
 $\gamma_{Q_i} = 1,50$  όπου δυσμενής (0 όπου ευνοϊκή)  
 $\gamma_{Q_i} = 1,50$  όπου δυσμενής (0 όπου ευνοϊκή)

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Ως εναλλακτική περίπτωση για τους δύο ξεχωριστούς ελέγχους βάσει των Πινάκων Α1.2(Α) και Α1.2(Β), σε περιπτώσεις στις οποίες ο έλεγχος της στατικής ισορροπίας αφορά την αντίσταση των δομικών μελών, μπορεί να υιοθετηθεί ένας συνδυασμένος έλεγχος, βάσει του Πίνακα Α1.2(Α), με τις ακόλουθες τιμές:  
 $\gamma_{G_i, sup} = 1,35$   
 $\gamma_{G_i, inf} = 1,15$   
 $\gamma_{Q_i} = 1,50$  όπου δυσμενής (0 όπου ευνοϊκή)  
 $\gamma_{Q_i} = 1,50$  όπου δυσμενής (0 όπου ευνοϊκή)

υπό την προϋπόθεση ότι η εφαρμογή της τιμής  $\gamma_{G_i, inf} = 1,00$ , τόσο στο ευνοϊκό όσο και στο δυσμενές σκέλος των μόνιμων δράσεων, δεν συνεπάγεται πιο δυσμενές αποτέλεσμα.

Πίνακας 3.2 Τιμές σχεδιασμού δράσεων στους χαρακτηριστικούς συνδυασμούς για Ο.Κ.Α

| Καταστάσεις σχεδιασμού              | Μόνιμες Δράσεις |                | Κυρίαρχη τυχνηματική ή σεισμική δράση | Συνοδευτικές μεταβλητές δράσεις (**) |                     |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
|                                     | Δυσμενείς       | Ευνοϊκές       |                                       | Κύρια (εάν υφίσταται)                | Άλλες               |
| Τυχνηματικές (*)<br>(Εξίσ. 6.11α/β) | $G_{k_j, sup}$  | $G_{k_j, inf}$ | $A_d$                                 | $\psi_{2i} Q_{k1}$                   | $\psi_{2i} Q_{ki}$  |
| Σεισμικές (Εξίσ. 6.12α/β)           | $G_{k_j, sup}$  | $G_{k_j, inf}$ | $\gamma_i A_{EK}$ ή $A_{ED}$          |                                      | $\psi_{2i} Q_{k,i}$ |

Πίνακας 3.3 Τιμές σχεδιασμού δράσεων στους συνδυασμούς τυχνηματικών και σεισμικών δράσεων για ΟΚΑ

Σύμφωνα με τον EC οι τιμές για ΟΚΛ διαμορφώνονται ως εξής :

| Συνδυασμός       | Μόνιμες Δράσεις $G_d$ |                | Μεταβλητές Δράσεις $Q_d$ |                      |
|------------------|-----------------------|----------------|--------------------------|----------------------|
|                  | Δυσμενείς             | Ευνοϊκές       | Κυρίαρχες                | Άλλες                |
| Χαρακτηριστικές  | $G_{k_j, sup}$        | $G_{k_j, inf}$ | $Q_{k,1}$                | $\psi_{0,i} Q_{ki}$  |
| Συχνές           | $G_{k_j, sup}$        | $G_{k_j, inf}$ | $\psi_{1,1} Q_{k,1}$     | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Οιονεί – μόνιμες | $G_{k_j, sup}$        | $G_{k_j, inf}$ | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$     | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

Πίνακας 3.4 Τιμές σχεδιασμού δράσεων για χρήση κατά τον συνδυασμό δράσεων

### 3.3 Φορτία κατασκευής και Συνδυασμοί φόρτισης

Εδώ παρουσιάζονται τα φορτία που ελήφθησαν κατά τους υπολογισμούς όπως αναλύθηκαν στην αντίστοιχη παράγραφο και όπως εισήχθησαν στο πρόγραμμα για την ανάλυση του κτηρίου:

- G περιλαμβάνει: Ίδιο Βάρος Στοιχείων  
Ίδιο Βάρος Πλάκας  
Πρόσθετο Μόνιμο Πλάκας
- Q περιλαμβάνει: Κινητό Πλάκας
- SNOW: είναι το φορτίο χιονιού
- WIND : είναι το φορτίο ανέμου και ανάλογα με τη φορά του ανέμου χωρίζεται στις έξι περιπτώσεις:
  - WIND 0+
  - WIND 0-
  - WIND 90+
  - WIND 90-
- E: είναι τα σεισμικά φορτία και ανάλογα με την διεύθυνση του σεισμού χωρίζεται στις εξής περιπτώσεις:
  - E<sub>x</sub>
  - E<sub>y</sub>

Οι συνδυασμοί φόρτισης που χρησιμοποιήθηκαν για το κτήριο είναι οι ακόλουθοι :

#### Σε Ο.Κ.Α.

- $1,35G + 1,5Q + 1,5*0,50*SNOW + 1,5*0,6 WIND0^+$  (Φ1)
- $1,35G + 1,5 SNOW + 1,5*0,7Q + 1,5*0,6 WIND0^+$  (Φ2)
- $1,35G + 1,5WIND0^+ + 1,5*0,7Q + 1,5*0,50*SNOW$  (Φ3)
- $1,00G + 1,5WIND0^-$  (Φ4)
- $1,00G + 1,5WIND90^-$  (Φ5)
- $1,35G + 1,5Q + 1,5*0,50*SNOW + 1,5*0,6 WIND90^+$  (Φ6)
- $1,35G + 1,5 SNOW + 1,5*0,7Q + 1,5*0,6 WIND90^+$  (Φ7)
- $1,35G + 1,5WIND90^+ + 1,5*0,7Q + 1,5*0,50*SNOW$  (Φ8)

#### Σε Ο.Κ.Α.

- $1,00G + 1,00Q + 0,5SNOW + 0,6WIND0^+$  (Φ9)
- $1,00G + 1,00Q + 0,5SNOW + 0,6WIND90^+$  (Φ10)
- $1,00G + 1,00SNOW + 0,7Q + 0,6WIND0^+$  (Φ11)
- $1,00G + 1,00SNOW + 0,7Q + 0,6WIND90^+$  (Φ12)
- $1,00G + WIND0^+ + 0,7Q + 0,5SNOW$  (Φ13)
- $1,00G + WIND90^+ + 0,7Q + 0,5SNOW$  (Φ14)

- $1,00G + 1,00WIND0^\circ$  ( $\Phi15$ )
- $1,00G + 1,00WIND90^\circ$  ( $\Phi16$ )

Σεισμικοί συνδυασμοί

- E1:  $G + 0,3Q + E_X + 0,3E_Y$
- E2:  $G + 0,3Q - E_X + 0,3E_Y$
- E3:  $G + 0,3Q - E_X + 0,3E_Y$
- E4:  $G + 0,3Q - E_X - 0,3E_Y$
- E5:  $G + 0,3Q + E_Y + 0,3E_X$
- E6:  $G + 0,3Q + E_Y - 0,3E_X$
- E7:  $G + 0,3Q - E_Y + 0,3E_X$
- E8:  $G + 0,3Q - E_Y - 0,3E_X$

## Κεφάλαιο 4

### Δομικά στοιχεία της κατασκευής – στοιχεία σχεδιασμού

#### 4.1 Δομικά στοιχεία

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται τα δομικά στοιχεία της κατασκευής μαζί με τα χαρακτηριστικά τους, που βοηθούν στην κατανόηση της στατικής λειτουργίας του κτιρίου. Σε επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικότεροι έλεγχοί τους σε οριακή κατάσταση αστοχίας και λειτουργικότητας.

##### Υποστυλώματα

Οι διατομές των υποστυλωμάτων που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή είναι οι εξής:

| <b>Πίνακας μεταλλικών υποστυλωμάτων</b> |            |
|---|------------|
| HEM900 - HEB500                         | Συγκολλητή |
| HEB700 - HEB500                         | Συγκολλητή |

Πίνακας 4.1 Μεταλλικά υποστυλώματα κατασκευής

Τα υποστυλώματα του κτιρίου μορφώνονται ως σταυροειδή, δηλαδή οι δύο πρότυπες διατομές τέμνονται κάθετα στους κορμούς τους, εκ των οποίων η μία κόβεται σε δύο τμήματα στο εργοτάξιο. Αυτό συμβαίνει γιατί υπάρχει απαίτηση από αυτά τα υποστυλώματα να έχουν ουσιαστική πλαισιακή λειτουργία και στις δύο διευθύνσεις.

##### Δοκοί

Οι διατομές των δοκών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή είναι οι εξής:

| <b>Πίνακας μεταλλικών δοκών</b> |            |
|---------------------------------|------------|
| HEM700                          | πρότυπη    |
| HEB450-675                      | κυψελωτή   |
| HEB700                          | πρότυπη    |
| HEM400-610                      | κυψελωτή   |
| IPE400-600                      | κυψελωτή   |
| IPE270                          | πρότυπη    |
| HEA100                          | πρότυπη    |
| I-700x300/82/32                 | συγκολλητή |
| HEM700                          | πρότυπη    |
| HEM280                          | πρότυπη    |

Πίνακας 4.2 Μεταλλικές δοκοί κατασκευής



Οι κύριες δοκοί στηρίζονται στα υποστυλώματα του φορέα και οι δευτερεύουσες δοκοί στις κύριες. Όπως φαίνεται και στον πίνακα η διατομή τους είναι μορφής I, συγκολλητές διπλής συμμετρίας και κυψελωτές. Οι κυψελωτές δοκοί είναι δοκοί με ανοίγματα στον κορμό τους. Για τις ανάγκες της προσομοίωσης της παρούσας εργασίας οι κυψελωτοί δοκοί προσομοιώνονται με τις πλήρεις διατομές τους στο στατικό προσομοίωμα του κτιρίου, δηλαδή κρατώντας το ύψος της κυψελωτής δοκού, αλλά χωρίς τις οπές. Εξάλλου η διαφορά που παρουσιάζει η πλήρης με την κυψελωτή δοκό στη ροπή αδράνειας είναι μικρή, αφού αυτή εξαρτάται κυρίως από την απόσταση των πελμάτων της δοκού και το εμβαδό τους και όχι από την επιφάνεια του κορμού. Σε επόμενο κεφάλαιο εξετάζεται και αναλύεται μια από τις κυψελωτές δοκούς του κτιρίου.

Γενικά η δημιουργία οπών στον κορμό των δοκών έχει σαν στόχο την εξοικονόμηση βάρους και υλικού, αφού για μεγαλύτερο μοχλοβραχίονα έχουμε μεγαλύτερη ροπή αντοχής χρησιμοποιώντας λιγότερο χάλυβα. Επίσης πολλές φορές οι κυψελωτές δοκοί προτιμώνται για λειτουργικούς λόγους όπως για τη διέλευση αγωγών που εξυπηρετούν ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, για τη διέλευση καλωδίων, αγωγών πυρόσβεσης κλπ.

#### Σύμμικτη πλάκα

Τα τελευταία χρόνια η χρήση σύμμικτων πλακών έχει γίνει δημοφιλής και έχει αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στη διάδοση των μεταλλικών και σύμμικτων κατασκευών σε οικοδομικά έργα πολιτικού μηχανικού μικρής, αλλά και μεγάλης κλίμακας. Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από μία επιφάνεια χαλυβδόφυλλων και από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Επιπλέον στην πλάκα σκυροδέματος προβλέπεται ένας ελαφρύς άνω οπλισμός.

#### Σύνδεσμοι δυσκαμψίας

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| <b>Σύνδεσμοι δυσκαμψίας</b> |         |
| HEM320                      | πρότυπη |

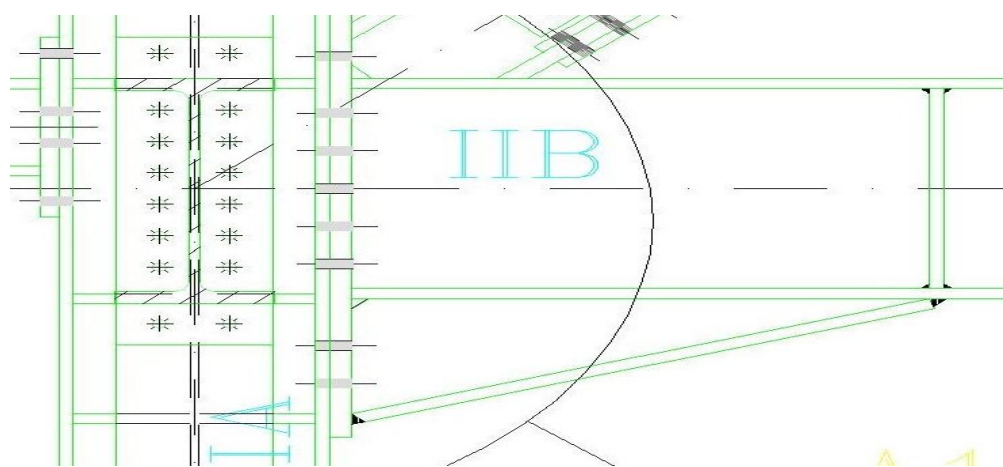
Πίνακας 4.3 Σύνδεσμοι δυσκαμψίας κατασκευής

Οι σύνδεσμοι δυσκαμψίας χρησιμεύουν κυρίως για την παραλαβή και μεταφορά στη θεμελίωση των οριζόντιων δυνάμεων που δρουν κάθετα στο κτίριο. Στην κατασκευή είναι τοποθετημένοι κατακόρυφοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας μεταξύ των υποστυλωμάτων.

#### Συνδέσεις ροπής

Πρόκειται για συνδέσεις ροπής οι οποίες χρησιμοποιούνται μεταξύ κύριων δοκών και υποστυλωμάτων και κύριων δοκών και συνδέσμων δυσκαμψίας. Η σύνδεση γίνεται μέσω μιας μετωπικής πλάκας η οποία κοχλιώνεται στα πέλαμα του σταυροειδούς υποστυλώματος. Για λόγους αντισεισμικούς ή αν ο χώρος μεταξύ των πελμάτων της δοκού δεν είναι επαρκής για τη διαμόρφωση της κοχλίωσης προβλέπεται τοπική ενίσχυση της δοκού στη περιοχή του κόμβου. Για τη παραλαβή των συγκεντρωμένων δυνάμεων των πελμάτων της δοκού προβλέπονται οριζόντιες

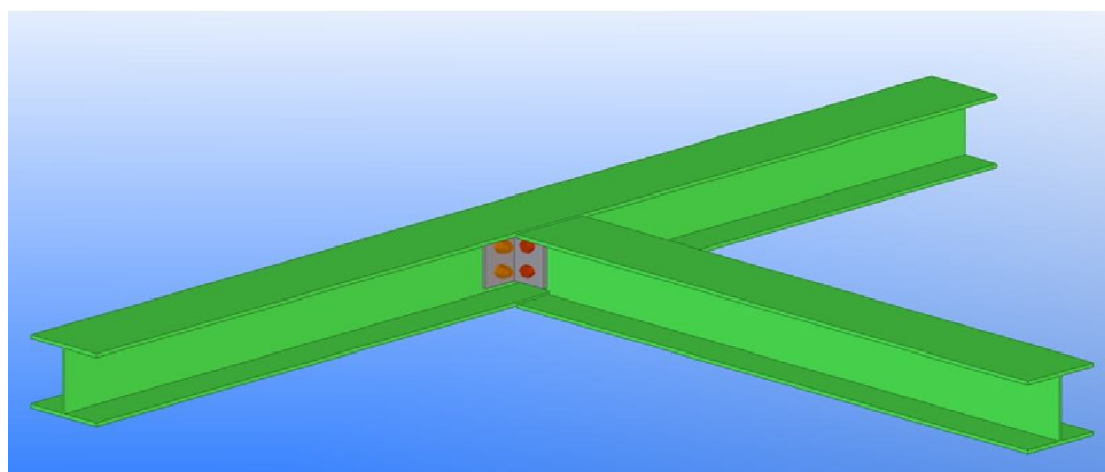
ενισχύσεις του κορμού του υποστυλώματος. Αυτοί οι κόμβοι συνήθως είναι προκατασκευασμένα τμήματα τα οποία μεταφέρονται στο έργο και συνδέονται κατάλληλα μεταξύ τους για να συνθέσουν το συνολικό φορέα.



Σχήμα 4.1 Σύνδεση ροπής

#### Συνδέσεις τέμνουσας

Πρόκειται για συνδέσεις μεταξύ κύριων και δευτερευουσών δοκών. Η μεταφορά της τέμνουσας γίνεται με κοχλιωτή σύνδεση του κορμού της δοκού με τη βοήθεια γωνιακού ελάσματος.



Σχήμα 4.2 Σύνδεση τέμνουσας

## 4.2 Σχεδιασμός

Ο βασικός στόχος κατά τον σχεδιασμό μιας κατασκευής είναι η διασφάλιση ενός ικανοποιητικού επιπέδου ασφάλειας έναντι αστοχίας. Επίσης επιβάλλεται η διεξαγωγή ελέγχων λειτουργικότητας για την αποφυγή υπερβολικών παραμορφώσεων και ταλαντώσεων των στοιχείων της κατασκευής.

Όσον αφορά τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση αστοχίας οι αντοχές σχεδιασμού  $R_d$  προσδιορίζονται από διαίρεση των χαρακτηριστικών τιμών  $R_k$  με τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας του υλικού  $\gamma_M$ . Για κτίρια προτείνονται από το Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα του Ευρωκώδικα 3 οι παρακάτω αριθμητικές τιμές για τους επιμέρους συντελεστές ασφάλειας:

$\gamma_{M0}=1,0$  για την αντοχή διατομών έναντι διαρροής, ανεξαρτήτως της κατηγορίας της διατομής

$\gamma_{M1}=1,0$  για αντοχή μελών έναντι απώλειας της ευστάθειας

$\gamma_{M2}=1,25$  για αντοχή διατομών έναντι εφελκυστικής θραύσης και υπολογισμό αντοχής κοχλιωτών συνδέσεων

για τον υπολογισμό αντοχής σύνδεσης ολίσθησης:  $\gamma_{M3}=1,10$  γενικώς ή  $\gamma_{M3}=1,25$  για υβριδικές ή καταπονούμενες σε κόπωση συνδέσεις

για τον υπολογισμό αντοχής σύνδεσης ταυτόχρονης διάτμησης-εφελκυσμού:  $\gamma_{M3}=1,10$  γενικώς ή  $\gamma_{M3}=1,25$  για υβριδικές ή καταπονούμενες σε κόπωση συνδέσεις.

Οι έλεγχοι που θα πραγματοποιηθούν θα γίνουν κάνοντας χρήση των δυσμενέστερων εντατικών μεγεθών που θα προκύψουν από την ανάλυση του φορέα για οριακές καταστάσεις αστοχίας, οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας και σεισμού.

### 4.3 Έλεγχοι

#### Έλεγχος σε αξονικό εφελκυσμό

Στον έλεγχο αξονικού εφελκυσμού η τιμή σχεδιασμού τις εφελκυστικής δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$$

Η αντοχή σχεδιασμού της διατομής  $N_{t,Rd}$  σε εφελκυσμό προκύπτει ως η μικρότερη από τις τιμές:

$$N_{t,Rd} = \min \left[ N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}, N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}} \right]$$

Όπου:

A: το εμβαδόν της πλήρους διατομής

$f_y$ : το όριο διαρροής του χάλυβα

$\gamma_{M0}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα

$A_{net}$ : το εμβαδόν της καθαρής διατομής

$f_u$ : η εφελκυστική αντοχή του χάλυβα

$\gamma_{M2}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα σε θραύση

Η πρώτη τιμή της αγκύλης δίνει την πλαστική αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής και η δεύτερη την οριακή αντοχή της καθαρής διατομής στις θέσεις με οπές κοχλιών.

#### Έλεγχος σε αξονική θλίψη

Στον έλεγχο αξονικής θλίψης η τιμή σχεδιασμού τις θλιπτικής δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

Η αντοχή σχεδιασμού της διατομής  $N_{c,Rd}$  σε θλίψη προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{για διατομές κατηγορίας 1,2,3}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

A: το εμβαδόν της πλήρους διατομής

$f_y$ : το όριο διαρροής του χάλυβα

$\gamma_{M0}$ : ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα

$A_{eff}$ : το εμβαδόν της ενεργού διατομής

$f_u$ : η τάση αντοχής του χάλυβα

Η αντοχή σε θλίψη συμπίπτει με την αντοχή του μέλους μόνον για μέλη με συνεχή ή πυκνή πλευρική στήριξη, ή για μέλη με πολύ μικρή λυγηρότητα.

#### Έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη

Στην περίπτωση όπου ροπή και τέμνουσα δύναμη δεν συνυπάρχουν στον φορέα, ή δεν υπάρχει καθόλου τέμνουσα δύναμη, πραγματοποιείται έλεγχος σε μονοαξονική κάμψη. Στον έλεγχο μονοαξονικής κάμψης η τιμή σχεδιασμού τις ροπής κάμψης  $M_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

Η καμπτική αντοχή σχεδιασμού  $M_{c,Rd}$ , για κάμψη περί τον ισχυρό άξονα, υπολογίζεται με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{για διατομές κατηγορίας 1 ,2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{για διατομές κατηγορίας 3}$$

$$M_{c,Rd} = M_{eff,Rd} = \frac{W_{eff} \times f_y}{\gamma_{M0}}, \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Για διατομές στις οποίες ο άξονας κάμψης είναι και άξονας συμμετρίας, η  $W_{el}$  αντιστοιχεί σε πρώτη διαρροή των ινών. Για μονο-συμμετρικές διατομές η  $W_{el}$  σε πρώτη διαρροή της ακραίας ίνας. Η  $W_{eff}$  αναφέρεται στην ενεργό διατομή. Σε περίπτωση που υπάρχουν οπές στο εφελκυσμένο πέλμα της κρίσιμης διατομής, απαιτείται έλεγχος ότι ο λόγος καθαρής διατομής προς πλήρη διατομή δεν είναι τόσο μικρός ώστε να συμβεί θράση στην καθαρή διατομή, πριν διαρρεύσει η πλήρης διατομή. Ο έλεγχος ικανοποιείται εφόσον ο λόγος  $A_{f.net}/A_f$  είναι μεγαλύτερος ή ίσος με 0,907 , 0,888 και 0,967 για κατηγορίες χάλυβα S235, S275 και S355 αντίστοιχα. Αν το παραπάνω κριτήριο δεν τηρείται μπορεί να θεωρηθεί ένα απομειωμένο πέλμα, ώστε να ικανοποιείται το κατώτερο όριο.

#### Έλεγχος σε διάτμηση

Μερικές φορές η τέμνουσα δύναμη είναι η μόνη δύναμη που δρα στη διατομή ή γίνεται τόσο σημαντική, ώστε η αντοχή της σε διάτμηση καθίσταται κρίσιμη για τον έλεγχο και τη διαστασιολόγηση της διατομής. Στον έλεγχο μίας δοκού έναντι διάτμησης, πρέπει η τιμή σχεδιασμού  $V_{Ed}$  της τέμνουσας δύναμης να είναι μικρότερη από την αντοχή σχεδιασμού της διατομής σε τέμνουσα  $V_{c,Rd}$ .

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

Για πλαστικό σχεδιασμό η  $V_{c,Rd}$ , είναι ίση με την πλαστική διατμητική αντοχή  $V_{pl,Rd}$ , η οποία δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Όπου:

$A_v$ : είναι η επιφάνεια διάτμησης

$\frac{f_y}{\sqrt{3}}$ : το όριο διαρροής του χάλυβα σε διάτμηση σύμφωνα με το κριτήριο ισοδυναμίας Von Mises

Η επιφάνειες διάτμησης μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

a. Ελατές διατομές I και H, με φορτίο παράλληλο προς τον κορμό:  
 $A - 2b \times tf + (tw + 2r) \times tf$

b. Ελατές διατομές π, με φορτίο παράλληλο προς τον κορμό:  
 $A - 2b \times tf + (tw + r) \times tf$

c. Ελατές διατομές T, με φορτίο παράλληλο προς τον κορμό:  
 $0,9 \times (A - b \times tf)$

d. Συγκολλητές διατομές I,H και κιβωτοειδής, με φορτίο παράλληλο προς τον κορμό:  
 $\eta \sum (hw \times tw)$

e. Συγκολλητές διατομές I,H και κιβωτοειδής, με φορτίο παράλληλο προς τα πέλματα:  
 $A - \sum (hw \times tw)$

f. Ελατές κοίλες ορθογωνικές διατομές, με ομοιόμορφο πάχος:  
 $\frac{A \times h}{b+h}$ , φορτίο παράλληλο προς το ύψος  
 $\frac{A \times b}{b+h}$ , φορτίο παράλληλο προς το πλάτος

g. Κοίλες κυκλικές διατομές και σωλήνες με ομοιόμορφο πάχος:  
 $\frac{2A}{\pi}$ , φορτίο παράλληλο προς το πλάτος

Όπου:

A: η επιφάνεια της διατομής

b: το συνολικό πλάτος

h: το συνολικό ύψος

$h_w$ : το ύψος του κορμού  
 $r$ : η ακτίνα συναρμογής κορμού πέλματος  
 $t_f$ : το πάχος του πέλματος  
 $t_w$ : το πάχος του κορμού  
 $\eta$ :  $\eta=1,00$

#### Έλεγχος σε κάμψη και τέμνουσα

Στις δοκούς η κάμψη συνοδεύεται κατά κανόνα και από διάτμηση, η οποία υπό ειδικές συνθήκες (π.χ. μεγάλα συγκεντρωμένα φορτία), ενδέχεται να επηρεάσει δυσμενώς και να απομειώσει τη το ροπή αντοχής της δοκού. Γενικά όταν στην ίδια δοκό συνυπάρχουν καμπτική ροπή και σημαντική τέμνουσα δύναμη, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της τέμνουσας δύναμης στη ροπή αντοχής, δεδομένου ότι μέρος της διατομής αναλύσκειται στο να παραλάβει την τέμνουσα. Όταν η τέμνουσα είναι μικρή, η παραπάνω επιρροής της, μπορεί να παραλείπεται. Συγκεκριμένα ο Ευρωκώδικας 3 προβλέπει ότι αν η τέμνουσα δύναμη είναι μικρότερη από το 50% της πλαστικής διατμητικής αντοχής, η επίδρασή της στη ροπή αμελείται. Όταν όμως είναι μεγαλύτερη, πρέπει να λαμβάνεται ως αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη της διατομής, η απομειωμένη ροπή αντοχής η οποία δίδεται από τις παρακάτω μεθόδους:

- i. Απομείωση της τάσης διαρροής του χάλυβα:

$$f_y' = (1 - \rho) \times f_y$$

όπου:

$$\rho = \left[ \frac{2VEd}{V_{pl,T,Rd}} - 1 \right]^2$$

- ii. Για διατομές I κατηγορίας 1 ή 2 με ίσα πέλματα και κάμψη περί τον ισχυρό άξονα αδρανείας, η μειωμένη ροπή αντοχής υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$M_{y,V,Rd} = \frac{\left[ W_{pl,y} - \frac{\rho \times A_w^2}{4t_w} \right] \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

Όπου:

Πρέπει:  $M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$

$A_w$ : η επιφάνεια του κορμού της διατομής

#### Κάμψη και αξονική δύναμη

Ο συνδυασμός αυτών των εντατικών μεγεθών αποτελεί αφορά μέλη του πλαισίου που καταπονούνται από σημαντικές αξονικές δυνάμεις. Τέτοια μέλη είναι κατά κανόνα τα υποστυλώματα και λιγότερο οι δοκοί. Μέρος της διατομής αναλύσκειται στην ανάληψη της αξονικής δύναμης και επομένως η αντοχή της σε κάμψη περιορίζεται. Η απομειωμένη αντοχή της διατομής σε κάμψη υπολογίζεται αναλόγως την κατηγορία της διατομής, με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

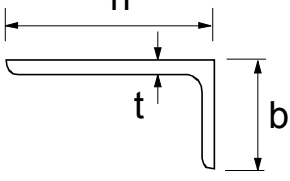
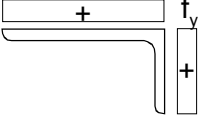
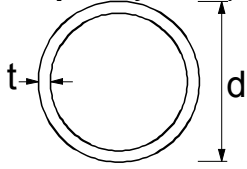
| Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα                |                              |                              |   |   |      |      |
|--|------------------------------|------------------------------|---|---|------|------|
|  |                              |                              |   | <p>Άξονας κάμψης</p> <p>Άξονας Κάμψης</p> |      |      |
| Κατηγορία                                  | Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη | Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη | Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη  |   |      |      |
| Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική) |                              |                              |   |   |      |      |
| 1  | $c/t \leq 72\varepsilon$     | $c/t \leq 33\varepsilon$     | <p>όταν <math>\alpha &gt; 0,5</math>: <math>c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}</math></p> <p>όταν <math>\alpha \leq 0,5</math>: <math>c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}</math></p>      |   |      |      |
| 2  | $c/t \leq 83\varepsilon$     | $c/t \leq 38\varepsilon$     | <p>όταν <math>\alpha &gt; 0,5</math>: <math>c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}</math></p> <p>όταν <math>\alpha \leq 0,5</math>: <math>c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}</math></p>    |   |      |      |
| Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική) |                              |                              |   |   |      |      |
| 3  | $c/t \leq 124\varepsilon$    | $c/t \leq 42\varepsilon$     | <p>όταν <math>\psi &gt; -1</math>: <math>c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}</math></p> <p>όταν <math>\psi \leq -1^*</math>: <math>c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}</math></p> |   |      |      |
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$             | $f_y$                        | 235                          | 275   | 355                                       | 420  | 460  |
|  | $\varepsilon$                | 1,00                         | 0,92  | 0,81                                      | 0,75 | 0,71 |

Πίνακας 4.4 Κατηγορία κορμού διατομής

| Προεξέχοντα πέλματα                        |                              |   |  |                   |      |      |
|--|------------------------------|---|--|-------------------|------|------|
|  |                              |   | <p>Ελατές διατομές</p> <p>Συγκολλητές διατομές</p>   |                   |      |      |
| Κατηγορία                                  | Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη | Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη                                      |  |                   |      |      |
|  |                              | Άκρο σε θλίψη   |  | Άκρο σε εφελκυσμό |      |      |
| Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική) |                              |   |  |                   |      |      |
| 1  | $c/t \leq 9\varepsilon$      | $c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$                                      | $c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$  |                   |      |      |
| 2  | $c/t \leq 10\varepsilon$     | $c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$                                     | $c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ |                   |      |      |
| Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική) |                              |   |  |                   |      |      |
| 3  | $c/t \leq 14\varepsilon$     | $c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$<br>Για $k_\sigma$ βλέπε EN 1993-1-5 |  |                   |      |      |
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$             | $f_y$                        | 235   | 275  | 355               | 420  | 460  |
|  | $\varepsilon$                | 1,00  | 0,92   | 0,81              | 0,75 | 0,71 |

Πίνακας 4.5 Κατηγορία πέλματος διατομής



|  |  |   |      |  |      |      |
|--|--|---|------|--|------|------|
| <p>Αναφορά επίσης στα<br/>“Προεξέχοντα πέλματα”<br/>(βλέπε φύλο 2 από 3)</p>                                       |  | <p><b>Γωνιακά</b></p>  |      | <p>Δεν ισχύει για γωνιακά σε<br/>συνεχή επαφή με άλλα<br/>στοιχεία</p> |      |      |
| Κατηγορία  | Διατομή σε θλίψη   |   |      |  |      |      |
| Κατανομή<br>τάσεων στη<br>διατομή<br>(θλίψη<br>θετική)   |             |   |      |  |      |      |
| 3  | $h/t \leq 15\varepsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$                               |   |      |  |      |      |
| <p><b>Σωληνωτές διατομές</b></p>  |  |   |      |  |      |      |
| Κατηγορία  | Διατομή σε κάμψη και/ή θλίψη   |   |      |  |      |      |
| 1  | $d/t \leq 50\varepsilon^2$   |   |      |  |      |      |
| 2  | $d/t \leq 70\varepsilon^2$   |   |      |  |      |      |
| 3  | $d/t \leq 90\varepsilon^2$<br><b>ΣΗΜΕΙΩΣΗ</b> Για $d/t > 90\varepsilon^2$ βλέπε EN 1993-1-6. |   |      |  |      |      |
| $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$   | $f_y$  | 235   | 275  | 355  | 420  | 460  |
|  | $\varepsilon$  | 1,00  | 0,92 | 0,81   | 0,75 | 0,71 |
|  | $\varepsilon^2$  | 1,00  | 0,85 | 0,66   | 0,56 | 0,51 |

Πίνακας 4.6 Κατηγορία σωληνωτής διατομής

Διατομές κατηγορίας 1, 2,3

Για διατομές κατηγορίας 1, 2, 3, πρέπει να ικανοποιείται το παρακάτω κριτήριο:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd}$$

όπου  $M_{N,Rd}$  είναι η πλαστική ροπή αντοχής μειωμένη λόγω της αξονικής δύναμης  $N_{Ed}$ .

Για μια τετραγωνικές συμπαγείς διατομές χωρίς οπές κοχλιών το  $M_{N,Rd}$  πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \left[ 1 - \left( N_{Ed} / N_{pl,Rd} \right)^2 \right]$$

Για διατομές διπλής συμμετρίας I και H ή άλλες διατομές με πέλματα, δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα y-y όταν ικανοποιούνται και τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$$

και

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές διπλής συμμετρίας I και H, δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη για την επίδραση της αξονικής δύναμης στην πλαστική ροπή αντοχής περί τον άξονα z-z όταν:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}}$$

Για διατομές όπου οι οπές κοχλιών δεν λαμβάνονται υπόψη:

Για ελατές διατομές I ή H και για συγκολλητές διατομές I ή H με ίσα πέλματα, μπορούν να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω προσεγγίσεις:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a) \quad \text{αλλά } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{για } n \leq a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{για } n > a: \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$$

όπου:

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

$$a = (A-2bt_f)/A \quad \text{αλλά } a \leq 0,5$$

Για κοίλες ορθογωνικές διατομές σταθερού πάχους και για συγκολλητές κλειστές διατομές με ίσα πέλματα και ίσους κορμούς, μπορούν να χρησιμοποιούνται οι παρακάτω προσεγγίσεις:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} (1-n)/(1-0,5a_w) \quad \text{αλλά } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} (1-n)/(1-0,5a_f) \quad \text{αλλά } M_{N,z,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

Όπου:

$$a_w = (A-2bt)/A \quad \text{αλλά } a_w \leq 0,5 \quad \text{για κοίλες διατομές}$$

$$a_w = (A-2bt_f)/A \quad \text{αλλά } a_w \leq 0,5 \quad \text{για συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές}$$

$$a_f = (A-2ht)/A \quad \text{αλλά } a_f \leq 0,5 \quad \text{για κοίλες διατομές}$$

$$a_f = (A-2ht_w)/A \quad \text{αλλά } a_f \leq 0,5 \quad \text{για συγκολλητές κιβωτοειδείς διατομές}$$

Διατομές κατηγορίας 4

Για διατομές κατηγορίας 4 πρέπει να ικανοποιείται το παρακάτω κριτήριο:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$$

όπου  $A_{eff}$  είναι η ενεργός επιφάνεια της διατομής όταν υπόκειται σε ομοιόμορφη θλίψη

$W_{\text{eff,min}}$  είναι η ενεργός ροπή αντίστασης (που αντιστοιχεί στην ίνα με τη μεγαλύτερη ελαστική τάση) της διατομής, όταν υπόκειται μόνο σε ροπή περί τον αντίστοιχο άξονα

$e_N$  είναι η μετατόπιση του αντίστοιχου κεντροβαρικού άξονα όταν η διατομή υπόκειται μόνο σε θλίψη

### Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

Όταν μια διατομή καταπονείται καμπτικά και στις δύο διευθύνσεις των αδρανειακών της αξόνων, απαιτείται έλεγχος σε διαξονική κάμψη. Ο έλεγχος είναι απαραίτητος καθώς η ταυτόχρονη κάμψη και στους δύο αδρανειακούς άξονες μπορεί να οδηγήσει το μέλος σε αστοχία, έστω και αν οι αντίστοιχοι καμπτικοί έλεγχοι ως προς την κάθε διεύθυνση ξεχωριστά ικανοποιούνται. Για διαξονική κάμψη μπορεί να χρησιμοποιείται το παρακάτω κριτήριο:

$$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta \leq 1$$

στο οποίο  $\alpha$  και  $\beta$  είναι σταθερές, που συντηρητικά μπορούν να λαμβάνονται ως μονάδα, ή αλλιώς ως εξής:

- I και H διατομές:

$$\alpha = 2 ; \beta = 5n \quad \text{αλλά } \beta \geq 1$$

- Κοίλες κυκλικές διατομές:

$$\alpha = 2 ; \beta = 2$$

- Κοίλες ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13n^2} \quad \text{αλλά } \alpha = \beta \leq 6$$

$$\text{όπου } n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$$

### Έλεγχος αντοχής σε λυγισμό

#### Έλεγχος μελών σταθερής διατομής υπό θλίψη

Ένα θλιβόμενο μέλος πρέπει να ελέγχεται έναντι λυγισμού ως εξής:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

όπου:

$N_{Ed}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης

$N_{b,Rd}$  είναι η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό.

Η αντοχή ενός θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό λαμβάνεται ως εξής:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{\text{eff}} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

$\chi$ : είναι ο μειωτικός συντελεστής για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού.

Στον καθορισμό των  $A$  και  $A_{\text{eff}}$ , δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη σπές για κοχλίες στα άκρα υποστυλώματος.

*Καμπύλες λυγισμού*

Σε μέλη υπό αξονική θλίψη, η τιμή του  $\chi$  για την κατάλληλη ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}$  πρέπει να καθορίζεται από την αντίστοιχη καμπύλη λυγισμού σύμφωνα με τη σχέση:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{αλλά } \chi \leq 1,0$$

Όπου:

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{\text{cr}}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{\text{cr}}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

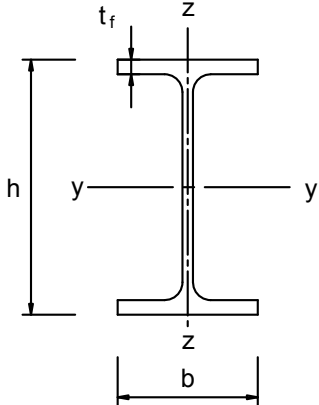
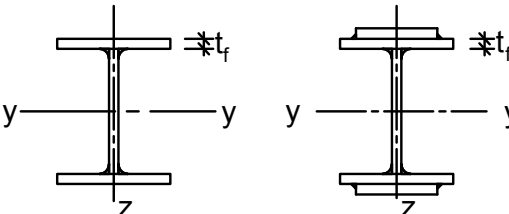
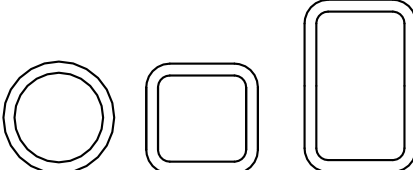
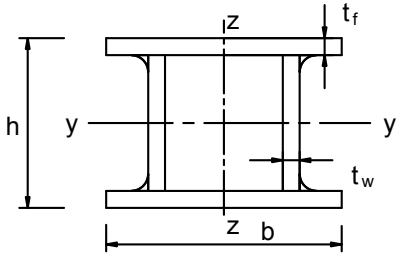
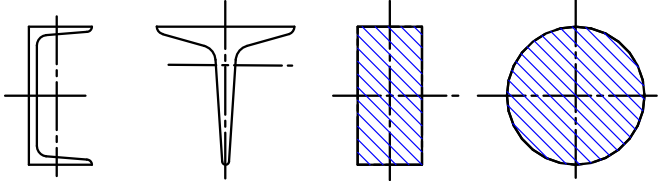
$\alpha$  είναι συντελεστής ατελειών

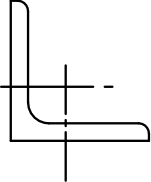
$N_{\text{cr}}$  είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο για την αντίστοιχη μορφή λυγισμού βασισμένο στις ιδιότητες της πλήρους διατομής.

Ο συντελεστής ατελειών  $\alpha$  που αντιστοιχεί σε κάθε καμπύλη λυγισμού λαμβάνεται από τον παρακάτω.

| Καμπύλη λυγισμού              | $a_0$ | a    | b    | c    | d    |
|-------------------------------|-------|------|------|------|------|
| Συντελεστής ατελειών $\alpha$ | 0,13  | 0,21 | 0,34 | 0,49 | 0,76 |

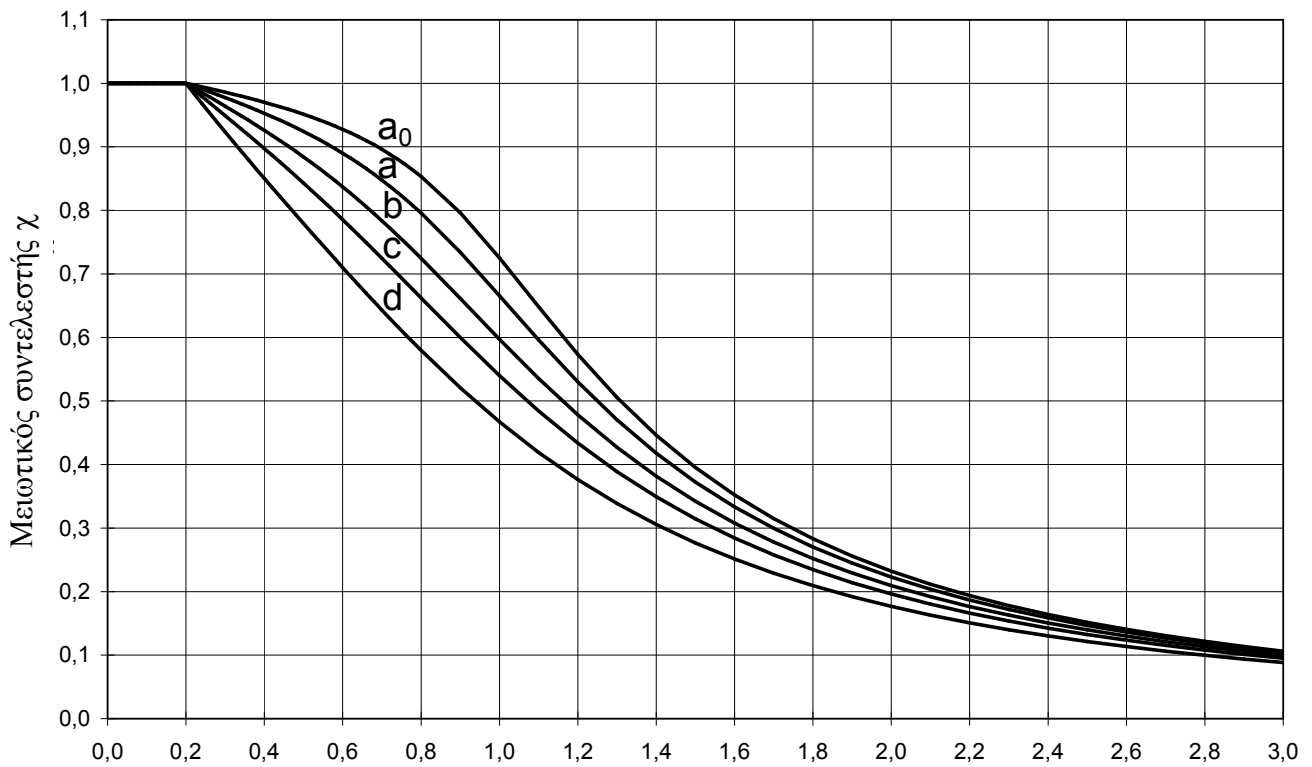
Πίνακας 4.7 Συντελεστής ατελειών

| Διατομή  | Όρια   | Λυγισμός<br>περί τον<br>άξονα                              | Καμπύλη<br>λυγισμού              |                |                                  |
|--|--|--|----------------------------------|----------------|----------------------------------|
|  |  |  | S 235<br>S 275<br>S 355<br>S 420 | S<br>460       |                                  |
| Ελατές διατομές<br>                         | $h/b > 1,2$  | $t_f \leq 40 \text{ mm}$<br>$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ | y - y<br>z - z                   | a<br>b         | a <sub>0</sub><br>a <sub>0</sub> |
|  |  |  | y - y<br>z - z                   | b<br>c         | a<br>a                           |
|  | $h/b \leq 1,2$   | $t_f \leq 100 \text{ mm}$<br>$t_f > 100 \text{ mm}$        | y - y<br>z - z                   | b<br>c         | a<br>a                           |
|  |  |  | y - y<br>z - z                   | d<br>d         | c<br>c                           |
| Συγκολλητές<br>I-διατομές<br>              | $t_f \leq 40 \text{ mm}$   | y - y<br>z - z   | b<br>c                           | b<br>c         |                                  |
|  | $t_f > 40 \text{ mm}$  | y - y<br>z - z   | c<br>d                           | c<br>d         |                                  |
| Κοίλες<br>Διατομές<br>                    | Εν θερμώ έλαση   | Κάθε   | a                                | a <sub>0</sub> |                                  |
|  | Ψυχρή έλαση  | Κάθε   | c                                | c              |                                  |
| Συγκολλητές<br>κιβωτιοειδείς διατομές<br> | Γενικά (εκτός των κατωτέρω)  | Κάθε   | b                                | b              |                                  |
|  | Μεγάλα πάχη<br>ραφής:<br>$\alpha > 0,5t_f$<br>$b/t_f < 30$<br>$h/t_w < 30$ | Κάθε   | c                                | c              |                                  |
| U-, I- και<br>συμπαγείς<br>διατομές<br>  |  | Κάθε   | c                                | c              |                                  |

|            |   |      |   |   |
|------------|---|------|---|---|
| L-διατομές |  | Κάθε | b | b |
|------------|---|------|---|---|

Πίνακας 4.8 Καμπύλη λυγισμού διατομών

Εναλλακτικός τρόπος υπολογισμού του μειωτικού συντελεστή  $\chi$  για την κατάλληλη ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}$ , είναι ο γραφικός υπολογισμός του από το παρακάτω διάγραμμα με βάση την κατάλληλη καμπύλη λυγισμού, η οποία επιλέγεται από τον παραπάνω πίνακα ανάλογα με το είδος της διατομής και τις διαστάσεις της. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι για λυγηρότητα  $\bar{\lambda} \leq 0,2$  ή για  $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$  οι επιδράσεις του λυγισμού μπορούν να αγνοούνται και να εφαρμόζονται μόνο έλεγχοι διατομών.



Σχήμα 4.3 Ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}$

Λυγηρότητα για καμπτικό λυγισμό

Η ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}$  δίνεται από:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

$L_{cr}$  είναι το μήκος λυγισμού στο υπό θεώρηση επίπεδο λυγισμού

$i$  είναι η ακτίνα αδρανείας περί τον αντίστοιχο άξονα, υπολογιζόμενη χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες της πλήρους διατομής

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ σε N/mm}^2)$$

Για καμπτικό λυγισμό η κατάλληλη καμπύλη λυγισμού πρέπει να καθορίζεται από τον παραπάνω πίνακα.

#### Λυγηρότητα για στρεπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Για μέλη με ανοιχτές διατομές πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο η αντοχή του μέλους σε στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό να είναι μικρότερη από την αντοχή του σε καμπτικό λυγισμό. Η ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_T$  για στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1, 2 και 3}$$

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

Όπου:

$$N_{cr} = N_{cr,TF} \quad \text{αλλά } N_{cr} < N_{cr,T}$$

$N_{cr,TF}$  είναι η ελαστική δύναμη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

$N_{cr,T}$  είναι η ελαστική δύναμη στρεπτικού λυγισμού

Η κατάλληλη καμπύλη λυγισμού για στρεπτικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό καθορίζεται από τον παραπάνω πίνακα (Πιν) θεωρώντας αυτήν που σχετίζεται με τον άξονα z.

#### Μέλη σταθερής διατομής υπό κάμψη

##### Αντοχή σε λυγισμό

Μία πλευρικά μη προστατευμένη δοκός που υπόκειται σε κάμψη περί τον ισχυρό άξονα πρέπει να ελέγχεται έναντι στρεπτοκαμπτικού λυγισμού ως εξής:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

όπου  $M_{Ed}$  είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής

$M_{b,Rd}$  είναι η ροπή αντοχής σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Δοκοί με ικανοποιητική πλευρική στήριξη στα θλιβόμενα πέλματα δεν κινδυνεύουν από στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. Επιπλέον δοκοί με τύπους διατομών, όπως τετραγωνικές ή κυκλικές κοίλες διατομές, κατασκευασμένοι κυκλικοί σωλήνες ή τετραγωνικές κιβωτιοειδείς διατομές δεν είναι ευαίσθητες σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Η ροπή αντοχής σε λυγισμό μιας πλευρικά μη προστατευμένης δοκού πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Όπου:

$W_y$  είναι η κατάλληλη ροπή αντίστασης της διατομής ως εξής:

$$W_y = W_{pl,y} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1 ή 2}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 3}$$

$$W_y = W_{eff,y} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4}$$

$\chi_{LT}$  είναι ο μειωτικός συντελεστής για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.

Στον καθορισμό του  $W_y$  δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη οπές για κοχλίες στην άκρη της δοκού.

#### Καμπύλες στρεπτοκαμπτικού λυγισμού – Γενική περίπτωση

Για καμπτόμενα μέλη σταθερής διατομής, η τιμή του  $\chi_{LT}$  για την αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα  $\lambda_{LT}$ , πρέπει να καθορίζεται από:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά } \chi_{LT} \leq 1,0$$

Όπου:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$\alpha_{LT}$ : είναι ο συντελεστής ατελειών λαμβάνεται από τον πιο πάνω πίνακα.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$ : είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού.

Το  $M_{cr}$  βασίζεται στις ιδιότητες της πλήρους διατομής και λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες φορτίσεως, την πραγματική κατανομή της ροπής και τις πλευρικές δεσμεύσεις. Οι συστάσεις για τις καμπύλες λυγισμού που πρέπει να χρησιμοποιούνται δίνονται στον επόμενο πίνακα.

| Διατομή                | Όρια         | Καμπύλη λυγισμού |
|------------------------|--------------|------------------|
| Ελατές διατομές I      | $h/b \leq 2$ | a                |
|                        | $h/b > 2$    | b                |
| Συγκολλητές διατομές I | $h/b \leq 2$ | c                |
|                        | $h/b > 2$    | d                |
| Άλλες διατομές         | -            | D                |

Πίνακας 4.10 Καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

Οι τιμές του μειωτικού συντελεστή  $\chi_{LT}$  για την αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα  $\lambda_{LT}$  μπορούν εναλλακτικά να λαμβάνονται από το διάγραμμα.

Σημείωση: Για λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$  ή για  $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,04$  οι επιδράσεις

στρεπτοκαμπτικού λυγισμού μπορούν να αγνοούνται και να γίνονται μόνο έλεγχοι διατομής.



Καμπύλες στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για ελατές διατομές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές

Για ελατές διατομές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές υπό κάμψη, οι τιμές του  $\chi_{LT}$  για την αντίστοιχη ανηγμένη λυγηρότητα μπορεί να καθορίζονται από

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{αλλά} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Για ελατές διατομές προτείνονται οι παρακάτω τιμές από τον Ευρωκώδικα 3:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad (\text{μέγιστη τιμή})$$

$$\beta = 0,75 \quad (\text{ελάχιστη τιμή})$$

Οι συστάσεις για τις καμπύλες λυγισμού δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

| Διατομή                | Όρια                      | Καμπύλη λυγισμού |
|------------------------|---------------------------|------------------|
| Ελατές διατομές I      | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | b<br>c           |
| Συγκολλητές διατομές I | $h/b \leq 2$<br>$h/b > 2$ | c<br>d           |
| Άλλες διατομές         | -                         | d                |

Πίνακας 4.11 Επιλογή της καμπύλης στρεπτοκαμπτικού λυγισμού για ελατές ή ισοδύναμες συγκολλητές διατομές

Για να ληφθεί υπόψη η κατανομή της ροπής μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων των μελών, ο μειωτικός συντελεστής  $\chi_{LT}$  μπορεί να τροποποιηθεί ως εξής:









$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad \text{αλλά} \quad \chi_{LT,mod} \leq 1$$

Για το συντελεστή  $f$  ο Ευρωκώδικας 3 συνιστά τις παρακάτω ελάχιστες τιμές:

$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) [1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2] \quad \text{αλλά} \quad f \leq 1,0$$

Όπου:

$k_c$  είναι διορθωτικός συντελεστής σύμφωνα με τον πίνακα.

| Κατανομή ροπής  | $k_c$                       |
|---|-----------------------------|
| <br>$\psi = 1$   | 1,0                         |
| <br>$-1 \leq \psi \leq 1$  | $\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$ |
| <br><br> | 0,94<br>0,90<br>0,91        |
| <br><br> | 0,86<br>0,77<br>0,82        |

Πίνακας 4.12 Διορθωτικοί Συντελεστές  $k_c$

Απλοποιημένες μέθοδοι υπολογισμού για δοκούς με πλευρικές στηρίξεις σε κτίρια

Μέλη με διακριτή πλευρική στήριξη στο θλιβόμενο πέλμα δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό εάν το μήκος  $L_c$  μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων ή η προκύπτουσα ισοδύναμη λυγηρότητα του θλιβόμενου πέλματος  $\bar{\lambda}_f$  ικανοποιεί τη σχέση:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

Όπου:

$M_{y,Ed}$ : είναι η μέγιστη τιμή της καμπτικής ροπής στο τμήμα μεταξύ των πλευρικών στηρίξεων

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y$  είναι η κατάλληλη ροπή αντίστασης της διατομής που αντιστοιχεί στο θλιβόμενο πέλμα

$k_c$  είναι ένας διορθωτικός συντελεστής της λυγηρότητας ανάλογα με την κατανομή της ροπής μεταξύ των στηρίξεων, βλέπε Πίνακα

$i_{f,z}$  είναι η ακτίνα αδρανείας του θλιβόμενου πέλματος περιλαμβάνοντας και το 1/3 του θλιβόμενου τμήματος της επιφάνειας του κορμού, ως προς τον ασθενή άξονα της διατομής

$\bar{\lambda}_{c0}$  είναι η παράμετρος λυγηρότητας του παραπάνω θλιβόμενου στοιχείου

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\epsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ σε N/mm}^2)$$

Σημείωση 1: Για διατομές κατηγορίας 4 το  $i_{f,z}$  μπορεί να λαμβάνεται ως

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{\text{eff},f}}{A_{\text{eff},f} + \frac{1}{3}A_{\text{eff},w,c}}}$$

Όπου:

$I_{\text{eff},f}$ : είναι η ενεργός ροπή αδρανείας του θλιβόμενου πέλματος ως προς τον ασθενή άξονα της διατομής

$A_{\text{eff},f}$ : είναι η ενεργός επιφάνεια του θλιβόμενου πέλματος

$A_{\text{eff},w,c}$ : είναι η ενεργός επιφάνεια του θλιβόμενου τμήματος του κορμού

Σημείωση 2: Για το όριο λυγηρότητας  $\bar{\lambda}_{c0}$  ο Ευρωκώδικας 3 συνιστά μία οριακή τιμή  $\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1$ .

Σημείωση 3: Εάν η λυγηρότητα του θλιβόμενου πέλματος  $\bar{\lambda}_f$  υπερβαίνει το όριο που δίνεται στην σημείωση 2, η ροπή αντοχής σε λυγισμό μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \chi M_{c,Rd} \quad \text{αλλά} \quad M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

Όπου:

$\chi$ : είναι ο μειωτικός συντελεστής του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος υπολογισμένος με το  $\bar{\lambda}_f$

$k_{fl}$ : είναι ο τροποποιητικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη το συντηρητισμό της μεθόδου του ισοδύναμου θλιβόμενου πέλματος

Σημείωση 4: Η τιμή του τροποποιητικού συντελεστή δίνεται από τον Ευρωκώδικα 3. Συνιστάται η τιμή του  $k_{fl} = 1,10$ .

#### Μέλη σταθερής διατομής υπό κάμψη και αξονική θλίψη

Η ευστάθεια μελών σταθερής διατομής διπλής συμμετρίας, που δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με τις παρακάτω παραγράφους, όπου διάκριση γίνεται μεταξύ:

- μελών που δεν είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, π.χ. κοίλες κυκλικές διατομές ή διατομές όπου η στρέψη παρεμποδίζεται
- μελών που είναι ευαίσθητα σε στρεπτικές παραμορφώσεις, π.χ. μέλη με ανοιχτές διατομές, στα οποία δεν παρεμποδίζεται η στρέψη

Επιπρόσθετα, η αντοχή των διατομών σε κάθε άκρο του μέλους πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των παραπάνω ελέγχων.

Για μέλη δομικών συστημάτων ο έλεγχος αντοχής μπορεί να γίνεται βασιζόμενος στα μεμονωμένα μέλη ενός ανοίγματος, θεωρούμενα αποκομμένα από το σύστημα. Επιδράσεις δεύτερης τάξης του μεταθετού συστήματος (P-Δ επιδράσεις) πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, είτε μέσω των ακραίων ροπών του μέλους είτε μέσω των κατάλληλων μηκών λυγισμού αντίστοιχα.

Μέλη που υπόκεινται σε συνδυασμένη κάμψη και θλίψη πρέπει να ικανοποιούν:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Όπου:

$N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$  και  $M_{z,Ed}$ : είναι οι τιμές σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης και των μεγίστων ροπών ως προς τους y-y και z-z άξονες κατά μήκος του μέλους,

$\Delta M_{y,Ed}$ ,  $\Delta M_{z,Ed}$ : είναι οι ροπές λόγω της μετατόπισης του κεντροβαρικού άξονα σύμφωνα για διατομές κατηγορίας 4, βλέπε τον παρακάτω πίνακα

$\chi_y$  and  $\chi_z$ : είναι οι μειωτικοί συντελεστές λόγω καμπτικού λυγισμού

$\chi_{LT}$ : είναι ο μειωτικός συντελεστής λόγω στρεπτοκαμπτικού λυγισμού

$k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$ : είναι οι συντελεστές αλληλεπίδρασης

| Κατηγορία         | 1          | 2          | 3          | 4                |
|-------------------|------------|------------|------------|------------------|
| $A_i$             | A          | A          | A          | $A_{eff}$        |
| $W_y$             | $W_{pl,y}$ | $W_{pl,y}$ | $W_{el,y}$ | $W_{eff,y}$      |
| $W_z$             | $W_{pl,z}$ | $W_{pl,z}$ | $W_{el,z}$ | $W_{eff,z}$      |
| $\Delta M_{y,Ed}$ | 0          | 0          | 0          | $e_{N,y} N_{Ed}$ |
| $\Delta M_{z,Ed}$ | 0          | 0          | 0          | $e_{N,z} N_{Ed}$ |

Πίνακας 4.13 Τιμές για  $N_{Rk} = f_y A_i$ ,  $M_{i,Rk} = f_y W_i$  και  $\Delta M_{i,Ed}$

Σημείωση: Για μέλη που δεν υπόκεινται σε στρεπτική παραμόρφωση το  $\chi_{LT}$  θα είναι  $\chi_{LT} = 1,0$ .

Οι συντελεστές αλληλεπίδρασης  $k_{yy}$ ,  $k_{yz}$ ,  $k_{zy}$ ,  $k_{zz}$  εξαρτώνται από τη μέθοδο που έχει επιλεγεί.

#### Γενική μέθοδος για πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό δομικών στοιχείων

Η παρακάτω μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιείται όπου οι μέθοδοι που δίνονται στα οι μέθοδοι που περιγράφηκαν παραπάνω δεν μπορούν να εφαρμόζονται. Επιτρέπει τον έλεγχο της αντοχής σε πλευρικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό για δομικά στοιχεία, όπως μεμονωμένα μέλη, σύνθετης διατομής ή μη, σταθερής διατομής ή μη, με σύνθετες συνθήκες στήριξης ή μη ή επίπεδα πλαίσια ή τμήματα πλαισίων που αποτελούνται από τέτοια μέλη, τα οποία υπόκεινται σε θλίψη και / ή μονοαξονική κάμψη στο επίπεδο, αλλά τα οποία δεν περιέχουν στρεφόμενες πλαστικές αρθρώσεις.

Η συνολική αντοχή σε λυγισμό εκτός επιπέδου για κάθε δομικό στοιχείο μπορεί να ελεγχθεί μέσω της σχέσης:

$$\frac{\chi_{op} \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0$$

Όπου:

$\alpha_{ult,k}$ : είναι ο ελάχιστος μεγεθυντικός συντελεστής των φορτίων σχεδιασμού, ώστε να επιτευχθεί η χαρακτηριστική αντοχή της πλέον κρίσιμης διατομής του δομικού στοιχείου, θεωρώντας την εντός επιπέδου συμπεριφορά, του χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός, λαμβάνοντας όμως υπόψη όλες τις επιδράσεις λόγω της εντός επιπέδου γεωμετρικής παραμόρφωσης και των ατελειών, συνολικών και τοπικών, όπου απαιτείται

$\chi_{op}$ : είναι ο μειωτικός συντελεστής για την ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_{op}$ , (3)

Η καθολική ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_{op}$  για το δομικό στοιχείο θα πρέπει να καθορίζεται από

$$\bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}}$$

Όπου:

$\alpha_{ult,k}$  ορίζεται παραπάνω

$\alpha_{cr,op}$  είναι ο ελάχιστος μεγεθυντικός συντελεστής για τα εντός επιπέδου φορτία σχεδιασμού, ώστε να επιτευχθεί η ελαστική κρίσιμη αντοχή του δομικού στοιχείου σε σχέση με το στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο εντός επιπέδου καμπτικός λυγισμός

Ο μειωτικός συντελεστής  $\chi_{op}$  μπορεί να καθορίζεται με κάποια από τις δύο μεθόδους που ακολουθούν:

α) η ελάχιστη τιμή του

$\chi$ : για πλευρικό λυγισμό

$\chi_{LT}$ : για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

το καθένα υπολογισμένο για την καθολική ανηγμένη λυγηρότητα  $\bar{\lambda}_{op}$ .

### Κοχλιωτές Συνδέσεις

Στις κοχλιωτές συνδέσεις, όπως υποδεικνύεται από το όνομα τους, βασικό μέσο σύνδεσης αποτελούν οι κοχλίες και τα περικόχλια. Εξίσου σημαντικό στοιχείο των συνδέσεων αυτών είναι και τα ελάσματα (επίπεδα ή γωνιακά), όπου αυτά χρησιμοποιούνται. Οι κοχλίες ανάλογα με το ονομαστικό όριο αντοχή τους σε διαρροή και σε εφελκυσμό διακρίνονται στις ποιότητες του παρακάτω πίνακα:

| Κατηγορία κοχλία              | 4.6 | 5.6 | 6.8 | 8.8 | 10.9 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|
| $f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 240 | 300 | 480 | 640 | 900  |
| $f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> ) | 400 | 500 | 600 | 800 | 1000 |

Πίνακας 4.14 Ποιότητες κοχλιών

Όταν οι κοχλιωτές συνδέσεις υπόκεινται σε διατμητικά εντατικά μεγέθη διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

**a. Κατηγορία A: Συνδέσεις άντυγας**

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοχλίες κατηγορίας 4.6 έως και 10.9. Δεν απαιτείται προένταση ούτε ειδική επεξεργασία των επιφανειών επαφής. Η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας.

**b. Κατηγορία B: Συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**

Σε αυτήν την κατηγορία πρέπει να χρησιμοποιούνται προεντεταμένοι κοχλίες που είναι τουλάχιστον κατηγορίας 8.8. Εμφάνιση ολίσθησης στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δεν είναι επιτρεπτή. Η διατμητική δύναμη σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σε ολίσθηση, η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας.

**c. Κατηγορία C: Συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας**

Σε αυτήν την κατηγορία πρέπει να χρησιμοποιούνται προεντεταμένοι κοχλίες που είναι κατηγορίας 8.8 ή 10.9. Δεν επιτρέπεται η εμφάνιση ολίσθησης στην οριακή κατάσταση αστοχίας. Η μέγιστη διατμητική δύναμη σχεδιασμού δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σε ολίσθηση, ούτε την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας. Επιπλέον, για συνδέσεις καταπονούμενες σε εφελκυσμό πρέπει να ελέγχεται η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής στην περιοχή των οπών κοχλιών  $N_{net,Rd}$  στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Ενώ όταν οι κοχλιωτές συνδέσεις υπόκεινται σε εφελκυσμό πρέπει να σχεδιάζονται σύμφωνα με μία από τις ακόλουθες κατηγορίες:

**d. Κατηγορία D: χωρίς προένταση**

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοχλίες κατηγορίας 4.6 μέχρι και 10.9. Αυτή η κατηγορία δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνδέσεις που υπόκεινται σε συχνές μεταβολές του εφελκυστικού φορτίου. Εξαιρέση όμως αποτελεί η σχεδίαση τους, για συνήθη φορτία ανέμου.

**e. Κατηγορία E: με προένταση**

Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να χρησιμοποιηθούν προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 και 10.9 με ελεγχόμενη σύσφιξη.

Οι απαιτούμενοι έλεγχοι των παραπάνω κατηγοριών για μεμονωμένους κοχλίες, συνοψίζονται και παρουσιάζονται αναλυτικά στους παρακάτω πίνακες:

| Κατηγορία  | Κριτήρια   | Παρατηρήσεις  |
|--|--|---|
| <b>Συνδέσεις διάτμησης</b>   |  |   |
| A<br>άντυγας   | $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$                                     | Δεν απαιτείται προένταση.<br>Κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9.   |
| B<br>ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας   | $F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ | Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9.<br>Για την αντοχή σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας βλέπε 3.9.                           |
| C<br>ανθεκτικές σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας   | $F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$<br>$F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$       | Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9.<br>Για την αντοχή σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας βλέπε 3.9.<br>$N_{net,Rd}$ βλέπε EN 1993-1-1 |
| <b>Συνδέσεις εφελκυσμού</b>  |  |   |
| D<br>χωρίς προένταση   | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$<br>$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$                                     | Δεν απαιτείται προένταση.<br>Κατηγορίες κοχλιών από 4.6 μέχρι και 10.9.<br>$B_{p,Rd}$ , βλέπε Πίνακα 3.4.   |
| E<br>με προένταση  | $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$<br>$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$                                     | Προεντεταμένοι κοχλίες κατηγορίας 8.8 ή 10.9.<br>$B_{p,Rd}$ , βλέπε Πίνακα 3.4.   |
| <p>Η εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού <math>F_{t,Ed}</math> πρέπει να περιλαμβάνει κάθε δύναμη οφειλόμενη σε δράσεις επαφής</p> |  |   |

Πίνακας 4.15 Έλεγχοι για μεμονωμένους κοχλίες

| Μηχανισμός αστοχίας   | Κοχλίες  | Ήλοι   |
|---|--|--|
| Αντοχή σε διάτμηση ανά επίπεδο διάτμησης  | $F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από το σπείρωμα του κοχλία (<math>A</math> είναι η επιφάνεια ενεργού διατομής του κοχλία, <math>A_s</math>):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- για κατηγορίες 4.6, 5.6 και 8.8:<br/><math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- για κατηγορίες 4.8, 5.8, 6.8 και 10.9:<br/><math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> <p>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από την πλήρη διατομή του κοχλία (<math>A</math> είναι η καθαρή επιφάνεια κοχλία): <math>\alpha_v = 0,6</math></p>  | $F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_w A_0}{\gamma_{M2}}$ |
| Αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας <sup>1), 2), 3)</sup>  | $F_{b,Rd} = \frac{k_1 a_b f_u d t}{\gamma_{M2}}, \quad \text{όπου } a_b \text{ το μικρότερο από } a_d \text{ ή } \frac{f_{ub}}{f_u} \text{ ή } 1,0$ <p>Κατά τη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- για τελευταία σειρά κοχλιών: <math>a_d = \frac{e_1}{3d_0}</math>, για εσωτερικούς κοχλίες: <math>a_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math></li> <li>- για πλευρικά ακραίους κοχλίες: <math>k_1</math> το μικρότερο από <math>2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math> ή <math>2,5</math></li> <li>- για εσωτερικούς κοχλίες: <math>k_1</math> το μικρότερο από <math>1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> ή <math>2,5</math></li> </ul> |  |
| Αντοχή σε εφελκυσμό <sup>2)</sup>   | $F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>όπου <math>k_2 = 0,63</math> για κοχλία βυθισμένης κεφαλής,<br/>αλλιώς <math>k_2 = 0,9</math>.</p>  | $F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_w A_0}{\gamma_{M2}}$ |
| Αντοχή σε διάτρηση  | $B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$   | Δεν απαιτείται έλεγχος                       |
| Ταυτόχρονη διάτμηση και εφελκυσμός  | $\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$   |  |
| <sup>1)</sup> Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας $F_{b,Rd}$ κοχλιών <ul style="list-style-type: none"> <li>- σε υπερμεγέθεις οπές είναι το 80% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυνας κοχλιών σε κανονικές οπές.</li> <li>- σε επιμήκειες οπές, όπου ο διαμήκης άξονας της οπής είναι κάθετος στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου, είναι το 60% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυνας κοχλιών σε κανονικές οπές.</li> </ul> <sup>2)</sup> Για κοχλίες βυθισμένης κεφαλής: <ul style="list-style-type: none"> <li>- η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας <math>F_{b,Rd}</math> πρέπει να υπολογίζεται με βάση πάχος ελάσματος <math>t</math> ίσο με το πλάτος του συνδεόμενου ελάσματος μείον το μισό της βύθισης.</li> <li>- για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό <math>F_{t,Rd}</math> η γωνία και το ύψος της βύθισης πρέπει να συμφωνούν με τα Πρότυπα Αναφοράς, διαφορετικά η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα.</li> </ul> <sup>3)</sup> Όταν το φορτίο σε έναν κοχλία δεν είναι παράλληλο προς την ακμή του μέλους, η αντοχή σε σύνθλιψη άντυνας μπορεί να ελέγχεται χωριστά για τις συνιστώσες του φορτίου που είναι παράλληλες και κάθετες προς την ακμή. |  |  |

Πίνακας 4.16 Έλεγχοι αναλυτικά για μεμονωμένους κοχλίες

#### Αντοχή σε ολίσθηση:

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση ενός προεντεταμένου κοχλία κατηγορίας 8.8 ή



10.9 πρέπει να λαμβάνεται ίση με:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

όπου:

$k_s$ : δίνεται στον Πίνακα Πιν.

$n$ : είναι ο αριθμός των επιφανειών τριβής

$\mu$ : είναι ο συντελεστής ολίσθησης, ο οποίος μπορεί να προσδιοριστεί είτε μέσω δοκιμών της επιφάνειας τριβής ή από τις τιμές του Πίνακα .

| Περιγραφή  | $k_s$ |
|--|-------|
| Κοχλίες σε κανονικές οπές  | 1,0   |
| Κοχλίες σε υπερμεγέθεις οπές ή σε βραχείες επιμήκεις οπές με το διαμήκη άξονα κάθετο στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου | 0,85  |
| Κοχλίες σε μακρές επιμήκεις οπές με το διαμήκη άξονα κάθετο στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου                          | 0,7   |
| Κοχλίες σε βραχείες επιμήκεις οπές με το διαμήκη άξονα παράλληλο στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου                     | 0,76  |
| Κοχλίες σε μακρές επιμήκεις οπές με το διαμήκη άξονα παράλληλο στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου                       | 0,63  |

Πίνακας 4.17 Τιμές συντελεστή  $k_s$

| Κατηγορία επιφανειών τριβής | Συντελεστής ολίσθησης $\mu$ |
|-----------------------------|-----------------------------|
| A                           | 0,5                         |
| B                           | 0,4                         |
| C                           | 0,3                         |
| D                           | 0,2                         |

Πίνακας 4.18 Τιμές συντελεστή ολίσθησης

#### Ομάδες Κοχλιών

Για ομάδες κοχλιών, η αντοχή σχεδιασμού μπορεί να ληφθεί ως το άθροισμα των αντοχών σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας  $F_{b,Rd}$  των μεμονωμένων μέσων σύνδεσης, με την προϋπόθεση ότι η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση  $F_{v,Rd}$  κάθε μεμονωμένου μέσου σύνδεσης είναι μεγαλύτερη ή ίση με την αντοχή σχεδιασμού σε σύνθλιψη άντυγας  $F_{b,Rd}$ . Διαφορετικά, η αντοχή σχεδιασμού της ομάδας πρέπει να λαμβάνεται ίση με το πλήθος των μέσων σύνδεσης πολλαπλασιαζόμενο με τη μικρότερη αντοχή σχεδιασμού οποιουδήποτε μέσου σύνδεσης.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται επίσης στις αποστάσεις μεταξύ των κοχλιών μεταξύ τους αλλά και στις αποστάσεις τους από τα άκρα τυχόν των ελασμάτων και διατομών που συνδέουν. Οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές αυτών των αποστάσεων δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

| Αποστάσεις                       | Ελάχιστη               | Μέγιστη <sup>1) 2) 3)</sup>  |  |   |
|----------------------------------|------------------------|--|--|---|
|                                  |                        | Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025 εκτός εκείνων που συμφωνούν με το EN 10025-5 |  | Κατασκευές από χάλυβες που συμφωνούν με το EN 10025-5 |
|                                  |                        | Χάλυβας εκτεθειμένος σε καιρικές συνθήκες ή άλλα διαβρωτικά περιβάλλοντα                         | Χάλυβας μη εκτεθειμένος                  | Χάλυβας χωρίς προστασία                               |
| Απόσταση από άκρο $e_1$          | $1,2d_0$               | $4t + 40 \text{ mm}$   |  | Η μεγαλύτερη από $8t$ ή $125 \text{ mm}$              |
| Απόσταση από άκρο $e_2$          | $1,2d_0$               | $4t + 40 \text{ mm}$   |  | Η μεγαλύτερη από $8t$ ή $125 \text{ mm}$              |
| Απόσταση $e_3$ σε επιμήκεις οπές | $1,5d_0$ <sup>4)</sup> |  |  |   |
| Απόσταση $e_4$ σε επιμήκεις οπές | $1,5d_0$ <sup>4)</sup> |  |  |   |
| Βήμα $p_1$                       | $2,2d_0$               | Η μικρότερη από $14t$ ή $200 \text{ mm}$   | Η μικρότερη από $14t$ ή $200 \text{ mm}$ | Η μικρότερη από $14t_{\min}$ ή $175 \text{ mm}$       |
| Βήμα $p_{1,0}$                   |                        | Η μικρότερη από $14t$ ή $200 \text{ mm}$   |  |   |
| Βήμα $p_{1,i}$                   |                        | Η μικρότερη από $28t$ ή $400 \text{ mm}$   |  |   |
| Βήμα $p_2$ <sup>5)</sup>         | $2,4d_0$               | Η μικρότερη από $14t$ ή $200 \text{ mm}$   | Η μικρότερη από $14t$ ή $200 \text{ mm}$ | Η μικρότερη από $14t_{\min}$ ή $175 \text{ mm}$       |

1) Η μέγιστη τιμή για τις αποστάσεις μεταξύ κοχλιών και ήλων και τις αποστάσεις από τα άκρα δεν έχει περιορισμό, εκτός από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- σε θλιβόμενα μέλη προκειμένου να αποφευχθεί ο τοπικός λυγισμός και η διάβρωση των εκτεθειμένων μελών και
- σε εφελκόμενα εκτεθειμένα μέλη προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση.

2) Η αντοχή σε τοπικό λυγισμό του θλιβόμενου ελάσματος μεταξύ των μέσων σύνδεσης πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 1993-1-1 χρησιμοποιώντας  $0,6 p_i$  ως μήκος λυγισμού. Ο τοπικός λυγισμός μεταξύ των μέσων σύνδεσης δεν χρειάζεται να ελεγχθεί αν ο λόγος  $p_i/t$  είναι μικρότερος από  $9 \epsilon$ . Η απόσταση από τα πλευρικά άκρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια που τίθενται από τις απαιτήσεις τοπικού λυγισμού σε ένα προεξέχον στοιχείο των θλιβόμενων μελών, βλέπε EN 1993-1-1. Η απόσταση από τα άλλα άκρα δεν περιορίζεται από την τελευταία απαίτηση.

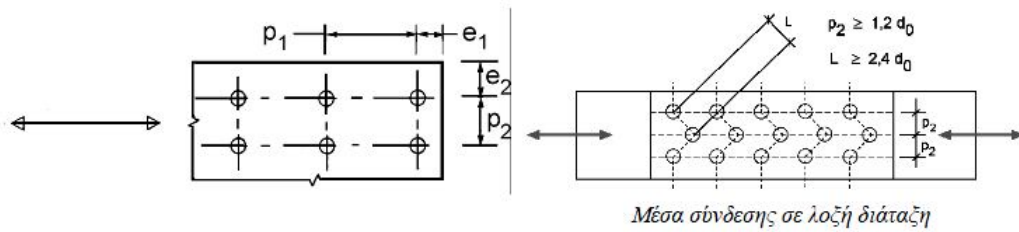
3)  $t$  είναι το πάχος του λεπτότερου εξωτερικά συνδεόμενου μέρους.

4) Περιορισμοί στις διαστάσεις των επιμήκων οπών δίνονται στον EN 1993-1-1

5) Σε μέσα σύνδεσης τοποθετημένα σε λοξή διάταξη η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γραμμών κοχλίωσης που πρέπει να χρησιμοποιείται είναι  $p_2 = 1,2d_0$  με την προϋπόθεση ότι η απόσταση  $L$  μεταξύ δύο οποιωνδήποτε μέσων σύνδεσης είναι μεγαλύτερη από  $2,4d_0$

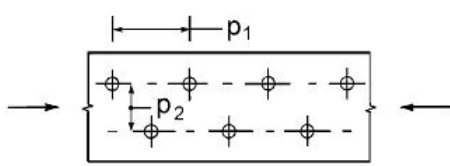
Πίνακας 4.19 Ελάχιστες αποστάσεις κοχλιών

## Αποστάσεις κοχλιών



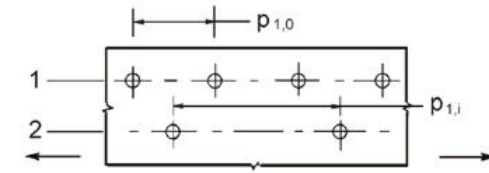
α) Σύμβολα για τις αποστάσεις των μέσων σύνδεσης

β) Σύμβολα για τις αποστάσεις σε λοξή διάταξη



$p_1 \leq 14t$  και  $\leq 200 \text{ mm}$      $p_2 \leq 14t$  και  $\leq 200 \text{ mm}$

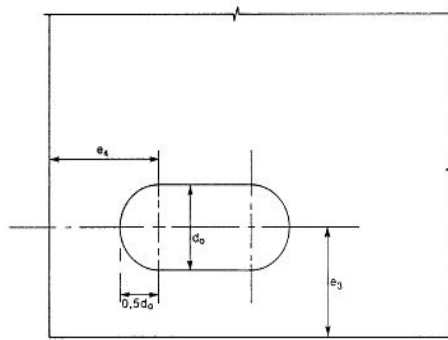
γ) Αποστάσεις σε λοξή διάταξη – θλίψη



$p_{1,0} \leq 14t$  και  $\leq 200 \text{ mm}$      $p_{1,i} \leq 28t$  και  $\leq 400 \text{ mm}$

1 εξωτερική γραμμή    2 εσωτερική γραμμή

δ) Αποστάσεις σε εφελκόμενα στοιχεία



ε) Αποστάσεις από τα άκρα για επιμήκεις οπές

Σχήμα 4.4 Αποστάσεις κοχλιών

### Ικανοτικός έλεγχος κατακόρυφου συνδέσμου δυσκαμψίας

Το κτίριο αποτελείται από πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας. Τα πλαίσια με έκκεντρους συνδέσμους σχεδιάζονται έτσι ώστε συγκεκριμένα στοιχεία ή μέρη στοιχείων, τα οποία ονομάζονται δοκοί σύζευξης, να είναι σε θέση να αποσβένουν ενέργεια μέσω του σχηματισμού πλαστικών μηχανισμών κάμψης ή τέμνουσας. Το δομικό σύστημα πρέπει να σχεδιάζεται έτσι ώστε να πραγματοποιείται μια ομοιογενής πλάστιμη συμπεριφορά του συνόλου των σεισμικών συνδεσμών. Οι κανόνες οι οποίοι δίδονται παρακάτω έχουν στόχο να εξασφαλίσουν ότι διαρροή, συμπεριλαμβανομένων των φαινομένων κράτνυσης στις πλαστικές αρθρώσεις ή τα ελάσματα, θα λαμβάνει χώρα στους σεισμικούς συνδέσμους πριν από οποιαδήποτε διαρροή ή αστοχία οπουδήποτε αλλού.

### Δοκοί σύζευξης

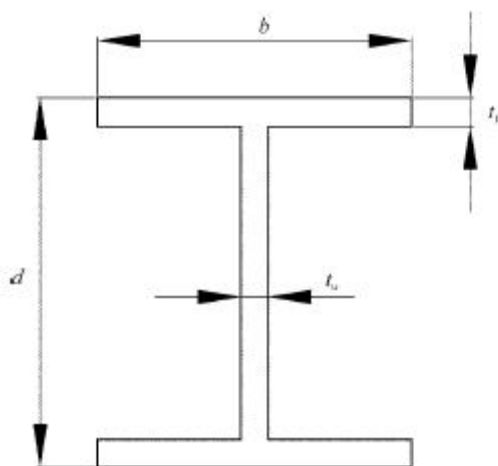
Οι δοκοί σύζευξης ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες σύμφωνα με τον τύπο του πλαστικού μηχανισμού που αναπτύσσεται:

- Σύνδεσμοι μικρού μήκους, οι οποίοι αποσβένουν ενέργεια κυρίως μέσω διατμητικής διαρροής,
- Σύνδεσμοι μεγάλου μήκους, οι οποίοι αποσβένουν ενέργεια κυρίως μέσω καμπτικής διαρροής,
- Ενδιάμεσοι σύνδεσμοι, στους οποίους ο πλαστικός μηχανισμός σχετίζεται τόσο με την κάμψη όσο και με την τέμνουσα.

Για διατομές μορφής I, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες παράμετροι για να ορίζουν τις αντοχές σχεδιασμού και τα όρια των κατηγοριών:

$$M_{p,link} = f_y b t_f (d - t_f)$$

$$V_{p,link} = (f_y / \sqrt{3}) t_w (d - t_f)$$



Σχήμα 4.5 Προσδιορισμός των συμβόλων για συνδέσμους με μορφή διατομής I

Αν  $N_{Ed} / N_{pl,Rd} \leq 0,15$ , η αντοχή σχεδιασμού του σεισμικού συνδέσμου θα πρέπει να ικανοποιεί και τις δύο σχέσεις που ακολουθούν, στα δύο άκρα του συνδέσμου:

$$V_{Ed} \leq V_{p,link}$$

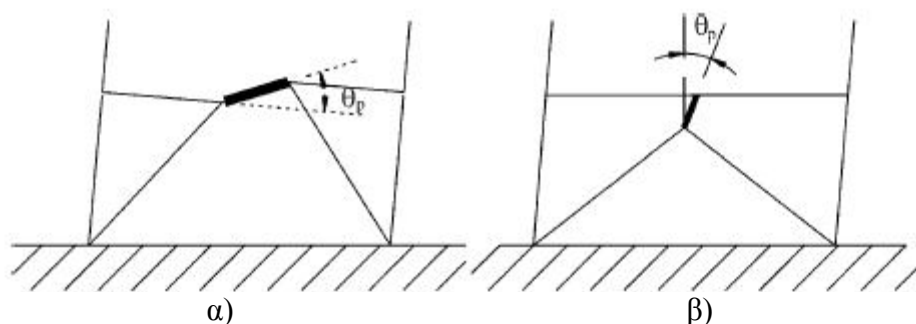
$$M_{Ed} \leq M_{p,link}$$

όπου

$N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $V_{Ed}$  είναι τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, δηλαδή η αξονική δύναμη σχεδιασμού, η ροπή κάμψης σχεδιασμού και η τέμνουσα σχεδιασμού, στα δύο άκρα του συνδέσμου.

Στις περιπτώσεις στις οποίες αναπτύσσονται ίσες ροπές ταυτόχρονα και στα δύο άκρα του σεισμικού συνδέσμου (βλ. Σχήμα), οι σύνδεσμοι μπορούν να κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το μήκος  $e$ . Για διατομές μορφής I, οι κατηγορίες είναι:

- Σύνδεσμοι μικρού μήκους  $e < e_s = 1,6 M_{p,link} / V_{p,link}$
- Σύνδεσμοι μεγάλου μήκους  $e > e_L = 3,0 M_{p,link} / V_{p,link}$
- Ενδιάμεσοι σύνδεσμοι  $e_s < e < e_L$



Σχήμα 4.6 α) ίσες ροπές στα άκρα των συνδέσμων δυσκαμψίας β) άνισες ροπές στα άκρα των συνδέσμων δυσκαμψίας

#### Έλεγχος γωνίας στροφής συνδέσμου

Η γωνία στροφής του σεισμικού συνδέσμου  $\theta_p$  ανάμεσα στο σύνδεσμο και στο στοιχείο έξω από το σύνδεσμο, όπως ορίζεται παρακάτω, θα πρέπει να είναι συμβατή με τις συνολικές παραμορφώσεις. Δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τις ακόλουθες τιμές:

- Σύνδεσμοι μικρού μήκους  $\theta_p < \theta_{pR} = 0,08$  ακτίνια
- Σύνδεσμοι μεγάλου μήκους  $\theta_p < \theta_{pR} = 0,02$  ακτίνια
- Ενδιάμεσοι σύνδεσμοι  $\theta_p < \theta_{pR} = \eta$  τιμή η οποία προσδιορίζεται από γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις παραπάνω τιμές.

#### Νευρώσεις

Πρέπει να υπάρχουν ενισχύσεις κορμού σε όλο το ύψος της δοκού σύζευξης και στις δύο πλευρές του κορμού της στα άκρα των διαγωνίων. Οι ενισχύσεις αυτές θα πρέπει να διαθέτουν συνολικό πλάτος όχι μικρότερο από  $(b_f - 2t_w)$  και πάχος όχι μικρότερο από  $0,75t_w$  ούτε 10 mm, οποιοδήποτε είναι μεγαλύτερο.

Οι σεισμικοί σύνδεσμοι θα πρέπει να διαθέτουν ενδιάμεσες ενισχύσεις κορμού, ως εξής:

- οι σύνδεσμοι μικρού μήκους θα πρέπει να διαθέτουν ενδιάμεσες ενισχύσεις κορμού τοποθετημένες σε απόσταση μεταξύ τους που να μην υπερβαίνει τα  $(30t_w - d/5)$  για γωνία στροφής συνδέσμου  $\theta_p$  της τάξεως των 0,08 ακτινίων ή  $(52t_w - d/5)$  για γωνίες στροφής συνδέσμου  $\theta_p$  της τάξεως των 0,02 ακτινίων ή λιγότερο. Γραμμική παρεμβολή θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τιμές του  $\theta_p$  μεταξύ 0,08 και 0,02 ακτινίων
- οι σύνδεσμοι μεγάλου μήκους θα πρέπει να διαθέτουν μια ενδιάμεση ενίσχυση κορμού τοποθετημένη σε απόσταση 1,5 φορά το  $b$  από κάθε άκρο σεισμικού συνδέσμου όπου θα προβλέπεται να αναπτυχθεί πλαστική άρθρωση
- οι ενδιάμεσοι σύνδεσμοί θα πρέπει να διαθέτουν ενδιάμεσες ενισχύσεις κορμού οι οποίες να πληρούν τις απαιτήσεις των δύο προαναφερθέντων σημείων
- οι ενδιάμεσες ενισχύσεις κορμού δεν απαιτούνται σε σεισμικούς συνδέσμους μήκους  $e$  μεγαλύτερου από  $5 M_p / V_p$
- οι ενδιάμεσες ενισχύσεις κορμού θα πρέπει να καλύπτουν όλο το ύψος της διατομής. Για συνδέσμους οι οποίοι έχουν ύψος  $d$  μικρότερο από 600 mm, απαιτούνται ενισχύσεις μόνο σε μία πλευρά του κορμού του συνδέσμου. Το πάχος των μονόπλευρων ενισχύσεων θα πρέπει να μην είναι μικρότερο από  $t_w$  ή 10 mm, οποιοδήποτε είναι μεγαλύτερο, και το πλάτος δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από  $(b/2) - t_w$ . Για συνδέσμους οι οποίοι έχουν ύψος 600 mm ή μεγαλύτερο, θα πρέπει να διατίθενται παρεμφερείς ενδιάμεσες ενισχύσεις και στις δύο πλευρές του κορμού.

#### Διαγώνιοι, υποστυλώματα και δοκοί εκτός συνδέσμων

Τα μέλη τα οποία δεν περιλαμβάνουν σεισμικούς συνδέσμους, όπως για παράδειγμα τα υποστυλώματα και τα διαγώνια μέλη, θα πρέπει να ελέγχονται όσον αφορά στην θλίψη, θεωρώντας τον πιο δυσμενή συνδυασμό της αξονικής δύναμης και των ροπών κάμψης:

$$N_{Rd}(M_{Ed}, V_{Ed}) \geq N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov}\Omega N_{Ed,E}$$

όπου:

- $N_{Rd}(M_{Ed}, V_{Ed})$  είναι η αξονική αντοχή σχεδιασμού του υποστυλώματος ή του διαγωνίου μέλους σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση με την ροπή κάμψης  $M_{Ed}$  και την διάτμηση  $V_{Ed}$  που λαμβάνονται με την τιμή σχεδιασμού τους στη σεισμική κατάσταση.
- $N_{Ed,G}$  είναι η θλιπτική δύναμη στο υποστυλώμα ή το διαγώνιο μέλος η οποία οφείλεται σε μη-σεισμικές δράσεις οι οποίες συμπεριλαμβάνονται στον συνδυασμό των δράσεων της σεισμικής κατάστασης σχεδιασμού.
- $N_{Ed,E}$  είναι η θλιπτική δύναμη στο υποστυλώμα ή το διαγώνιο μέλος που οφείλεται στην σεισμική δράση σχεδιασμού.
- $\gamma_{ov}$  είναι ο συντελεστής υπεραντοχής.
- $\Omega$  είναι ο πολλαπλασιαστικός (ικανοτικός) συντελεστής, ο οποίος είναι ο ελάχιστος ανάμεσα στις ακόλουθες τιμές:
  - την ελάχιστη τιμή του  $\Omega_i = 1,5 V_{p,link,i} / V_{Ed,i}$  για όλους τους συνδέσμους μικρού μήκους

- την ελάχιστη τιμή του  $\Omega_i = 1,5 M_{p,link,i} / M_{Ed,i}$  για όλους τους ενδιάμεσους συνδέσμους και τους συνδέσμους μεγάλου μήκους

όπου

$V_{Ed,i}, M_{Ed,i}$  είναι οι τιμές σχεδιασμού της τέμνουσας και της ροπής κάμψης στο σύνδεσμο  $i$  στη σεισμική κατάσταση σχεδιασμού.

$V_{p,link,i}, M_{p,link,i}$  είναι οι πλαστικές διατμητικές και καμπτικές αντοχές σχεδιασμού του συνδέσμου  $i$ .

Προκειμένου να επιτευχθεί συνολική πλαστική συμπεριφορά του φορέα, θα πρέπει να ελέγχεται ότι οι μεμονωμένες τιμές των λόγων  $\Omega_i$  δεν υπερβαίνουν την ελάχιστη τιμή  $\Omega$  περισσότερο από 25% της ελάχιστης αυτής τιμής.

## Κεφάλαιο 5

### Σεισμική ανάλυση της κατασκευής

#### 5.1 Γενικά

Οι σεισμοί αποτελούν μια σημαντική παράμετρο που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό μιας κατασκευής, αφού ένας σεισμός μπορεί να αποτελέσει τη δυσμενέστερη φόρτιση στην οποία είναι πιθανό να υποβληθεί αυτή η κατασκευή. Έτσι ο σχεδιασμός γίνεται με σκοπό να αποφευχθεί η κατάρρευση στην περίπτωση του πιο ισχυρού πιθανού σεισμού. Ως «σεισμική απόκριση» νοείται, γενικά, η ένταση και η μετακίνηση που προκύπτει σε τυχόν σημείο του συστήματος λόγω της σεισμικής δόνησης του εδάφους. Ο γραμμικός υπολογισμός της σεισμικής απόκρισης στην παρούσα εργασία γίνεται με δύο τρόπους: α) δυναμική φασματική ανάλυση και β) απλοποιημένη φασματική μέθοδος.

#### 5.2 Δυναμική φασματική μέθοδος

Η δυναμική φασματική μέθοδος εφαρμόζεται χωρίς περιορισμούς σε όλες τις περιπτώσεις κατασκευών. Πρόκειται για μια στατιστική μέθοδο γραμμικού υπολογισμού της δυναμικής απόκρισης της κατασκευής, της οποίας όμως η αξιοπιστία μειώνεται στις περιπτώσεις απότομων καθ ύψος μεταβολών της αντοχής των κτηρίων. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζονται οι πιθανές ακραίες τιμές του τυχαίου μεγέθους απόκρισης με τετραγωνική επαλληλία των ιδιομορφικών του τιμών. Πιο συγκεκριμένα η μέθοδος περιλαμβάνει ιδιομορφική ανάλυση της κατασκευής με υπολογισμό των ιδιομορφών και των αντίστοιχων ιδιοπεριόδων και ιδιοσυχνοτήτων. Κατά την εφαρμογή της αρκεί η θεώρηση ενός μόνο προσανατολισμού των δύο οριζόντιων (και κάθετων μεταξύ τους) συνιστωσών του σεισμού. Για  $q=1$  χρησιμοποιείται το ελαστικό φάσμα  $\Phi_e(T)$  (με εισαγωγή της κατάλληλης τιμής του συντελεστή θεμελίωσης  $\theta$ ), ενώ για  $q>1$  χρησιμοποιείται το φάσμα σχεδιασμού  $\Phi_d(T)$ . Για κάθε συνιστώσα του σεισμού υπολογίζεται με ιδιομορφική επαλληλία η πιθανή ακραία τιμή του τυχαίου μεγέθους απόκρισης (με ακαθόριστο πρόσημο). Για την ιδιομορφική επαλληλία συνήθως χρησιμοποιείται η Πλήρης Τετραγωνική Επαλληλία (CQC). Στην συνέχεια γίνεται χωρική επαλληλία, κατά την οποία υπολογίζεται η πιθανή ακραία τιμή τυχόντος μεγέθους απόκρισης για ταυτόχρονη δράση των τριών συνιστωσών του σεισμού, επίσης με ακαθόριστο πρόσημο. Για τη χωρική επαλληλία συνήθως χρησιμοποιείται η Απλή Τετραγωνική Επαλληλία (SRSS). Η δυναμική φασματική μέθοδος λαμβάνει υπόψη όλες τις ιδιομορφές της κίνησης που συνεισφέρουν σημαντικά στη συνολική κίνηση, αν όμως ικανοποιείται μια από τις παρακάτω προϋποθέσεις, για όλες τις διευθύνσεις του χωρικού μοντέλου:



- Το άθροισμα των ενεργών δρῶσών μαζών που αντιστοιχούν στις ιδιομορφές που λαμβάνονται υπόψη θα πρέπει να αντιστοιχούν σε περισσότερο από το 90% της συνολικής μάζας της κατασκευής.
- Όλες οι ιδιομορφές με ενεργές μάζες μεγαλύτερες από το 5% της συνολικής μάζας λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς, δηλαδή όλες οι ιδιομορφές που ενεργοποιούν πάνω από το 5% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας.

Άλλη προϋπόθεση για την εφαρμογή του απλούστερου κανόνα της «τετραγωνικής ρίζας του αθροίσματος των τετραγώνων» είναι να διαφέρουν κατά τουλάχιστον 10% όλες οι διαδοχικές ιδιοπερίοδοι.

### 5.2.1 Υπολογισμός και αποτελέσματα

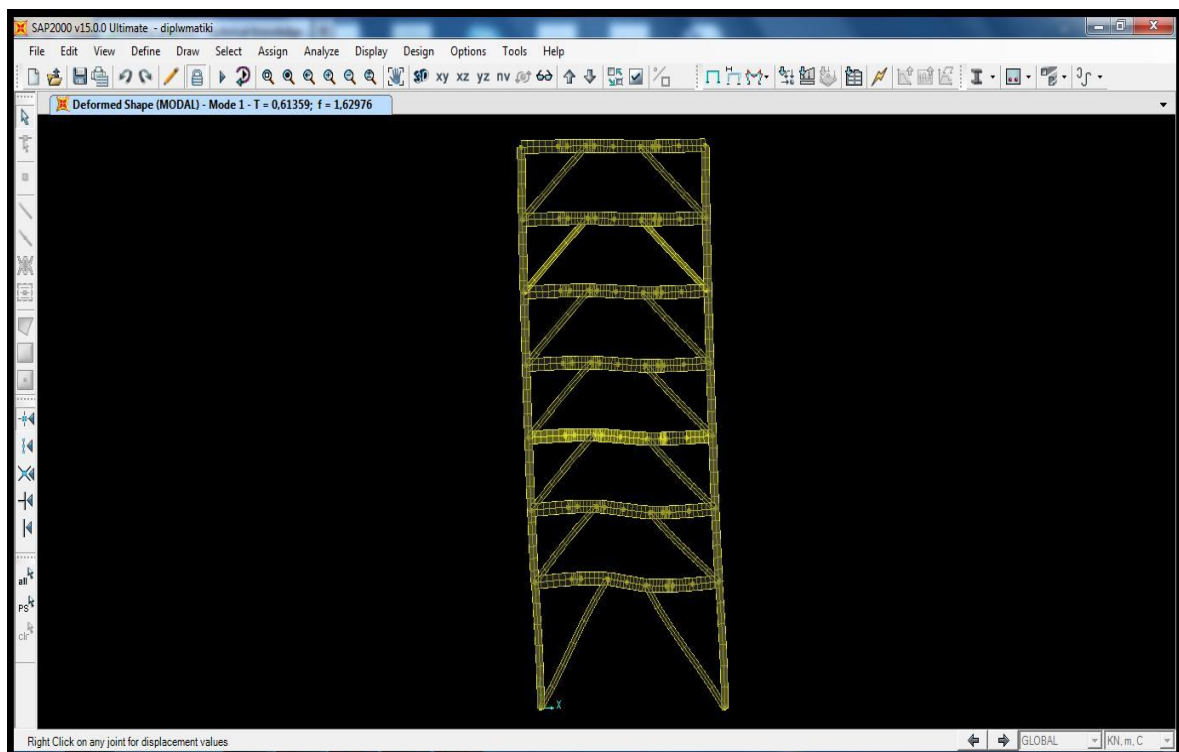
Κατά την εφαρμογή της δυναμικής φασματικής μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν οι δύο οριζόντιες συνιστώσες του σεισμού. Εδώ θεωρήσαμε ότι ταυτίζονται με τους άξονες x και y της κατασκευής. Η δυναμική ανάλυση του κτιρίου γίνεται με μάζες ορόφων αυτές που προκύπτουν από το σεισμικό συνδυασμό δράσεων G+0,3Q, ενώ η διαφραγματική λειτουργία λαμβάνεται υπόψη με κατάλληλη εντολή διαφράγματος που διατίθεται στο πρόγραμμα. Το φάσμα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε από το πρόγραμμα για την ανάλυση είναι αυτό του EC8 όπως αναλύθηκε παραπάνω. Κατά την επίλυση του φορέα ορίστηκαν τόσες ιδιομορφές έτσι ώστε το άθροισμα των δρῶσων ιδιομορφικών μαζών να φτάσει στο 90% της συνολικής ταλαντούμενης μάζας του συστήματος. Ως συνολική ταλαντούμενη μάζα ορίζεται η μάζα από το επίπεδο της διεπιφάνειας κατασκευής- εδάφους και πάνω, η οποία υφίσταται ελεύθερη μετατόπιση κατά την θεωρούμενη διεύθυνση υπολογισμού. Δρῶσα ιδιομορφική μάζα είναι το μέρος της συνολικής ταλαντούμενης μάζας που ενεργοποιείται για κάθε ιδιομορφή ταλάντωσης.

| TABLE: Modal Participating Mass Ratios |          |          |          |             |             |             |          |             |
|--|----------|----------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| OutputCase                             | StepType | StepNum  | Period   | UX          | UY          | UZ          | SumUX    | SumUY       |
| Text                                   | Text     | Unitless | Sec      | Unitless    | Unitless    | Unitless    | Unitless | Unitless    |
| MODAL                                  | Mode     | 1        | 0,613587 | 0,88672     | 0,000002935 | 0,000002332 | 0,88672  | 0,000002935 |
| MODAL                                  | Mode     | 2        | 0,601701 | 0,000004065 | 0,87443     | 0,00002096  | 0,88673  | 0,87444     |
| MODAL                                  | Mode     | 3        | 0,454273 | 0,00042     | 0,00007994  | 2,401E-09   | 0,88715  | 0,87452     |
| MODAL                                  | Mode     | 4        | 0,231392 | 0,000001382 | 0,00348     | 0,06821     | 0,88715  | 0,878       |
| MODAL                                  | Mode     | 5        | 0,224502 | 5,089E-08   | 0,00616     | 0,0313      | 0,88715  | 0,88416     |
| MODAL                                  | Mode     | 6        | 0,221786 | 4,571E-08   | 0,00005238  | 0,00007782  | 0,88715  | 0,88421     |
| MODAL                                  | Mode     | 7        | 0,221377 | 3,066E-09   | 0,00000264  | 0,00077     | 0,88715  | 0,88421     |
| MODAL                                  | Mode     | 8        | 0,219525 | 0,00006265  | 0,05013     | 0,13991     | 0,88721  | 0,93434     |
| MODAL                                  | Mode     | 9        | 0,217328 | 0,000007155 | 2,004E-07   | 0,02299     | 0,88722  | 0,93434     |
| MODAL                                  | Mode     | 10       | 0,216887 | 0,00003019  | 0,00171     | 0,04098     | 0,88725  | 0,93606     |
| MODAL                                  | Mode     | 11       | 0,216691 | 0,000002701 | 0,00011     | 0,00268     | 0,88725  | 0,93616     |
| MODAL                                  | Mode     | 12       | 0,211909 | 0,0009      | 0,0003      | 0,00047     | 0,88816  | 0,93646     |
| MODAL                                  | Mode     | 13       | 0,209404 | 0,0694      | 0,00031     | 0,00028     | 0,95756  | 0,93678     |
| MODAL                                  | Mode     | 14       | 0,20878  | 0,00951     | 0,00013     | 0,00132     | 0,96707  | 0,9369      |
| MODAL                                  | Mode     | 15       | 0,203629 | 0,00068     | 0,00008608  | 0,00312     | 0,96775  | 0,93699     |
| MODAL                                  | Mode     | 16       | 0,200258 | 0,00021     | 0,03082     | 0,0889      | 0,96795  | 0,96781     |

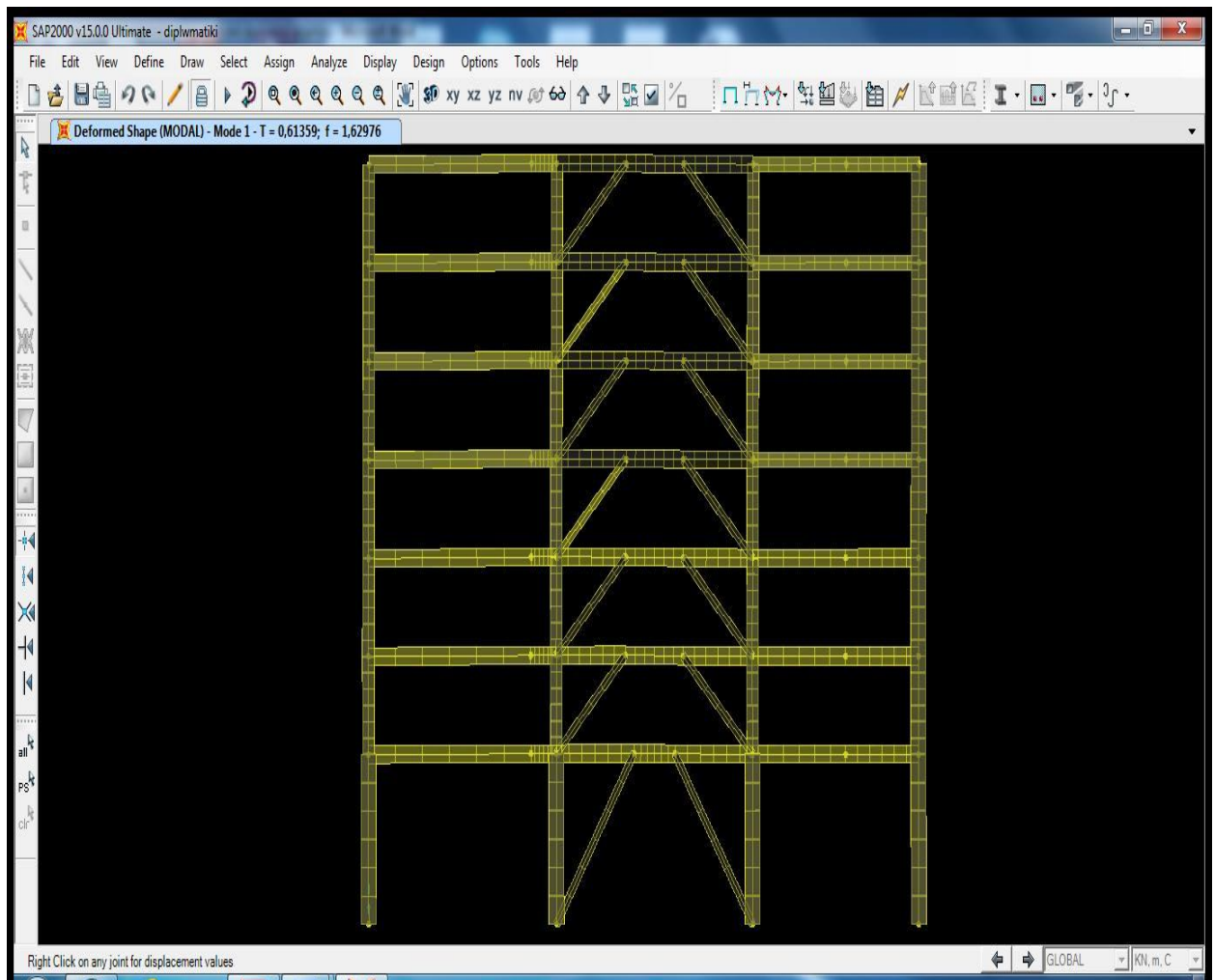
|       |      |    |          |             |             |            |         |         |
|-------|------|----|----------|-------------|-------------|------------|---------|---------|
| MODAL | Mode | 17 | 0,198385 | 0,0003      | 0,00472     | 0,00702    | 0,96825 | 0,97253 |
| MODAL | Mode | 18 | 0,195717 | 0,00085     | 0,00002882  | 0,01463    | 0,9691  | 0,97256 |
| MODAL | Mode | 19 | 0,189848 | 0,00000843  | 0,00061     | 0,00264    | 0,96911 | 0,97317 |
| MODAL | Mode | 20 | 0,154113 | 0,00017     | 0,00003888  | 0,00195    | 0,96928 | 0,97321 |
| MODAL | Mode | 21 | 0,147613 | 0,000003338 | 4,073E-08   | 0,00009887 | 0,96928 | 0,97321 |
| MODAL | Mode | 22 | 0,147117 | 0,000004929 | 0,00005898  | 0,01233    | 0,96929 | 0,97327 |
| MODAL | Mode | 23 | 0,146072 | 1,276E-11   | 0,00005043  | 0,00743    | 0,96929 | 0,97332 |
| MODAL | Mode | 24 | 0,144962 | 0,00001402  | 0,000001793 | 0,00223    | 0,9693  | 0,97332 |
| MODAL | Mode | 25 | 0,143391 | 0,000008108 | 0,000004594 | 0,00038    | 0,96931 | 0,97333 |

Πίνακας 5.1 Ιδιομορφικές μάζες κατασκευής

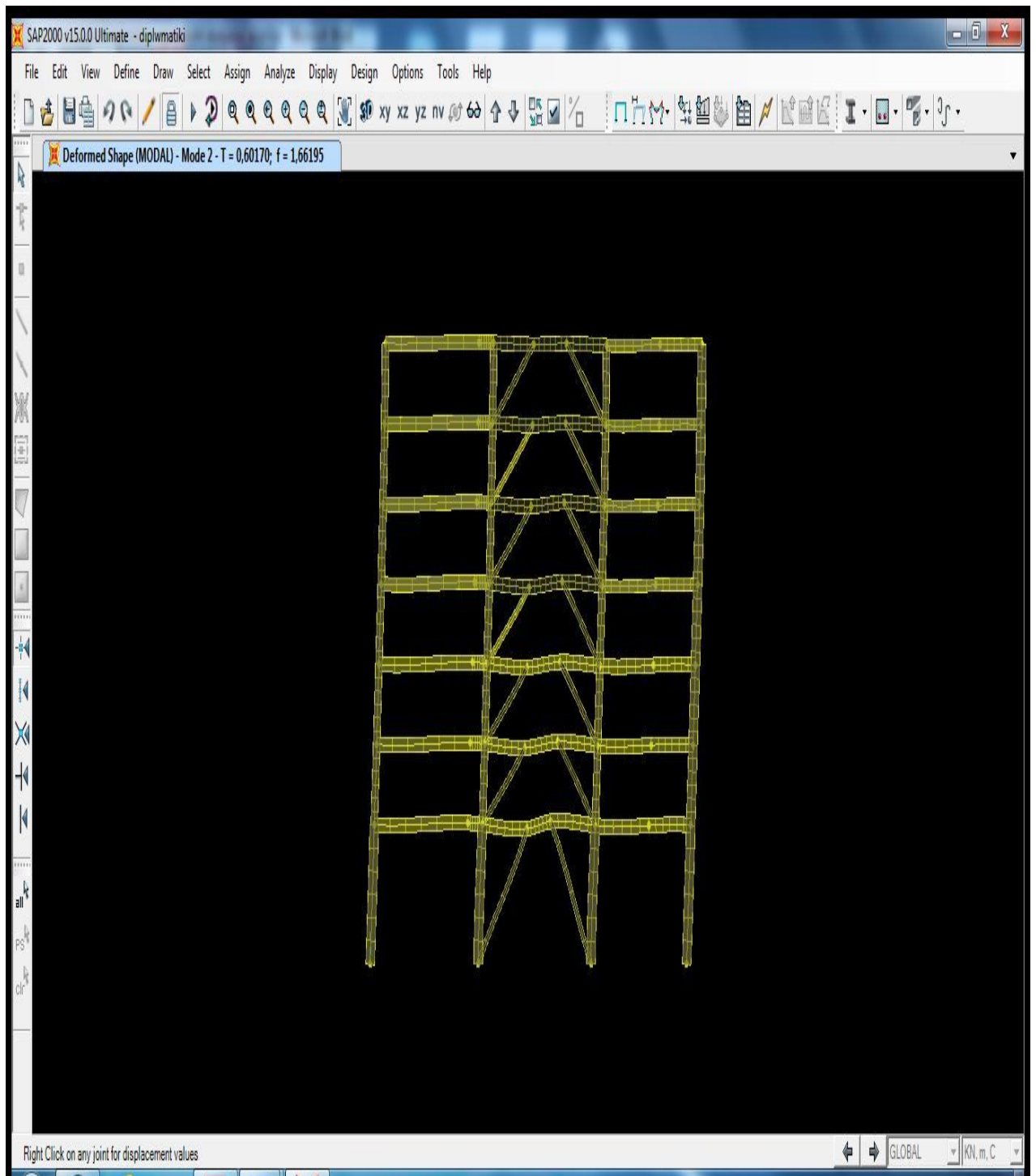
Παρατηρούμε ότι για να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά X χρειάστηκαν 13 ιδιομορφές και κατά Y χρειάστηκαν 8. Οι αριθμοί αυτοί είναι αναμενόμενοι λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας του κτιρίου και στις δύο κατευθύνσεις, όπως φαίνεται από τους συνδέσμους δυσκαμψίας και τα σταυροειδή υποστυλώματα. Η κύρια ιδιοπερίοδος κατά X είναι η  $T=0,614\text{sec}$ , η οποία δίνεται στην πρώτη ιδιομορφή και δίνει δρώσα ιδιομορφική μάζα περίπου  $m_{1,x}=89\%$  της μάζας, και η κύρια περίοδος κατά Y είναι η  $T=0,602\text{sec}$ , η οποία δίνεται στη δεύτερη ιδιομορφή και έχει δρώσα ιδιομορφική μάζα  $m_{2,y}=87\%$ . Οι δύο ιδιοπερίοδοι διαφέρουν πολύ λίγο (0,012 sec), που σημαίνει ότι το κτίριο έχει περίπου ίδια δυσκαμψία σε κάθε κύρια διεύθυνση. Η τρίτη ιδιομορφή έχει στρεπτικό χαρακτήρα με  $T=0,454\text{sec}$ . Παρατηρούμε ότι οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι των δύο κύριων διευθύνσεων είναι μεγαλύτερες από την στροφική ιδιοπερίοδο, άρα το κτίριο δεν είναι στρεπτικά εύκαμπτο.



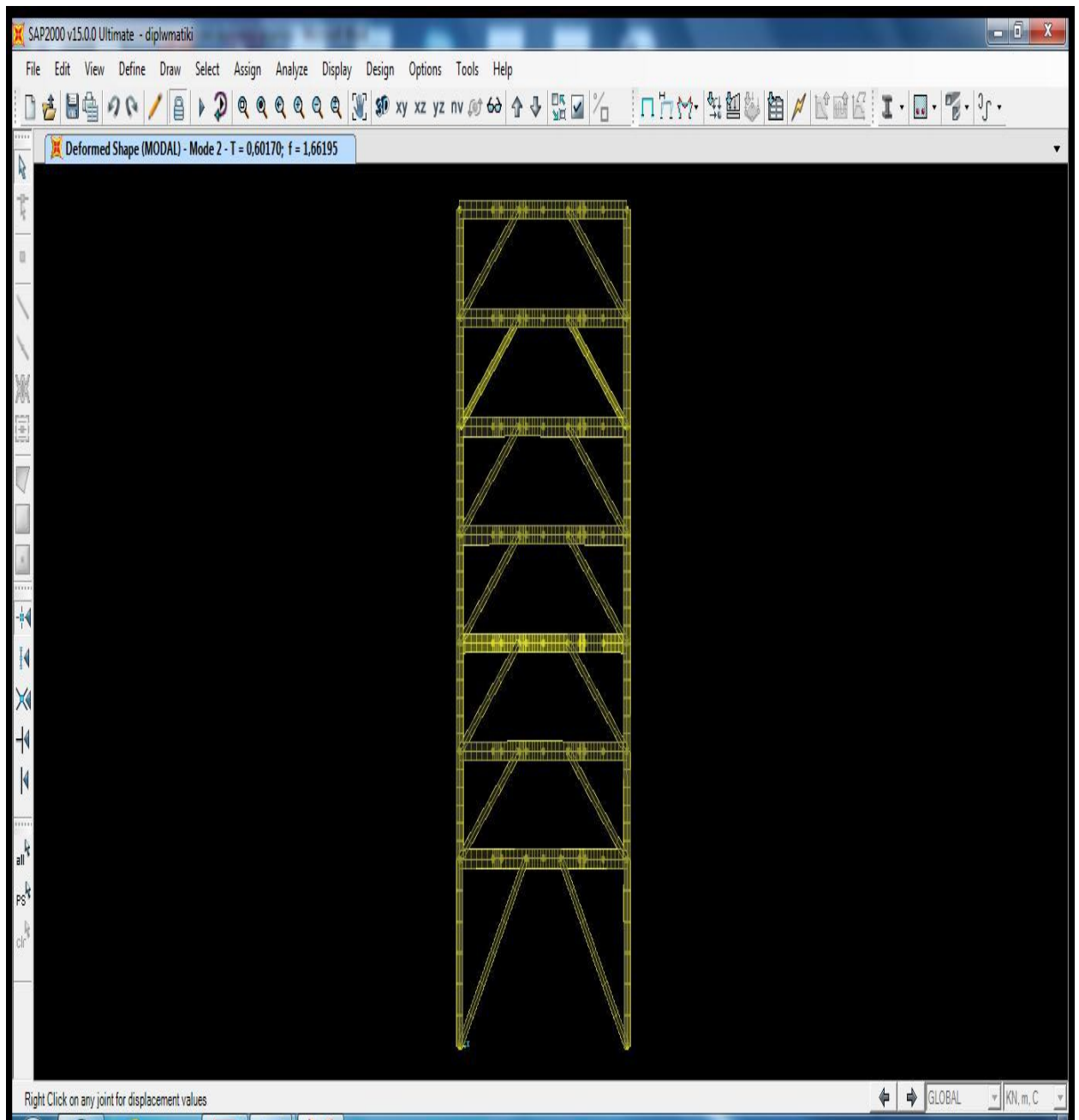
Σχήμα 5.1 Κύρια ιδιομορφή κατά X – όψη x-z



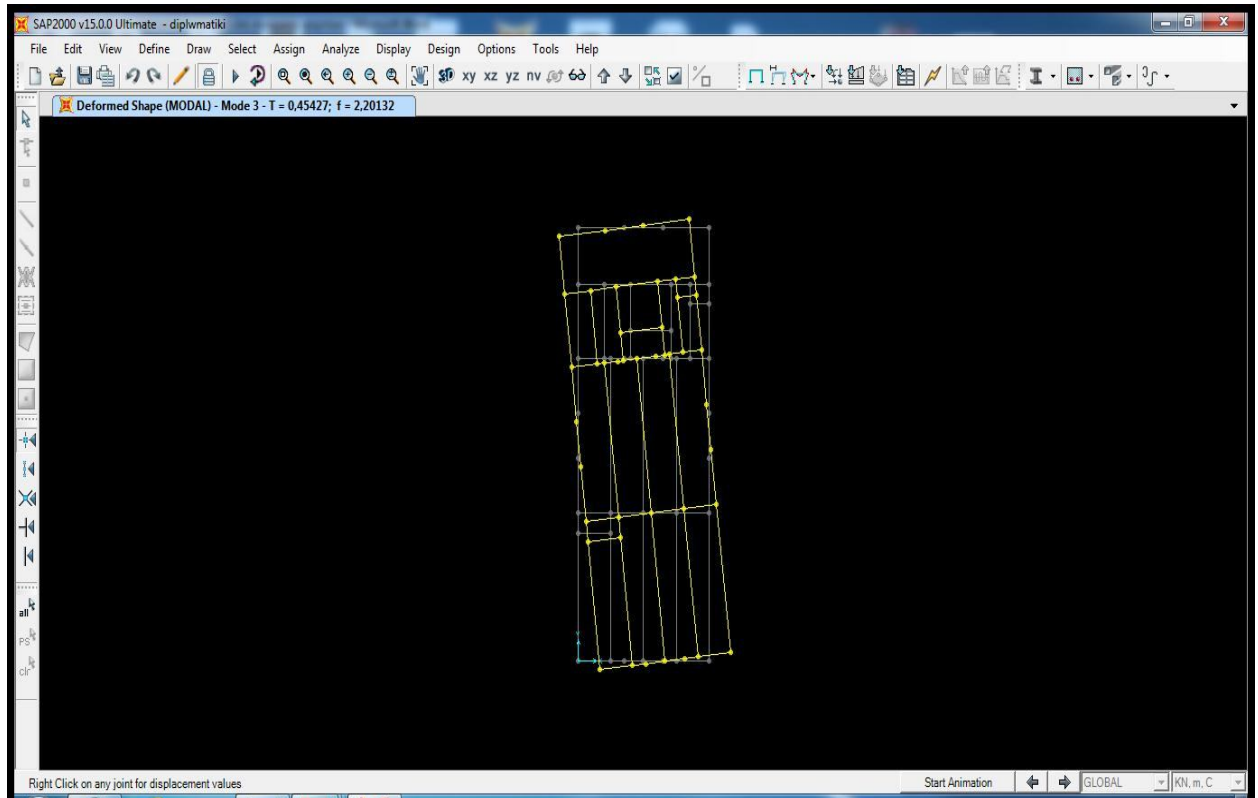
Σχήμα 5.2 Κύρια ιδιομορφή κατά X ( $T=0,614$  sec) – όψη y-z



Σχήμα 5.3 Κύρια ιδιομορφή κατά Y – όψη y-z



Σχήμα 5.4 Κύρια ιδιομορφή κατά Y ( $T=0,602$  sec) – όψη x-z



Σχήμα 5.5 Κύρια στρεπτική ιδιομορφή (T=0,454 sec) – όψη x-y

Αντιδράσεις στην βάση των υποστυλωμάτων

Οι αντιδράσεις σε δύο σημεία της βάσης της κατασκευής είναι οι εξής:

| ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ |            |         |         |          |          |          |        |
|---------------------------------|------------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|
| Joint                           | OutputCase | F1      | F2      | F3       | M1       | M2       | M3     |
| Text                            | Text       | KN      | KN      | KN       | KN-m     | KN-m     | KN-m   |
| 5                               | Δ.Φ.Μ.     | 51,976  | 411,105 | 3770,149 | 381,6042 | 154,4458 | 3,3349 |
| 7                               | Δ.Φ.Μ.     | -16,611 | 423,57  | 3820,691 | 382,5401 | -2,6606  | 3,5498 |

Πίνακας 5.2 Αντιδράσεις στη βάση της κατασκευής

Μέγιστες μετακινήσεις

Οι μετακινήσεις σε δύο σημεία του τελευταίου ορόφου είναι οι εξής:

| ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΟΡΟΦΟΥ |            |          |          |           |          |          |         |
|--------------------------------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|---------|
| Joint                          | OutputCase | U1       | U2       | U3        | R1       | R2       | R3      |
| Text                           | Text       | m        | m        | m         | Radians  | Radians  | Radians |
| 261                            | Δ.Φ.Μ.     | 0,012563 | 0,011478 | -0,009442 | 0,000211 | 0,001707 | 0,00003 |
| 264                            | Δ.Φ.Μ.     | 0,012281 | 0,011478 | -0,003606 | 0,000184 | 0,000128 | 0,00003 |

Πίνακας 5.3 Μετακινήσεις τελευταίου ορόφου

## 5.3 Απλοποιημένη φασματική μέθοδος

Η απλοποιημένη φασματική μέθοδος δεν απαιτεί ιδιομορφική ανάλυση, προκύπτει από τη δυναμική φασματική μέθοδο με προσεγγιστική θεώρηση μόνο της θεμελιώδους ιδιομορφής ταλάντωσης για κάθε διεύθυνση υπολογισμού, η οποία όμως ενισχύεται κατάλληλα ώστε τα προκύπτοντα αποτελέσματα να βρίσκονται προς την πλευρά της ασφαλείας. Η απλοποίηση αυτή επιτρέπει τον άμεσο υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης με τη βοήθεια “ισοδύναμων” σεισμικών δυνάμεων, οι οποίες εφαρμόζονται σαν στατικά φορτία επάνω στην κατασκευή. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου οι δύο οριζόντιες συνιστώσες του σεισμού εκλέγονται παράλληλα προς τις κύριες διευθύνσεις του κτιρίου και χρησιμοποιείται πάντοτε το φάσμα σχεδιασμού  $\Phi_d(T)$ . Η μέθοδος προορίζεται κυρίως για κανονικά κτήρια. Η διαφραγματική λειτουργία των πλακών αποτελεί βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της, διότι στην αντίθετη περίπτωση δεν είναι δυνατή η προσομοίωση της στρεπτικής ταλάντωσης των πατωμάτων. Έτσι η τέμνουσα βάσης ορίζεται ως εξής:

$$V_0 = M \cdot \Phi_d(T)$$

$M$ , η συνολική ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής

$\Phi_d(T)$ , η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού

$T$ , η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος μεταφορικής ταλάντωσης, κατά τη θεωρούμενη κύρια διεύθυνση του κτιρίου

Η κατανομή των οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων είναι η εξής:

$$F_i = (V_0 - V_H) \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j} \quad \text{όπου } i, j = 1, 2, \dots, n \text{ (n όροφοι)}$$

όπου

$m_i$ , η συγκεντρωμένη μάζα στη στάθμη  $i$

$V_H = 0,07 \cdot T \cdot V_0 (\leq 0,25 \cdot V_0)$ , πρόσθετη δύναμη που εφαρμόζεται στην κορυφή του κτιρίου, όταν  $T \geq 1,0$  sec

$z_i, z_j$  η απόσταση της στάθμης  $i$  από τη βάση (τριγωνική κατανομή).

Για ταυτόχρονη στατική δράση των οριζόντιων σεισμικών φορτίων  $F_i$  κατά τις κύριες διευθύνσεις  $x, y$  του κτιρίου οι πιθανές ακραίες τιμές  $e_x A$  τυχόντος μεγέθους

απόκρισης  $A$  υπολογίζονται από την σχέση:  $e_x A = \pm \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$

όπου  $A_x$  και  $A_y$  οι τιμές του μεγέθους για ανεξάρτητη στατική φόρτιση του κτιρίου κατά τις θεωρούμενες διευθύνσεις  $X$  και  $Y$ .

### 5.3.1 Υπολογισμός και αποτελέσματα

Εισάγονται στο πρόγραμμα τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό των ισοδύναμων στατικών φορτίων για τριγωνική κατανομή στις διευθύνσεις  $x$  και  $y$ . Στην συνέχεια εφαρμόζεται SRSS για τις δύο διευθύνσεις και προστίθεται ο συνδυασμός  $G+0,3Q$ .

### Αντιδράσεις στην βάση των υποστυλωμάτων

Οι αντιδράσεις σε δύο σημεία της βάσης της κατασκευής είναι οι εξής:

| ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ |            |         |         |          |          |          |        |
|---------------------------------|------------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|
| Joint                           | OutputCase | F1      | F2      | F3       | M1       | M2       | M3     |
| Text                            | Text       | KN      | KN      | KN       | KN-m     | KN-m     | KN-m   |
| 5                               | Α.Φ.Μ.     | 53,899  | 454,519 | 3895,295 | 418,8827 | 162,8902 | 3,7198 |
| 7                               | Α.Φ.Μ.     | -14,713 | 465,072 | 3944,043 | 418,0014 | 5,7222   | 3,9346 |

Πίνακας 5.4 Αντιδράσεις στη βάση της κατασκευής

### Μέγιστες μετακινήσεις

Οι μετακινήσεις σε δύο σημεία του τελευταίου ορόφου είναι οι εξής:

| ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΟΡΟΦΟΥ |            |          |          |           |          |          |          |
|--------------------------------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Joint                          | OutputCase | U1       | U2       | U3        | R1       | R2       | R3       |
| Text                           | Text       | m        | m        | m         | Radians  | Radians  | Radians  |
| 261                            | Α.Φ.Μ.     | 0,014467 | 0,013188 | -0,009553 | 0,000235 | 0,001659 | 0,000028 |
| 264                            | Α.Φ.Μ.     | 0,014133 | 0,013188 | -0,003548 | 0,000211 | 0,000151 | 0,000028 |

Πίνακας 5.5 Μετακινήσεις τελευταίου ορόφου

### 5.3.2 Σύγκριση δυναμικής φασματικής και απλοποιημένης φασματικής μεθόδου

Συγκρίνουμε τις μετακινήσεις και τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από τις δύο μεθόδους:

| ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΒΑΣΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ |            |         |         |          |          |          |        |
|---------------------------------|------------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|
| Joint                           | OutputCase | F1      | F2      | F3       | M1       | M2       | M3     |
| Text                            | Text       | KN      | KN      | KN       | KN-m     | KN-m     | KN-m   |
| 5                               | Δ.Φ.Μ.     | 51,976  | 411,105 | 3770,149 | 381,6042 | 154,4458 | 3,3349 |
| 5                               | Α.Φ.Μ.     | 53,899  | 454,519 | 3895,295 | 418,8827 | 162,8902 | 3,7198 |
| Ποσοστό %                       |            | 3,7     | 10,56   | 3,32     | 9,77     | 5,47     | 11,54  |
| 7                               | Δ.Φ.Μ.     | -16,611 | 423,57  | 3820,691 | 382,5401 | 2,6606   | 3,5498 |
| 7                               | Α.Φ.Μ.     | -14,713 | 465,072 | 3944,043 | 418,0014 | 5,7222   | 3,9346 |
| Ποσοστό %                       |            | 11,43   | 9,80    | 3,23     | 9,27     | 53,48    | 10,84  |

Πίνακας 5.6 Σύγκριση αντιδράσεων βάσης με Δ.Φ.Μ. και Α.Φ.Μ.



| <b>ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΟΡΟΦΟΥ</b> |                   |           |           |           |                |                |                |
|---------------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Joint</b>                          | <b>OutputCase</b> | <b>U1</b> | <b>U2</b> | <b>U3</b> | <b>R1</b>      | <b>R2</b>      | <b>R3</b>      |
| <b>Text</b>                           | <b>Text</b>       | <b>m</b>  | <b>m</b>  | <b>m</b>  | <b>Radians</b> | <b>Radians</b> | <b>Radians</b> |
| <b>261</b>                            | <b>Δ.Φ.Μ.</b>     | 0,012563  | 0,011478  | -0,00944  | 0,000211       | 0,001707       | 0,00003        |
| <b>261</b>                            | <b>Α.Φ.Μ.</b>     | 0,014467  | 0,013188  | -0,00955  | 0,000235       | 0,001659       | 0,000028       |
| <b>Ποσοστό %</b>                      |                   | 15,16     | 14,9      | 1,18      | 11,37          | 2,81           | 6,67           |
| <b>264</b>                            | <b>Δ.Φ.Μ.</b>     | 0,012281  | 0,011478  | -0,00361  | 0,000184       | 0,000128       | 0,00003        |
| <b>264</b>                            | <b>Α.Φ.Μ.</b>     | 0,014133  | 0,013188  | -0,00355  | 0,000211       | 0,000151       | 0,000028       |
| <b>Ποσοστό %</b>                      |                   | 15,08     | 14,9      | 1,61      | 14,67          | 17,97          | 6,67           |

Πίνακας 5.7 Σύγκριση μετακινήσεων τελευταίου ορόφου με Δ.Φ.Μ. και Α.Φ.Μ.

Παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα της Απλοποιημένης Φασματικής Μεθόδου είναι δυσμενέστερα από της Δυναμικής Φασματικής. Πιο ακριβής όμως είναι η Δυναμική Φασματική Μέθοδος, αφού χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ποσοστό μάζας.

## Κεφάλαιο 6

### Έλεγχος της κατασκευής - Ανάλυση και διαστασιολόγηση

#### 6.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό η κατασκευή ελέγχεται σε οριακή κατάσταση αστοχίας. Εξετάζεται ένα μέλος από κάθε ομάδα δομικών στοιχείων (όπως αυτά παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο) για τη δυσμενέστερη εντατική κατάσταση, έτσι όπως προκύπτει από τις φορτίσεις της κατασκευής. Η ανάλυση έγινε με τη χρήση του προγράμματος ανάλυσης SAP2000 v15. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή είναι:

- χάλυβας μεταλλικών φορέων S355 και
- σκυρόδεμα C25/30

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα βέλη των δοκών σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας.

#### 6.2 Υποστυλώματα

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών των υποστυλωμάτων είναι τα ακόλουθα:

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ |                      |               |               |
|--|----------------------|---------------|---------------|
| SectionName                                      | Text                 | HEB700-HEB500 | HEM900-HEB500 |
| Material   | Text                 | S355          | S355          |
| Shape  | Text                 | SD Section    | SD Section    |
| Area   | m <sup>2</sup>       | 0,0545        | 0,06622       |
| TorsConst  | m <sup>4</sup>       | 0,00001212    | 0,00002209    |
| I33  | m <sup>4</sup>       | 0,0026952     | 0,0058302     |
| I22  | m <sup>4</sup>       | 0,0012164     | 0,0012565     |
| AS2  | m <sup>2</sup>       | 0,021019      | 0,028825      |
| AS3  | m <sup>2</sup>       | 0,019887      | 0,036376      |
| S33  | m <sup>3</sup>       | 0,0081816     | 0,013382      |
| S22  | m <sup>3</sup>       | 0,00525       | 0,005509      |
| Z33  | m <sup>3</sup>       | 0,009619      | 0,015732      |
| Z22  | m <sup>3</sup>       | 0,00631       | 0,006744      |
| R33  | m                    | 0,222926      | 0,285842      |
| R22  | m                    | 0,149637      | 0,125345      |
| TotalWt  | KN                   | 499,293       | 701,028       |
| TotalMass  | KN-s <sup>2</sup> /m | 50,91         | 71,48         |

Πίνακας 6.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομών υποστυλωμάτων

Όπου 3-3 και 2-2 οι άξονες y-y και z-z αντίστοιχα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα υποστυλώματα με τους συντελεστές εκμετάλλευσης των διατομών τους έτσι όπως υπολογίστηκαν από το SAP2000.

| ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ |               |            |             |          |       |
|--------------|---------------|------------|-------------|----------|-------|
| Frame        | DesignSect    | DesignType | Status      | Ratio    | Combo |
| Text         | Text          | Text       | Text        | Unitless | Text  |
| 1            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,370678 | Φ6    |
| 2            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,413143 | Φ1    |
| 3            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,451759 | Φ1    |
| 4            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,459548 | Φ1    |
| 5            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,33257  | Φ6    |
| 6            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,336083 | Φ6    |
| 7            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,361377 | Φ1    |
| 8            | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,382205 | Φ1    |
| 19           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,154756 | Φ1    |
| 20           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,537719 | Φ6    |
| 21           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,275658 | Φ6    |
| 22           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,15518  | Φ6    |
| 23           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,179692 | Φ1    |
| 24           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,291916 | Φ1    |
| 25           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,549032 | Φ1    |
| 26           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,162367 | Φ1    |
| 37           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,160053 | Φ6    |
| 38           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,147956 | Φ6    |
| 39           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,30537  | Φ1    |
| 40           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,227828 | Φ1    |
| 41           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,135798 | Φ1    |
| 42           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,433515 | Φ1    |
| 43           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,132291 | Φ1    |
| 44           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,426246 | Φ6    |
| 55           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,124647 | Φ1    |
| 56           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,114882 | Φ6    |
| 57           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,186751 | Φ1    |
| 58           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,249666 | Φ1    |
| 59           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,394447 | Φ6    |
| 60           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,39943  | Φ1    |
| 61           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,113881 | Φ1    |
| 62           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,114278 | Φ1    |
| 73           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,092108 | Φ1    |
| 74           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,358068 | Φ6    |
| 75           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,147731 | Φ1    |
| 76           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,099783 | Φ6    |
| 77           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,090452 | Φ1    |
| 78           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,35983  | Φ1    |
| 79           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,152694 | Φ6    |
| 80           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,10564  | Φ6    |
| 91           | HEM900-HEB500 | Column     | No Messages | 0,08085  | Φ1    |
| 92           | HEB700-HEB500 | Column     | No Messages | 0,106776 | Φ1    |

|     |               |        |             |          |    |
|-----|---------------|--------|-------------|----------|----|
| 93  | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,306924 | Φ6 |
| 94  | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,074051 | Φ1 |
| 95  | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,068725 | Φ6 |
| 96  | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,306158 | Φ1 |
| 97  | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,107642 | Φ6 |
| 98  | HEM900-HEB500 | Column | No Messages | 0,084354 | Φ1 |
| 109 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,083525 | Φ6 |
| 110 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,443203 | Φ1 |
| 111 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,11097  | Φ6 |
| 112 | HEM900-HEB500 | Column | No Messages | 0,119977 | Φ6 |
| 113 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,089479 | Φ1 |
| 114 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,447281 | Φ6 |
| 115 | HEB700-HEB500 | Column | No Messages | 0,109982 | Φ1 |
| 116 | HEM900-HEB500 | Column | No Messages | 0,114731 | Φ1 |

Πίνακας 6.2 Συντελεστές εκμετάλλευσης διατομών υποστυλωμάτων

Τα εντατικά μεγέθη που καταπονούν αυτό το υποστύλωμα είναι:

| ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ |      |            |            |            |
|-------------------------|------|------------|------------|------------|
| Frame                   | Text | 25         | 25         | 25         |
| Station                 | m    | 0          | 2          | 4          |
| OutputCase              | Text | Φ1         | Φ1         | Φ1         |
| P                       | KN   | -4150,356  | -4139,122  | -4127,888  |
| V2                      | KN   | 35,523     | 35,523     | 35,523     |
| V3                      | KN   | -310,405   | -309,253   | -308,101   |
| T                       | KN-m | -0,0007408 | -0,0007408 | -0,0007408 |
| M2                      | KN-m | -670,2307  | -50,5719   | 566,7829   |
| M3                      | KN-m | 74,1427    | 3,0974     | -67,948    |

Πίνακας 6.3 Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου υποστυλώματος

### Κατάταξη διατομής

Η διατομή είναι κατηγορίας 1. Άρα μπορούμε να κάνουμε πλαστική ανάλυση.

### Έλεγχος σε κεντρική θλίψη

- ως προς τον ισχυρό άξονα y-y

Θεωρούμε ότι λόγω της σύνδεσης των διαγωνίων με τη δοκό στην οροφή του ισογείου, το υποστύλωμα προστατεύεται έναντι λυγισμού στο ύψος της πλάκας και άρα το μήκος λυγισμού του ισούται με το ύψος του ενός ορόφου. Άρα  $L_{cr,y} = 400$  cm.

Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο είναι:  $N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 269520}{400^2} = 349132$  kN

Ανηγγμένη λυγηρότητα:  $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{545 \cdot 35,5}{349132}} = 0,235$

Έχουμε συγκολλητή διατομή με  $t_f \leq 40$  mm, λυγισμό περί τον άξονα y-y και χάλυβα S355, άρα παίρνουμε καμπύλη λυγισμού b  $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Από τους επόμενους τύπους υπολογίζουμε τους συντελεστές  $\Phi_y$  και  $\chi_y$ :

$$\Phi_y = 0,5 \left[ 1 + a(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^{-2} \right] \text{ και } \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^{-2}}} \text{ με } \chi_y \leq 1,0$$

$$\Phi_y = 0,534 \text{ και } \chi_y = 0,987$$

$$\text{Άρα } N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,987 \cdot 545 \cdot 35,5}{1} = 19096 \text{ kN} > 4150,356 \text{ kN}$$

- ως προς τον ασθενή άξονα z-z

Θεωρούμε ότι λόγω της σύνδεσης των διαγωνίων με τη δοκό στην οροφή του ισογείου, το υποστύλωμα προστατεύεται έναντι λυγισμού στο ύψος της πλάκας και άρα το μήκος λυγισμού του ισούται με το ύψος του ενός ορόφου. Άρα  $L_{cr,z} = 400 \text{ cm}$ .

$$\text{Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο είναι: } N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 121640}{400^2} = 157571 \text{ kN}$$

$$\text{Ανηγμένη λυγηρότητα: } \bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{545 \cdot 35,5}{157571}} = 0,350$$

Έχουμε συγκολλητή διατομή με  $t_f \leq 40 \text{ mm}$ , λυγισμό περί τον άξονα z-z και χάλυβα S355, άρα παίρνουμε καμπύλη λυγισμού c  $\rightarrow \alpha = 0,49$

Από τους επόμενους τύπους υπολογίζουμε τους συντελεστές  $\Phi_z$  και  $\chi_z$ :

$$\Phi_z = 0,5 \left[ 1 + a(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^{-2} \right] \text{ και } \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^{-2}}} \text{ με } \chi_z \leq 1,0$$

$$\Phi_z = 0,598 \text{ και } \chi_z = 0,923$$

$$\text{Άρα } N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,923 \cdot 545 \cdot 35,5}{1} = 17865 \text{ kN} > 4150,356 \text{ kN}$$

Άρα η αντοχή σε θλίψη είναι  $N_{b,Rd} = \min(N_{b,Rd,y}, N_{b,Rd,z}) = 17865 \text{ kN}$  και ο έλεγχος ικανοποιείται.

#### Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Το υποστύλωμα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (1)$$

και

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1 \quad (2)$$

Η κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

όπου:

$$C_1 = 2,7$$

$$I_w = 23078000 \text{ cm}^6$$

$$G = \frac{E}{2(\nu+1)} = \frac{2,1 \cdot 10^4}{2(0,3+1)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά έχουν υπολογιστεί στον πίνακα παραπάνω.

$$\text{Άρα } M_{cr} = 2,7 \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 121640}{400^2} \left[ \frac{23078000}{121640} + \frac{400^2 \cdot 8077 \cdot 1212}{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 121640} \right]^{0,5} = 67514 \text{ kNm}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{9619 \cdot 35,5}{6751400}} = 0,225$$

Για συγκολλητή διατομή και λόγο  $\frac{h}{b} > 2$  παίρνουμε καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού d. Άρα ο συντελεστής ατελειών είναι  $\alpha_{LT} = 0,76$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,535$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,98 < 1$$

$$N_{Rk} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 19347,5 \text{ kN}$$

$$\psi = -0,91$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,236$$

$$\psi = -0,85$$

$$C_{mz} = 0,26$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,238 \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,277$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_z < 0,4 \quad k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z = 0,95 \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 1,58$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,266 \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,345$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz} = 0,160$$

Αντικαθιστώντας στις σχέσεις (1) και (2) παίρνουμε ότι

$$(1) \Rightarrow 0,332 < 1$$

$$(2) \Rightarrow 0,270 < 1$$

Άρα οι έλεγχοι ικανοποιούνται.

### Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

Η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής είναι:

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{545 \cdot 35,5}{1} = 19347,5 \text{ kN}$$

Δεν απαιτείται να γίνει μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα y-y λόγω επίδρασης της αξονικής δύναμης όταν ικανοποιούνται συγχρόνως τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$N_{Ed} = 4150,356 \text{ kN} \leq 0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 19347,5 = 4836,9 \text{ kN}$$

και

$$N_{Ed} = 4150,356 \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 170,04 \cdot 35,5}{1} = 3018,1 \text{ δεν ισχύει}$$

Άρα απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής ως προς τον άξονα y-y.

Η πλαστική ροπή αντοχής ως προς τον άξονα y-y είναι:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{ply} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9619 \cdot 35,5}{1} = 3414,7 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{4150,356}{19347,5} = 0,215 \text{ και } a = \frac{545 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 - 2 \cdot 30 \cdot 3,2}{545} = 0,339$$

Άρα η απομειωμένη ροπή αντοχής ως προς τον άξονα y-y είναι:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 3228 \text{ kNm}$$

Δεν απαιτείται να γίνει μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα z-z λόγω επίδρασης της αξονικής δύναμης όταν:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 4150,356 \leq \frac{170,04 \cdot 35,5}{1} = 6036,2 \text{ kN}$$

Άρα δεν απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής ως προς τον άξονα z-z

Η πλαστική ροπή αντοχής ως προς τον άξονα z-z είναι:

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{plz} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6310 \cdot 35,5}{1} = 2240 \text{ kNm}$$

Άρα η αντοχή σε διαξονική κάμψη είναι:

Επιλέγω συντηρητικά  $\alpha=\beta=1$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{74,1}{3228} + \frac{670,2}{2240} = 0,323 < 1$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

### Έλεγχος σε διάτμηση

- ως προς τον άξονα y

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{vy} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{200 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 4099 \text{ kN} > 310,4 \text{ kN}$$

- ως προς τον άξονα z

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{210 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 4304 \text{ kN} > 35,5 \text{ kN}$$

Και στις δύο περιπτώσεις ο λόγος  $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} < 0,5$  οπότε η επίδραση της τέμνουσας στη ροπή αντοχής μπορεί να αμεληθεί.

### **6.3 Δοκάρια (κύρια και δευτερεύοντα)**

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών των δοκαριών του κτιρίου είναι τα εξής:



ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΔΟΚΑΡΙΩΝ

| SectionName | Text           | HE100A           | HE700B           | HE700M           | HEB450-675<br>PL12x280 | HEM400-<br>610 | IPE-<br>700x300/82/3<br>2 | IPE270        | HEM 280       | HEM 320       | HEA 400-610 | IPE 400-600   |
|-------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| Material    | Text           | S355             | S355             | S355             | S355                   | S355           | S355                      | S355          | S355          | S355          | S355        | S355          |
| Shape       | Text           | I/Wide<br>Flange | I/Wide<br>Flange | I/Wide<br>Flange | SD Section             | SD<br>Section  | SD Section                | I/Wide Flange | I/Wide Flange | I/Wide Flange | SD Section  | I/Wide Flange |
| t3          | m              | 0,096            | 0,7              | 0,716            | 0,675                  | 0,61           | 0,7                       | 0,27          | 0,31          | 0,359         | 0,61        | 0,6           |
| t2          | m              | 0,1              | 0,3              | 0,304            | 0,3                    | 0,307          | 0,3                       | 0,135         | 0,288         | 0,309         | 0,3         | 0,18          |
| tf          | m              | 0,008            | 0,032            | 0,04             | 0,026                  | 0,04           | 0,082                     | 0,0102        | 0,033         | 0,04          | 0,019       | 0,0135        |
| tw          | m              | 0,005            | 0,017            | 0,021            | 0,014                  | 0,021          | 0,032                     | 0,0066        | 0,0185        | 0,021         | 0,011       | 0,0086        |
| t2b         | m              | 0,1              | 0,3              | 0,304            | 0,3                    | 0,307          | 0,3                       | 0,135         | 0,288         | 0,309         | 0,3         | 0,18          |
| tfb         | m              | 0,008            | 0,032            | 0,04             | 0,026                  | 0,04           | 0,082                     | 0,0102        | 0,033         | 0,04          | 0,019       | 0,0135        |
| Area        | m <sup>2</sup> | 0,00212          | 0,0306           | 0,0383           | 0,03163                | 0,03569        | 0,066352                  | 0,00459       | 0,024         | 0,0312        | 0,017692    | 0,009788      |
| TorsConst   | m <sup>4</sup> | 5,28E-08         | 0,00000839       | 0,000016         | 0,000011               | 0,000014       | 0,000101                  | 0,000000159   | 0,00000807    | 0,000015      | 0,000001603 | 4,127E-07     |
| I33         | m <sup>4</sup> | 0,00000349       | 0,002569         | 0,003293         | 0,00279                | 0,002259       | 0,005136                  | 0,000058      | 0,000396      | 0,000681      | 0,001167    | 0,000553      |
| I22         | m <sup>4</sup> | 0,00000134       | 0,000144         | 0,000188         | 0,000165               | 0,000193       | 0,00037                   | 0,0000042     | 0,000132      | 0,000197      | 0,000086    | 0,000013      |
| AS2         | m <sup>2</sup> | 0,00048          | 0,0119           | 0,015036         | 0,009742               | 0,012665       | 0,022334                  | 0,001782      | 0,005735      | 0,007539      | 0,006646    | 0,005055      |
| AS3         | m <sup>2</sup> | 0,001333         | 0,016            | 0,020267         | 0,020938               | 0,023219       | 0,048845                  | 0,002295      | 0,01584       | 0,0206        | 0,010217    | 0,004469      |
| S33         | m <sup>3</sup> | 0,000073         | 0,00734          | 0,009198         | 0,007836               | 0,007406       | 0,014674                  | 0,000429      | 0,002552      | 0,003796      | 0,003827    | 0,001843      |
| S22         | m <sup>3</sup> | 0,000027         | 0,000963         | 0,001237         | 0,001099               | 0,001259       | 0,00247                   | 0,000062      | 0,000914      | 0,001276      | 0,00057     | 0,000146      |
| Z33         | m <sup>3</sup> | 0,000083         | 0,008327         | 0,01054          | 0,008929               | 0,008474       | 0,017501                  | 0,000484      | 0,002966      | 0,004435      | 0,004268    | 0,002131      |
| Z22         | m <sup>3</sup> | 0,000041         | 0,001495         | 0,001929         | 0,001712               | 0,001943       | 0,003827                  | 0,000097      | 0,001397      | 0,001951      | 0,000872    | 0,000229      |
| R33         | m              | 0,040574         | 0,289749         | 0,293222         | 0,296974               | 0,251568       | 0,278215                  | 0,112314      | 0,128371      | 0,147772      | 0,256869    | 0,237661      |
| R22         | m              | 0,025141         | 0,068695         | 0,070062         | 0,072201               | 0,073595       | 0,074722                  | 0,03025       | 0,07405       | 0,079481      | 0,069543    | 0,036657      |
| TotalWt     | KN             | 1,992            | 835,931          | 606,932          | 803,385                | 563,695        | 62,504                    | 9,584         | 39,564        | 1062,3        | 47,894      | 324,94        |
| TotalMass   | KN-s2/m        | 0,2              | 85,24            | 61,89            | 81,92                  | 57,48          | 6,37                      | 0,98          | 4,03          | 108,32        | 4,88        | 33,13         |

Πίνακας 6.4 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομών δοκαριών κατασκευής

Θα εξετάσουμε ξεχωριστά τα κύρια και δευτερεύοντα δοκάρια. Τα κύρια δοκάρια στηρίζονται στα υποστυλώματα της κατασκευής, ενώ τα δευτερεύοντα στηρίζονται στα κύρια δοκάρια.

### 6.3.1 Κύρια δοκάρια

| ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΑΡΙΑ |                     |            |             |          |       |
|---------------|---------------------|------------|-------------|----------|-------|
| Frame         | DesignSect          | DesignType | Status      | Ratio    | Combo |
| Text          | Text                | Text       | Text        | Unitless | Text  |
| 10            | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,086521 | E5    |
| 11            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,409768 | Φ6    |
| 12            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,390168 | Φ1    |
| 14            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,386129 | Φ6    |
| 15            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,434368 | Φ1    |
| 16            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,40432  | Φ6    |
| 27            | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,089073 | E5    |
| 30            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,115221 | Φ3    |
| 34            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,074108 | E1    |
| 36            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,104103 | E1    |
| 48            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,121983 | E1    |
| 49            | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,091013 | E5    |
| 52            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,124043 | E1    |
| 53            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,105509 | E1    |
| 66            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,072203 | E1    |
| 69            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,398024 | Φ1    |
| 85            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,02731  | E5    |
| 87            | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,39435  | Φ6    |
| 89            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,032111 | E5    |
| 90            | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,051967 | E5    |
| 99            | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,051979 | Φ1    |
| 101           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,050507 | E5    |
| 102           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,082257 | E5    |
| 103           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,059216 | E5    |
| 105           | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,425528 | Φ1    |
| 106           | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,407633 | Φ6    |
| 107           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,04997  | E5    |
| 108           | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,395693 | Φ1    |
| 117           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,07246  | E5    |
| 118           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,084701 | E5    |
| 119           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,070656 | E5    |
| 120           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,136565 | E5    |
| 122           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,153708 | E5    |
| 124           | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,392246 | Φ6    |
| 125           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,127807 | E1    |
| 126           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,137382 | E5    |
| 127           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,100927 | E5    |
| 129           | HE700B              | Beam       | No Messages | 0,149827 | E1    |
| 130           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,11704  | E5    |
| 131           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,106458 | E5    |
| 134           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,08727  | E5    |
| 135           | HE700M              | Beam       | No Messages | 0,146136 | Φ6    |

|     |                     |      |             |          |    |
|-----|---------------------|------|-------------|----------|----|
| 136 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,121377 | Φ1 |
| 139 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,117285 | E1 |
| 140 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,178329 | E1 |
| 141 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,115124 | E1 |
| 144 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,101407 | E5 |
| 145 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,154076 | Φ6 |
| 146 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,090778 | E5 |
| 149 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,426059 | Φ1 |
| 150 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,088576 | E5 |
| 151 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,103195 | E5 |
| 156 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,084981 | E5 |
| 166 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,074144 | E1 |
| 167 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,090484 | E1 |
| 168 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,07221  | E1 |
| 199 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,062586 | E1 |
| 200 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,07579  | E1 |
| 201 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,064694 | E1 |
| 205 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,13986  | E5 |
| 206 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,156409 | E5 |
| 207 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,138923 | E5 |
| 208 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,04916  | E1 |
| 209 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,060907 | E1 |
| 210 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,051399 | E1 |
| 211 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,109104 | E5 |
| 212 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,11996  | E5 |
| 213 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,102278 | E5 |
| 214 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,093248 | E5 |
| 215 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,10411  | E5 |
| 216 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,088138 | E5 |
| 217 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,034359 | E1 |
| 218 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,043701 | E1 |
| 219 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,036661 | E1 |
| 220 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,085603 | E5 |
| 221 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,106549 | E5 |
| 222 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,091557 | E5 |
| 223 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,070837 | E5 |
| 224 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,088184 | E5 |
| 225 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,075539 | E5 |
| 226 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,019088 | E1 |
| 227 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,026165 | E1 |
| 228 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,021525 | E1 |
| 230 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,405321 | Φ6 |
| 231 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,399613 | Φ1 |
| 233 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,396429 | Φ6 |
| 234 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,421251 | Φ1 |
| 235 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,085087 | E1 |
| 236 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,128099 | E1 |
| 237 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,151013 | E1 |
| 238 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,151894 | E1 |
| 239 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,128607 | E1 |
| 240 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,08365  | E1 |
| 247 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,424906 | Φ6 |

|     |                     |      |             |          |    |
|-----|---------------------|------|-------------|----------|----|
| 248 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,184888 | E1 |
| 249 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,379819 | Φ1 |
| 250 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,376858 | Φ6 |
| 252 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,437281 | Φ1 |
| 253 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,370014 | Φ6 |
| 254 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,060396 | E5 |
| 255 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,079928 | E5 |
| 256 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,431431 | Φ1 |
| 258 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,14075  | Φ6 |
| 259 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,134051 | Φ6 |
| 260 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,12596  | Φ1 |
| 261 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,427072 | Φ6 |
| 262 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,06617  | E1 |
| 263 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,078259 | E1 |
| 265 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,082012 | E1 |
| 266 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,093101 | E1 |
| 268 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,174901 | E1 |
| 270 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,090994 | E1 |
| 272 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,057988 | E1 |
| 273 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,402245 | Φ1 |
| 274 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,122905 | Φ1 |
| 275 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,034251 | Φ6 |
| 276 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,131244 | Φ1 |
| 277 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,039836 | E5 |
| 285 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,123992 | Φ1 |
| 286 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,110672 | E5 |
| 287 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,114277 | Φ1 |
| 288 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,095707 | E1 |
| 290 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,076352 | E1 |
| 292 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,043378 | E1 |
| 296 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,052099 | E5 |
| 297 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,10066  | E5 |
| 298 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,109906 | Φ1 |
| 301 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,120382 | Φ1 |
| 302 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,049711 | E5 |
| 303 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,061528 | E5 |
| 304 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,211284 | Φ1 |
| 305 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,06272  | E5 |
| 306 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,225105 | Φ1 |
| 307 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,17755  | Φ6 |
| 309 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,050163 | E5 |
| 310 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,084511 | E5 |
| 311 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,224221 | Φ6 |
| 312 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,180096 | Φ6 |
| 313 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,069622 | E1 |
| 314 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,095139 | E1 |
| 315 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,112793 | E1 |
| 316 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,115349 | E1 |
| 317 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,096985 | E1 |
| 318 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,067496 | E1 |
| 319 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,219811 | Φ6 |
| 320 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,180214 | Φ6 |

|     |                     |      |             |          |    |
|-----|---------------------|------|-------------|----------|----|
| 321 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,218121 | Φ6 |
| 322 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,151158 | Φ6 |
| 323 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,053555 | E5 |
| 324 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,058032 | Φ6 |
| 326 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,035722 | E5 |
| 327 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,030457 | E5 |
| 330 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,149065 | Φ6 |
| 331 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,121198 | Φ1 |
| 332 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,097951 | E5 |
| 333 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,109629 | Φ1 |
| 334 | HE700M              | Beam | No Messages | 0,158177 | Φ6 |
| 335 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,034717 | E1 |
| 337 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,056966 | E1 |
| 339 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,10874  | E1 |
| 340 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,067053 | E1 |
| 341 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,105484 | E1 |
| 342 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,094077 | E1 |
| 343 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,059128 | E1 |
| 344 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,051731 | E1 |
| 356 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,185521 | Φ6 |
| 357 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,23824  | Φ6 |
| 358 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,133981 | Φ1 |
| 359 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,155735 | Φ1 |
| 360 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,237281 | Φ6 |
| 363 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,134016 | Φ1 |
| 364 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,157988 | Φ1 |
| 365 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,060304 | E1 |
| 366 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,085116 | E1 |
| 367 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,10113  | E1 |
| 368 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,098321 | E1 |
| 369 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,083036 | E1 |
| 370 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,062528 | E1 |
| 371 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,232753 | Φ6 |
| 372 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,135719 | Φ1 |
| 373 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,158095 | Φ1 |
| 374 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,231202 | Φ6 |
| 375 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,122829 | Φ1 |
| 376 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,133065 | Φ1 |
| 378 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,124358 | Φ1 |
| 384 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,128527 | E5 |
| 386 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,279488 | Φ1 |
| 394 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,046471 | E1 |
| 395 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,052947 | E1 |
| 396 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,080495 | E1 |
| 397 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,057617 | E1 |
| 398 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,05679  | E1 |
| 399 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,094394 | E1 |
| 401 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,051031 | E1 |
| 402 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,051083 | E1 |
| 403 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,032762 | E1 |
| 423 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,051511 | E1 |
| 424 | HE700B              | Beam | No Messages | 0,070967 | E1 |

|     |                   |      |             |          |    |
|-----|-------------------|------|-------------|----------|----|
| 425 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,084205 | E1 |
| 426 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,081154 | E1 |
| 427 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,068671 | E1 |
| 428 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,053832 | E1 |
| 431 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,067521 | Φ1 |
| 438 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,040313 | E1 |
| 439 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,046146 | E1 |
| 440 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,066622 | E1 |
| 442 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,047185 | E1 |
| 443 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,078042 | E1 |
| 445 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,044993 | Φ1 |
| 447 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,031171 | E1 |
| 477 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,04075  | E1 |
| 478 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,054357 | E1 |
| 479 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,064355 | E1 |
| 480 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,061071 | E1 |
| 481 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,051868 | E1 |
| 482 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,043166 | E1 |
| 501 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,079698 | Φ1 |
| 502 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,034478 | Φ1 |
| 503 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,038031 | E1 |
| 504 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,056997 | Φ6 |
| 506 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,037492 | E1 |
| 507 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,059454 | E1 |
| 509 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,040973 | Φ1 |
| 510 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,036505 | E1 |
| 511 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,032566 | Φ6 |
| 526 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,157236 | E1 |
| 527 | IPE-700x300/82/32 | Beam | No Messages | 0,15736  | Φ1 |
| 528 | IPE-700x300/82/32 | Beam | No Messages | 0,283671 | Φ1 |
| 529 | IPE-700x300/82/32 | Beam | No Messages | 0,282899 | Φ1 |
| 530 | IPE-700x300/82/32 | Beam | No Messages | 0,155892 | Φ1 |
| 531 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,090122 | E1 |
| 532 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,145605 | E1 |
| 533 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,032675 | E1 |
| 534 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,052306 | Φ1 |
| 535 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,043749 | E1 |
| 536 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,040203 | E1 |
| 537 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,049913 | Φ6 |
| 538 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,039368 | Φ1 |
| 546 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,130943 | E1 |
| 547 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,075339 | E1 |
| 548 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,096317 | E1 |
| 549 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,056964 | E1 |
| 550 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,091667 | E1 |
| 551 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,082406 | E1 |
| 560 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,04415  | Φ1 |
| 561 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,044169 | Φ1 |
| 562 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,070703 | Φ1 |
| 563 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,058562 | Φ6 |
| 564 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,030146 | E1 |
| 565 | HE700B            | Beam | No Messages | 0,046251 | Φ1 |

|      |        |      |             |          |    |
|------|--------|------|-------------|----------|----|
| 567  | HE700B | Beam | No Messages | 0,050203 | Φ1 |
| 568  | HE700B | Beam | No Messages | 0,036974 | Φ6 |
| 569  | HE700B | Beam | No Messages | 0,037865 | Φ6 |
| 1031 | HE700B | Beam | No Messages | 0,075771 | E1 |
| 1034 | HE700B | Beam | No Messages | 0,071541 | Φ1 |
| 1039 | HE700B | Beam | No Messages | 0,044497 | E1 |
| 17   | HE700B | Beam | No Messages | 0,154755 | E1 |
| 28   | HE700B | Beam | No Messages | 0,179168 | E1 |

Πίνακας 6.5 Συντελεστές εκμετάλλευσης διατομών κύριων δοκαριών

Τα εντατικά μεγέθη που καταπονούν αυτό το κύριο δοκάρι είναι:

| ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΚΥΡΙΟ ΔΟΚΑΡΙ |      |           |           |           |           |           |           |            |
|---------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Frame                     | Text | 252       | 252       | 252       | 252       | 252       | 252       | 252        |
| Station                   | m    | 0         | 0,5       | 1         | 1,5       | 2         | 2,5       | 3          |
| OutputCase                | Text | Φ1        | Φ1        | Φ1        | Φ1        | Φ1        | Φ1        | Φ1         |
| P                         | KN   | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          |
| V2                        | KN   | 440,82    | 449,841   | 458,863   | 467,884   | 476,906   | 485,927   | 494,949    |
| V3                        | KN   | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0          |
| T                         | KN-m | -0,0011   | -0,0011   | -0,0011   | -0,0011   | -0,0011   | -0,0011   | -0,0011    |
| M2                        | KN-m | 1,199E-15 | 1,199E-15 | 1,199E-15 | 1,199E-15 | 1,199E-15 | 1,199E-15 | 1,199E-15  |
| M3                        | KN-m | 324,1614  | 101,4962  | -125,6799 | -357,3667 | -593,5642 | -834,2725 | -1079,4915 |

Πίνακας 6.6 Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου κύριου δοκαριού

### Κατάταξη διατομής

Για χάλυβα S355  $\varepsilon = 0,81$ .

Κορμός

$$\frac{c}{t_w} = \frac{675 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 26 - 2 \cdot 27}{14} = 38,9 < 58,3 = 72\varepsilon$$

Άρα ο κορμός είναι κατηγορίας 1.

Πέλμα

$$\frac{c}{t_f} = \frac{(300 - 2 \cdot 27 - 14)0,5}{26} = 4,5 < 7,3 = 9\varepsilon$$

Άρα το πέλμα είναι κατηγορίας 1.

Άρα η διατομή είναι κατηγορίας 1 και μπορούμε να κάνουμε πλαστική ανάλυση.

### Έλεγχος σε κάμψη

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9000 \cdot 35,5}{1} = 3195 \text{ kNm} > 1079,5 \text{ kNm}$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

### Έλεγχος σε διάτμηση

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{100 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 2050 \text{ kN} > 494,9 \text{ kN}$$

Ο λόγος  $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,25 < 0,5$  οπότε δεν γίνεται απομείωση της ροπής αντοχής λόγω τέμνουσας.

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

### Έλεγχος σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(kL)^2} \left\{ \left[ \left[ \frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0,5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

όπου:

$$C_1 = 2,140$$

$$k = 1$$

$$k_w = 1$$

$$I_w = 19456922 \text{ cm}^6$$

$$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$C_2 = 0$$

$$z_s = 0$$

$$z_a = 34,95 \text{ cm}$$

$$z_g = z_a - z_s = 34,95 \text{ cm}$$

$$z_j = 0$$

$$\text{άρα: } M_{cr} = 30646 \text{ kNm} > 1079,5 \text{ kNm}$$

$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{9000 \cdot 35,5}{3064600}} = 0,323 > 0,2$  άρα δεν αγνοείται η επίδραση του πλευρικού λυγισμού.

Για συγκολλητή διατομή και λόγο  $\frac{h}{b} > 2$  παίρνουμε καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού d. Άρα ο συντελεστής ατελειών είναι  $\alpha_{LT} = 0,76$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,599$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,91 < 1$$

$$\text{άρα } M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 2896 \text{ kNm} > 1079,5 \text{ kNm}$$



### 6.3.2 Δευτερεύοντα δοκάρια

Τα δοκάρια αυτά εξασφαλίζονται πλευρικά από τη σύμμικτη πλάκα οπότε θα ελεγχθούν μόνο σε κάμψη και διάτμηση.

Το δυσμενέστερο από αυτά τα δοκάρια είναι:

| ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝΤΑ ΔΟΚΑΡΙΑ |                     |            |             |          |       |
|----------------------|---------------------|------------|-------------|----------|-------|
| Frame                | DesignSect          | DesignType | Status      | Ratio    | Combo |
| Text                 | Text                | Text       | Text        | Unitless | Text  |
| 13                   | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,570854 | Φ6    |
| 18                   | HE280M              | Beam       | No Messages | 0,015683 | Φ1    |
| 70                   | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,024011 | Φ1    |
| 72                   | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,032365 | Φ6    |
| 84                   | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,032038 | Φ1    |
| 88                   | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,030761 | Φ1    |
| 229                  | IPE270              | Beam       | No Messages | 0,17022  | Φ1    |
| 232                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,030692 | Φ6    |
| 241                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,021219 | Φ1    |
| 242                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,022733 | Φ6    |
| 243                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,181637 | Φ6    |
| 244                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,271802 | Φ1    |
| 245                  | HE100A              | Beam       | No Messages | 0,089982 | Φ1    |
| 251                  | HE280M              | Beam       | No Messages | 0,015683 | Φ1    |
| 257                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,570879 | Φ6    |
| 264                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,279489 | Φ1    |
| 269                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,279482 | Φ1    |
| 271                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,529435 | Φ1    |
| 278                  | IPE270              | Beam       | No Messages | 0,17022  | Φ1    |
| 280                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,529435 | Φ1    |
| 281                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,552381 | Φ1    |
| 283                  | HE100A              | Beam       | No Messages | 0,089982 | Φ1    |
| 284                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,552381 | Φ1    |
| 289                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,559689 | Φ1    |
| 293                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,436063 | Φ1    |
| 294                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,024011 | Φ1    |
| 295                  | IPE400-600          | Beam       | No Messages | 0,559689 | Φ1    |
| 300                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,032365 | Φ6    |
| 308                  | HE280M              | Beam       | No Messages | 0,015683 | Φ1    |
| 325                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,032038 | Φ1    |
| 328                  | HE100A              | Beam       | No Messages | 0,089982 | Φ1    |
| 329                  | IPE270              | Beam       | No Messages | 0,17022  | Φ1    |
| 336                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,030761 | Φ1    |
| 338                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,030692 | Φ6    |
| 345                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,021219 | Φ1    |
| 346                  | HEB450-675 PL12x280 | Beam       | No Messages | 0,022733 | Φ6    |
| 347                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,181638 | Φ6    |
| 348                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,271798 | Φ1    |
| 349                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,274925 | Φ6    |
| 350                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,234668 | Φ6    |
| 351                  | HEM400-610          | Beam       | No Messages | 0,143998 | Φ1    |

|     |                     |      |             |          |    |
|-----|---------------------|------|-------------|----------|----|
| 361 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,436063 | Φ1 |
| 362 | HE280M              | Beam | No Messages | 0,015683 | Φ1 |
| 377 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,024011 | Φ1 |
| 380 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032365 | Φ6 |
| 381 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032038 | Φ1 |
| 382 | IPE270              | Beam | No Messages | 0,17022  | Φ1 |
| 383 | HE100A              | Beam | No Messages | 0,089982 | Φ1 |
| 385 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,570856 | Φ6 |
| 386 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,279488 | Φ1 |
| 387 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,529435 | Φ1 |
| 388 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,552381 | Φ1 |
| 389 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,559689 | Φ1 |
| 392 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,436063 | Φ1 |
| 393 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,274943 | Φ6 |
| 400 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030761 | Φ1 |
| 410 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,234675 | Φ6 |
| 411 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030692 | Φ6 |
| 412 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,143998 | Φ1 |
| 413 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,570862 | Φ6 |
| 414 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,279487 | Φ1 |
| 415 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,529435 | Φ1 |
| 416 | HE280M              | Beam | No Messages | 0,015683 | Φ1 |
| 417 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,552381 | Φ1 |
| 418 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,559689 | Φ1 |
| 420 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,436063 | Φ1 |
| 421 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,024011 | Φ1 |
| 422 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032365 | Φ6 |
| 429 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032038 | Φ1 |
| 430 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030761 | Φ1 |
| 432 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030692 | Φ6 |
| 433 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,021219 | Φ1 |
| 434 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,022733 | Φ6 |
| 435 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,181639 | Φ6 |
| 437 | HE100A              | Beam | No Messages | 0,089982 | Φ1 |
| 448 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,021219 | Φ1 |
| 449 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,022733 | Φ6 |
| 453 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,181638 | Φ6 |
| 454 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,271804 | Φ1 |
| 455 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,27495  | Φ6 |
| 456 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,234679 | Φ6 |
| 457 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,143998 | Φ1 |
| 464 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,271813 | Φ1 |
| 465 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,274966 | Φ6 |
| 466 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,234689 | Φ6 |
| 467 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,143997 | Φ1 |
| 468 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,570864 | Φ6 |
| 469 | HEA400-610          | Beam | No Messages | 0,320345 | Φ1 |
| 470 | HE280M              | Beam | No Messages | 0,015683 | Φ1 |
| 471 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,279486 | Φ1 |
| 472 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,529435 | Φ1 |
| 473 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,552381 | Φ1 |
| 474 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,559689 | Φ1 |

|      |                     |      |             |          |    |
|------|---------------------|------|-------------|----------|----|
| 476  | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,436063 | Φ1 |
| 483  | HEA400-610          | Beam | No Messages | 0,305458 | Φ1 |
| 484  | HEA400-610          | Beam | No Messages | 0,331091 | Φ1 |
| 485  | HEA400-610          | Beam | No Messages | 0,16109  | Φ6 |
| 486  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,175222 | Φ1 |
| 488  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,139905 | Φ1 |
| 489  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,027643 | Φ1 |
| 490  | IPE270              | Beam | No Messages | 0,17022  | Φ1 |
| 491  | HE100A              | Beam | No Messages | 0,089982 | Φ1 |
| 492  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,024011 | Φ1 |
| 493  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032365 | Φ6 |
| 494  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032038 | Φ1 |
| 495  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030761 | Φ1 |
| 496  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030692 | Φ6 |
| 497  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,036091 | Φ1 |
| 498  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,0358   | Φ6 |
| 499  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,034217 | Φ6 |
| 500  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,034218 | Φ1 |
| 505  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,025317 | Φ6 |
| 508  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,023595 | Φ1 |
| 512  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,203607 | Φ1 |
| 514  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,303803 | Φ1 |
| 515  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,307203 | Φ1 |
| 516  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,261888 | Φ1 |
| 517  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,160654 | Φ1 |
| 521  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,021219 | Φ1 |
| 522  | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,022733 | Φ6 |
| 524  | HE280M              | Beam | No Messages | 0,017424 | Φ1 |
| 544  | IPE270              | Beam | No Messages | 0,192391 | Φ1 |
| 545  | HE100A              | Beam | No Messages | 0,102318 | Φ1 |
| 552  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,181638 | Φ6 |
| 557  | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,271807 | Φ1 |
| 1020 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,274955 | Φ6 |
| 1021 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,234683 | Φ6 |
| 1022 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,143997 | Φ1 |
| 1023 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,570867 | Φ6 |
| 1024 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,279485 | Φ1 |
| 1025 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,529435 | Φ1 |
| 1026 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,552381 | Φ1 |
| 1027 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,559689 | Φ1 |
| 1029 | IPE400-600          | Beam | No Messages | 0,436063 | Φ1 |
| 1030 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,024011 | Φ1 |
| 1032 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032365 | Φ6 |
| 1033 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,032038 | Φ1 |
| 1035 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030761 | Φ1 |
| 1036 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,030692 | Φ6 |
| 1038 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,021219 | Φ1 |
| 1040 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,181638 | Φ6 |
| 1041 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,27181  | Φ1 |
| 1042 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,274961 | Φ6 |
| 1044 | HEB450-675 PL12x280 | Beam | No Messages | 0,022733 | Φ6 |
| 1045 | HEM400-610          | Beam | No Messages | 0,234686 | Φ6 |

|      |            |      |             |          |    |
|------|------------|------|-------------|----------|----|
| 1046 | HEM400-610 | Beam | No Messages | 0,143997 | Φ1 |
| 32   | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |
| 46   | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |
| 64   | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |
| 82   | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |
| 100  | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |
| 123  | HEM400-610 | Beam | No Messages | 0,183379 | Φ1 |
| 267  | IPE400-600 | Beam | No Messages | 0,58658  | Φ1 |

Πίνακας 6.7 Συντελεστές εκμετάλλευσης δευτερευόντων δοκαριών

Τα εντατικά μεγέθη του δυσμενέστερου δοκαριού είναι τα εξής:

| ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ ΔΟΚΑΡΙ |      |            |            |
|--------------------------------|------|------------|------------|
| Frame                          | Text | 267        | 267        |
| Station                        | m    | 0          | 6          |
| OutputCase                     | Text | Φ1         | Φ1         |
| P                              | KN   | 0          | 0          |
| V2                             | KN   | -127,913   | -2,545E-14 |
| V3                             | KN   | 0          | 0          |
| T                              | KN-m | -0,0000928 | -0,0000928 |
| M2                             | KN-m | 0          | 0          |
| M3                             | KN-m | 0          | 383,7377   |

Πίνακας 6.8 Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου δευτερεύοντος δοκαριού

### Κατάταξη διατομής

Για χάλυβα S355  $\varepsilon=0,81$

### Κορμός

$$\frac{c}{t_w} = \frac{600 - 2 \cdot 13,5 - 2 \cdot 21}{8,6} = 61,7 < 83\varepsilon = 67,23$$

Άρα ο κορμός είναι κατηγορίας 2.

### Πέλμα

$$\frac{c}{t_f} = \frac{(180 - 8,6 - 2 \cdot 21)0,5}{13,5} = 4,8 < 9\varepsilon = 7,3$$

Άρα το πέλμα είναι κατηγορίας 1.

Άρα η διατομή είναι κατηγορίας 2 και μπορούμε να κάνουμε πλαστική ανάλυση.

### Έλεγχος σε κάμψη

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2000 \cdot 35,5}{1} = 710 \text{ kNm} > 383,7 \text{ kNm}$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

Έλεγχος σε διάτμηση

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 1025 \text{ kN} > 127,9 \text{ kN}$$

Παρατηρούμε ότι ο λόγος  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{127,9}{1025} = 0,125 < 0,5$  άρα δεν απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής λόγω τέμνουσας. Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

#### 6.4 Ικανοτικός έλεγχος συνδέσμων δυσκαμψίας

Στη συνέχεια θα παρουσιαστεί αναλυτικά η διαδικασία σχεδιασμού του δυσμενέστερου κατακόρυφου σύνδεσμου δυσκαμψίας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διατομών των συνδέσμων δυσκαμψίας είναι τα εξής:

| ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ |         |               |
|--|---------|---------------|
| SectionName                                    | Text    | HE320M        |
| Material                                       | Text    | S355          |
| Shape  | Text    | I/Wide Flange |
| t3   | m       | 0,359         |
| t2   | m       | 0,309         |
| tf   | m       | 0,04          |
| tw   | m       | 0,021         |
| t2b  | m       | 0,309         |
| tfb  | m       | 0,04          |
| Area   | m2      | 0,0312        |
| TorsConst                                      | m4      | 0,000015      |
| I33  | m4      | 0,000681      |
| I22  | m4      | 0,000197      |
| AS2  | m2      | 0,007539      |
| AS3  | m2      | 0,0206        |
| S33  | m3      | 0,003796      |
| S22  | m3      | 0,001276      |
| Z33  | m3      | 0,004435      |
| Z22  | m3      | 0,001951      |
| R33  | m       | 0,147772      |
| R22  | m       | 0,079481      |
| TotalWt  | KN      | 1062,3        |
| TotalMass                                      | KN-s2/m | 108,32        |

Πίνακας 6.9 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής συνδέσμου δυσκαμψίας

Ο δυσμενέστερος σύνδεσμος δυσκαμψίας είναι:

| <b>ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ</b> |                   |                   |                    |                 |              |
|-----------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------|
| <b>Frame</b>                | <b>DesignSect</b> | <b>DesignType</b> | <b>Status</b>      | <b>Ratio</b>    | <b>Combo</b> |
| Text                        | Text              | Text              | Text               | Unitless        | Text         |
| 9                           | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,215973        | E5           |
| 29                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,213026        | E5           |
| 31                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,142727        | E5           |
| 35                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,12329         | E5           |
| 45                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,123235        | E5           |
| 47                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,109942        | E5           |
| 51                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,109639        | E5           |
| 54                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,095092        | E5           |
| 63                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,092302        | E5           |
| 65                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,077619        | E5           |
| 67                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,055527        | E5           |
| 71                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,068947        | E5           |
| 81                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,043973        | E5           |
| 83                          | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,031431        | E5           |
| 121                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,205725        | E1           |
| 128                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,205812        | E1           |
| <b>132</b>                  | <b>HE320M</b>     | <b>Brace</b>      | <b>No Messages</b> | <b>0,252936</b> | <b>E1</b>    |
| 133                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,249901        | E1           |
| 137                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,197229        | E1           |
| 138                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,198788        | E1           |
| 142                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,130113        | E1           |
| 143                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,130079        | E1           |
| 147                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,164456        | E1           |
| 148                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,162818        | E1           |
| 152                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,148117        | E1           |
| 153                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,148981        | E1           |
| 154                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,12333         | E1           |
| 155                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,123366        | E1           |
| 157                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,22119         | E5           |
| 158                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,21816         | E5           |
| 159                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,125283        | E1           |
| 160                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,123291        | E1           |
| 161                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,146738        | E5           |
| 162                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,126847        | E5           |
| 163                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,126921        | E5           |
| 164                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,086579        | E1           |
| 165                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,088777        | E1           |
| 169                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,109655        | E1           |
| 170                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,109725        | E1           |
| 171                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,093189        | E1           |
| 172                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,094319        | E1           |
| 173                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,073882        | E1           |
| 174                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,076786        | E1           |
| 175                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,062152        | Φ6           |
| 176                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,06903         | Φ1           |
| 177                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,11302         | E5           |
| 178                         | HE320M            | Brace             | No Messages        | 0,098091        | E5           |

|     |        |       |             |          |    |
|-----|--------|-------|-------------|----------|----|
| 179 | HE320M | Brace | No Messages | 0,113111 | E5 |
| 180 | HE320M | Brace | No Messages | 0,113909 | E1 |
| 181 | HE320M | Brace | No Messages | 0,111726 | E1 |
| 182 | HE320M | Brace | No Messages | 0,098043 | E1 |
| 183 | HE320M | Brace | No Messages | 0,095744 | E1 |
| 184 | HE320M | Brace | No Messages | 0,082869 | Φ1 |
| 185 | HE320M | Brace | No Messages | 0,080257 | Φ6 |
| 186 | HE320M | Brace | No Messages | 0,096083 | Φ1 |
| 187 | HE320M | Brace | No Messages | 0,094198 | Φ1 |
| 188 | HE320M | Brace | No Messages | 0,095679 | E5 |
| 189 | HE320M | Brace | No Messages | 0,080409 | E5 |
| 190 | HE320M | Brace | No Messages | 0,072907 | E5 |
| 191 | HE320M | Brace | No Messages | 0,070583 | E1 |
| 192 | HE320M | Brace | No Messages | 0,072554 | E1 |
| 193 | HE320M | Brace | No Messages | 0,060829 | E1 |
| 194 | HE320M | Brace | No Messages | 0,058378 | E1 |
| 195 | HE320M | Brace | No Messages | 0,044195 | E1 |
| 196 | HE320M | Brace | No Messages | 0,046755 | E1 |
| 197 | HE320M | Brace | No Messages | 0,032153 | E1 |
| 198 | HE320M | Brace | No Messages | 0,029449 | E1 |
| 202 | HE320M | Brace | No Messages | 0,058132 | E5 |
| 203 | HE320M | Brace | No Messages | 0,048976 | E5 |
| 204 | HE320M | Brace | No Messages | 0,032367 | E5 |

Πίνακας 6.10 Συντελεστές εκμετάλλευσης διατομών συνδέσμων δυσκαμψίας

Τα εντατικά μεγέθη που καταπονούν το δυσμενέστερο σύνδεσμο δυσκαμψίας είναι:

| ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΕΡΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ |      |         |         |         |          |          |          |
|------------------------------------|------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Frame                              | Text | 132     | 132     | 132     | 132      | 132      | 132      |
| Station                            | m    | 0       | 4,20494 | 8,40988 | 0        | 4,20494  | 8,40988  |
| OutputCase                         | Text | E1      | E1      | E1      | E1       | E1       | E1       |
| StepType                           | Text | Max     | Max     | Max     | Min      | Min      | Min      |
| P                                  | KN   | 283,472 | 291,971 | 300,469 | -759,423 | -750,925 | -742,426 |
| V2                                 | KN   | 9,719   | 15,536  | 21,352  | -27,097  | -21,28   | -15,463  |
| V3                                 | KN   | 0,213   | 0,213   | 0,213   | -0,219   | -0,219   | -0,219   |
| T                                  | KN-m | 0,0204  | 0,0204  | 0,0204  | -0,0219  | -0,0219  | -0,0219  |
| M2                                 | KN-m | 1,7332  | 0,836   | 0,0143  | -1,8249  | -0,9058  | -0,0621  |
| M3                                 | KN-m | 49,4017 | 18,3308 | 95,5784 | -83,3882 | -3,703   | -81,2553 |

Πίνακας 6.11 Εντατικά μεγέθη δυσμενέστερου διαγωνίου συνδέσμου δυσκαμψίας

- Δοκοί σύζευξης

Η δοκός σύζευξης αποτελείται από πρότυπη διατομή HEB 700 η οποία είναι κατηγορίας 1. Τα εντατικά μεγέθη για τον σεισμικό συνδυασμό είναι τα εξής:  
 $N_{Ed} = 0$ ,  $M_{Ed} = 546,5$  kN,  $V_{Ed} = 416,9$  kN.

Επειδή ισχύει  $\frac{N_{Ed}}{N_{p,link}} = 0$  πρέπει να ισχύουν οι εξής σχέσεις:

$$V_{Ed} < V_{p,link} \text{ και } M_{Ed} < M_{p,link}$$

$$\text{όπου } V_{p,link} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} t_w (d - t_f) = \frac{35,5}{\sqrt{3}} 1,7(70 - 3,2) = 2328 \text{ kN} > V_{Ed} = 416,9 \text{ kN}$$

$$\text{και } M_{p,link} = f_y b t_f (h - t_f) = 35,5 \cdot 30 \cdot 3,2(70 - 3,2) = 2277 \text{ kNm} > M_{Ed} = 546,5 \text{ kNm}$$

Άρα και οι δύο συνθήκες ικανοποιούνται.

### Κατάταξη δοκού σύζευξης

Θεωρούμε ότι θα υπάρξει άρθρωση και στα δύο άκρα της δοκού σύζευξης:

$$e_s = 1,6 \frac{M_{p,link}}{V_{p,link}} = 1,56 \text{ και } e_l = 3 \frac{M_{p,link}}{V_{p,link}} = 2,93 \text{ και } e = 2,50 \text{ m}$$

αφού ισχύει  $e_s < e < e_l$  πρόκειται για ενδιάμεσο σύνδεσμο.

### Ικανοτικός συντελεστής $\Omega$

Ο συντελεστής  $\Omega$  ισούται με το ελάχιστο  $\Omega$  για όλες τις δοκούς σύζευξης σε ένα κατακόρυφο σύνδεσμο δυσκαμψίας. Οι συντελεστες  $\Omega$  σε όλους τους ορόφους του κτιρίου είναι οι εξής:

$$\Omega_1 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{546,5} = 6,25$$

$$\Omega_2 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{440,4} = 7,76$$

$$\Omega_3 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{318,5} = 10,7$$

$$\Omega_4 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{276,7} = 12,34$$

$$\Omega_5 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{229} = 14,91$$

$$\Omega_6 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{174,8} = 19,54$$

$$\Omega_7 = 1,5 \frac{M_{p,link}}{M_{Ed}} = 1,5 \frac{2277}{128,1} = 26,67$$

Άρα  $\Omega_{\min} = 6,25$

Οι τιμές  $\Omega_3$  εως  $\Omega_7$  δεν είναι μικρότερες από το  $1,25\Omega_{\min} = 7,81$  και γι αυτό λαμβάνονται ίσες με 7,81.



### Έλεγχος γωνίας στροφής συνδέσμου

Σύμφωνα με το SAP2000 η γωνία στροφής ισούται με 0,000838 rad. Η γωνία στροφής του σεισμικού συνδέσμου  $\theta_p$  ανάμεσα στο σύνδεσμο και στο στοιχείο έξω από το σύνδεσμο δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0,03883 rad. Η τιμή αυτή προκύπτει ύστερα από γραμμική παρεμβολή μεταξύ των τιμών 0,08 rad για συνδέσμους μικρού μήκους και 0,02 rad για συνδέσμους μεγάλου μήκους. Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

### Νευρώσεις

Απαιτούνται ενισχύσεις στον κορμό των δοκών σύζευξης με συνολικό πλάτος όχι μικρότερο από  $b_f - 2t_w = 30 - 2 \cdot 1,7 = 26,6$  cm και πάχος όχι μικρότερο από  $\max(0,75t_w, 10 \text{ mm}) = 12,3$  mm. Επίσης επειδή  $e = 2,50$  m  $< \frac{5M_p}{V_p} = \frac{5 \cdot 2277}{2328} = 4,89$  m πρέπει να τοποθετηθούν νευρώσεις στη δοκό. Η γωνία στροφής είναι μικρή, άρα οι νευρώσεις πρέπει να τοποθετηθούν σε απόσταση  $52t_w - \frac{h}{5} = 52 \cdot 1,7 - \frac{70}{5} = 74,4$  cm. Ακόμη θα πρέπει να τοποθετηθεί ενδιάμεση ενίσχυση κορμού σε απόσταση  $1,5b = 45$  cm από κάθε άκρο δοκού, όπου προβλέπεται να αναπτυχθεί πλαστική άρθρωση.

- Διαγώνιες ράβδοι

Πρόκειται για διατομή HEM 320 της οποίας τα ενατικά μεγέθη παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα. Είναι διατομή κατηγορίας 1.

### Έλεγχος σε καμπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Η αξονική με την οποία θα γίνει ο ικανοτικός έλεγχος είναι:

$$N_{\text{ικανοτ}} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

όπου:

$$N_{Ed,G} = 237,8 \text{ kN (προκύπτει από τον συνδυασμό G+0,3Q)}$$

$$\gamma_{ov} = 1,25$$

$$\Omega = 6,25$$

$$N_{Ed,E} = 518,6 \text{ kN (προκύπτει από τη σεισμική δράση σχεδιασμού)}$$

Πρέπει να ισχύει  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega < 4$ . Εδώ όμως  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega = 8,55 > 4$ . Άρα  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega = 4$ .

$$\text{Άρα } N_{\text{ικανοτ}} = 2312,2 \text{ kN}$$

Επίσης όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα  $V_{Ed} = 27,1$  kN και  $M_{Ed} = 95,6$  kNm.

Η τέμνουσα είναι πολύ μικρή και δεν επηρεάζει την ροπή αντοχής.

Όμως  $N_{Ed} = 2312,2 < 0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 11076 = 2769$  και

$$N_{Ed} = 2312,2 > \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 27,9 \cdot 2,1 \cdot 35,5}{1} = 1040$$

άρα απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής λόγω θλίψης. Το  $N_{pl,Rd}$  υπολογίζεται στη συνέχεια.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,209 \text{ και } \alpha = \frac{(A - 2bt_f)}{A} = \frac{(312 - 2 \cdot 30,9 \cdot 4)}{312} = 0,208$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 1390 \text{ kNm} \text{ και πρέπει } M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{όπου } M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4435 \cdot 35,5}{1} = 1574 \text{ kNm}$$

Ως προς τον άξονα z-z δεν υπάρχει ροπή.

Το διαγώνιο μέλος πρέπει να ικανοποιεί τις εξής σχέσεις:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (1)$$

και

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (2)$$

όπου:

$$N_{Ed} = 2312,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 95,6 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Rk} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{312 \cdot 35,5}{1} = 11076 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = 1390 \text{ kNm}$$

Το μήκος των διαγώνιων ράβδων είναι  $L = 8,41 \text{ m}$ . Θεωρούμε ότι είναι αμφιαρθρωτές οπότε  $L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 8,41 \text{ m}$ .

Το κρίσιμο ελαστικό φορτίο ως προς y και z είναι:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 68100}{841^2} = 19965 \text{ kN}$$

και

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 19700}{841^2} = 5776 \text{ kN}$$

Οι ανηγμένες λυγηρότητες είναι:

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{312 \cdot 35,5}{19965}} = 0,745$$

και

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{312 \cdot 35,5}{5776}} = 1,385$$

Ακόμη είναι  $\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 76,06$ .

Άξονας y-y → καμπύλη b →  $\alpha = 0,34 \rightarrow \Phi_y = 0,87 \rightarrow \chi_y = 0,758$   
 Άξονας z-z → καμπύλη c →  $\alpha = 0,49 \rightarrow \Phi_z = 1,749 \rightarrow \chi_z = 0,355$

όπου

$$\Phi = 0,5 \left[ 1 + a(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \text{ και } \chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[ \left[ \frac{k}{k_w} \right]^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(kL)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{0,5} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

όπου:

$$C_1 = 2,043$$

$$k = 1$$

$$k_w = 1$$

$$I_w = 5004000 \text{ cm}^6$$

$$G = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$C_2 = 0$$

$$z_s = 0$$

$$z_a = 0$$

$$z_g = z_a - z_s = 0$$

$$z_j = 0$$

Άρα  $M_{cr} = 3619 \text{ kNm}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4435 \cdot 35,5}{361900}} = 0,66 > 0,2$$

Έχουμε ελατή διατομή με  $\frac{h}{b} = 1,16 < 2$  με καμπύλη λυγισμού a. Άρα ο συντελεστής ατελειών  $\alpha_{LT} = 0,21$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,766$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,866$$

$$\psi = 0,52$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,81 > 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,932 \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,988$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,854 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,895$$

Άρα  $k_{zy} = 0,895$

$$(1) \Rightarrow 0,349 < 1$$

$$(2) \Rightarrow 0,659 < 1$$

Άρα οι έλεγχοι ικανοποιούνται.

Έλεγχος σε διάτμηση

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{94,85 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 1944 \text{ kN} > 27,1 \text{ kN}$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

- Τμήματα δοκών εκτός δοκών σύζευξης

Πρόκειται για διατομή HEB 700 και είναι διατομή κατηγορίας 1. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δίνονται σε προηγούμενο πίνακα.

Η αξονική με την οποία θα γίνει ο ικανοτικός έλεγχος είναι:

$$N_{ικανοτ} = N_{Ed,G} + 1,1 \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

όπου:

$$N_{Ed,G} = 0 \text{ kN (προκύπτει από τον συνδυασμό G+0,3Q)}$$

$$\gamma_{ov} = 1,25$$

$$\Omega = 6,25$$

$$N_{Ed,E} = 0 \text{ kN (προκύπτει από τη σεισμική δράση σχεδιασμού)}$$

$$\text{Άρα } N_{ικανοτ} = 0 \text{ kN}$$

Επίσης από τον σεισμικό συνδυασμό προκύπτει ότι  $M_{Ed} = 464,8 \text{ kNm}$  και  $V_{Ed} = 197,4 \text{ kN}$ .

Έλεγχος σε διάτμηση

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{137,1 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 2810 \text{ kN} > 197,4 \text{ kN}$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

Επίσης είναι  $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,07 < 0,50$  άρα δεν απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής.

Έλεγχος σε κάμψη

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,Rd} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8327 \cdot 35,5}{1} = 2956 \text{ kNm} > 464,8 \text{ kNm}$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

- Υποστώλωμα

Πρόκειται για σταυροειδή διατομή HEM 900-HEB 500 και είναι διατομή κατηγορίας 1. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της δίνονται σε προηγούμενο πίνακα.

Η αξονική με την οποία θα γίνει ο ικανοτικός έλεγχος είναι:

$$N_{ικανοτ} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot N_{Ed,E}$$

όπου:

$$N_{Ed,G} = 2588,3 \text{ kN (προκύπτει από τον συνδυασμό G+0,3Q)}$$

$$\gamma_{ov} = 1,25$$

$$\Omega = 6,25$$

$$N_{Ed,E} = 730,5 \text{ kN (προκύπτει από τη σεισμική δράση σχεδιασμού)}$$

Πρέπει να ισχύει  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega < 4$ . Εδώ όμως  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega = 8,55 > 4$ . Άρα  $1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega = 4$ .

Άρα  $N_{ικανοτ} = 5510,3 \text{ kN}$ . Επίσης από τον σεισμικό συνδυασμό έχουμε  $M_{Ed,y} = 141,4 \text{ kNm}$ ,  $M_{Ed,z} = 55,9 \text{ kNm}$  και  $V_{Ed,z} = 40,4 \text{ kN}$ .

Έλεγχος σε κεντρική θλίψη

- ως προς τον ισχυρό άξονα y-y

Θεωρούμε ότι λόγω της σύνδεσης των διαγωνίων με τη δοκό στην οροφή του ισογείου, το υποστώλωμα προστατεύεται έναντι λυγισμού στο ύψος της πλάκας και άρα το μήκος λυγισμού του ισούται με το ύψος του ενός ορόφου. Άρα  $L_{cr,y} = 400 \text{ cm}$ .

$$\text{Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο είναι: } N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 583020}{400^2} = 755236 \text{ kN}$$

$$\text{Ανηγγμένη λυγηρότητα: } \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{662,2 \cdot 35,5}{755236}} = 0,176$$

Έχουμε συγκολλητή διατομή με  $t_f \leq 40 \text{ mm}$ , λυγισμό περί τον άξονα y-y και χάλυβα S355, άρα παίρνουμε καμπύλη λυγισμού b  $\longrightarrow \alpha = 0,34$

Από τους επόμενους τύπους υπολογίζουμε τους συντελεστές  $\Phi_y$  και  $\chi_y$ :

$$\Phi_y = 0,5 \left[ 1 + a(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] \text{ και } \chi_y = \frac{1}{\Phi_y + \sqrt{\Phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} \text{ με } \chi_y \leq 1,0$$

$$\Phi_y = 0,511 \text{ και } \chi_y = 1$$

$$\text{Άρα } N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y Af_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1 \cdot 662,2 \cdot 35,5}{1} = 23508,1 \text{ kN} > 5510,3 \text{ kN}$$

- ως προς τον ασθενή άξονα z-z

Θεωρούμε ότι λόγω της σύνδεσης των διαγωνίων με τη δοκό στην οροφή του ισογείου, το υποστώλωμα προστατεύεται έναντι λυγισμού στο ύψος της πλάκας και άρα το μήκος λυγισμού του ισούται με το ύψος του ενός ορόφου. Άρα  $L_{cr,z} = 400 \text{ cm}$ .

Το ελαστικό κρίσιμο φορτίο είναι:  $N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 125650}{400^2} = 162765 \text{ kN}$

Ανηγμένη λυγηρότητα:  $\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{662,2 \cdot 35,5}{162765}} = 0,380$

Έχουμε συγκολλητή διατομή με  $t_f \leq 40 \text{ mm}$ , λυγισμό περί τον άξονα z-z και χάλυβα S355, άρα παίρνουμε καμπύλη λυγισμού c  $\rightarrow \alpha = 0,49$

Από τους επόμενους τύπους υπολογίζουμε τους συντελεστές  $\Phi_z$  και  $\chi_z$ :

$$\Phi_z = 0,5 \left[ 1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] \text{ και } \chi_z = \frac{1}{\Phi_z + \sqrt{\Phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \text{ με } \chi_z \leq 1,0$$

$\Phi_z = 0,616$  και  $\chi_z = 0,91$

$$\text{Άρα } N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z Af_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,91 \cdot 662,2 \cdot 35,5}{1} = 21355 \text{ kN} > 5510,3 \text{ kN}$$

Άρα η αντοχή σε θλίψη είναι  $N_{b,Rd} = \min(N_{b,Rd,y}, N_{b,Rd,z}) = 21355 \text{ kN}$  και ο έλεγχος ικανοποιείται.

#### Έλεγχος μέλους σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό

Το υποστύλωμα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (1)$$

και

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (2)$$

Η κρίσιμη ροπή στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \left[ \frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]^{0,5}$$

όπου:

$$C_1 = 2,6$$

$$I_w = 41768000 \text{ cm}^6$$

$$G = \frac{E}{2(\nu+1)} = \frac{2,1 \cdot 10^4}{2(0,3+1)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά έχουν υπολογιστεί στον πίνακα παραπάνω.

Οι πλαστικές ροπές αντοχής υπολογίζονται πιο κάτω.

$$\text{Άρα } M_{cr} = 2,6 \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 125650}{400^2} \left[ \frac{41768000}{125650} + \frac{400^2 \cdot 8077 \cdot 2209}{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 125650} \right]^{0,5} = 88972 \text{ kNm}$$

Η ανηγμένη λυγηρότητα στρεπτοκαμπτικού λυγισμού είναι:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{15732 \cdot 35,5}{8897200}} = 0,25 > 0,2$$

Για συγκολλητή διατομή και λόγο  $\frac{h}{b} > 2$  παίρνουμε καμπύλη στρεπτοκαμπτικού λυγισμού d. Άρα ο συντελεστής ατελειών είναι  $\alpha_{LT} = 0,76$ .

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,550$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,96 < 1$$

$$N_{Rk} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = 23508 \text{ kN}$$

$$\psi = 0,43$$

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,772$$

$$\psi = 0,15$$

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4\psi = 0,66$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,768 \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,917$$

$$\text{για } \bar{\lambda}_z < 0,4 \quad k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z = 0,98 \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,981$$

$$k_{zz} = C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,685 \leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,881$$

$$k_{yz} = 0,6 k_{zz} = 0,411$$

Αντικαθιστώντας στις σχέσεις (1) και (2) παίρνουμε ότι

$$(1) \Rightarrow 0,303 < 1$$

$$(2) \Rightarrow 0,266 < 1$$

Άρα οι έλεγχοι ικανοποιούνται.

### Έλεγχος σε διαξονική κάμψη

Η πλαστική αντοχή σχεδιασμού της πλήρους διατομής είναι:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{662,2 \cdot 35,5}{1} = 23508 \text{ kN}$$

Δεν απαιτείται να γίνει μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα y-y λόγω επίδρασης της αξονικής δύναμης όταν ικανοποιούνται συγχρόνως τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$N_{Ed} = 5510,3 \text{ kN} \leq 0,25N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 23508 = 5877 \text{ kN}$$

και

$$N_{Ed} = 5510,3 \geq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 235,6 \cdot 35,5}{1} = 4183 \text{ kN}.$$

Άρα απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής ως προς τον άξονα y-y.

Η πλαστική ροπή αντοχής ως προς τον άξονα y-y είναι:

$$M_{pl,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15732 \cdot 35,5}{1} = 5584,9 \text{ kNm}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{5510,3}{23508} = 0,234 \text{ και } a = \frac{545 - 2 \cdot 30 \cdot 2,8 - 2 \cdot 30 \cdot 3,2}{545} = 0,339$$

Άρα η απομειωμένη ροπή αντοχής ως προς τον άξονα y-y είναι:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 5151 \text{ kNm}$$

Δεν απαιτείται να γίνει μείωση της πλαστικής ροπής αντοχής περί τον άξονα z-z λόγω επίδρασης της αξονικής δύναμης όταν:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \Rightarrow 5510,3 \leq \frac{235,6 \cdot 35,5}{1} = 8364 \text{ kN}$$

Άρα δεν απαιτείται απομείωση της ροπής αντοχής ως προς τον άξονα z-z

Η πλαστική ροπή αντοχής ως προς τον άξονα z-z είναι:

$$M_{pl,z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6310 \cdot 35,5}{1} = 2240 \text{ kNm}$$

Άρα η αντοχή σε διαξονική κάμψη είναι:

Επιλέγω συντηρητικά  $\alpha=\beta=1$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} = \frac{74,1}{5151} + \frac{670,2}{2240} = 0,314 < 1$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.



### Έλεγχος σε διάτμηση

- ως προς τον άξονα z

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{vz} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{290 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 5944 \text{ kN} > 35,5 \text{ kN}$$

Ως προς τον άξονα y η τέμνουσα είναι αμελητέα. Ο λόγος  $\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} < 0,5$  οπότε η επίδραση της τέμνουσας στη ροπή αντοχής μπορεί να αμεληθεί.

## 6.5 Σύμμικτη πλάκα

### 6.5.1 Γενικά

Όπως αναφέραμε πιο πάνω οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από μία επιφάνεια χαλυβδόφυλλων, από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα και από έναν ελαφρύ άνω οπλισμό.

Τα χαλυβδόφυλλα κατασκευάζονται από εν ψυχρώ έλαση ταινιών χάλυβα. Τα συνήθη ύψη τους είναι μικρά ( $\leq 60$  mm). Ύψη έως 200 mm χρησιμοποιούνται συνήθως για μεγάλα ανοίγματα. Για την προστασία τους έναντι διάβρωσης προβλέπεται στρώση γαλβανισμού 0,02mm ανά πλευρά. Τα χαλυβδόφυλλα παρέχονται σε καθορισμένα μήκη (συνήθως 4m) και τα πλάτη του κάτω πέλματος από 150 έως 300mm. Ευρείας κυκλοφορίας μορφή χαλυβδόφυλλων είναι η τραπεζοειδής μορφή. Τα φύλλα τοποθετούνται κάθετα στις δοκούς επι των οποίων στηρίζονται, ως αμφιέριστα ή συνεχή στοιχεία. Επίσης τοποθετούνται διατμητικοί ίλοι για την εξασφάλιση της ακραίας αγκύρωσής τους. Τα ελάχιστα πλάτη έδρασής τους διαφέρουν ανάλογα με το υλικό στο οποίο γίνεται η έδραση. Όταν η έδραση γίνεται σε χάλυβα ή σκυρόδεμα η ελάχιστη απόσταση είναι 50 mm για το χαλυβδόφυλλο και 75 mm για το σκυρόδεμα της σύμμικτης πλάκας. Όταν η έδραση γίνεται σε άλλο υλικό το ελάχιστο πλάτος έδρασης είναι 70 mm για το χαλυβδόφυλλο και 100 mm για το σκυρόδεμα της σύμμικτης πλάκας.

Γενικά τα φορτία που παραλαμβάνουν τα χαλυβδόφυλλα είναι το ίδιο βάρος τους, το βάρος του σκυροδέματος, τα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος και οριζόντια φορτία αν πρόκειται να εξασφαλίσουν διαφραγματική λειτουργία κατά τη φάση της κατασκευής.

### 6.5.2 Σύμμικτη πλάκα

Η σύμμικτη πλάκα στατικά λειτουργεί ως δοκός και για αυτό γίνεται έλεγχος κάμψης και τέμνουσας. Επίσης υπολογίζεται η μεταφορά διαμήκους διάτμησης γιατί

πρόκειται για σύμμικτο στοιχείο. Ο Ευρωκώδικας 4 ορίζει τα ελάχιστα πάχη σύμμικτων πλακών τα οποία είναι τα εξής:

- συνολικό ελάχιστο πάχος 80 mm
- ελάχιστο πάχος σκυροδέματος πάνω από το χαλυβδόφυλλο 40 mm
- αν οι αυλακώσεις της πλάκας είναι παράλληλες προς τη διεύθυνση της σιδηροδοκού και η πλάκα συμμετέχει στη λειτουργία της δοκού είναι 90 mm. Αν η πλάκα πρέπει να εξασφαλίζει διαφραγματική λειτουργία είναι 50 mm.

Επίσης τοποθετείται ελάχιστος διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός  $80\text{mm}^2/\text{m}$  ανά κατεύθυνση.

### 6.5.3 Υπολογισμος και αποτελέσματα

Ο υπολογισμός έγινε με το λογισμικό SymDeck Designer. Έχουμε επιλέξει:

- συνολικό πάχος πλάκας σκυροδέματος και χαλυβδόφυλλου 15 cm
- ποιότητα σκυροδέματος C25/30
- ποιότητα χάλυβα οπλισμού S500
- ποιότητα χάλυβα χαλυβδόφυλλου F350G
- συντελεστές ασφάλειας:
  - 1)  $\gamma_G = 1,35$  (μόνιμα φορτία)
  - 2)  $\gamma_Q = 1,50$  (κινητά φορτία)
  - 3)  $\gamma_{M1} = 1,10$  (συντελεστής ασφάλειας χάλυβα χαλυβδόφυλλου)
  - 4)  $\gamma_C = 1,50$  (συντελεστής ασφάλειας σκυροδέματος)
  - 5)  $\gamma_S = 1,15$  (συντελεστής ασφάλειας χάλυβα οπλισμού)
- επικάλυψη οπλισμού 30 mm
- οπλισμός  $\Phi 8$  mm
- απόσταση οπλισμών 20 cm
- πάχος χαλυβδόφυλλου 1 mm
- αριθμός φατνωμάτων 4
- άνοιγμα φατνώματος 3 m
- κινητό φορτίο πλάκας  $2 \text{ kN/m}^2$
- πρόσθετο μόνιμο φορτίο πλάκας  $0,50 \text{ kN/m}^2$

#### Έλεγχος στη φάση κατασκευής

Στη φάση κατασκευής ο σχεδιασμός γίνεται με βάση τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας. Ειδικότερα ελέγχεται η δυνατότητα παραλαβής της ροπής κάμψης που προκαλούν τα δρώντα φορτία από το χαλυβδόφυλλο με το δεδομένο στατικό σύστημα. Η οριακή κατάσταση αντοχής διεξάγεται σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκωδικά 3 που αφορούν στις λεπτότοιχες διατομές ψυχρής διαμόρφωσης (Τμήμα 1.3). Στην περίπτωση όπου για δεδομένο πάχος

χαλυβδόφυλλου ο έλεγχος δεν ικανοποιείται, προβλέπονται ενδιάμεσες στηρίξεις στο χαλυβδόφυλλο. Επίσης θα πρέπει τα βέλη κάμψης που δημιουργούνται να είναι εντός των ορίων που καθορίζονται από τον Ευρωκώδικα 4. Για τον υπολογισμό των δρωσών ροπών, εξάγεται η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης του φορέα κατά τη φάση κατασκευής σύμφωνα με τις φορτίσεις που προδιαγράφονται από τον Ευρωκώδικα 4. Για τον προσδιορισμό της περιβάλλουσας των καμπτικών ροπών του φορέα εφαρμόζονται τα εξής φορτία :

- Ίδιο βάρος χαλυβδόφυλλου  $p$   $G$  (Μόνιμη φόρτιση)
- Ίδιο βάρος νωπού σκυροδέματος (Μόνιμη φόρτιση). Για το ίδιο βάρος του σκυροδέματος, λαμβάνονται υπόψη δύο περιπτώσεις:

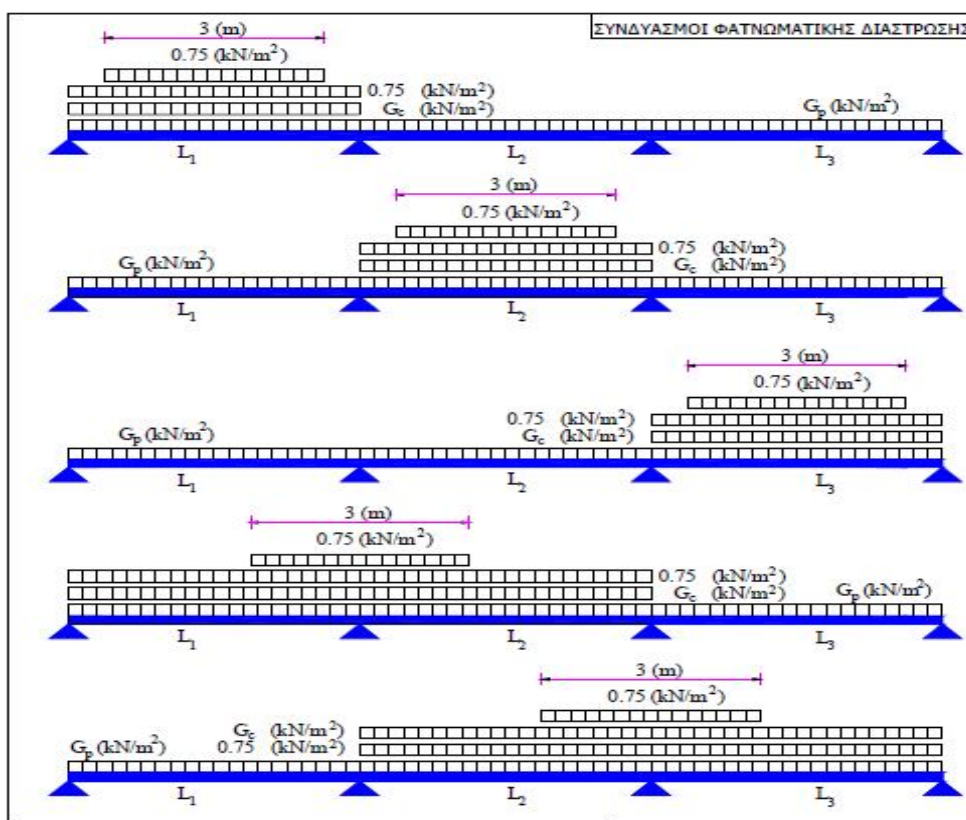
α) Φατνωματική διάστρωση

(σκυροδετείται πρώτα κάποιο φάντωμα με το προβλεπόμενο πάχος και στη συνέχεια σκυροδετείται κάποιο άλλο φάντωμα,

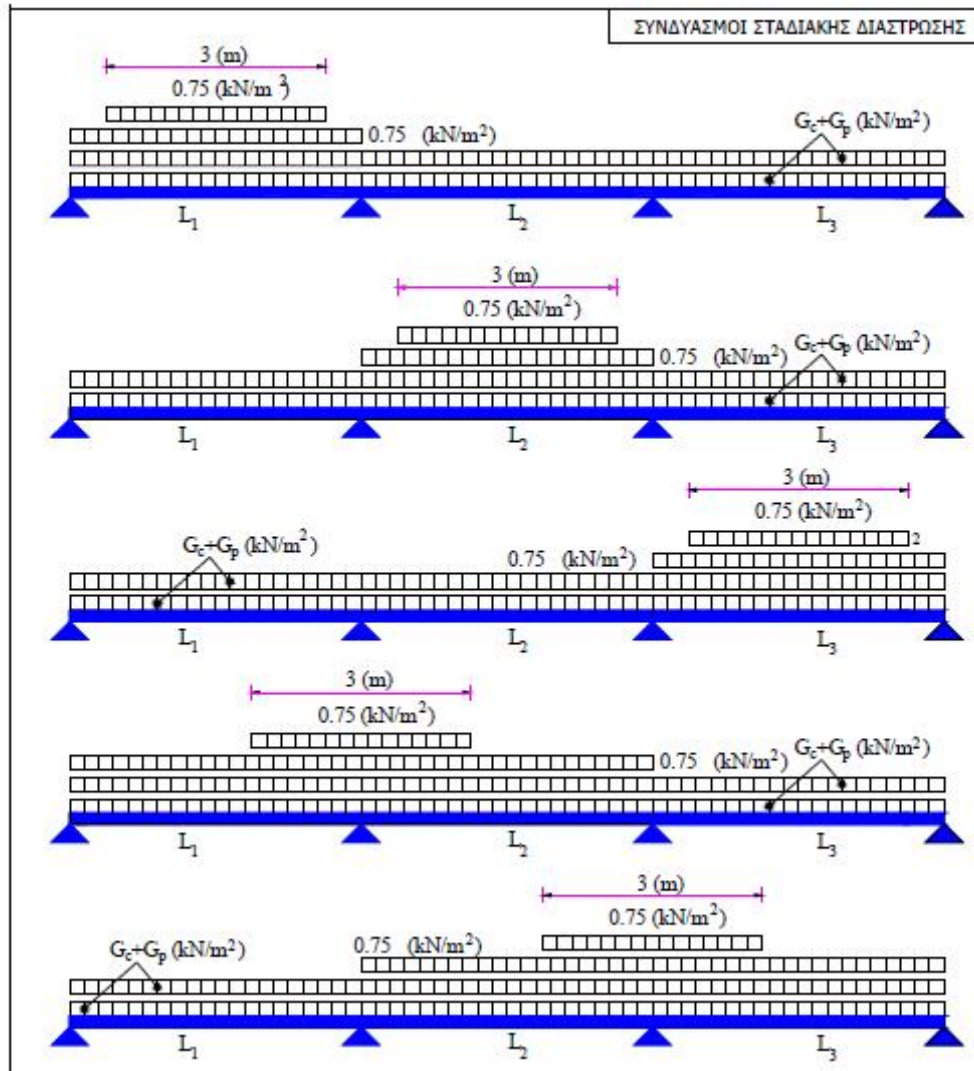
β) Σταδιακή διάστρωση

(η πλάκα διαστρώνεται σε διαδοχικές στρώσεις που καταλαμβάνουν το σύνολο του μήκους της πλάκας,).

Φορτίο διάστρωσης (λαμβάνεται ως ωφέλιμο φορτίο). Ως φορτίο διάστρωσης λαμβάνεται ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο  $1.5 \text{ kN/m}^2$  που δρα σε επιφάνεια  $3\text{m} \times 3\text{m}$  (ή όσο είναι το μήκος του ανοίγματος εάν αυτό είναι μικρότερο) και ένα ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο  $0.75 \text{ kN/m}^2$  που δρα στην περιοχή που απομένει, ανάλογα με το αν υπολογίζεται η μέγιστη αρνητική ή θετική δρώσα ροπή κάμψης.



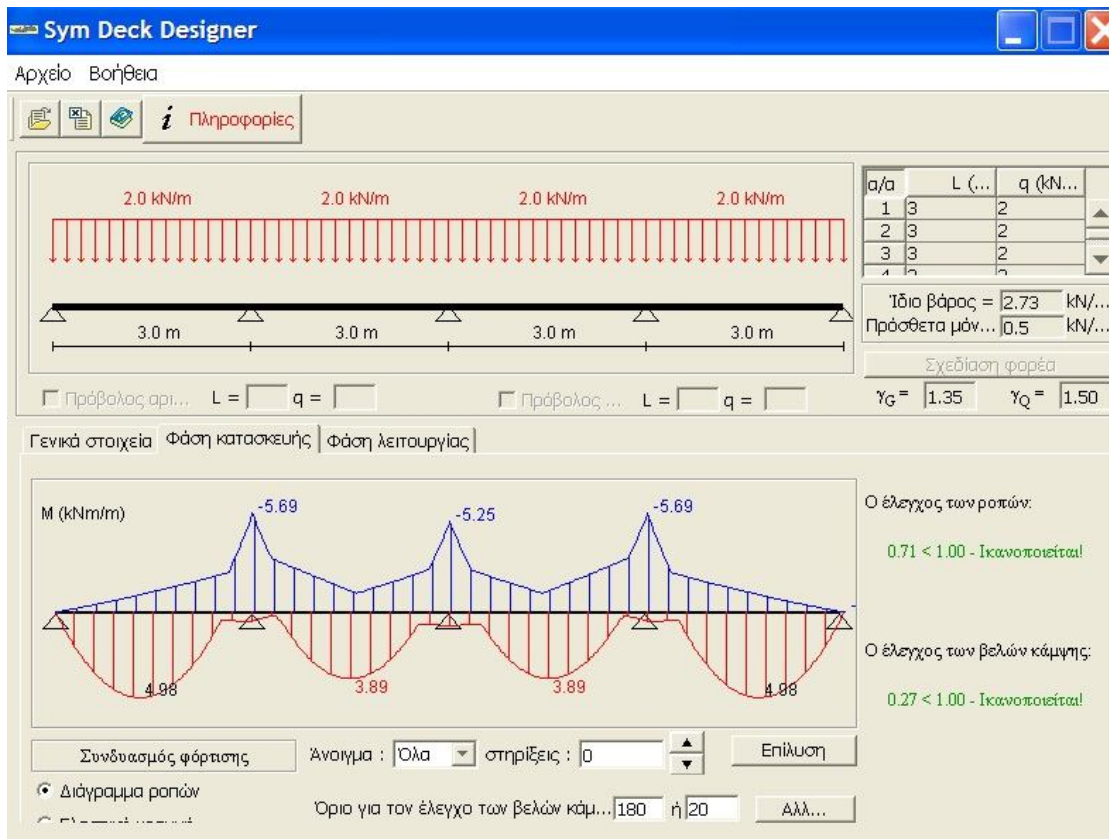
Σχήμα 6.1 Φατνωματική διάστρωση



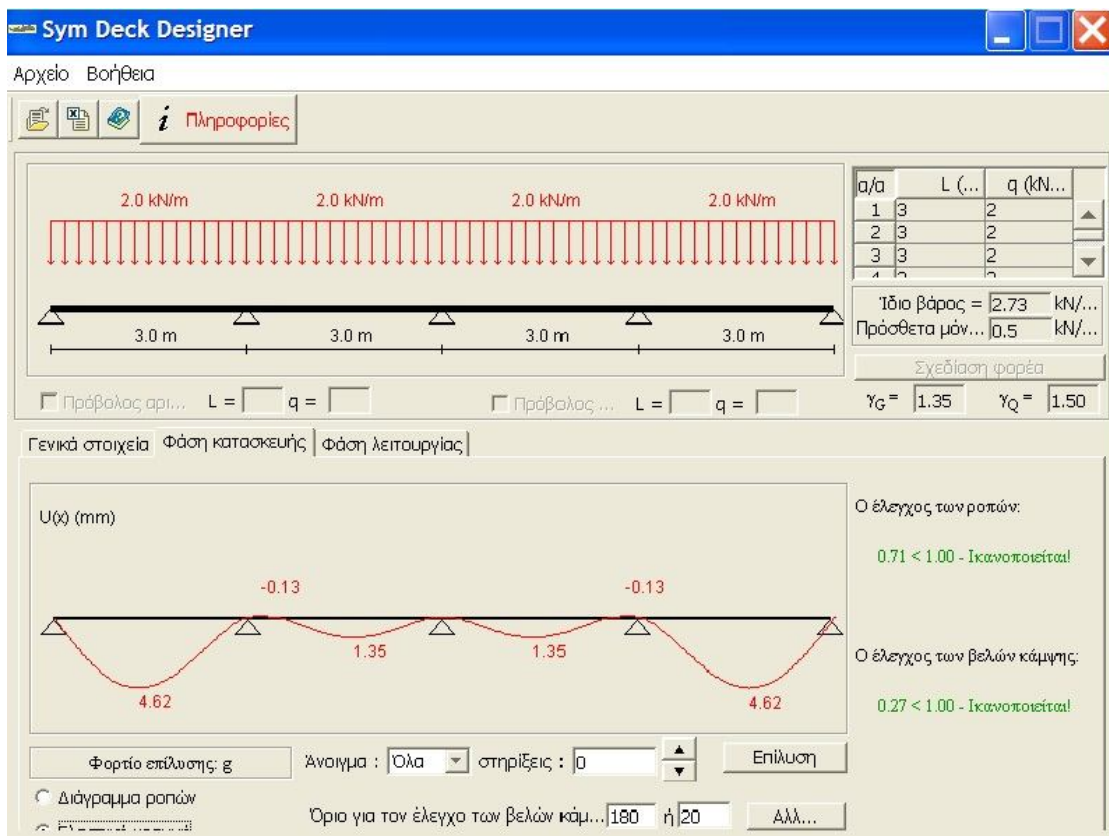
Σχήμα 6.2 Σταδιακή διάστρωση

Για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης αστοχίας, λαμβάνεται υπόψη συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1.35 για τις μόνιμες δράσεις, ενώ για τις μεταβλητές δράσεις (φορτία διάστρωσης) λαμβάνεται υπόψη συντελεστής ασφαλείας ίσος με 1.50. Για την εύρεση της ροπής αντοχής λαμβάνεται υπόψη η ενεργός διατομή του χαλυβδόφυλλου. Για τον έλεγχο της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας, λαμβάνονται συντελεστές ασφαλείας φορτίων ίσοι με 1.00. Για την εξαγωγή της ελαστικής γραμμής λαμβάνεται υπόψη η δυσκαμψία της πλήρους διατομής του χαλυβδόφυλλου.

Στη συνέχεια βλέπουμε τους ελέγχους ροπών κάμψης και βελών κάμψης. Ο έλεγχος της ελαστικής γραμμής είναι το ελάχιστο από τα  $L/180$  και  $20 \text{ mm}$  όπως ορίζει ο κανονισμός.



Σχήμα 6.3 Διάγραμμα ροπών κάμψης χαλυβδόφυλλου



Σχήμα 6.4 Ελαστική γραμμή χαλυβδόφυλλου

### Έλεγχος στη φάση λειτουργίας

Στη φάση λειτουργίας, το στατικό σύστημα του φορέα θεωρείται αυτό που προκύπτει μετά την απομάκρυνση των τυχόν ενδιάμεσων υποστυλώσεων. Τα φορτία που δρουν σ' αυτή τη φάση στη σύμμικτη πλάκα είναι τα ίδιο βάρος  $G$  και το ωφέλιμο κινητό φορτίο  $Q$ . Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών του σύμμικτου φορέα λόγω των παραπάνω δράσεων, θεωρείται η επιβολή του ωφέλιμου φορτίου  $Q$  σ' όλη την επιφάνεια του φορέα. Διενεργούνται οι εξής έλεγχοι:

- Έλεγχος οριακής κατάστασης αστοχίας

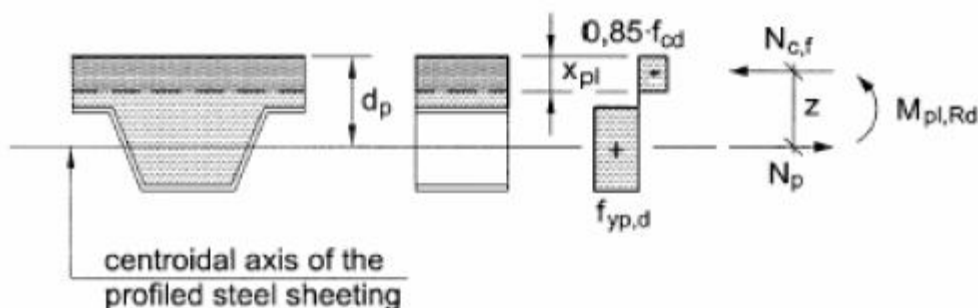
Γίνεται με βάση τη φόρτιση  $1,35G+1,5Q$  από την οποία προκύπτουν τα εντατικά μεγέθη  $E_{sd}$  (αντοχή σε θετικές ροπές  $M_{sd}^+$ , αντοχή σε αρνητικές ροπές  $M_{sd}^-$ , αντοχή σε κατακόρυφη διάτμηση  $V_{sd,v}$ , αντοχή σε διαμήκη διάτμηση  $V_{sd,l}$ ).

- Έλεγχος οριακής κατάστασης λειτουργικότητας

Με βάση την φόρτιση  $G+Q$  υπολογίζεται η ελαστική γραμμή του φορέα.

Οι αντοχές της σύμμικτης διατομής υπολογίστηκαν από τις παρακάτω σχέσεις:

- Ουδέτερος άξονας πάνω από το χαλυβδόφυλλο



Σχήμα 6.5 Ουδέτερος άξονας πάνω από το χαλυβδόφυλλο

$$\text{Θλιπτική δύναμη: } N_{cf} = b \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd} \quad (1)$$

$$\text{Εφελκυστική δύναμη: } N_p = A_p \cdot f_{yp,d} \quad (2)$$

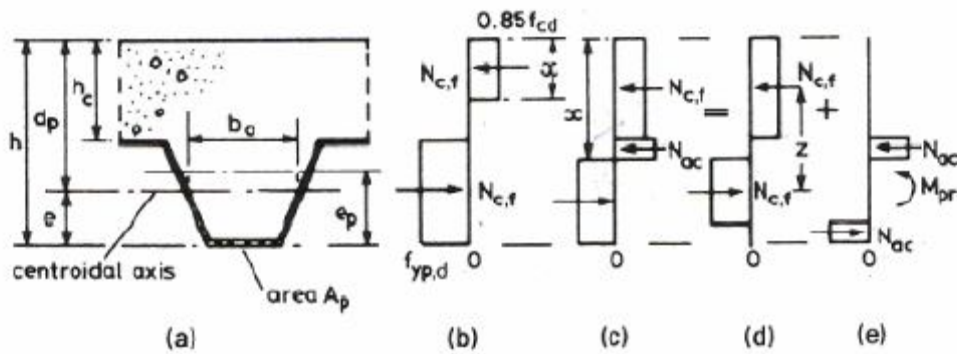
$$\text{Θέση ουδέτερου άξονα από τη συνθήκη: } N_{cf} = N_p \Rightarrow x_{pl} = \frac{A_p f_{yp,d}}{b \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} \leq h_c$$

$$\text{Πλαστική ροπή: } M_{pl,Rd}^+ = N_p \left( d_p - \frac{x_{pl}}{2} \right)$$

Όπου:  $A_p$  = εμβαδό χάλυβα χαλυβδόφυλλων

$d_p$  = θέση κέντρου βάρους χαλυβδόφυλλων

- Ουδέτερος άξονας κάτω από το χαλυβδόφυλλο



Σχήμα 6.6 Ουδέτερος άξονας κάτω από το χαλυβδόφυλλο

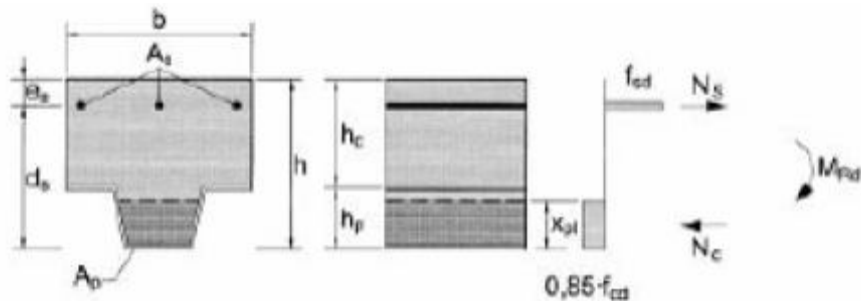
$$z = h - 0,5h_c - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{N_p}$$

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_p}\right) \leq M_{pa}$$

Όπου:  $N_{cf}$ ,  $N_p$  από εξισώσεις (1) και (2) και  $M_{pa}$  η πλαστική ροπή χαλυβδόφυλλου.

Πλαστική ροπή:  $M_{pl,Rd}^+ = N_{cf} \cdot z + M_{pr}$

- Αντοχή έναντι αρνητικών ροπών κάμψης



Σχήμα 6.7 Αρνητική ροπή κάμψης

Εφελκυστική δύναμη:  $N_s = A_s \cdot f_{sd}$

Θλιπτική δύναμη:  $N_c = b_p \cdot x_{pl} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$

Ουδέτερος άξονας:  $x_{pl} = \frac{N_s}{b_p \cdot 0,85 \cdot f_{cd}}$

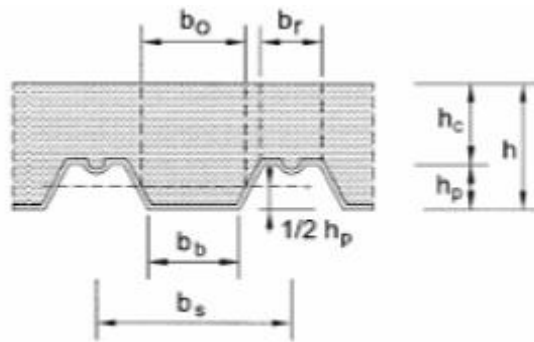
Πλαστική ροπή:  $M_{pl,Rd}^- = N_s \cdot \left(h - e_s - \frac{x_{pl}}{2}\right)$

Όπου:  $A_s$  = εμβαδό σιδηροπλισμού πλάκας

$b_p$  = μέσο πλάτος κυψέλης χαλυβδόφυλλου

$e_s$  = επικάλυψη οπλισμού πλάκας

- Αντοχή έναντι τέμνουσας



Σχήμα 6.8 Αντοχή σε τέμνουσα

Η αντοχή ανα μονάδα πλάτους  $b$  είναι:

$$V_{Rd,c} = b_0 \cdot d_p \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v \cdot (1,2 + 40\rho)$$

Όπου:

$$\tau_{Rd} = 0,25 \frac{f_{ctk0.05}}{\gamma_c}$$

$$\rho_l = \frac{A_p b}{b_0 d_p} \leq 0,02$$

$$k_v = (1,6 - d_p) \geq 1 \text{ όπου } d_p \text{ σε mm}$$

ως εμβαδό  $A_p$  του χαλυβδόφυλλου θεωρείται η ενεργός επιφάνειά του, αμελώντας τα εντυπώματα, η οποία εμπεριέχεται όμως στο πλάτος  $b_0$ .

- Αντοχή έναντι διαμήκους διάτμησης

$$V_{l,Rd} = \frac{b d_p}{\gamma_{Vs}} \left( \frac{m A_p}{b L_s} + k \right)$$

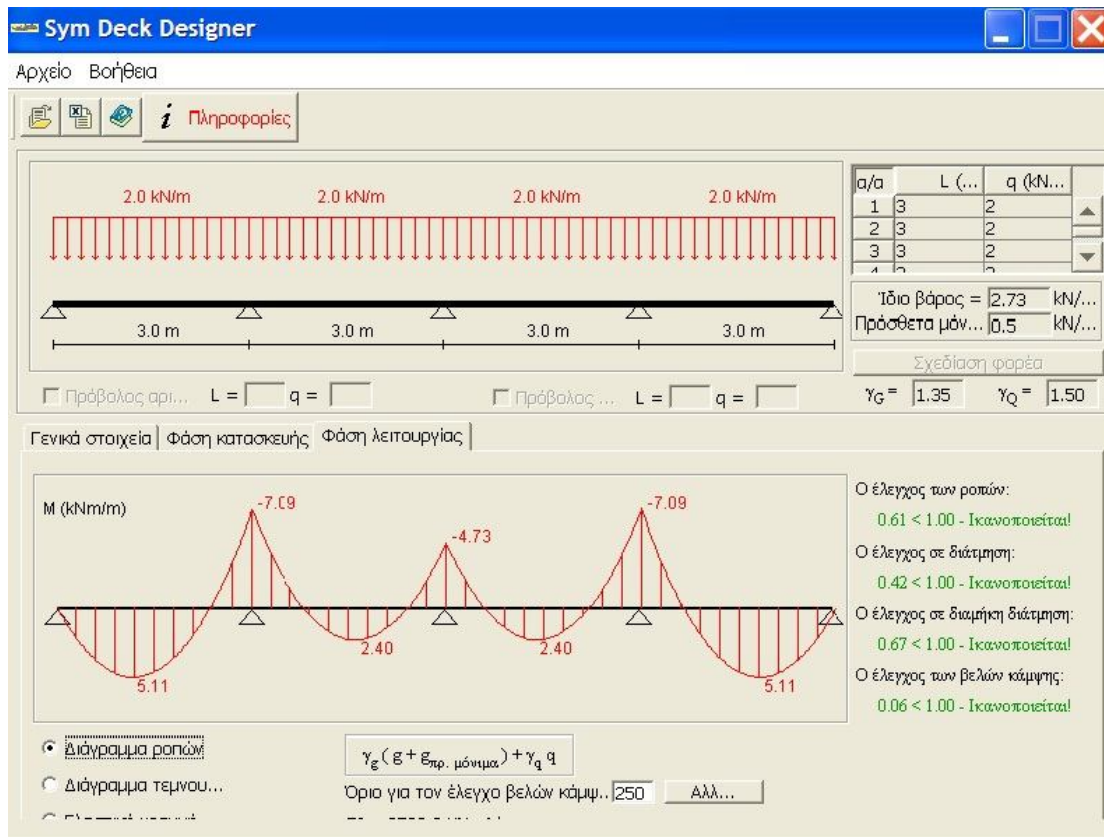
Όπου:

- $b$ , χαρακτηριστικό πλάτος υπολογισμού της σύμμικτης πλάκας σε mm
- $d_p$ , στατικό ύψος της πλάκας σε mm
- $A_p$ , το ονομαστικό εμβαδόν του χαλυβδόφυλλου σε  $\text{mm}^2$
- $L_s$ , διατμητικό άνοιγμα σε mm
- $\gamma_{Vs} = 1,25$
- $m, k$  χαρακτηριστικές τάσεις σε  $\text{N/mm}^2$

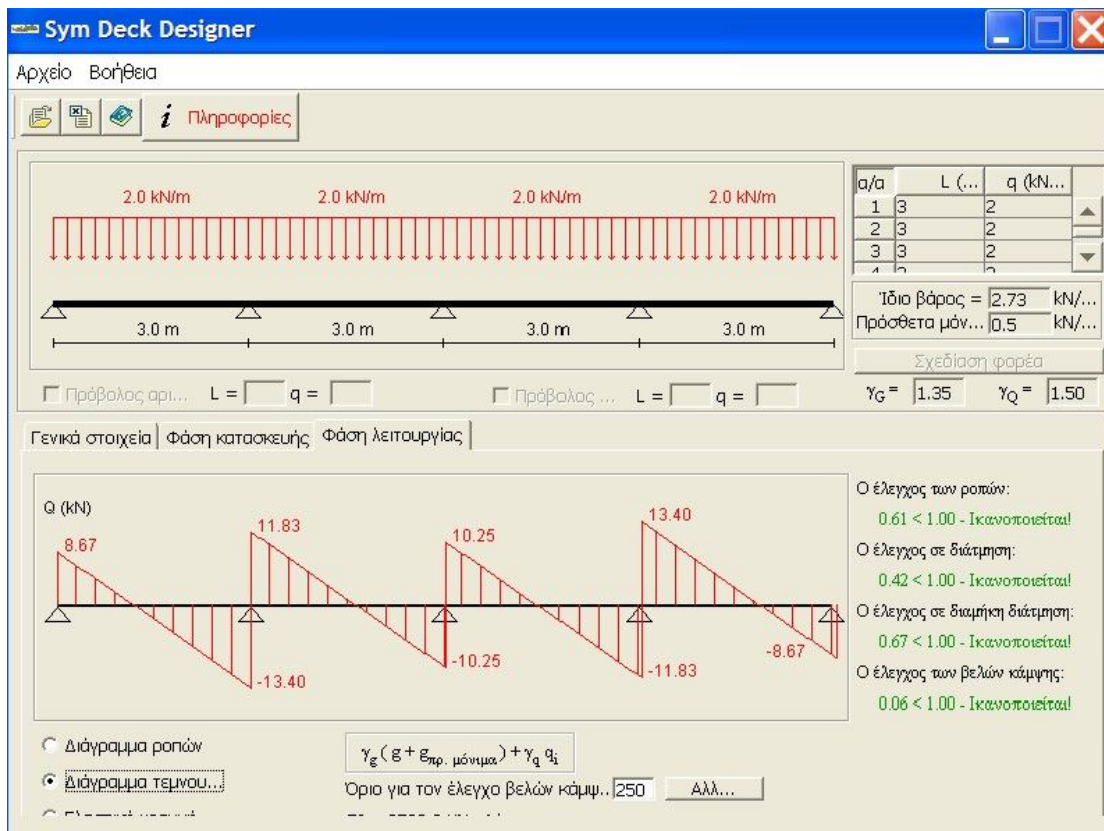
όπου  $m, k$  έχουν υπολογιστεί μετά από σειρά πειραματικών δοκιμών σε σύμμικτες πλάκες.

Στη συνέχεια φαίνονται οι έλεγχοι ροπών κάμψης, ορθής διάτμησης, διαμήκους διάτμησης και βελών κάμψης έτσι όπως υπολογίστηκαν από το Symdeck Designer.

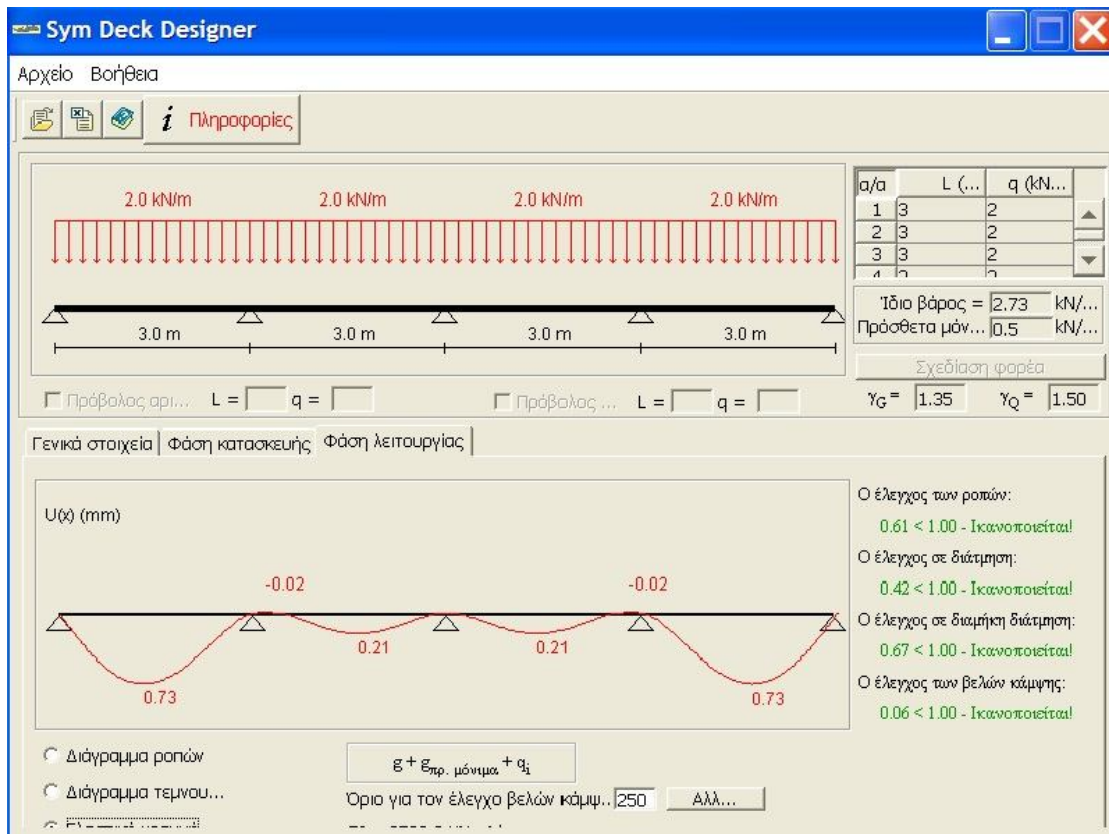




Σχήμα 6.9 Διάγραμμα ροπών κάμψης χαλυβδόφυλλου



Σχήμα 6.10 Διάγραμμα τεμνουσών χαλυβδόφυλλου



Σχήμα 6.11 Ελαστική γραμμή χαλυβδόφυλλου

## 6.6 Ανάλυση και διαστασιολόγηση συνδέσεων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κόμβοι μεταξύ δοκού – υποστυλώματος, δοκού – συνδέσμου δυσκαμψίας οι οποίοι περιλαμβάνουν συνδέσεις ροπής και κύριας – δευτερεύουσας δοκού που είναι συνδέσεις τέμνουσας. Επίσης παρουσιάζεται και μια έδραση υποστυλώματος.



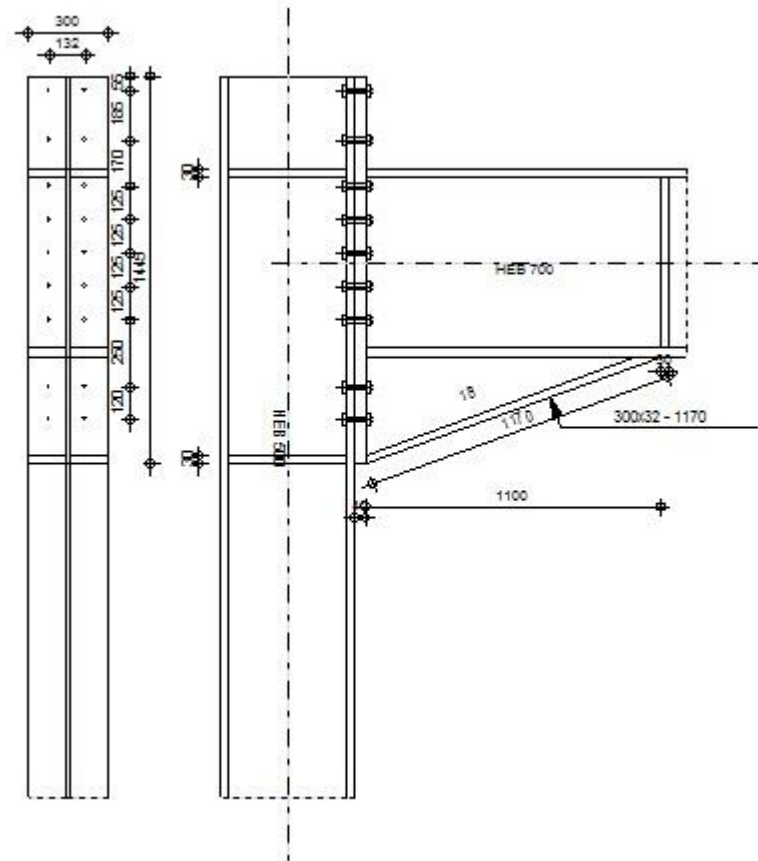
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013-Student Version

## 6.6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΚΤΩΜΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΟΚΟΥ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



ΛΟΓΟΣ  
0,60



## ΓΕΝΙΚΟ

---

ΣΥΝΔΕΣΗ no.: 2  
Όνομα σύνδεσης: Frame knee  
ΚΟΜΒΟΣ ΦΟΡΕΑ 104  
ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ: 39, 208

## ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

---

### ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ

ΔΙΑΤΟΜΗ: ΗΕΒ 500  
ΡΑΒΔΟΣ no.: 39

|            |           |                    |  |
|------------|-----------|--------------------|--|
| $\alpha =$ | -90,0     | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                               |
| $h_c =$    | 500       | [mm]               | ΥΨΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ                |
| $b_{fc} =$ | 300       | [mm]               | ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ              |
| $t_{wc} =$ | 15        | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ                 |
| $t_{fc} =$ | 28        | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ               |
| $r_c =$    | 27        | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ   |
| $A_c =$    | 238,64    | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ       |
| $I_{xc} =$ | 107176,00 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ |

ΥΛΙΚΟ STEEL

|            |        |       |        |
|------------|--------|-------|--------|
| $f_{yc} =$ | 235,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ |
|------------|--------|-------|--------|

### ΔΟΚΟΣ

ΔΙΑΤΟΜΗ: ΗΕΒ 700  
ΡΑΒΔΟΣ no.: 208

|            |     |       |                           |
|------------|-----|-------|---------------------------|
| $\alpha =$ | 0,0 | [Deg] | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ              |
| $h_b =$    | 700 | [mm]  | ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $b_f =$    | 300 | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ     |
| $t_{wb} =$ | 17  | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| $t_{fb} =$ | 32  | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ   |

|            |           |                    |   |
|------------|-----------|--------------------|---|
| $\alpha =$ | 0,0       | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                              |
| $r_b =$    | 27        | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $r_b =$    | 27        | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $A_b =$    | 306,38    | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ                    |
| $I_{xb} =$ | 256888,00 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| ΥΛΙΚΟ      | S355      |                    |   |
| $f_{yb} =$ | 355,00    | [MPa]              | ΑΝΤΟΧΗ                                    |

## ΚΟΧΛΙΕΣ

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

|                                    |                                 |      |  |
|------------------------------------|---------------------------------|------|--|
| $d =$                              | 20                              | [mm] | ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ   |
| ΠΟΙΟΤΗΤΑ =                         | 8.8                             |      | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ  |
| $F_{tRd} =$                        | 141,12                          | [kN] | Εφελκυστική αντοχή κοχλία                                    |
| $n_h =$                            | 2                               |      | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ                                |
| $n_v =$                            | 9                               |      | ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ                                       |
| $h_1 =$                            | 55                              | [mm] | Απόσταση μεταξύ πρώτου κοχλία και άνω άκρου λεπίδας σύνδεσης |
| ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $e_i =$  | 132                             | [mm] |  |
| ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $p_i =$ | 185;170;125;125;125;125;250;120 | [mm] |  |

## ΠΛΑΚΑ

|            |        |       |                |
|------------|--------|-------|----------------|
| $h_p =$    | 1445   | [mm]  | ΥΨΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ   |
| $b_p =$    | 300    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ |
| $t_p =$    | 40     | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ  |
| ΥΛΙΚΟ      | S355   |       |                |
| $f_{yp} =$ | 355,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ         |

## ΚΑΤΩ ΕΝΙΣΧΥΣΗ

|            |      |      |                |
|------------|------|------|----------------|
| $w_d =$    | 300  | [mm] | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ |
| $t_{fd} =$ | 32   | [mm] | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ |
| $h_d =$    | 400  | [mm] | ΥΨΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ   |
| $t_{wd} =$ | 18   | [mm] | ΠΑΧΟΣ ΚΟΡΜΟΥ   |
| $l_d =$    | 1100 | [mm] | ΜΗΚΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ  |

|             |        |       |                |
|-------------|--------|-------|----------------|
| $w_d =$     | 300    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ |
| $\alpha =$  | 20,0   | [Deg] | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ   |
| ΥΛΙΚΟ S355  |        |       |                |
| $f_{ybu} =$ | 235,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ         |

### **ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ**

#### **ΑΝΩ**

|             |        |       |                 |
|-------------|--------|-------|-----------------|
| $h_{su} =$  | 444    | [mm]  | ΥΨΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ  |
| $b_{su} =$  | 143    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΝΕΥΡΩΣΗΣ |
| $t_{hu} =$  | 30     | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ |
| ΥΛΙΚΟ S355  |        |       |                 |
| $f_{ysu} =$ | 355,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ          |

#### **ΚΑΤΩ**

|             |        |       |                 |
|-------------|--------|-------|-----------------|
| $h_{sd} =$  | 444    | [mm]  | ΥΨΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ  |
| $b_{sd} =$  | 143    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΝΕΥΡΩΣΗΣ |
| $t_{hd} =$  | 30     | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ |
| ΥΛΙΚΟ S355  |        |       |                 |
| $f_{ysu} =$ | 355,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ          |

### **ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΕΞΩΡΑΦΗΣ**

|            |    |      |                      |
|------------|----|------|----------------------|
| $a_w =$    | 12 | [mm] | ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΟΡΜΟΥ    |
| $a_f =$    | 23 | [mm] | ΚΟΛΛΗΣΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ     |
| $a_s =$    | 12 | [mm] | ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ |
| $a_{fd} =$ | 5  | [mm] | ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ |

### **ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ**

|                 |      |                               |       |
|-----------------|------|-------------------------------|-------|
| $\gamma_{M0} =$ | 1,00 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M1} =$ | 1,00 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M2} =$ | 1,25 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M3} =$ | 1,25 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |

## ΦΟΡΤΙΑ

### ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: 21: seismos (3+4)\*0.30+(20+1+2)\*1.00

|               |          |        |  |
|---------------|----------|--------|--|
| $M_{b1,Ed}$ = | 561,41   | [kN*m] | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ                      |
| $V_{b1,Ed}$ = | 187,26   | [kN]   | ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ                 |
| $N_{b1,Ed}$ = | 102,26   | [kN]   | ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ                   |
| $M_{c1,Ed}$ = | 18,56    | [kN*m] | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ                 |
| $V_{c1,Ed}$ = | 59,21    | [kN]   | ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ            |
| $N_{c1,Ed}$ = | -2339,74 | [kN]   | ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ              |
| $M_{c2,Ed}$ = | 217,42   | [kN*m] | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ      |
| $V_{c2,Ed}$ = | 93,54    | [kN]   | ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ |
| $N_{c2,Ed}$ = | -2061,76 | [kN]   | ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΑΝΩΤΑΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ   |

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ

#### ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

|  |          |                    |   |                    |
|--|----------|--------------------|---|--------------------|
| $A_b$ =                                | 306,38   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ                                 | EN1993-1-1:[6.2.3] |
| $N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$ |          |                    |   |                    |
| $N_{tb,Rd}$ =                          | 10876,42 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ | EN1993-1-1:[6.2.3] |

#### ΔΙΑΤΜΗΣΗ

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $A_{vb}$ =   | 209,10  | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ                      | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$ |         |                    |  |                        |
| $V_{cb,Rd}$ =  | 4285,66 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ | EN1993-1-1:[6.2.6.(2)] |
| $V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$                       |         |                    | 0,04 < 1,00                            | ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,04)   |

#### ΚΑΜΨΗ - ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ(ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ)

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $W_{plb}$ =                                  | 8327,45 | [cm <sup>3</sup> ] | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus                             | EN1993-1-1:[6.2.5.(2)] |
| $M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$ |         |                    |  |                        |
| $M_{b,pl,Rd}$ =                              | 2956,24 | [kN*m]             | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ) | EN1993-1-1:[6.2.5.(2)] |

#### ΚΑΜΨΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΑ Η'ΣΕ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΜΕΛΟΣ

|  |          |                    |  |                        |
|--|----------|--------------------|--|------------------------|
| $W_{pl} =$   | 13468,07 | [cm <sup>3</sup> ] | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus                               | EN1993-1-1:[6.2.5]     |
| $M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$  |          |                    |  |                        |
| $M_{cb,Rd} =$  | 4781,17  | [kN*m]             | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ                    | EN1993-1-1:[6.2.5]     |
| <b>ΠΕΛΜΑ-ΚΟΡΜΟΣ ΘΛΙΨΗ</b>  |          |                    |  |                        |
| $M_{cb,Rd} =$  | 4781,17  | [kN*m]             | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ                    | EN1993-1-1:[6.2.5]     |
| $h_f =$  | 1067     | [mm]               | ΚΕΝΤΡΟΒΑΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΛΜΑΤΩΝ              | [6.2.6.7.(1)]          |
| $F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$  |          |                    |  |                        |
| $F_{c,fb,Rd} =$  | 4481,05  | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ                  | [6.2.6.7.(1)]          |
| <b>ΚΟΡΜΟΣ Η ΕΛΑΣΜΑ ΠΕΛΜΑΤΟΣ - ΘΛΙΨΗ - ΣΤΑΘΜΗ ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ</b>  |          |                    |  |                        |
| <b>ΦΕΡΩΝ:</b>  |          |                    |  |                        |
| $\beta =$  | 0,0      | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΜΠΡΟΣΤΙΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΚΑΙ ΔΟΚΑΡΙΟΥ            |                        |
| $\gamma =$   | 20,0     | [Deg]              | ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ                 |                        |
| $b_{eff,c,wb} =$   | 454      | [mm]               | ΕΝΕΡΓΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΓΙΑ ΘΛΙΨΗ                     | [6.2.6.2.(1)]          |
| $A_{vb} =$   | 137,10   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ                                      | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $\omega =$   | 0,84     |                    | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ    | [6.2.6.2.(1)]          |
| $\sigma_{com,Ed} =$  | 60,26    | [MPa]              | ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΟ ΚΟΡΜΟ                       | [6.2.6.2.(2)]          |
| $k_{wc} =$   | 1,00     |                    | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ | [6.2.6.2.(2)]          |
| $A_s =$  | 84,90    | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΡΜΟΥ                                | EN1993-1-1:[6.2.4]     |
| $F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} + A_s f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$           |          |                    |  |                        |
| $F_{c,wb,Rd1} =$   | 11824,49 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                                 | [6.2.6.2.(1)]          |
| <b>ΛΥΓΙΣΜΟΣ:</b>   |          |                    |  |                        |
| $d_{wb} =$   | 582      | [mm]               | ΥΨΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ                                  | [6.2.6.2.(1)]          |
| $\lambda_p =$  | 1,16     |                    | ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕΛΟΥΣ                               | [6.2.6.2.(1)]          |
| $\rho =$   | 0,71     |                    | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΛΥΓΙΣΜΟ ΜΕΛΟΥΣ               | [6.2.6.2.(1)]          |
| $\lambda_s =$  | 6,53     |                    | ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ                         | EN1993-1-1:[6.3.1.2]   |
| $\chi =$   | 1,00     |                    | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ                     | EN1993-1-1:[6.3.1.2]   |
| $F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1} + A_s \chi f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$ |          |                    |  |                        |
| $F_{c,wb,Rd2} =$   | 10013,61 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                                 | [6.2.6.2.(1)]          |
| <b>ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΣΤΡΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ</b>   |          |                    |  |                        |
| $F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \gamma_{M0})$  |          |                    |  |                        |
| $F_{c,wb,Rd3} =$   | 4260,00  | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΑΓΚΥΣΤΡΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ                              | [6.2.6.7.(1)]          |
| <b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:</b>  |          |                    |  |                        |
| $F_{c,wb,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wb,Rd1} , F_{c,wb,Rd2} , F_{c,wb,Rd3})$  |          |                    |  |                        |



$F_{c,wb,Rd,low} = 4260,00$  [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ [6.2.6.2.(1)]

## **ΑΝΤΟΧΕΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ**

### **ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ**

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $M_{b1,Ed} =$  | 561,41  | [kN*m]             | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ (ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ)                                    | [5.3.(3)]              |
| $M_{b2,Ed} =$  | 0,00    | [kN*m]             | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ (ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΔΟΚΑΡΙ)                                | [5.3.(3)]              |
| $V_{c1,Ed} =$  | 59,21   | [kN]               | ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΒΑΣΗΣ)                         | [5.3.(3)]              |
| $V_{c2,Ed} =$  | 93,54   | [kN]               | ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (ΑΝΩΤΕΡΟ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ )                      | [5.3.(3)]              |
| $z =$  | 1280    | [mm]               | ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ   | [6.2.5]                |
| $V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$  |         |                    |  |                        |
| $V_{wp,Ed} =$  | 455,61  | [kN]               | ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΠΟΥ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ ΣΕ ΚΟΡΜΟ                    | [5.3.(3)]              |
| $A_{vs} =$   | 89,82   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ                   | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $A_{vc} =$   | 89,82   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ  | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $d_s =$  | 725     | [mm]               | ΚΕΝΤΡΟΒΑΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ                      | [6.2.6.1.(4)]          |
| $M_{pl,fc,Rd} =$   | 13,82   | [kN*m]             | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ          | [6.2.6.1.(4)]          |
| $M_{pl,stu,Rd} =$  | 23,96   | [kN*m]             | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΥΨΗΛΟΤΕΡΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ  | [6.2.6.1.(4)]          |
| $M_{pl,sti,Rd} =$  | 23,96   | [kN*m]             | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ | [6.2.6.1.(4)]          |
| $V_{wp,Rd} = 0.9 ( A_{vs} * f_{y,wc} ) / ( \sqrt{3} \gamma_{M0} ) + \text{Min}( 4 M_{pl,fc,Rd} / d_s , ( 2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sti,Rd} ) / d_s )$ |         |                    |  |                        |
| $V_{wp,Rd} =$  | 1173,00 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ                      | [6.2.6.1]              |
| $V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1,0$   |         |                    | 0,39 < 1,00  | ΕΠΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,39)     |

### **ΚΟΡΜΟΣ- ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΘΛΙΨΗ - ΣΤΑΘΜΗ ΑΝΩ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ**

#### **ΦΕΡΩΝ:**

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $t_{wc} =$   | 15      | [mm]               | ΕΝΕΡΓΟ ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ                  | [6.2.6.2.(6)]          |
| $b_{eff,c,wc} =$   | 454     | [mm]               | ΕΝΕΡΓΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΓΙΑ ΘΛΙΨΗ                     | [6.2.6.2.(1)]          |
| $A_{vc} =$   | 89,82   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ                                      | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $\omega =$   | 0,77    |                    | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ    | [6.2.6.2.(1)]          |
| $\sigma_{com,Ed} =$  | 125,95  | [MPa]              | ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΤΑΣΗ ΣΤΟ ΚΟΡΜΟ                       | [6.2.6.2.(2)]          |
| $k_{wc} =$   | 1,00    |                    | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΟΣ ΑΠΟ ΘΛΙΠΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ | [6.2.6.2.(2)]          |
| $A_s =$  | 85,65   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΟΡΜΟΥ                                | EN1993-1-1:[6.2.4]     |
| $F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$ |         |                    |  |                        |
| $F_{c,wc,Rd1} =$   | 4227,81 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ                            | [6.2.6.2.(1)]          |
| <b>ΛΥΓΙΣΜΟΣ:</b>   |         |                    |  |                        |
| $d_{wc} =$   | 390     | [mm]               | ΥΨΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ                                  | [6.2.6.2.(1)]          |

|  |         |      |  |                      |
|--|---------|------|--|----------------------|
| $d_{wc} =$   | 390     | [mm] | ΥΨΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ                    | [6.2.6.2.(1)]        |
| $\lambda_p =$  | 0,90    |      | ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΠΛΑΚΑΣ ΜΕΛΟΥΣ                 | [6.2.6.2.(1)]        |
| $\rho =$   | 0,86    |      | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΛΥΓΙΣΜΟ ΜΕΛΟΥΣ | [6.2.6.2.(1)]        |
| $\lambda_s =$  | 4,39    |      | ΛΥΓΗΡΟΤΗΤΑ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ           | EN1993-1-1:[6.3.1.2] |
| $\chi_s =$   | 1,00    |      | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΛΥΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ       | EN1993-1-1:[6.3.1.2] |
| $F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$ |         |      |  |                      |
| $F_{c,wc,Rd2} =$   | 4062,64 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ              | [6.2.6.2.(1)]        |
| <b>ΤΕΛΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ:</b>  |         |      |  |                      |
| $F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min} (F_{c,wc,Rd1} , F_{c,wc,Rd2})$   |         |      |  |                      |
| $F_{c,wc,Rd} =$  | 4062,64 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ              | [6.2.6.2.(1)]        |

## **ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ**

### **ΕΝΕΡΓΑ ΜΗΚΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ-ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΠΕΛΜΑΤΟΣ**

| Nr | m  | $m_x$ | e  | $e_x$ | p   | $l_{eff,cp}$ | $l_{eff,nc}$ | $l_{eff,1}$ | $l_{eff,2}$ | $l_{eff,cp,g}$ | $l_{eff,nc,g}$ | $l_{eff,1,g}$ | $l_{eff,2,g}$ |
|----|----|-------|----|-------|-----|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 1  | 37 | -     | 84 | -     | 185 | 227          | 182          | 182         | 182         | 295            | 148            | 148           | 148           |
| 2  | 37 | -     | 84 | -     | 170 | 233          | 254          | 233         | 254         | 287            | 212            | 212           | 212           |
| 3  | 37 | -     | 84 | -     | 125 | 233          | 383          | 233         | 383         | 242            | 318            | 242           | 318           |
| 4  | 37 | -     | 84 | -     | 125 | 233          | 254          | 233         | 254         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 5  | 37 | -     | 84 | -     | 125 | 233          | 254          | 233         | 254         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 6  | 37 | -     | 84 | -     | 125 | 233          | 254          | 233         | 254         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 7  | 37 | -     | 84 | -     | 188 | 233          | 254          | 233         | 254         | 375            | 188            | 188           | 188           |
| 8  | 37 | -     | 84 | -     | 185 | 233          | 254          | 233         | 254         | 370            | 185            | 185           | 185           |
| 9  | 37 | -     | 84 | -     | 120 | 233          | 253          | 233         | 253         | 237            | 186            | 186           | 186           |

### **ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΑ ΜΗΚΗ-ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΕΛΑΣΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ**

| Nr | m  | $m_x$ | e  | $e_x$ | p   | $l_{eff,cp}$ | $l_{eff,nc}$ | $l_{eff,1}$ | $l_{eff,2}$ | $l_{eff,cp,g}$ | $l_{eff,nc,g}$ | $l_{eff,1,g}$ | $l_{eff,2,g}$ |
|----|----|-------|----|-------|-----|--------------|--------------|-------------|-------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
| 1  | 44 | 264   | 84 | 55    | 185 | 961          | 150          | 150         | 150         | -              | -              | -             | -             |
| 2  | 44 | 264   | 84 | 55    | 185 | 961          | 150          | 150         | 150         | -              | -              | -             | -             |
| 3  | 44 | -     | 84 | -     | 125 | 276          | 452          | 276         | 452         | 263            | 375            | 263           | 375           |
| 4  | 44 | -     | 84 | -     | 125 | 276          | 281          | 276         | 281         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 5  | 44 | -     | 84 | -     | 125 | 276          | 281          | 276         | 281         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 6  | 44 | -     | 84 | -     | 125 | 276          | 281          | 276         | 281         | 250            | 125            | 125           | 125           |
| 7  | 44 | -     | 84 | -     | 188 | 276          | 281          | 276         | 281         | 375            | 188            | 188           | 188           |

| Nr | m  | m <sub>x</sub> | e  | e <sub>x</sub> | ρ   | l <sub>eff,cp</sub> | l <sub>eff,nc</sub> | l <sub>eff,1</sub> | l <sub>eff,2</sub> | l <sub>eff,cp,g</sub> | l <sub>eff,nc,g</sub> | l <sub>eff,1,g</sub> | l <sub>eff,2,g</sub> |
|----|----|----------------|----|----------------|-----|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 8  | 44 | -              | 84 | -              | 185 | 276                 | 281                 | 276                | 281                | 370                   | 185                   | 185                  | 185                  |
| 9  | 44 | -              | 84 | -              | 120 | 276                 | 281                 | 276                | 281                | 258                   | 200                   | 200                  | 200                  |

- m – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΡΜΟ  
m<sub>x</sub> – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ  
e – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΡΑΙΑ ΑΚΜΗ  
e<sub>x</sub> – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΞΩ ΑΚΜΗ  
ρ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΧΛΙΩΝ  
l<sub>eff,cp</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ  
l<sub>eff,nc</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ  
l<sub>eff,1</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 1  
l<sub>eff,2</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2  
l<sub>eff,cp,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ  
l<sub>eff,nc,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ  
l<sub>eff,1,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ mode 1  
l<sub>eff,2,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ mode 2

### **ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ**

|  |   |      |                                     |               |
|--|---|------|-------------------------------------|---------------|
| F <sub>t,Rd</sub> =                          | 141,12  | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ         | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| B <sub>p,Rd</sub> =                          | 456,01  | [kN] | Διατρητική διατμητική αντοχή κοχλία | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| N <sub>j,Rd</sub> =                          | Min (N <sub>tb,Rd</sub> , n <sub>v</sub> n <sub>h</sub> F <sub>t,Rd</sub> , n <sub>v</sub> n <sub>h</sub> B <sub>p,Rd</sub> ) |      |                                     |               |
| N <sub>j,Rd</sub> =                          | 2540,16   | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ        | [6.2]         |
| N <sub>b1,Ed</sub> / N <sub>j,Rd</sub> ≤ 1,0 | 0,04 < 1,00   |      | ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ                        | (0,04)        |

### **ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ**

|                        |   |      |                                     |                      |
|------------------------|---|------|-------------------------------------|----------------------|
| F <sub>t,Rd</sub> =    | 141,12  | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ         | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]        |
| B <sub>p,Rd</sub> =    | 456,01  | [kN] | Διατρητική διατμητική αντοχή κοχλία | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]        |
| F <sub>t,fc,Rd</sub>   | – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ  |      |                                     |                      |
| F <sub>t,wc,Rd</sub>   | – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ  |      |                                     |                      |
| F <sub>t,ep,Rd</sub>   | – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕΤΩΠΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ  |      |                                     |                      |
| F <sub>t,wb,Rd</sub>   | – ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ  |      |                                     |                      |
| F <sub>t,fc,Rd</sub> = | Min (F <sub>T,1,fc,Rd</sub> , F <sub>T,2,fc,Rd</sub> , F <sub>T,3,fc,Rd</sub> ) |      |                                     | [6.2.6.4], [Tab.6.2] |

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$$

[6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

[6.2.6.3.(1)]

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$$

[6.2.6.5] , [Tab.6.2]

$$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

[6.2.6.8.(1)]

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 1

| <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>               | <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                         |
|---|-------------------------------|--|
| F <sub>t1,Rd</sub> = Min (F <sub>t1,Rd,comp</sub> ) | 182,22                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                    |
| F <sub>t,fc,Rd(1)</sub> = 282,24                    | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                 |
| F <sub>t,wc,Rd(1)</sub> = 587,46                    | 587,46                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ |
| F <sub>t,ep,Rd(1)</sub> = 182,22                    | 182,22                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                     |
| B <sub>p,Rd</sub> = 912,02                          | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση  |
| V <sub>wp,Rd/β</sub> = 1173,00                      | 1173,00                       | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                        |
| F <sub>c,wc,Rd</sub> = 4062,64                      | 4062,64                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                  |
| F <sub>c,fb,Rd</sub> = 4481,05                      | 4481,05                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                   |
| F <sub>c,wb,Rd</sub> = 4260,00                      | 4260,00                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 2

| <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>   | <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|---|-------------------------------|--|
| F <sub>t2,Rd</sub> = Min (F <sub>t2,Rd,comp</sub> )   | 182,22                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                      |
| F <sub>t,fc,Rd(2)</sub> = 282,24  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                   |
| F <sub>t,wc,Rd(2)</sub> = 730,78  | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ   |
| F <sub>t,ep,Rd(2)</sub> = 182,22  | 182,22                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                       |
| B <sub>p,Rd</sub> = 912,02  | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση    |
| V <sub>wp,Rd/β</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 1173,00 - 182,22      | 990,78                        | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                          |
| F <sub>c,wc,Rd</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 4062,64 - 182,22      | 3880,42                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                    |
| F <sub>c,fb,Rd</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 4481,05 - 182,22      | 4298,83                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                     |
| F <sub>c,wb,Rd</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 4260,00 - 182,22      | 4077,78                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                    |
| F <sub>t,fc,Rd(2+1)</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 564,48 - 182,22  | 382,26                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| F <sub>t,wc,Rd(2+1)</sub> - Σ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 1022,13 - 182,22 | 839,91                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 3

| <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>               | <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>      |
|---|-------------------------------|-----------------------|
| F <sub>t3,Rd</sub> = Min (F <sub>t3,Rd,comp</sub> ) | 282,24                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ |

| <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                     | <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                         |
|---|-------------------------------|--|
| $F_{t,fc,Rd(3)} = 282,24$                                 | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                 |
| $F_{t,wc,Rd(3)} = 730,78$                                 | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ |
| $F_{t,ep,Rd(3)} = 282,24$                                 | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                     |
| $F_{t,wb,Rd(3)} = 1665,54$                                | 1665,54                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ               |
| $B_{p,Rd} = 912,02$                                       | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση  |
| $V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ii,Rd} = 1173,00 - 364,43$ | 808,57                        | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                        |
| $F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 4062,64 - 364,43$     | 3698,21                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                  |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 4481,05 - 364,43$     | 4116,61                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                   |
| $F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{ij,Rd} = 4260,00 - 364,43$     | 3895,57                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |

#### **ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 4**

| <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                      | <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|--|-------------------------------|--|
| $F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$                  | 282,24                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                      |
| $F_{t,fc,Rd(4)} = 282,24$                                  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                   |
| $F_{t,wc,Rd(4)} = 730,78$                                  | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ   |
| $F_{t,ep,Rd(4)} = 282,24$                                  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                       |
| $F_{t,wb,Rd(4)} = 1665,54$                                 | 1665,54                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ                 |
| $B_{p,Rd} = 912,02$  | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση    |
| $V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ii,Rd} = 1173,00 - 646,67$  | 526,33                        | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                          |
| $F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 4062,64 - 646,67$      | 3415,97                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 4481,05 - 646,67$      | 3834,37                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                     |
| $F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 4260,00 - 646,67$      | 3613,33                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1170,26 - 282,24$ | 888,02                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1170,26 - 282,24$ | 888,02                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1170,26 - 282,24$ | 888,02                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 3014,84 - 282,24$ | 2732,60                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |

| <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                      | <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                  |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| $F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 3014,84 - 282,24$ | 2732,60                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 3014,84 - 282,24$ | 2732,60                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t4,Rd} = F_{t3,Rd} h_4/h_3$$

$$F_{t4,Rd} = 247,58 \quad [\text{kN}]$$

ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ No. 5

| <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                        | <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|--|-------------------------------|--|
| $F_{t5,Rd} = \text{Min}(F_{t5,Rd,comp})$                     | 278,74                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                      |
| $F_{t,fc,Rd(5)} = 282,24$                                    | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                   |
| $F_{t,wc,Rd(5)} = 730,78$                                    | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ   |
| $F_{t,ep,Rd(5)} = 282,24$                                    | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                       |
| $F_{t,wb,Rd(5)} = 1665,54$                                   | 1665,54                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ                 |
| $B_{p,Rd} = 912,02$  | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση    |
| $V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 1173,00 - 894,26$    | 278,74                        | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                          |
| $F_{c,wc,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 4062,64 - 894,26$        | 3168,38                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 4481,05 - 894,26$        | 3586,79                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                     |
| $F_{c,wb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 4260,00 - 894,26$        | 3365,74                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{t,fc,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 564,48 - 247,58$    | 316,90                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 773,87 - 247,58$    | 526,29                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1338,06 - 529,82$ | 808,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1338,06 - 529,82$ | 808,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1338,06 - 529,82$ | 808,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 564,48 - 247,58$    | 316,90                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 1508,75 - 247,58$   | 1261,17                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 3769,22 - 529,82$ | 3239,40                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |

| <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                        | <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                  |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 3769,22 - 529,82$ | 3239,40                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 846,72 - 529,82$  | 316,90                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 3769,22 - 529,82$ | 3239,40                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t5,Rd} = F_{t3,Rd} h_5/h_3$$

$$F_{t5,Rd} = 212,93 \quad [\text{kN}] \quad \text{ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ}$$

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 6

| <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                          | <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|--|-------------------------------|--|
| $F_{t6,Rd} = \text{Min}(F_{t6,Rd,comp})$                       | 65,82                         | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                      |
| $F_{t,fc,Rd(6)} = 282,24$                                      | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                   |
| $F_{t,wc,Rd(6)} = 730,78$                                      | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ   |
| $F_{t,ep,Rd(6)} = 282,24$                                      | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                       |
| $F_{t,wb,Rd(6)} = 1665,54$                                     | 1665,54                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ                 |
| $B_{p,Rd} = 912,02$  | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση    |
| $V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^5 F_{ii,Rd} = 1173,00 - 1107,18$     | 65,82                         | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                          |
| $F_{c,wc,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 4062,64 - 1107,18$         | 2955,46                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 4481,05 - 1107,18$         | 3373,87                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                     |
| $F_{c,wb,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 4260,00 - 1107,18$         | 3152,82                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{t,fc,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 564,48 - 212,93$      | 351,55                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 773,87 - 212,93$      | 560,95                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{ij,Rd} = 846,72 - 460,51$    | 386,21                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{ij,Rd} = 1051,62 - 460,51$   | 591,11                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1457,09 - 742,75$ | 714,34                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1457,09 - 742,75$ | 714,34                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1457,09 - 742,75$ | 714,34                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 564,48 - 212,93$      | 351,55                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |

| <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                          | <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                  |
|--|-------------------------------|-----------------------------------|
| $F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 1508,75 - 212,93$     | 1295,82                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{ij,Rd} = 846,72 - 460,51$    | 386,21                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{ij,Rd} = 2263,13 - 460,51$   | 1802,62                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 4523,59 - 742,75$ | 3780,85                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 4523,59 - 742,75$ | 3780,85                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 742,75$ | 386,21                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{ij,Rd} = 4523,59 - 742,75$ | 3780,85                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ |

#### **ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ No. 7**

| <b>F<sub>t7,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                            | <b>F<sub>t7,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|--|-------------------------------|--|
| $F_{t7,Rd} = \text{Min} (F_{t7,Rd,comp})$                        | 0,00                          | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                      |
| $F_{t,fc,Rd(7)} = 282,24$  | 282,24                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ                   |
| $F_{t,wc,Rd(7)} = 730,78$  | 730,78                        | Column ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ   |
| $F_{t,ep,Rd(7)} = 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                       |
| $F_{t,wb,Rd(7)} = 1665,54$                                       | 1665,54                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ                 |
| $B_{p,Rd} = 912,02$  | 912,02                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση    |
| $V_{wp,Rd/\beta} - \sum_1^6 F_{ij,Rd} = 1173,00 - 1173,00$       | 0,00                          | ΚΟΡΜΟΣ - ΔΙΑΤΜΗΣΗ                          |
| $F_{c,wc,Rd} - \sum_1^6 F_{ij,Rd} = 4062,64 - 1173,00$           | 2889,64                       | ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ ΚΟΡΜΟΥ-ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^6 F_{ij,Rd} = 4481,05 - 1173,00$           | 3308,05                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                     |
| $F_{c,wb,Rd} - \sum_1^6 F_{ij,Rd} = 4260,00 - 1173,00$           | 3087,00                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                    |
| $F_{t,fc,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 564,48 - 65,82$         | 498,66                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 923,04 - 65,82$         | 857,22                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(7+6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 846,72 - 278,74$      | 567,98                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(7+6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 1161,10 - 278,74$     | 882,36                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(7+6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 526,33$   | 602,63                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(7+6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 1331,57 - 526,33$   | 805,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1575,58 - 808,57$ | 767,01                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |



| <b>F<sub>t7,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                            | <b>F<sub>t7,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                           |
|--|-------------------------------|--|
| $F_{t,wc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1575,58 - 808,57$ | 767,01                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,fc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΠΕΛΜΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ            |
| $F_{t,wc,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1575,58 - 808,57$ | 767,01                        | ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ - ΓΚΡΟΥΠ |
| $F_{t,ep,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 564,48 - 65,82$         | 498,66                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6)} - \sum_6^6 F_{ij,Rd} = 1885,94 - 65,82$        | 1820,12                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(7+6+5)} - \sum_6^5 F_{ij,Rd} = 846,72 - 278,74$      | 567,98                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6+5)} - \sum_6^5 F_{ij,Rd} = 2640,31 - 278,74$     | 2361,57                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(7+6+5+4)} - \sum_6^4 F_{ij,Rd} = 1128,96 - 526,33$   | 602,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6+5+4)} - \sum_6^4 F_{ij,Rd} = 3394,69 - 526,33$   | 2868,36                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 5655,16 - 808,57$ | 4846,59                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 5655,16 - 808,57$ | 4846,59                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |
| $F_{t,ep,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 1411,20 - 808,57$ | 602,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ                |
| $F_{t,wb,Rd(7+6+5+4+3)} - \sum_6^3 F_{ij,Rd} = 5655,16 - 808,57$ | 4846,59                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ          |

ΟΙ ΕΝΑΠΟΜΙΝΑΝΤΕΣ ΚΟΧΛΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΝΕΡΓΟΙ (ΔΕΝ ΜΕΤΑΦΕΡΟΥΝ ΦΟΡΤΙΑ)ΓΙΑΤΙ Η ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΕΧΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ Η ΟΙ ΚΟΧΛΙΕΣ ΑΥΤΟΙ ΕΧΟΥΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΣΤΡΕΨΗΣ.

#### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

| <b>Nr</b> | <b>h<sub>j</sub></b> | <b>F<sub>tj,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,Rd</sub></b> | <b>B<sub>p,Rd</sub></b> |
|-----------|----------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1         | 1373                 | 182,22                   | 282,24                     | 587,46                     | 182,22                     | -                          | 282,24                  | 912,02                  |
| 2         | 1188                 | 182,22                   | 282,24                     | 730,78                     | 182,22                     | -                          | 282,24                  | 912,02                  |
| 3         | 1018                 | 282,24                   | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 4         | 893                  | 247,58                   | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 5         | 768                  | 212,93                   | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 6         | 643                  | 65,82                    | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 7         | 518                  | -                        | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 8         | 268                  | -                        | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |
| 9         | 148                  | -                        | 282,24                     | 730,78                     | 282,24                     | 1665,54                    | 282,24                  | 912,02                  |

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ M<sub>j,Rd</sub>**

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 1180,89 \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad \text{ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0 \quad 0,48 < 1,00 \quad \text{ΕΠΙΛΗΘΕΥΕΤΑΙ} \quad (0,48)$$

## **ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ**

|                  |        |      |   |               |
|------------------|--------|------|---|---------------|
| $\alpha_v =$     | 0,60   |      | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ $F_{v,Rd}$ | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $\beta_{Lf} =$   | 0,77   |      | ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΜΕΓΑΛΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ   | [3.8]         |
| $F_{v,Rd} =$     | 92,74  | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ                | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{t,Rd,max} =$ | 141,12 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ               | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{b,Rd,int} =$ | 403,20 | [kN] | ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΚΟΧΛΙΑ              | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{b,Rd,ext} =$ | 336,00 | [kN] | ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΠΙΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΚΟΧΛΙΑ      | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |

| Nr | $F_{tj,Rd,N}$ | $F_{tj,Ed,N}$ | $F_{tj,Rd,M}$ | $F_{tj,Ed,M}$ | $F_{tj,Ed}$ | $F_{vj,Rd}$ |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 1  | 282,24        | 11,36         | 182,22        | 86,63         | 97,99       | 139,48      |
| 2  | 282,24        | 11,36         | 182,22        | 86,63         | 97,99       | 139,48      |
| 3  | 282,24        | 11,36         | 282,24        | 134,18        | 145,54      | 117,16      |
| 4  | 282,24        | 11,36         | 247,58        | 117,71        | 129,07      | 124,89      |
| 5  | 282,24        | 11,36         | 212,93        | 101,23        | 112,59      | 132,63      |
| 6  | 282,24        | 11,36         | 65,82         | 31,29         | 42,65       | 165,46      |
| 7  | 282,24        | 11,36         | 282,24        | 0,00          | 11,36       | 180,15      |
| 8  | 282,24        | 11,36         | 282,24        | 0,00          | 11,36       | 180,15      |
| 9  | 282,24        | 11,36         | 282,24        | 0,00          | 11,36       | 180,15      |

- $F_{tj,Rd,N}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΛΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ  
 $F_{tj,Ed,N}$  – ΔΥΝΑΜΗ ΛΟΓΩ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ  
 $F_{tj,Rd,M}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΛΗ ΚΑΜΨΗ  
 $F_{tj,Ed,M}$  – ΔΥΝΑΜΗ ΛΟΓΩ ΡΟΠΗΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ  
 $F_{tj,Ed}$  – ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ  
 $F_{vj,Rd}$  – ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (\eta_h F_{v,Rd} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 \eta_h F_{t,Rd,max})), \eta_h F_{v,Rd}, \eta_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = \eta_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$$

$$V_{j,Rd} = 1359,55 \quad [\text{kN}] \quad \text{ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ}$$

[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

[ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,14 < 1,00$$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

(0,14)

## ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

|   |           |                    |  |                     |
|---|-----------|--------------------|--|---------------------|
| $A_w =$   | 543,99    | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                   | [4.5.3.2(2)]        |
| $A_{wy} =$  | 316,48    | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                 | [4.5.3.2(2)]        |
| $A_{wz} =$  | 227,51    | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΚΑΘΕΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                    | [4.5.3.2(2)]        |
| $I_{wy} =$  | 754038,56 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΣΕΒΑΣΜΟ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ | [4.5.3.2(5)]        |
| $\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max} =$   | 28,87     | [MPa]              | ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ                                       | [4.5.3.2(5)]        |
| $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$   | -26,13    | [MPa]              | ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΑΘΕΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ                                  | [4.5.3.2(5)]        |
| $\tau_{II} =$   | 8,23      | [MPa]              | ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ  | [4.5.3.2(5)]        |
| $\beta_w =$   | 0,90      |                    | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ   | [4.5.3.2(7)]        |
| $\sqrt{[\sigma_{\perp max}^2 + 3*(\tau_{\perp max}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$       | 57,74     | <                  | 435,56   | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,13) |
| $\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq f_u/(\beta_w*\gamma_{M2})$ | 54,16     | <                  | 435,56   | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,12) |
| $\sigma_{\perp} \leq 0.9*f_u/\gamma_{M2}$   | 28,87     | <                  | 352,80   | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,08) |

## ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

|              |    |      |                              |               |
|--------------|----|------|------------------------------|---------------|
| $t_{wash} =$ | 4  | [mm] | Washer ΠΑΧΟΣ                 | [6.2.6.3.(2)] |
| $h_{head} =$ | 14 | [mm] | ΥΨΟΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΚΟΧΛΙΑ          | [6.2.6.3.(2)] |
| $h_{nut} =$  | 20 | [mm] | ΥΨΟΣ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ ΚΟΧΛΙΑ      | [6.2.6.3.(2)] |
| $L_b =$      | 93 | [mm] | ΜΗΚΟΣ ΚΟΧΛΙΑ                 | [6.2.6.3.(2)] |
| $k_{10} =$   | 4  | [mm] | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ | [6.3.2.(1)]   |

## ΑΚΑΜΨΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

| Nr | h <sub>j</sub> | k <sub>3</sub> | k <sub>4</sub> | k <sub>5</sub> | k <sub>eff,j</sub> | k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> | k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|--|
|    |                |                |                |                | ΣΥΝΟΛΟ             | 88,88                             | 7236,94  |
| 1  | 1373           | 3              | 57             | 0              | 0                  | 5,12                              | 703,25   |
| 2  | 1188           | 5              | 82             | 0              | 0                  | 4,60                              | 546,03   |
| 3  | 1018           | 5              | 90             | 179            | 2                  | 23,06                             | 2347,91  |
| 4  | 893            | 3              | 48             | 85             | 2                  | 14,41                             | 1286,70  |
| 5  | 768            | 3              | 48             | 85             | 2                  | 12,39                             | 951,69   |
| 6  | 643            | 3              | 48             | 85             | 2                  | 10,38                             | 667,10   |
| 7  | 518            | 4              | 72             | 127            | 2                  | 10,52                             | 545,06   |
| 8  | 268            | 4              | 71             | 126            | 2                  | 5,41                              | 144,87   |

| Nr | h <sub>j</sub> | k <sub>3</sub> | k <sub>4</sub> | k <sub>5</sub> | k <sub>eff,j</sub> | k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> | k <sub>eff,j</sub> h <sub>j</sub> <sup>2</sup> |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------------|-----------------------------------|--|
| 9  | 148            | 4              | 72             | 136            | 2                  | 3,00                              | 44,33  |

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum 3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$Z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j$$

$$Z_{eq} = 814 \quad [mm] \quad \text{ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑ} \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / Z_{eq}$$

$$k_{eq} = 11 \quad [mm] \quad \text{ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΜΙΑΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$A_{vc} = 89,82 \quad [cm^2] \quad \text{ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ} \quad \text{EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]}$$

$$\beta = 1,00 \quad \text{ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ} \quad [5.3.(7)]$$

$$z = 814 \quad [mm] \quad \text{ΜΟΧΛΟΒΡΑΧΙΟΝΑΣ} \quad [6.2.5]$$

$$k_1 = 4 \quad [mm] \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗ} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$k_2 = \infty \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΘΛΙΨΗ} \quad [6.3.2.(1)]$$

$$S_{j,ini} = E Z_{eq}^2 / \sum_i (1 / k_1 + 1 / k_2 + 1 / k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 421660,35 \quad [kN*m] \quad \text{ΑΡΧΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1,00 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΜΙΑΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 421660,35 \quad [kN*m] \quad \text{ΤΕΛΙΚΗ ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΡΕΨΗΣ} \quad [6.3.1.(4)]$$

#### ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΛΟΓΩ ΑΚΑΜΨΙΑΣ.

$$S_{j,rig} = 1805739,92 \quad [kN*m] \quad \text{ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 112858,74 \quad [kN*m] \quad \text{ΑΚΑΜΨΙΑ ΑΡΘΡΩΜΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} \leq S_{j,ini} < S_{j,rig} \quad \text{ΗΜΙΣΤΑΘΕΡΗ}$$

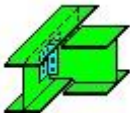
### ΠΙΟ ΑΔΥΝΑΜΟ ΤΜΗΜΑ:

ΚΟΡΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ- ΔΙΑΤΜΗΣΗ

### ΣΧΟΛΙΑ

ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΧΛΙΩΝ. 250 [mm] > 200 [mm]

|   |                   |
|---|-------------------|
| <b>Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ</b> | <b>ΛΟΓΟΣ</b> 0,60 |
|---|-------------------|



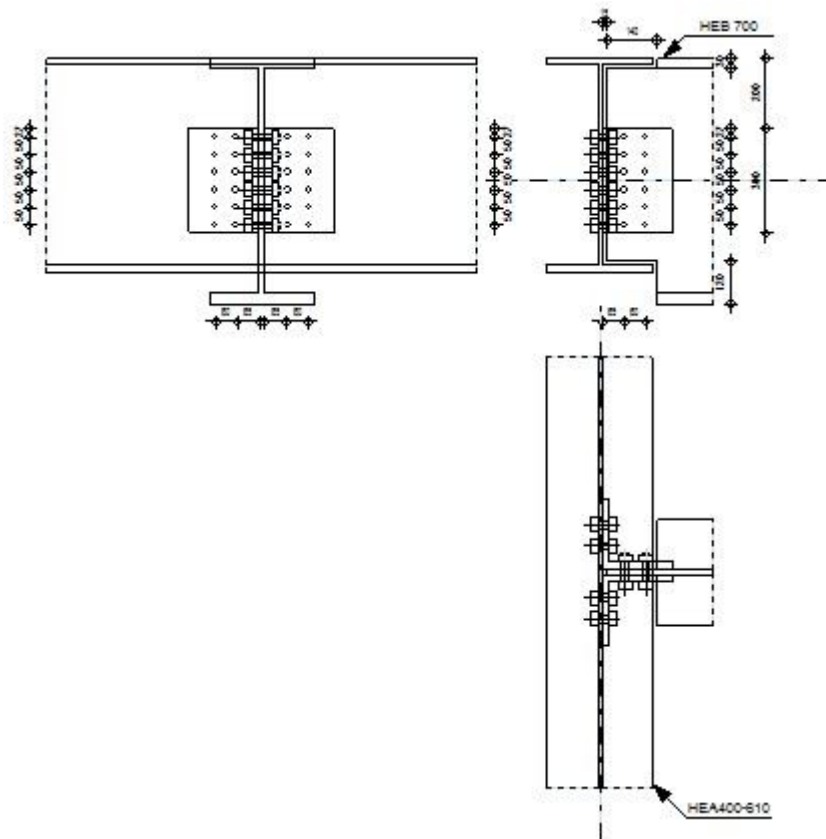
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013-Student Version

## 6.6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΟΚΟΣ - ΔΟΚΟΣ (ΚΟΡΜΟΣ)

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

OK

ΛΟΓΟΣ  
0,68



## ΓΕΝΙΚΟ

---

ΣΥΝΔΕΣΗ no.: 2  
Όνομα σύνδεσης: Beam-beam (web)  
ΚΟΜΒΟΣ ΦΟΡΕΑ 49  
ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ: 69, 519

## ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

---

### ΚΥΡΙΟ ΔΟΚΑΡΙ

ΔΙΑΤΟΜΗ: HEA400-610

ΡΑΒΔΟΣ no.: 69

|            |           |                    |  |
|------------|-----------|--------------------|--|
| $\alpha =$ | -90,0     | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                                     |
| $h_g =$    | 610       | [mm]               | ΥΨΟΣ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                             |
| $b_{fg} =$ | 300       | [mm]               | ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                  |
| $t_{wg} =$ | 11        | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΚΟΡΜΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                     |
| $t_{fg} =$ | 19        | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                   |
| $r_g =$    | 0         | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΚΟΡΜΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ         |
| $A_p =$    | 176,92    | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ           |
| $I_{yp} =$ | 116734,73 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| ΥΛΙΚΟ S355 |           |                    |  |
| $f_{yg} =$ | 355,00    | [MPa]              | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ                                |
| $f_{ug} =$ | 490,00    | [MPa]              | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ                               |

### ΔΟΚΟΣ

ΔΙΑΤΟΜΗ: HEB 700

ΡΑΒΔΟΣ no.: 519

|            |     |       |                           |
|------------|-----|-------|---------------------------|
| $\alpha =$ | 0,0 | [Deg] | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ              |
| $h_b =$    | 700 | [mm]  | ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $b_b =$    | 300 | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ     |
| $t_{wb} =$ | 17  | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |

|            |           |                    |   |
|------------|-----------|--------------------|---|
| $\alpha =$ | 0,0       | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                              |
| $t_{fb} =$ | 32        | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                   |
| $r_b =$    | 27        | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $A_b =$    | 306,38    | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ                    |
| $I_{yb} =$ | 256888,00 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| ΥΛΙΚΟ S355 |           |                    |   |
| $f_{yb} =$ | 355,00    | [MPa]              | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ                         |
| $f_{ub} =$ | 490,00    | [MPa]              | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ                        |

### ΤΟΜΗ ΔΟΚΑΡΙΟΥ

|         |     |      |                 |
|---------|-----|------|-----------------|
| $h_1 =$ | 30  | [mm] | ΑΝΩ ΑΠΟΤΜΗΣΗ    |
| $h_2 =$ | 120 | [mm] | ΚΑΤΩ ΑΠΟΤΜΗΣΗ   |
| $l =$   | 140 | [mm] | ΜΗΚΟΣ ΑΠΟΤΜΗΣΗΣ |

### ΓΩΝΙΑΚΟ

ΔΙΑΤΟΜΗ: CAE 200x20

|            |        |       |                                     |
|------------|--------|-------|-------------------------------------|
| $h_k =$    | 200    | [mm]  | ΜΗΚΟΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ                      |
| $b_k =$    | 200    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ                     |
| $t_{fk} =$ | 20     | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ             |
| $r_k =$    | 18     | [mm]  | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ ΜΕ ΚΟΡΜΟ |
| $l_k =$    | 300    | [mm]  | ΜΗΚΟΣ ΓΩΝΙΑΚΟΥ                      |
| ΥΛΙΚΟ S355 |        |       |                                     |
| $f_{yk} =$ | 355,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ                   |
| $f_{uk} =$ | 490,00 | [MPa] | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ                  |

### ΚΟΧΛΙΕΣ

#### ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΝΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟ ΜΕ ΤΟ ΕΛΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ L

The shear plane passes through the THREADED portion of the bolt.

|            |     |      |                       |
|------------|-----|------|-----------------------|
| ΠΟΙΟΤΗΤΑ = | 8.8 |      | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ     |
| $d =$      | 20  | [mm] | ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ      |
| $d_0 =$    | 22  | [mm] | Διάμετρος σπής κοχλία |

|            |        |                    |                                |
|------------|--------|--------------------|--------------------------------|
| ΠΟΙΟΤΗΤΑ = | 8,8    |                    | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ              |
| $A_s =$    | 2,45   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΝΕΡΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΑ |
| $A_v =$    | 3,14   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ          |
| $f_{ub} =$ | 800,00 | [MPa]              | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ             |
| $k =$      | 2      |                    | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ  |
| $w =$      | 6      |                    | ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ         |
| $e_1 =$    | 27     | [mm]               | ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΩΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ           |
| $p_2 =$    | 60     | [mm]               | ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ      |
| $p_1 =$    | 50     | [mm]               | ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ     |

### ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΝΩΝΟΥΝ ΤΟ ΔΟΚΑΡΙ ΜΕ ΤΟ ΕΛΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ L

The shear plane passes through the THREADED portion of the bolt.

|            |        |                    |                                |
|------------|--------|--------------------|--------------------------------|
| ΠΟΙΟΤΗΤΑ = | 8,8    |                    | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ              |
| $d =$      | 20     | [mm]               | ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ               |
| $d_0 =$    | 22     | [mm]               | Διάμετρος οπής κοχλία          |
| $A_s =$    | 2,45   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΝΕΡΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΑ |
| $A_v =$    | 3,14   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ          |
| $f_{ub} =$ | 800,00 | [MPa]              | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ             |
| $k =$      | 2      |                    | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ  |
| $w =$      | 6      |                    | ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ         |
| $e_1 =$    | 27     | [mm]               | ΣΤΑΘΜΗ ΠΡΩΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ           |
| $p_2 =$    | 60     | [mm]               | ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ      |
| $p_1 =$    | 50     | [mm]               | ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ     |

### ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

|                 |      |  |                               |       |
|-----------------|------|--|-------------------------------|-------|
| $\gamma_{M0} =$ | 1,00 |  | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M2} =$ | 1,25 |  | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |

### ΦΟΡΤΙΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: 12:  $\phi_1 (1+2) * 1.35 + 3 * 1.50 + 4 * 0.75 + 5 * 0.90$

|              |         |      |                   |
|--------------|---------|------|-------------------|
| $N_{b,Ed} =$ | -181,17 | [kN] | ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ    |
| $V_{b,Ed} =$ | -79,94  | [kN] | ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ |



$N_{b,Ed} = -181,17$  [kN] ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ  
 $M_{b,Ed} = -73,04$  [kN\*m] ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΡΟΠΗ

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΝΩΝΟΥΝ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟ ΜΕ ΤΟ ΕΛΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ L

#### ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΟΧΛΙΑ

$F_{v,Rd} = 94,08$  [kN] Αντοχή σε διάτμηση του βυθιζόμενου τμήματος κοχλίας  $F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$   
 $F_{t,Rd} = 141,12$  [kN] ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ  $F_{t,Rd} = 0.9 \cdot f_u \cdot A_s / \gamma_{M2}$

#### ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΟΝ ΚΟΡΜΟ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΟΚΟΥ

Διεύθυνση x

$k_{1x} = 1,48$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$   $1,48 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$\alpha_{bx} = 0,66$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,66 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$F_{b,Rd1x} = 84,23$  [kN] ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ  $F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Διεύθυνση z

$k_{1z} = 2,12$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1z} > 0.0$   $2,12 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$\alpha_{bz} = 0,51$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bz} > 0.0$   $0,51 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$F_{b,Rd1z} = 92,72$  [kN] ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ  $F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

#### ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΟ ΓΩΝΙΑΚΟ

Διεύθυνση x

$k_{1x} = 1,23$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$

$k_{1x} > 0.0$   $1,23 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$\alpha_{bx} = 0,66$  ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ  $F_{b,Rd}$   $\alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$

$\alpha_{bx} > 0.0$   $0,66 > 0,00$  ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$F_{b,Rd2x} = 126,83$  [kN] ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ  $F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$

Διεύθυνση z

|                     |             |   |   |
|---------------------|-------------|---|---|
| $k_{1z} =$          | 2,12        | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ $F_{b,Rd}$ | $k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$          |
| $k_{1z} > 0.0$      |             | 2,12 > 0,00                                   | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  |
| $\alpha_{bz} =$     | 0,35        | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ $F_{b,Rd}$ | $\alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$    |
| $\alpha_{bz} > 0.0$ |             | 0,35 > 0,00                                   | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ  |
| $F_{b,Rd2z} =$      | 115,74 [kN] | ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ                    | $F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d^2 \cdot t_f / \gamma_{M2}$ |

### ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΔΟΚΟ - ΣΥΝΔΕΣΗ ΓΩΝΙΑΚΟΥ

#### ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΟΧΛΙΑ

|                           |             |  |   |
|---------------------------|-------------|--|---|
| $e =$                     | 104 [mm]    | ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΟΜΑΔΟΣ ΤΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΔΟΚΟΥ |   |
| $M_0 =$                   | 4,14 [kN*m] | ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ   | $M_0 = 0.5 \cdot V_{b,Ed} \cdot e$              |
| $F_{Vz} =$                | 3,33 [kN]   | ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ                            | $F_{Vz} = 0.5 \cdot V_{b,Ed} / n$               |
| $F_{Mx} =$                | 5,26 [kN]   | ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΡΟΠΗΣ  | $F_{Mx} = M_0 \cdot z_i / \sum z_i^2$           |
| $F_{x,Ed} =$              | 5,26 [kN]   | Συνολική σχεδιαστική δύναμη κοχλία στη διεύθυνση y   | $F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$                    |
| $F_{z,Ed} =$              | 4,59 [kN]   | Συνολική σχεδιαστική δύναμη κοχλία στη διεύθυνση z   | $F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$                    |
| $F_{Rdx} =$               | 84,23 [kN]  | Ενεργός αντοχή σχεδιασμού κοχλία στη διεύθυνση x   | $F_{Rdx} = \min(F_{vRd}, F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$ |
| $F_{Rdz} =$               | 92,72 [kN]  | Ενεργός αντοχή σχεδιασμού κοχλία στη διεύθυνση z   | $F_{Rdz} = \min(F_{vRd}, F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$ |
| $ F_{x,Ed}  \leq F_{Rdx}$ |             | 5,26  < 84,23  | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,06)                             |
| $ F_{z,Ed}  \leq F_{Rdz}$ |             | 4,59  < 92,72  | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,05)                             |

#### ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΚΟΧΛΙΑ

|                          |             |   |  |
|--------------------------|-------------|---|--|
| $e =$                    | 101 [mm]    | ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΟΜΑΔΟΣ ΤΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΟΚΟΥ |  |
| $M_{0t} =$               | 40,5 [kN*m] | ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ  | $M_{0t} = 0.5 \cdot (M_{b,Ed} + V_{b,Ed} \cdot e)$                       |
| $F_{t,Ed} =$             | 44,0 [kN]   | ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟΝ ΑΚΡΙΑΝΟ ΚΟΧΛΙΑ  | $F_{t,Ed} = M_{0t} \cdot z_{max} / \sum z_i^2 + 0.5 \cdot N_{b2,Ed} / n$ |
| $F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ |             | 44,00 < 141,12  | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,31)  |

#### ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΔΡΑΣΗ ΜΙΑΣ ΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΙ ΜΙΑΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΘΡΑΥΞΕΩΣ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ

|              |           |                                |   |
|--------------|-----------|--------------------------------|---|
| $F_{v,Ed} =$ | 6,98 [kN] | ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ | $F_{v,Ed} = \sqrt{[F_{x,Ed}^2 + F_{z,Ed}^2]}$ |
|--------------|-----------|--------------------------------|---|

$$F_{v,Ed}/F_{v,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4 \cdot F_{t,Rd}) \leq 1.0$$

$$0,30 < 1,00$$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

$$(0,30)$$

## ΚΟΧΛΙΕΣ ΠΟΥ ΕΝΩΝΟΥΝ ΤΟ ΔΟΚΑΡΙ ΜΕ ΤΟ ΕΛΑΣΜΑ ΤΥΠΟΥ L

### ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΟΧΛΙΑ

$$F_{v,Rd} = 188,16 \text{ [kN]} \quad \text{Αντοχή σε διάτμηση του βυθιζόμενου τμήματος κοχλίας} \quad F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{ub} \cdot A_s \cdot m / \gamma_{M2}$$

#### ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗ ΔΟΚΟ

Διεύθυνση x

$$k_{1x} = 1,48 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} > 0.0 \quad 1,48 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$\alpha_{bx} = 0,66 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0,66 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$F_{b,Rd1x} = 130,17 \text{ [kN]} \quad \text{ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ} \quad F_{b,Rd1x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = 2,12 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,12 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$\alpha_{bz} = 0,51 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0,51 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$F_{b,Rd1z} = 143,29 \text{ [kN]} \quad \text{ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ} \quad F_{b,Rd1z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

#### ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΟ ΓΩΝΙΑΚΟ

Διεύθυνση x

$$k_{1x} = 1,23 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad k_{1x} = \min[2.8 \cdot (e_1/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_1/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1x} > 0.0 \quad 1,23 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$\alpha_{bx} = 0,66 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bx} = \min[e_2/(3 \cdot d_0), p_2/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bx} > 0.0 \quad 0,66 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$F_{b,Rd2x} = 253,67 \text{ [kN]} \quad \text{ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ} \quad F_{b,Rd2x} = k_{1x} \cdot \alpha_{bx} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

Διεύθυνση z

$$k_{1z} = 2,12 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad k_{1z} = \min[2.8 \cdot (e_2/d_0) - 1.7, 1.4 \cdot (p_2/d_0) - 1.7, 2.5]$$

$$k_{1z} > 0.0 \quad 2,12 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$\alpha_{bz} = 0,35 \quad \text{ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ } F_{b,Rd} \quad \alpha_{bz} = \min[e_1/(3 \cdot d_0), p_1/(3 \cdot d_0) - 0.25, f_{ub}/f_u, 1]$$

$$\alpha_{bz} > 0.0 \quad 0,35 > 0,00 \quad \text{ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ}$$

$$F_{b,Rd2z} = 231,49 \text{ [kN]} \quad \text{ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ} \quad F_{b,Rd2z} = k_{1z} \cdot \alpha_{bz} \cdot f_u \cdot d \cdot t_i / \gamma_{M2}$$

## ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΟ ΓΩΝΙΑΚΟ - ΣΥΝΔΕΣΗ ΔΟΚΟΥ

### ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΟΧΛΙΑ

$e = 101$  [mm] ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΟΜΑΔΟΣ ΤΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΤΗΣ ΚΥΡΙΑΣ ΔΟΚΟΥ

$M_0 = -81,07$  [kN\*m] ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ

$$M_0 = M_{b,Ed} + V_{b,Ed} * e$$

$F_{Nx} = 15,10$  [kN] ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

$$F_{Nx} = N_{b,Ed} / n$$

$F_{Vz} = 6,66$  [kN] ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

$$F_{Vz} = V_{b,Ed} / n$$

$F_{Mx} = 103,09$  [kN] ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΡΟΠΗΣ ΣΤΗΝ Χ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ

$$F_{Mx} = M_0 * z_i / (\Sigma(x_i^2 + z_i^2))$$

$F_{Mz} = -24,74$  [kN] ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΔΥΝΑΜΗ ΣΕ ΚΟΧΛΙΑ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΡΟΠΗΣ ΣΤΗΝ Ζ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ

$$F_{Mz} = M_0 * x_i / (\Sigma(x_i^2 + z_i^2))$$

$F_{x,Ed} = -87,99$  [kN] Συνολική σχεδιαστική δύναμη κοχλία στη διεύθυνση y

$$F_{x,Ed} = F_{Nx} + F_{Mx}$$

$F_{z,Ed} = -18,08$  [kN] Συνολική σχεδιαστική δύναμη κοχλία στη διεύθυνση z

$$F_{z,Ed} = F_{Vz} + F_{Mz}$$

$F_{Rdx} = 130,17$  [kN] Ενεργός αντοχή σχεδιασμού κοχλία στη διεύθυνση x

$$F_{Rdx} = \min(F_{VRd}, F_{bRd1x}, F_{bRd2x})$$

$F_{Rdz} = 143,29$  [kN] Ενεργός αντοχή σχεδιασμού κοχλία στη διεύθυνση z

$$F_{Rdz} = \min(F_{VRd}, F_{bRd1z}, F_{bRd2z})$$

$|F_{x,Ed}| \leq F_{Rdx}$   $|-87,99| < 130,17$

ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

(0, 68)

$|F_{z,Ed}| \leq F_{Rdz}$   $|-18,08| < 143,29$

ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

(0, 13)

### ΈΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΑΠΟΤΜΗΣΗ

#### ΓΩΝΙΑΚΟ

$A_{nt} = 18,40$  [cm<sup>2</sup>] ΚΑΘΑΡΟ ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$A_{nv} = 31,20$  [cm<sup>2</sup>] ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

$V_{effRd} = 1000,11$  [kN] ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΟΠΕΣ

$$V_{effRd} = 0.5 * f_u * A_{nt} / \gamma_{M2} + (1/\sqrt{3}) * f_y * A_{nv} / \gamma_{M0}$$

$|0.5 * V_{b,Ed}| \leq V_{effRd}$   $|-39,97| < 1000,11$

ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

(0, 04)

#### ΔΟΚΟΣ

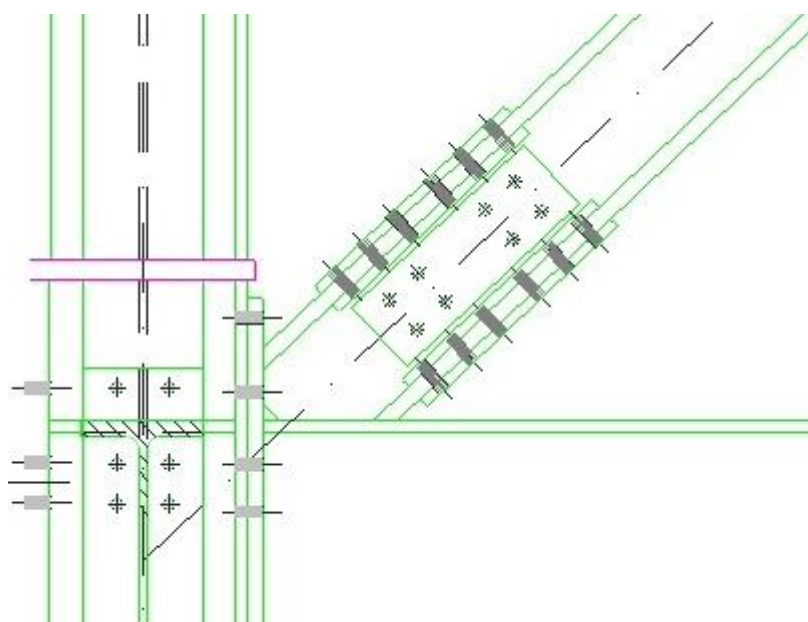
$A_{nt} = 13,09$  [cm<sup>2</sup>] ΚΑΘΑΡΟ ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

|                             |         |                    |   |  |
|-----------------------------|---------|--------------------|---|--|
| $A_{nt} =$                  | 13,09   | [cm <sup>2</sup> ] | ΚΑΘΑΡΟ ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΥΠΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ        |  |
| $A_{nv} =$                  | 39,44   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ                 |  |
| $V_{effRd} =$               | 1064,92 | [kN]               | ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΜΕ ΟΠΕΣ | $V_{effRd}=0.5*f_u*A_{nt}/\gamma_{M2} + (1/\sqrt{3})*f_y*A_{nv}/\gamma_{M0}$ |
| $ V_{b,Ed}  \leq V_{effRd}$ |         |                    | $ -79,94  < 1064,92$                        | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,08)  |

|   |              |             |
|---|--------------|-------------|
| <b>Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ</b> | <b>ΛΟΓΟΣ</b> | <b>0,68</b> |
|---|--------------|-------------|

### 6.6.3 Σύνδεση κόμβου δοκού – υποστύλωματος με το σύνδεσμο δυσκαμψίας

Έχουμε θεωρήσει ότι η σύνδεση του συνδέσμου δυσκαμψίας στον κόμβο δοκού υποστύλωματος είναι συγκολλητή. Δηλαδή από τον κόμβο και για ένα μήκος συνδέσμου δυσκαμψίας 1 m θεωρήσαμε ότι η σύνδεση είναι συγκολλητή και διαμορφώνεται στο εργοστάσιο. Το υπόλοιπο τμήμα του συνδέσμου δυσκαμψίας ενώνεται με το τμήμα μήκους 1 m μέσω κοχλιωτής σύνδεσης και μετωπικής πλάκας την οποία υπολογίζουμε στην συνέχεια για τα δυσμενέστερα μεγέθη που εμφανίζονται.



Σχήμα 6.12 Σύνδεση σύνδεσμου δυσκαμψίας με κόμβο δοκού - υποστύλωματος

#### Αντοχή συγκολλήσεων

Η δύναμη μεταβιβάζεται από τον σύνδεσμο δυσκαμψίας στον κόμβο μέσω συγκόλλησης. Θεωρούμε ότι η συγκόλληση έχει μήκος ίσο με το ευθύγραμμο τμήμα του κορμού, δηλαδή  $d = 225 \text{ mm}$  υπο γωνία  $43,4^\circ$  για το τμήμα που συγκολλάται στη δοκό και υπο γωνία  $46,7^\circ$  για το τμήμα που συγκολλάται στο υποστύλωμα. Άρα τα μήκη συγκόλλησης του κορμού σε δοκό και υποστύλωμα είναι τα εξής:

$$l_{w, \text{δοκός}} = \frac{163 \text{ mm}}{\sin 43,3^\circ} = 238 \text{ mm}$$

$$l_{w, \text{υπ}} = \frac{61,5 \text{ mm}}{\sin 46,7^\circ} = 84,5 \text{ mm}$$

Το μήκος συγκόλλησης εσωτερικά των πελμάτων είναι ίσο με το ευθύγραμμο τμήμα των πελμάτων, δηλαδή:

$$l_{f,in \text{ υπ}} = l_{f,in \text{ δοκός}} = 0,5(309-21-2 \cdot 27) = 117 \text{ mm}$$

Το μήκος συγκόλλησης εξωτερικά των πελμάτων θεωρείται ίσο με το μήκος των πελμάτων, δηλαδή  $l_{f,ex \text{ υπ}} = l_{f,ex \text{ δοκός}} = 309 \text{ mm}$ .

Επιλέγουμε πάχος συγκολλήσεων 8 mm.

Τα εμβαδά των συγκολλήσεων στο δοκάρι και στο υποστύλωμα είναι τα εξής:

$$A_{\text{υπ}} = 2 \cdot 84,5 \cdot 8 + 8 \cdot 309 + 2 \cdot 8 \cdot 117 = 57 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{δοκός}} = 2 \cdot 238 \cdot 8 + 8 \cdot 309 + 2 \cdot 8 \cdot 117 = 81,5 \text{ cm}^2$$

#### Έλεγχος ελάχιστου μήκους συγκολλήσεων

Συγκολλήσεις στον κορμό:

$$l_{w, \text{δοκός}} = 238 \text{ mm} > \max \{30 \text{ mm}, 6a\} = \max \{30 \text{ mm}, 42 \text{ mm}\} = 42 \text{ mm}$$

$$l_{w, \text{υπ}} = 84,5 \text{ mm} > \max \{30 \text{ mm}, 6a\} = \max \{30 \text{ mm}, 42 \text{ mm}\} = 42 \text{ mm}$$

Συγκολλήσεις στα πέλματα:

$$l_{f,in \text{ δοκός}} = l_{f,in \text{ υπ}} = 117 \text{ mm} > \max \{30 \text{ mm}, 6a\} = \max \{30 \text{ mm}, 42 \text{ mm}\} = 42 \text{ mm}$$

$$l_{f,ex \text{ υπ}} = l_{f,ex \text{ δοκός}} = 309 \text{ mm} > \max \{30 \text{ mm}, 6a\} = \max \{30 \text{ mm}, 42 \text{ mm}\} = 42 \text{ mm}$$

#### Έλεγχος πάχους συγκολλήσεων

Οι συγκολλήσεις έχουν πάχος 8mm > 3mm που είναι το ελάχιστο πάχος συγκόλλησης.

Έλεγχος πάχους συγκολλήσεων κορμού με δοκό:

$$8 \text{ mm} < 0,7t_{\min} = 0,7 \cdot 21 = 14,7 \text{ mm}$$

Έλεγχος πάχους συγκολλήσεων κορμού με υποστύλωμα:

$$8 \text{ mm} < 0,7t_{\min} = 0,7 \cdot 21 = 14,7 \text{ mm}$$

Έλεγχος πάχους συγκολλήσεων πέλματος με δοκό:

$$8 \text{ mm} < 0,7t_{\min} = 0,7 \cdot 32 = 22,4 \text{ mm}$$

Έλεγχος πάχους συγκολλήσεων πέλματος με υποστύλωμα:

$$8 \text{ mm} < 0,7t_{\min} = 0,7 \cdot 40 = 28 \text{ mm}$$

Άρα και οι έλεγχοι μέγιστου πάχους συγκόλλησης ικανοποιούνται.

#### Διατμητικές και ορθές τάσεις στις συγκολλήσεις

Οι έλεγχοι θα γίνουν με την μέγιστη αξονική δύναμη που προκύπτει από τις φορτίσεις για τον σύνδεσμο δυσκαμψίας που είναι 759,4 kN.

- Συγκόλληση συνδέσμου με δοκό

Η διατμητική τάση που προκαλεί στη συγκόλληση η οριζόντια συνιστώσα της αξονικής δύναμης του συνδέσμου δυσκαμψίας είναι:

$$\tau = \frac{553}{81,5} = 6,78 \text{ kN/cm}^2$$

Η τάση αυτή είναι διατμητική παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης του κορμού, δηλαδή  $\tau//$  και διατμητική κάθετη στον άξονα της συγκόλλησης των πελμάτων, δηλαδή  $\tau \perp$ . Η ορθή τάση που προκαλεί στη συγκόλληση η κατακόρυφη συνιστώσα της αξονικής δύναμης του συνδέσμου δυσκαμψίας είναι ίση με:

$$\sigma_{\perp} = \frac{521}{81,5} = 6,39 \text{ kN/cm}^2$$

η αντοχή της συγκόλλησης είναι:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau^2} = \sqrt{6,39^2 + 6,78^2} = 9,32 < \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{47}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 24,12 \text{ kN/cm}^2$$

Όπου ο συντελεστής  $\beta_w = 0,9$  για χάλυβα S355.

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

- Συγκόλληση συνδέσμου με υποστύλωμα

Η διατμητική τάση που προκαλεί στη συγκόλληση η οριζόντια συνιστώσα της αξονικής δύναμης του συνδέσμου δυσκαμψίας είναι:

$$\tau = \frac{521}{57} = 9,14 \text{ kN/cm}^2$$

Η τάση αυτή είναι διατμητική παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης του κορμού, δηλαδή  $\tau//$  και διατμητική κάθετη στον άξονα της συγκόλλησης των πελμάτων, δηλαδή  $\tau \perp$ . Η ορθή τάση που προκαλεί στη συγκόλληση η οριζόντια συνιστώσα της αξονικής δύναμης του συνδέσμου δυσκαμψίας είναι ίση με:

$$\sigma_{\perp} = \frac{553}{57} = 9,7 \text{ kN/cm}^2$$

η αντοχή της συγκόλλησης είναι:

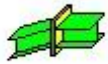
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau^2} = \sqrt{9,7^2 + 9,14^2} = 13,3 < \frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w\gamma_{M2}} = \frac{47}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 24,1 \text{ kN/cm}^2$$

Όπου ο συντελεστής  $\beta_w = 0,9$  για χάλυβα S355.

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

Στη συνέχεια εξετάζεται η αποκατάσταση συνέχειας του συνδέσμου δυσκαμψίας.





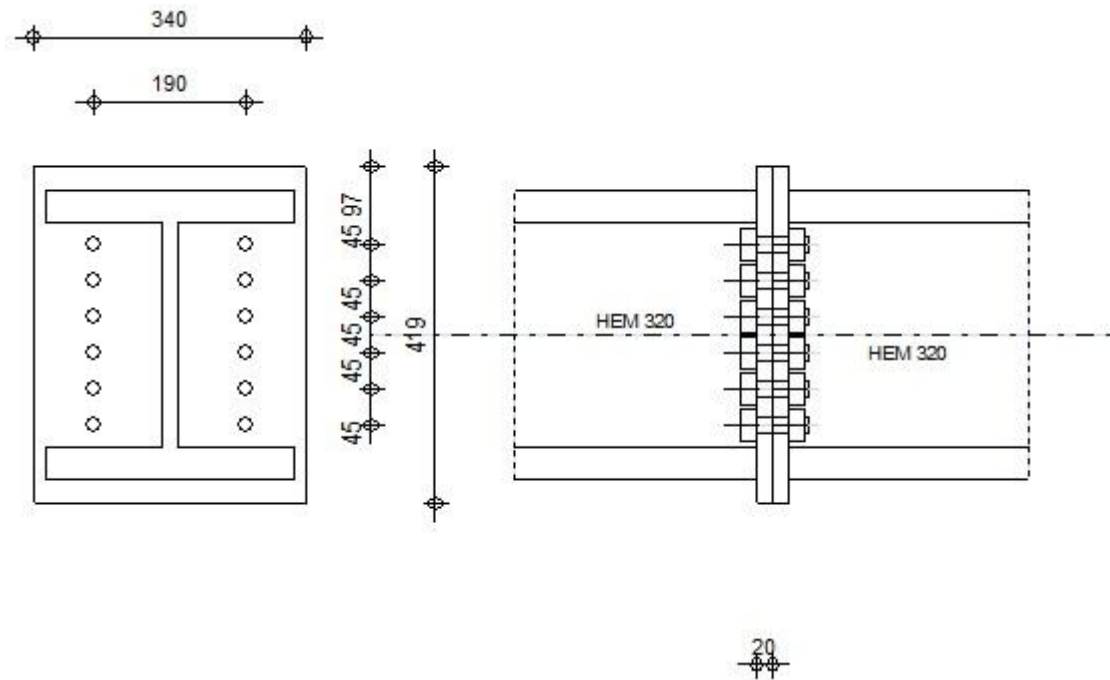
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2013-Student Version

## ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΑΚΤΩΜΕΝΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΟΚΟΥ ΜΕ ΔΟΚΟ

EN 1993-1-8:2005/AC:2009



ΛΟΓΟΣ  
0,60



### ΓΕΝΙΚΟ

ΣΥΝΔΕΣΗ no.: 1  
Όνομα σύνδεσης: Beam-Beam  
ΚΟΜΒΟΣ ΦΟΡΕΑ 3

ΣΥΝΔΕΣΗ no.: 1  
ΜΕΛΗ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ: 2, 3

## ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

---

### ΑΡΙΣΤΕΡΗ ΠΛΕΥΡΑ

#### ΔΟΚΟΣ

ΔΙΑΤΟΜΗ: HEM 320  
ΡΑΒΔΟΣ no.: 2

|             |          |                    |   |
|-------------|----------|--------------------|---|
| $\alpha =$  | -180,0   | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                              |
| $h_{bl} =$  | 359      | [mm]               | ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                       |
| $b_{fbl} =$ | 309      | [mm]               | ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                     |
| $t_{wbl} =$ | 21       | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                 |
| $t_{fbl} =$ | 40       | [mm]               | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ                   |
| $r_{bl} =$  | 27       | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $A_{bl} =$  | 312,05   | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ                    |
| $I_{xbl} =$ | 68134,90 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| ΥΛΙΚΟ       | STEEL    |                    |   |
| $f_{yb} =$  | 235,00   | [MPa]              | ΑΝΤΟΧΗ                                    |

### ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ

#### ΔΟΚΟΣ

ΔΙΑΤΟΜΗ: HEM 320  
ΡΑΒΔΟΣ no.: 3

|             |      |       |                           |
|-------------|------|-------|---------------------------|
| $\alpha =$  | -0,0 | [Deg] | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ              |
| $h_{br} =$  | 359  | [mm]  | ΥΨΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $b_{fbr} =$ | 309  | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ     |
| $t_{wbr} =$ | 21   | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| $t_{fbr} =$ | 40   | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ   |

|             |          |                    |   |
|-------------|----------|--------------------|---|
| $\alpha =$  | -0,0     | [Deg]              | ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ                              |
| $r_{br} =$  | 27       | [mm]               | ΑΚΤΙΝΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ       |
| $A_{br} =$  | 312,05   | [cm <sup>2</sup> ] | ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ                    |
| $I_{xbr} =$ | 68134,90 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΕΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΔΟΚΑΡΙΟΥ |
| ΥΛΙΚΟ       | STEEL    |                    |   |
| $f_{yb} =$  | 235,00   | [MPa]              | ΑΝΤΟΧΗ                                    |

## ΚΟΧΛΙΕΣ

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

|                                    |                    |      |  |
|------------------------------------|--------------------|------|--|
| $d =$                              | 20                 | [mm] | ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ   |
| ΠΟΙΟΤΗΤΑ =                         | 8.8                |      | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ  |
| $F_{IRd} =$                        | 141,12             | [kN] | Εφελκυστική αντοχή κοχλία                                    |
| $n_h =$                            | 2                  |      | ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ                                |
| $n_v =$                            | 6                  |      | ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΕΙΡΩΝ ΚΟΧΛΙΩΝ                                       |
| $h_1 =$                            | 97                 | [mm] | Απόσταση μεταξύ πρώτου κοχλία και άνω άκρου λεπίδας σύνδεσης |
| ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $e_i =$  | 190                | [mm] |  |
| ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ $p_i =$ | 45; 45; 45; 45; 45 | [mm] |  |

## ΠΛΑΚΑ

|             |        |       |                |
|-------------|--------|-------|----------------|
| $h_{pr} =$  | 419    | [mm]  | ΥΨΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ   |
| $b_{pr} =$  | 340    | [mm]  | ΠΛΑΤΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ |
| $t_{pr} =$  | 20     | [mm]  | ΠΑΧΟΣ ΛΕΠΙΔΑΣ  |
| ΥΛΙΚΟ       | S355   |       |                |
| $f_{ypr} =$ | 355,00 | [MPa] | ΑΝΤΟΧΗ         |

## ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΕΞΩΡΑΦΗΣ

|         |    |      |                   |
|---------|----|------|-------------------|
| $a_w =$ | 15 | [mm] | ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΟΡΜΟΥ |
| $a_f =$ | 28 | [mm] | ΚΟΛΛΗΣΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ  |

## ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

|                 |      |  |                               |       |
|-----------------|------|--|-------------------------------|-------|
| $\gamma_{M0} =$ | 1,00 |  | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M1} =$ | 1,00 |  | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |

|                 |      |                               |       |
|-----------------|------|-------------------------------|-------|
| $\gamma_{M0} =$ | 1,00 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M2} =$ | 1,25 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |
| $\gamma_{M3} =$ | 1,25 | ΜΕΡΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ | [2.2] |

## ΦΟΡΤΙΑ

### ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ: 2: DL2

|               |        |        |                                  |
|---------------|--------|--------|----------------------------------|
| $M_{b1,Ed} =$ | -63,86 | [kN*m] | ΡΟΠΗ ΚΑΜΨΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ      |
| $V_{b1,Ed} =$ | 55,11  | [kN]   | ΔΥΝΑΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ |
| $N_{b1,Ed} =$ | 384,37 | [kN]   | ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΔΕΞΙ ΔΟΚΑΡΙ   |

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### ΑΝΤΟΧΕΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ

#### ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

|  |         |                    |   |                    |
|--|---------|--------------------|---|--------------------|
| $A_b =$                                | 312,05  | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ                                 | EN1993-1-1:[6.2.3] |
| $N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$ |         |                    |   |                    |
| $N_{tb,Rd} =$                          | 7333,13 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ | EN1993-1-1:[6.2.3] |

#### ΔΙΑΤΜΗΣΗ

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $A_{vb} =$   | 94,85   | [cm <sup>2</sup> ] | ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ                      | EN1993-1-1:[6.2.6.(3)] |
| $V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$ |         |                    |  |                        |
| $V_{cb,Rd} =$  | 1286,87 | [kN]               | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ | EN1993-1-1:[6.2.6.(2)] |
| $V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$                       |         |                    | 0,04 < 1,00                            | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,04)    |

#### ΚΑΜΨΗ - ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ(ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ)

|  |         |                    |  |                        |
|--|---------|--------------------|--|------------------------|
| $W_{plb} =$                                  | 4435,16 | [cm <sup>3</sup> ] | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus                             | EN1993-1-1:[6.2.5.(2)] |
| $M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$ |         |                    |  |                        |
| $M_{b,pl,Rd} =$                              | 1042,26 | [kN*m]             | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ (ΧΩΡΙΣ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ) | EN1993-1-1:[6.2.5.(2)] |

#### ΚΑΜΨΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΠΛΑΚΑ Η'ΣΕ ΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΜΕΛΟΣ

|   |         |                    |                                     |                    |
|---|---------|--------------------|-------------------------------------|--------------------|
| $W_{pl} =$                                | 4435,16 | [cm <sup>3</sup> ] | ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ modulus            | EN1993-1-1:[6.2.5] |
| $M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$ |         |                    |                                     |                    |
| $M_{cb,Rd} =$                             | 1042,26 | [kN*m]             | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ | EN1993-1-1:[6.2.5] |

### ΠΕΛΜΑ-ΚΟΡΜΟΣ ΘΛΙΨΗ

|                                 |         |        |   |                    |
|---------------------------------|---------|--------|---|--------------------|
| $M_{cb,Rd} =$                   | 1042,26 | [kN*m] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ       | EN1993-1-1:[6.2.5] |
| $h_f =$                         | 319     | [mm]   | ΚΕΝΤΡΟΒΑΡΙΚΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΛΜΑΤΩΝ | [6.2.6.7.(1)]      |
| $F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$ |         |        |   |                    |
| $F_{c,fb,Rd} =$                 | 3267,28 | [kN]   | ΑΝΤΟΧΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΡΜΟΥ     | [6.2.6.7.(1)]      |

## ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

### ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΑ ΜΗΚΗ-ΜΠΡΟΣΤΙΝΟ ΕΛΑΣΜΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

| Nr | m  | m <sub>x</sub> | e  | e <sub>x</sub> | ρ  | l <sub>eff,cp</sub> | l <sub>eff,nc</sub> | l <sub>eff,1</sub> | l <sub>eff,2</sub> | l <sub>eff,cp,g</sub> | l <sub>eff,nc,g</sub> | l <sub>eff,1,g</sub> | l <sub>eff,2,g</sub> |
|----|----|----------------|----|----------------|----|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 781                 | 424                | 781                | 257                   | 622                   | 257                  | 622                  |
| 2  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 364                 | 364                | 364                | 90                    | 45                    | 45                   | 45                   |
| 3  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 364                 | 364                | 364                | 90                    | 45                    | 45                   | 45                   |
| 4  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 364                 | 364                | 364                | 90                    | 45                    | 45                   | 45                   |
| 5  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 364                 | 364                | 364                | 90                    | 45                    | 45                   | 45                   |
| 6  | 68 | -              | 75 | -              | 45 | 424                 | 781                 | 424                | 781                | 257                   | 622                   | 257                  | 622                  |

m – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΟΡΜΟ

m<sub>x</sub> – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ

e – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΚΡΑΙΑ ΑΚΜΗ

e<sub>x</sub> – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΚΟΧΛΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΕΞΩ ΑΚΜΗ

ρ – ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΟΧΛΙΩΝ

l<sub>eff,cp</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

l<sub>eff,nc</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

l<sub>eff,1</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 1

l<sub>eff,2</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ mode 2

l<sub>eff,cp,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

l<sub>eff,nc,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΣΤΗΝ ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

l<sub>eff,1,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ mode 1

l<sub>eff,2,g</sub> – ΕΝΕΡΓΟ ΜΗΚΟΣ ΟΜΑΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ mode 2

## ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

|              |        |      |                                     |               |
|--------------|--------|------|-------------------------------------|---------------|
| $F_{t,Rd} =$ | 141,12 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ         | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $B_{p,Rd} =$ | 443,34 | [kN] | Διατρητική διατμητική αντοχή κοχλία | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |

$F_{t,fc,Rd}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

$F_{t,wc,Rd}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΚΟΡΜΟΥ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΟΣ

$F_{t,ep,Rd}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕΤΩΠΙΚΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

$F_{t,wb,Rd}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΚΟΡΜΟΥ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

$$F_{t,fc,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd})$$

[6.2.6.4] , [Tab.6.2]

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{\text{eff},t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0}$$

[6.2.6.3.(1)]

$$F_{t,ep,Rd} = \text{Min} (F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd})$$

[6.2.6.5] , [Tab.6.2]

$$F_{t,wb,Rd} = b_{\text{eff},t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

[6.2.6.8.(1)]

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 1

| <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>     | <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|---|-------------------------------|---|
| $F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$ | 282, 24                       | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(1)} = 282,24$                 | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(1)} = 2093,92$                | 2093, 92                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$                       | 886, 68                       | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 2

| <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                      | <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t2,Rd} = \text{Min} (F_{t2,Rd,comp})$                  | 282, 24                       | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(2)} = 282,24$                                  | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(2)} = 1795,69$                                 | 1795, 69                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886, 68                       | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 564,48 - 282,24$  | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1713,19 - 282,24$ | 1430, 95                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 3

| <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                        | <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t3,Rd} = \text{Min} (F_{t3,Rd,comp})$                    | 161, 91                       | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(3)} = 282,24$                                    | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(3)} = 1795,69$                                   | 1795, 69                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886, 68                       | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{t,ep,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 189,25 - 282,24$    | -92, 99                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 444,15 - 282,24$    | 161, 91                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 800,08 - 564,48$  | 235, 60                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{ij,Rd} = 2157,34 - 564,48$ | 1592, 86                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 4**

| <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                          | <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$                      | 222,08                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(4)} = 282,24$                                      | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(4)} = 1795,69$                                     | 1795,69                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 189,25 - 161,91$      | 27,34                         | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 444,15 - 161,91$      | 282,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 283,88 - 444,15$    | -160,27                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 666,23 - 444,15$    | 222,08                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 971,02 - 726,39$  | 244,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 2601,49 - 726,39$ | 1875,10                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 5**

| <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                            | <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$                        | 222,08                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(5)} = 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(5)} = 1795,69$                                       | 1795,69                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 189,25 - 222,08$        | -32,82                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 444,15 - 222,08$        | 222,08                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 283,88 - 383,99$      | -100,11                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 666,23 - 383,99$      | 282,24                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum_4^2 F_{ij,Rd} = 378,50 - 666,23$    | -287,72                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum_4^2 F_{ij,Rd} = 888,30 - 666,23$    | 222,08                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_4^1 F_{ij,Rd} = 1141,95 - 948,47$ | 193,49                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_4^1 F_{ij,Rd} = 3045,64 - 948,47$ | 2097,17                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 6**

| <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>     | <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>           |
|---|-------------------------------|----------------------------|
| $F_{t6,Rd} = \text{Min} (F_{t6,Rd,comp})$ | 253,65                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ      |
| $F_{t,ep,Rd(6)} = 282,24$                 | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ       |
| $F_{t,wb,Rd(6)} = 2093,92$                | 2093,92                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ |

| <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                               | <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|---|-------------------------------|---|
| $B_{p,Rd} = 886,68$   | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{tj,Rd} = 564,48 - 222,08$           | 342,41                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{tj,Rd} = 1713,19 - 222,08$          | 1491,11                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{tj,Rd} = 800,08 - 444,15$         | 355,93                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_5^4 F_{tj,Rd} = 2157,34 - 444,15$        | 1713,19                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{tj,Rd} = 971,02 - 606,06$       | 364,96                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_5^3 F_{tj,Rd} = 2601,49 - 606,06$      | 1995,43                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_5^2 F_{tj,Rd} = 1141,95 - 888,30$    | 253,65                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_5^2 F_{tj,Rd} = 3045,64 - 888,30$    | 2157,34                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 1600,17 - 1170,54$ | 429,63                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_5^1 F_{tj,Rd} = 4314,67 - 1170,54$ | 3144,13                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

| Nr | h <sub>j</sub> | F <sub>tj,Rd</sub> | F <sub>t,fc,Rd</sub> | F <sub>t,wc,Rd</sub> | F <sub>t,ep,Rd</sub> | F <sub>t,wb,Rd</sub> | F <sub>t,Rd</sub> | B <sub>p,Rd</sub> |
|----|----------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| 1  | 272            | 282,24             | -                    | -                    | 282,24               | 2093,92              | 282,24            | 886,68            |
| 2  | 227            | 282,24             | -                    | -                    | 282,24               | 1795,69              | 282,24            | 886,68            |
| 3  | 182            | 161,91             | -                    | -                    | 282,24               | 1795,69              | 282,24            | 886,68            |
| 4  | 137            | 222,08             | -                    | -                    | 282,24               | 1795,69              | 282,24            | 886,68            |
| 5  | 92             | 222,08             | -                    | -                    | 282,24               | 1795,69              | 282,24            | 886,68            |
| 6  | 47             | 253,65             | -                    | -                    | 282,24               | 2093,92              | 282,24            | 886,68            |

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ N<sub>j,Rd</sub>

$$N_{j,Rd} = \sum F_{tj,Rd}$$

$$N_{j,Rd} = 1424,19 \quad [\text{kN}]$$

ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

[6.2]

$$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1,0$$

$$0,27 < 1,00$$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ

(0,27)

### ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ No. 1

| <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>     | <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>           |
|---|-------------------------------|----------------------------|
| $F_{t1,Rd} = \text{Min} (F_{t1,Rd,comp})$ | 282,24                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ      |
| $F_{t,ep,Rd(1)} = 282,24$                 | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ       |
| $F_{t,wb,Rd(1)} = 2093,92$                | 2093,92                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ |



| <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b> | <b>F<sub>t1,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|---------------------------------------|-------------------------------|---|
| B <sub>p,Rd</sub> = 886,68            | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| F <sub>c,fb,Rd</sub> = 3267,28        | 3267,28                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 2

| <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>   | <b>F<sub>t2,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|---|-------------------------------|---|
| F <sub>t2,Rd</sub> = Min (F <sub>t2,Rd,comp</sub> )   | 282,24                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| F <sub>t,ep,Rd(2)</sub> = 282,24  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| F <sub>t,wb,Rd(2)</sub> = 1795,69   | 1795,69                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| B <sub>p,Rd</sub> = 886,68  | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| F <sub>c,fb,Rd</sub> - ∑ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 3267,28 - 282,24      | 2985,04                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |
| F <sub>t,ep,Rd(2+1)</sub> - ∑ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 564,48 - 282,24  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| F <sub>t,wb,Rd(2+1)</sub> - ∑ <sub>1</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 1713,19 - 282,24 | 1430,95                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t2,Rd} = F_{t1,Rd} h_2/h_1$$

$$F_{t2,Rd} = 235,55 \text{ [kN]} \quad \text{ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ}$$

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 3

| <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>   | <b>F<sub>t3,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|---|-------------------------------|---|
| F <sub>t3,Rd</sub> = Min (F <sub>t3,Rd,comp</sub> )   | 208,60                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| F <sub>t,ep,Rd(3)</sub> = 282,24  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| F <sub>t,wb,Rd(3)</sub> = 1795,69   | 1795,69                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| B <sub>p,Rd</sub> = 886,68  | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| F <sub>c,fb,Rd</sub> - ∑ <sub>1</sub> <sup>2</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 3267,28 - 517,79        | 2749,49                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |
| F <sub>t,ep,Rd(3+2)</sub> - ∑ <sub>2</sub> <sup>2</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 189,25 - 235,55    | -46,30                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| F <sub>t,wb,Rd(3+2)</sub> - ∑ <sub>2</sub> <sup>2</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 444,15 - 235,55    | 208,60                        | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| F <sub>t,ep,Rd(3+2+1)</sub> - ∑ <sub>2</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 800,08 - 517,79  | 282,30                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| F <sub>t,wb,Rd(3+2+1)</sub> - ∑ <sub>2</sub> <sup>1</sup> F <sub>ij,Rd</sub> = 2157,34 - 517,79 | 1639,55                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t3,Rd} = F_{t1,Rd} h_3/h_1$$

$$F_{t3,Rd} = 188,85 \text{ [kN]} \quad \text{ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ}$$

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 4

| <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b> | <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b> |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------|
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------|

| <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                          | <b>F<sub>t4,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t4,Rd} = \text{Min} (F_{t4,Rd,comp})$                      | 241, 83                       | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(4)} = 282,24$                                      | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(4)} = 1795,69$                                     | 1795, 69                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886, 68                       | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{ij,Rd} = 3267,28 - 706,64$          | 2560, 64                      | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |
| $F_{t,ep,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 189,25 - 188,85$      | 0, 40                         | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 444,15 - 188,85$      | 255, 30                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 283,88 - 424,40$    | -140, 52                      | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{ij,Rd} = 666,23 - 424,40$    | 241, 83                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 971,02 - 706,64$  | 264, 38                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(4+3+2+1)} - \sum_3^1 F_{ij,Rd} = 2601,49 - 706,64$ | 1894, 85                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t4,Rd} = F_{t1,Rd} h_4/h_1$$

$$F_{t4,Rd} = 142,16 \quad [\text{kN}] \quad \text{ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ}$$

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 5

| <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                            | <b>F<sub>t5,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t5,Rd} = \text{Min} (F_{t5,Rd,comp})$                        | 282, 24                       | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(5)} = 282,24$  | 282, 24                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(5)} = 1795,69$                                       | 1795, 69                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886, 68                       | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^4 F_{ij,Rd} = 3267,28 - 848,80$            | 2418, 49                      | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |
| $F_{t,ep,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 189,25 - 142,16$        | 47, 09                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 444,15 - 142,16$        | 301, 99                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 283,88 - 331,01$      | -47, 13                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3)} - \sum_4^3 F_{ij,Rd} = 666,23 - 331,01$      | 335, 22                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3+2)} - \sum_4^2 F_{ij,Rd} = 378,50 - 566,56$    | -188, 05                      | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3+2)} - \sum_4^2 F_{ij,Rd} = 888,30 - 566,56$    | 321, 74                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_4^1 F_{ij,Rd} = 1141,95 - 848,80$ | 293, 16                       | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(5+4+3+2+1)} - \sum_4^1 F_{ij,Rd} = 3045,64 - 848,80$ | 2196, 84                      | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t5,Rd} = F_{t1,Rd} h_5/h_1$$

$$F_{t5,Rd} = 95,46 \quad [\text{kN}]$$

ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

[6.2.7.2.(9)]

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ Νο. 6

| <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub> - ΤΥΠΟΣ</b>                              | <b>F<sub>t6,Rd,comp</sub></b> | <b>ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ</b>                        |
|--|-------------------------------|---|
| $F_{t6,Rd} = \text{Min}(F_{t6,Rd,comp})$                           | 282,24                        | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ                   |
| $F_{t,ep,Rd(6)} = 282,24$  | 282,24                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ                    |
| $F_{t,wb,Rd(6)} = 2093,92$   | 2093,92                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ              |
| $B_{p,Rd} = 886,68$  | 886,68                        | Κοχλίες λόγω της διάτρησης από διάτμηση |
| $F_{c,fb,Rd} - \sum_1^5 F_{ij,Rd} = 3267,28 - 944,26$              | 2323,02                       | ΠΕΛΜΑ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΘΛΙΨΗ                  |
| $F_{t,ep,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 564,48 - 95,46$           | 469,02                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5)} - \sum_5^5 F_{ij,Rd} = 1713,19 - 95,46$          | 1617,72                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 800,08 - 237,62$        | 562,46                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4)} - \sum_4^4 F_{ij,Rd} = 2157,34 - 237,62$       | 1919,71                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 971,02 - 426,47$      | 544,54                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3)} - \sum_3^3 F_{ij,Rd} = 2601,49 - 426,47$     | 2175,01                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 1141,95 - 662,02$   | 479,93                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2)} - \sum_2^2 F_{ij,Rd} = 3045,64 - 662,02$   | 2383,62                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |
| $F_{t,ep,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 1600,17 - 944,26$ | 655,91                        | ΜΠΡΟΣΤΙΝΗ ΠΛΑΚΑ-ΤΑΣΗ-ΓΚΡΟΥΠ             |
| $F_{t,wb,Rd(6+5+4+3+2+1)} - \sum_1^1 F_{ij,Rd} = 4314,67 - 944,26$ | 3370,41                       | ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ-ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΓΚΡΟΥΠ       |

#### ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{t6,Rd} = F_{t1,Rd} h_6/h_1$$

$$F_{t6,Rd} = 48,77 \quad [\text{kN}]$$

ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

[6.2.7.2.(9)]

#### ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ

| <b>Nr</b> | <b>h<sub>j</sub></b> | <b>F<sub>ij,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,fc,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,wc,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,ep,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,wb,Rd</sub></b> | <b>F<sub>t,Rd</sub></b> | <b>B<sub>p,Rd</sub></b> |
|-----------|----------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1         | 272                  | 282,24                   | -                          | -                          | 282,24                     | 2093,92                    | 282,24                  | 886,68                  |
| 2         | 227                  | 235,55                   | -                          | -                          | 282,24                     | 1795,69                    | 282,24                  | 886,68                  |
| 3         | 182                  | 188,85                   | -                          | -                          | 282,24                     | 1795,69                    | 282,24                  | 886,68                  |
| 4         | 137                  | 142,16                   | -                          | -                          | 282,24                     | 1795,69                    | 282,24                  | 886,68                  |
| 5         | 92                   | 95,46                    | -                          | -                          | 282,24                     | 1795,69                    | 282,24                  | 886,68                  |
| 6         | 47                   | 48,77                    | -                          | -                          | 282,24                     | 2093,92                    | 282,24                  | 886,68                  |

#### ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ M<sub>ij,Rd</sub>

|                                 |        |        |                          |              |  |        |
|---------------------------------|--------|--------|--------------------------|--------------|--|--------|
| $M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$ |        |        |                          |              |  |        |
| $M_{j,Rd} =$                    | 195,16 | [kN*m] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ |              |  | [6.2]  |
| $M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1,0$ |        |        | 0,33 < 1,00              | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ |  | (0,33) |

### **ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ Μ+Ν ΑΛΛΗΠΙΔΡΑΣΗΣ**

|  |  |  |             |              |  |               |
|--|--|--|-------------|--------------|--|---------------|
| $M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1$ |  |  |             |              |  | [6.2.5.1.(3)] |
| $M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} + N_{b1,Ed} / N_{j,Rd}$        |  |  | 0,60 < 1,00 | ΕΠΑΛΗΘΕΥΕΤΑΙ |  | (0,60)        |

### **ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ**

|                  |        |      |   |               |
|------------------|--------|------|---|---------------|
| $\alpha_v =$     | 0,60   |      | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ $F_{v,Rd}$ | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{v,Rd} =$     | 120,64 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ                | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{t,Rd,max} =$ | 141,12 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΕΝΟΣ ΚΟΧΛΙΑ               | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{b,Rd,int} =$ | 169,27 | [kN] | ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΕΝΔΙΑΜΕΣΟΥ ΚΟΧΛΙΑ              | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |
| $F_{b,Rd,ext} =$ | 392,00 | [kN] | ΦΕΡΟΥΣΑ ΑΝΤΟΧΗ ΠΙΟ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΟΥ ΚΟΧΛΙΑ      | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4] |

| Nr | $F_{tj,Rd,N}$ | $F_{tj,Ed,N}$ | $F_{tj,Rd,M}$ | $F_{tj,Ed,M}$ | $F_{tj,Ed}$ | $F_{vj,Rd}$ |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 1  | 282,24        | 76,17         | 282,24        | 92,36         | 168,53      | 138,37      |
| 2  | 282,24        | 76,17         | 235,55        | 77,08         | 153,25      | 147,70      |
| 3  | 161,91        | 43,70         | 188,85        | 61,80         | 105,50      | 176,86      |
| 4  | 222,08        | 59,94         | 142,16        | 46,52         | 106,46      | 176,27      |
| 5  | 222,08        | 59,94         | 95,46         | 31,24         | 91,18       | 185,60      |
| 6  | 253,65        | 68,46         | 48,77         | 15,96         | 84,42       | 189,73      |

- $F_{tj,Rd,N}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΛΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ
- $F_{tj,Ed,N}$  – ΔΥΝΑΜΗ ΛΟΓΩ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
- $F_{tj,Rd,M}$  – ΑΝΤΟΧΗ ΓΡΑΜΜΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΓΙΑ ΑΠΛΗ ΚΑΜΨΗ
- $F_{tj,Ed,M}$  – ΔΥΝΑΜΗ ΛΟΓΩ ΡΟΠΗΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
- $F_{tj,Ed}$  – ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΟΧΛΙΩΝ
- $F_{vj,Rd}$  – ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕΙΡΑΣ ΚΟΧΛΙΩΝ

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \text{Min} (\eta_h F_{v,Rd} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 \eta_h F_{t,Rd,max})), \eta_h F_{v,Rd}, \eta_h F_{b,Rd})$$

|                                     |         |      |                             |                      |
|-------------------------------------|---------|------|-----------------------------|----------------------|
| $V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$ |         |      |                             | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]        |
| $V_{j,Rd} =$                        | 1014,52 | [kN] | ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ | [ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4]        |
| $V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1,0$     |         |      | 0,05 < 1,00                 | ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,05) |

## ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

|   |          |                    |  |                      |
|---|----------|--------------------|--|----------------------|
| $A_w =$   | 386,70   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                   | [4.5.3.2(2)]         |
| $A_{wy} =$  | 319,20   | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                 | [4.5.3.2(2)]         |
| $A_{wz} =$  | 67,50    | [cm <sup>2</sup> ] | ΕΜΒΑΔΟ ΚΑΘΕΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ                                    | [4.5.3.2(2)]         |
| $I_{wy} =$  | 90866,84 | [cm <sup>4</sup> ] | ΡΟΠΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΣΕΒΑΣΜΟ ΤΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ | [4.5.3.2(5)]         |
| $\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} =$   | 19,56    | [MPa]              | ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΟΛΛΗΣΗ                                       | [4.5.3.2(5)]         |
| $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$   | 15,53    | [MPa]              | ΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΑ ΚΑΘΕΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ                                  | [4.5.3.2(5)]         |
| $\tau_{II} =$   | 8,17     | [MPa]              | ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ ΤΑΣΗ  | [4.5.3.2(5)]         |
| $\beta_w =$   | 0,80     |                    | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ   | [4.5.3.2(7)]         |
| $\sqrt{[\sigma_{\perp,max}^2 + 3*(\tau_{\perp,max}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$       |          |                    | 39,11 < 360,00   | ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,11) |
| $\sqrt{[\sigma_{\perp}^2 + 3*(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)]} \leq f_u / (\beta_w * \gamma_{M2})$ |          |                    | 34,13 < 360,00   | ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,09) |
| $\sigma_{\perp} \leq 0.9 * f_u / \gamma_{M2}$   |          |                    | 19,56 < 259,20   | ΕΠΑΛΛΗΘΕΥΕΤΑΙ (0,08) |

## ΑΚΑΜΨΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Η ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟ ΔΟΚΑΡΙ ΥΠΕΡΒΑΙΝΕΙ ΤΟ 5% ΤΗΣ  $N_{pl,Rd}$  ΑΝΤΟΧΗΣ. ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΑΡΘΡΟ 6.3.1.(4), Η ΑΚΑΜΨΙΑ ΤΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΔΕΝ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΙ.

## ΠΙΟ ΑΔΥΝΑΜΟ ΤΜΗΜΑ:

ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΑΡΙΟΥ - ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ

**Η ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΙΝΑΙ ΣΥΜΦΩΝΗ ΜΕ ΤΟΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ**

ΛΟΓΟΣ 0,60

## 6.7 Υπολογισμός έδρασης υποστυλώματος

Ο έλεγχος γίνεται με τα μέγιστα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν από τους συνδυασμούς φορτίσεων. Αυτά είναι:

$$N_{Ed} = 4232 \text{ kN}$$

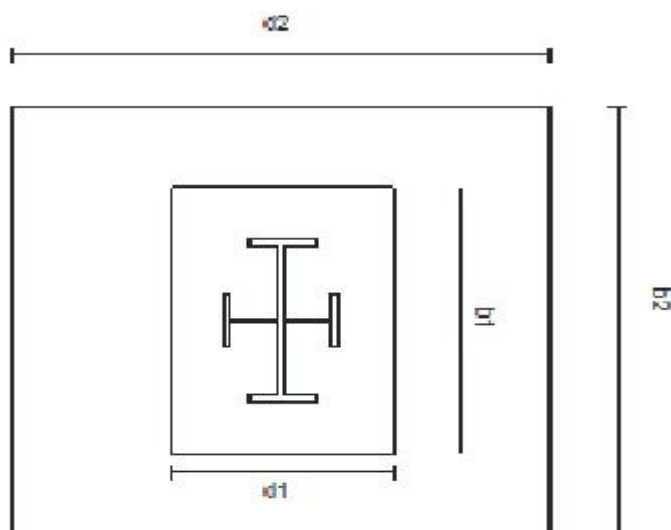
$$M_{Ed,y} = 326 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 55,3 \text{ kNm}$$

Διαστάσεις ενεργού θεμελίου

$$\max b_2 = 3b_1 = 3 \cdot 1200 = 3600 \text{ mm}$$

$$\max d_2 = 3d_1 = 3 \cdot 1200 = 3600 \text{ mm}$$



Σχήμα 6.13 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Η επιφάνεια  $A_{c1} = b_2 \cdot d_2$  περιέχεται όλη στην κάτω επιφάνεια της θεμελίωσης και συγχρόνως ισχύει:

$$h \geq b_2 - b_1 = 2400 \text{ mm}$$

$$h \geq d_2 - d_1 = 2400 \text{ mm}$$

$$\text{Άρα } A_{c0} = b_1 d_1 = 1200^2 = 1440000 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = b_2 d_2 = 3600^2 = 12960000 \text{ mm}^2$$

### Αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

$$F_{Rdu} = A_{co} \cdot f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{co}}} \leq 3f_{cd} \cdot A_{co}$$

$$F_{Rdu} = 72000 \text{ kN} \leq 72000 \text{ kN}$$

Ο συντελεστής υλικού του κόμβου, με υπόθεση αντοχής κονιάματος μεγαλύτερης του 0,2 της αντοχής του σκυροδέματος θεμελίωσης και ακόμη επειδή για το πάχος του κονιάματος των 40 mm ισχύει:

$$0,2\min(d_1, b_1) = 240 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

$$\text{είναι } \beta_j = 2/3.$$

Η αντοχή επαφής της έδρασης είναι:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j F_{Rdu}}{b_{eff} l_{eff}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{72000}{1440000} = 33,3 \text{ N/mm}^2$$

### Ενεργός επιφάνεια έδρασης

$$c \leq t \left( \frac{f_y}{3f_{jd}\gamma_{M0}} \right)^{0,5} = 40 \left( \frac{355}{3 \cdot 33,3 \cdot 1} \right)^{0,5} = 75,4 \text{ mm}$$

και η ενεργός επιφάνεια είναι:

$$A_{eff} = (302+2c)(2c+40)2 + (300+2c)(2c+28)2 + (21+2c)830 + (2c+14,5)(444-2c-21) = 172788,5 + 161206,1 + 142594 + 44994,7 = 521583,3 \text{ mm}^2$$

### Έλεγχος αντοχής έδρασης σε θλίψη

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 17369 \text{ kN} > N_{Ed} = 4232 \text{ kN}$$

### Έλεγχος αντοχής έδρασης σε κάμψη

Η αντοχή των εφελκόμενων αγκυρίων είναι:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 80 \cdot 5,61}{1,25} = 323,14 \text{ kN}$$

Έστω ότι το θλιβόμενο τμήμα της πλάκας έδρασης είναι μήκους x. Άρα η αντοχή του σε θλίψη ισούται με:

$$D = x \cdot f_{cd} \cdot b = \frac{25}{1,5} 1200x = 20000x \text{ kN}$$

Άρα από ισορροπία δυνάμεων προκύπτει ότι:

$$N_{Ed} + 8F_{t,Rd} = D \Rightarrow x = 340,9 \text{ mm}$$

και  $D = 6818 \text{ kN}$

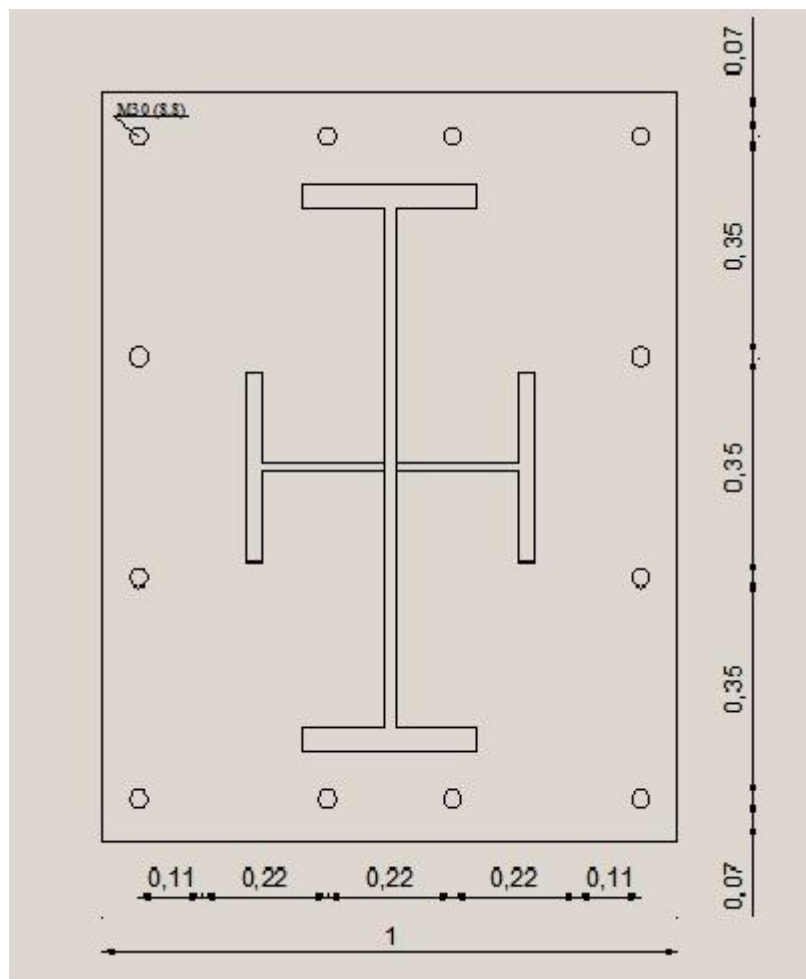
άρα η αντοχή της κάμψης έδρασης ως προς το κέντρο βάρους της υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{j,Rd} = 1292,6\left(\frac{1200}{2} - 274,6\right) + 646,3\left(\frac{1200}{2} - 91,6\right) - 646,3\left(\frac{1200}{2} - 91,6\right) + 6818\left(\frac{1200}{2} - \frac{340,9}{2}\right) = 3350 \text{ kNm}$$

Η πλάκα έδρασης και τα αγκύρια είναι συμμετρικά τοποθετημένα. Άρα:

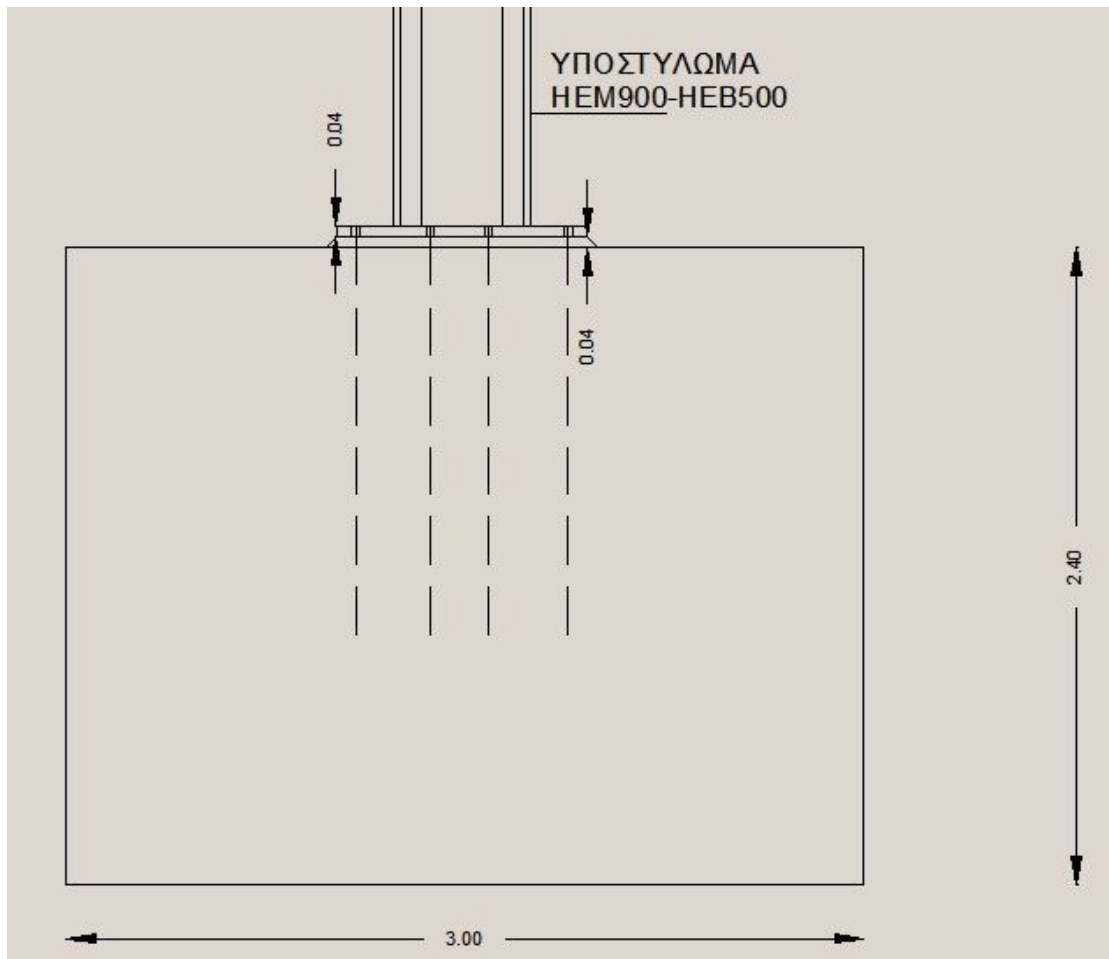
$$M_{j,Rd} = 3350 \text{ kNm} > M_{Ed,y} = 326 \text{ kNm}$$

$$M_{j,Rd} = 3350 \text{ kNm} > M_{Ed,z} = 55,3 \text{ kNm}$$



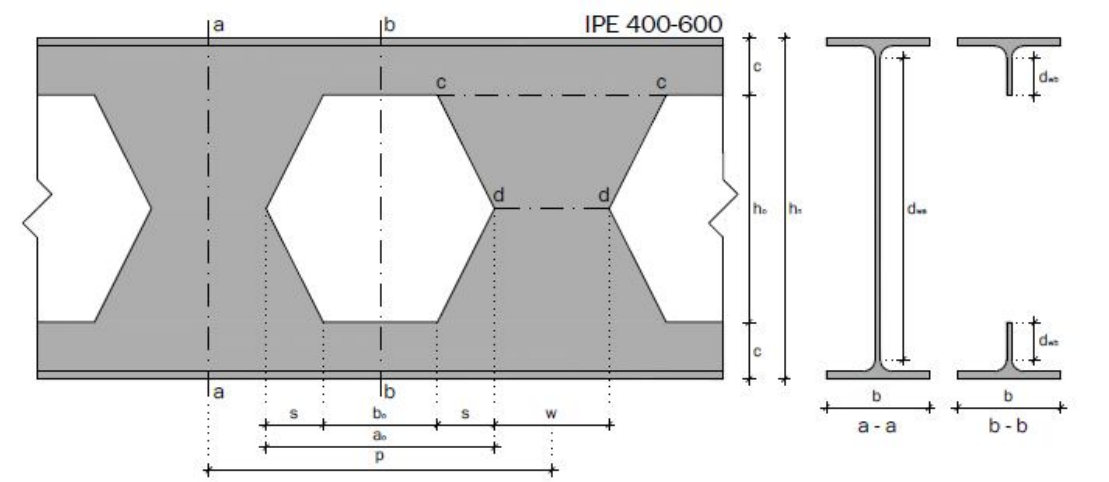
Σχήμα 6.14 Λεπτομέρεια έδρασης υποστλώματος





Σχήμα 6.15 Λεπτομέρεια έδρασης υποστυλώματος

## 6.8 Κυψελωτή δοκός



Σχήμα 6.16 Κυψελωτή δοκός IPE 400-600

### Διαμόρφωση κυψελωτής δοκού

Θα μελετηθεί η κυψελωτή δοκός διατομής IPE400-600 από χάλυβα S355. Η δοκός προκύπτει από πρότυπη διατομή IPE 400 ύστερα από κοπή οδοντωτής μορφής του κορμού. Το αποτέλεσμα είναι η κυψελωτή δοκός ύψους  $h_k = 1,5h$  (όπου  $h = 400$  mm) με ισαπέχοντα κατά  $1,5h$  εξαγωνικά ανοίγματα ύψους  $h$  κατά μήκος του κορμού να έχει σημαντική μείωση του ίδιου βάρους.

### Γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά της κυψελωτής δοκού

Ύψος αρχικής διατομής:  $h = 400$  mm

Πάχος πέλματος:  $t_f = 13,5$  mm

Πάχος κορμού:  $t_w = 8,6$  mm

#### *Τομή α-α*

Εμβαδόν διατομής:  $F_a = 101,66$  cm<sup>2</sup>

Ροπή αδράνειας διατομής:  $I_a = 55280$  cm<sup>4</sup>

Ελαστική ροπή αντίστασης:  $W_{el,a} = 1843$  cm<sup>3</sup>

Στατική ροπή της μισής διατομής ως προς τον κεντροβαρικό άξονα:  $S_a = 1119$  cm<sup>3</sup>

#### *Τομή b-b*

Εμβαδόν διατομής:  $F_b = 67,26$  cm<sup>2</sup>

Ροπή αδράνειας διατομής:  $I_b = 50700$  cm<sup>4</sup>

Ελαστική ροπή αντίστασης:  $W_{el,b} = 1690$  cm<sup>3</sup>

Στατική ροπή της μισής διατομής ως προς τον κεντροβαρικό άξονα:  $S_b = 947$  cm<sup>3</sup>

### Μεγέθη σχεδιασμού

$M_{sd} = 431,9$  kNm

$V_{sd} = 145,7$  kN

### Γεωμετρικοί περιορισμοί

$h_o \leq 0,75d_w \Rightarrow 400 \leq 0,75(600-2 \cdot 13,5) = 429,75$

$d_1 \geq 0,10d_w \Rightarrow 100-13,5 \geq 0,1 \cdot 573 \Rightarrow 86,5 \geq 57,3$

$d_2 = d_1 \Rightarrow d_2 = 86,5$  mm

$a_o \leq h_o \Rightarrow a_o = 400$  mm

$b_o = w \Rightarrow w = 200$  mm

$0,25a_o \leq w \leq 0,50a_o \Rightarrow 0,25 \cdot 400 = 100 \leq w \leq 200 \Rightarrow 100 < 180 < 200$

Άρα οι γεωμετρικοί έλεγχοι ικανοποιούνται.

## **6.8.1 Αντοχή των απλών ταν που διαμορφώνονται στη θέση του πολυγωνικού ανοίγματος στην περιοχή που αυτό έχει το μέγιστο ύψος $h_o$**

-Ακραίο άνοιγμα (κοντά στη στήριξη)

$$V_{sd} = 145,7 \text{ kN και } M_{sd} = 0$$

$$\Delta\rho\omega\sigma\alpha \text{ ροπή: } \Sigma M_{v,sd} = L_T V_{sd} = 0,3 \cdot 145,7 = 43,71 \text{ kN}$$

$$\text{Επειδή } \frac{h_w}{t_w} = \frac{65,5}{8,6} = 7,6 < 10\varepsilon = 8,1$$

Ο κορμός του απλού ταυ είναι ολόκληρος ενεργός κατά την πλήρη πλαστικοποίηση του ταυ. Τότε ο πλαστικός ουδέτερος άξονας απέχει από το ανώτερο σημείο της διατομής απόσταση  $x$  που ικανοποιεί τη σχέση:

$$18x = 18(1,35-x) + 8,65 \cdot 0,86 + 18,91 \Rightarrow x = 0,934 \text{ cm}$$

$$\text{Η επιφάνεια διάτμησης είναι } A_v = 10 \cdot 0,86 = 8,6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Η τέμνουσα στο απλό ταυ είναι } V_{T,sd} = 0,5V_{sd} = 72,85 \text{ kN}$$

Και η αντοχή της διατομής ταυ σε διάτμηση είναι:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{8,6 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 176,2 \text{ kN} > 72,85 \text{ kN}$$

Ακόμη επειδή  $V_{T,sd} = 72,85 < 0,5V_{pl,Rd} = 88,1 \text{ kN}$  δεν απαιτείται απομείωση της αντοχής σε κάμψη λόγω τέμνουσας.

$$\text{Είναι: } M_{b,Rd} = \frac{(S_1 + S_2) f_y}{1,0} = \left( \frac{1}{2} 18 \cdot 0,934^2 + 16,836 \cdot 2,29 \right) \frac{35,5}{1} = 16,47 \text{ kNm}$$

Όπου  $S_1$  και  $S_2$  είναι οι στατικές ροπές του εφελκόμενου και θλιβόμενου τμήματος της διατομής ταυ ως προς τον άξονα a-a.

$$\text{Εδώ: } \Sigma M_{v,Rd} = 4M_{b,Rd} = 65,88 \text{ kNm} > 43,71 \text{ kNm.}$$

-Ανοιγμα στο μέσο της δοκού

$$V_{sd} = 0 \text{ και } M_{sd} = 431,9 \text{ kNm}$$

$$\text{Επιφάνεια διατομής απλού ταυ: } A_m = 0,5 \cdot 67,26 = 33,63 \text{ cm}^2$$

Απόσταση  $h_c$  μεταξύ των κέντρων βάρους των δύο απλών ταυ της ίδιας διατομής:

$$h_c = \frac{2S_b}{A_m} = \frac{2 \cdot 947}{33,63} = 53,32 \text{ cm}$$

Αξονική δύναμη, λόγω της ροπής  $M_{sd}$  αντιστοιχούσα σε κάθε απλό ταυ:

$$N_{M,sd} = \frac{M_{sd}}{h_c} = \frac{431,9}{0,5632} = 766,9 \text{ kN}$$

Δύναμη σχεδιασμού πλήρους πλαστικοποίησης του ταυ:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A_m f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{33,63 \cdot 35,5}{1} = 1194 \text{ kN} > 766,9 \text{ kN}$$

Άρα η διατομή επαρκεί.

## 6.8.2 Αντοχή συμπαγών τμημάτων του κορμού

### Έλεγχος σε διάτμηση

Ο έλεγχος γίνεται στην τομή d-d.

$$V_{wp,sd} = 2V_{T,sd} \frac{P}{h_c} = 2 \cdot 72,85 \frac{60}{56,32} = 155,2 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 0,86 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 352,5 \text{ kN} > 155,2 \text{ kN}$$

Άρα η τέμνουσα είναι αποδεκτή.

### Έλεγχος σε διαρροή ή λυγισμό

Επειδή  $h_o = 40 \leq 60 \cdot \varepsilon \cdot t_w = 60 \cdot 0,81 \cdot 0,86 = 42$  θα εφαρμοστεί η ακόλουθη διαδικασία:

$$\alpha = \frac{p}{h_o} = \frac{60}{40} = 1,5$$

$$\beta = \frac{h_o}{t_w} = \frac{40}{0,86} = 46,5$$

$$M_{wp,sd} = V_{wp,sd} \frac{h_o}{2} = 155,2 \cdot \frac{40}{2} = 31,04 \text{ kNm}$$

Η δρώσα ροπή υπολογίστηκε στην δυσμενέστερη θέση c-c.

$$C_1 = 5,097 + 0,1464\beta - 0,00174\beta^2 = 8,142$$

$$C_2 = 1,441 + 0,0625\beta - 0,000683\beta^2 = 2,87$$

$$C_3 = 3,645 + 0,0856\beta - 0,00108\beta^2 = 5,276$$

$$M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_M} = \frac{0,86 \cdot 40^2 \cdot 35,5}{6} = 81,4 \text{ kNm}$$

Δεν υπάρχει κίνδυνος διαρροής ή λυγισμού επειδή:

$$M_{wp,sd} = 31,04 \text{ kNm} < (C_1 a - C_2 a^2 - C_3) M_{el,Rd} = 39,03 \text{ kNm}$$

$$\text{και } M_{wp,sd} = 31,04 \text{ kNm} < 0,6 M_{el,Rd} = 48,84 \text{ kNm}$$

### Αντοχή του κορμού στις στήριξεις

#### Έλεγχος έναντι σύνθλιψης του κορμού

Μήκος άκαμπτης στήριξης:

$$s_s = t_w + 2t_f + 2r(2 - \sqrt{2}) = 0,86 + 2 \cdot 1,35 + 2(2 - \sqrt{2}) \cdot 2,1 = 6 \text{ cm}$$

$$s_y = 2t_f (b_f / t_w)^{0,5} = 2 \cdot 1,35 (18 / 0,86)^{0,5} = 12,35 \text{ cm}$$

επειδή η στήριξη είναι ακραία θα ληφθεί υπόψη το ήμισυ της ποσότητας αυτής.

$$R_{y,Rd} = (s_s + \frac{1}{2} s_y) t_w f_{yw} / \gamma_{M1} = (6 + \frac{1}{2} 12,35) 0,86 \frac{35,5}{1} = 371,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 145,7 \text{ kN}$$

#### Έλεγχος έναντι ρητίδωσης

$$R_{a,Rd} = 0,5 t_w^2 (E \cdot f_{yw})^{0,5} \left[ (t_f / t_w)^{0,5} + 3(t_w / t_f)(s_s / d) \right] / \gamma_{M1} = 463 \text{ kN} > V_{Ed} = 145,7 \text{ kN}$$

## 6.9 Έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

### 6.9.1 Γενικά

Εκτός από τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση αστοχίας εξίσου σημαντικοί είναι και οι έλεγχοι που πραγματοποιούνται στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας. Οι έλεγχοι αυτοί σχετίζονται με τις παραμορφώσεις και ταλαντώσεις που πραγματοποιούνται στον φορέα υπό την επίδραση των φορτίων. Οι υπερβολικές παραμορφώσεις μπορεί να προκαλέσουν αίσθημα δυσφορίας στους χρήστες, αλλά και αλλαγές στην στατική συμπεριφορά του φορέα. Τα όρια των κατακόρυφων βελών κάμψης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα δίνονται στον επόμενο πίνακα:

| Φορέας                    | $\delta_{max}$ | $\delta_2$ |
|---------------------------|----------------|------------|
| Μη βατές στέγες           | L/200          | L/250      |
| Πατώματα και βατές στέγες | L/250          | L/300      |

Πίνακας 6.12 Μέγιστες αποδεκτές τιμές βελών κάμψης

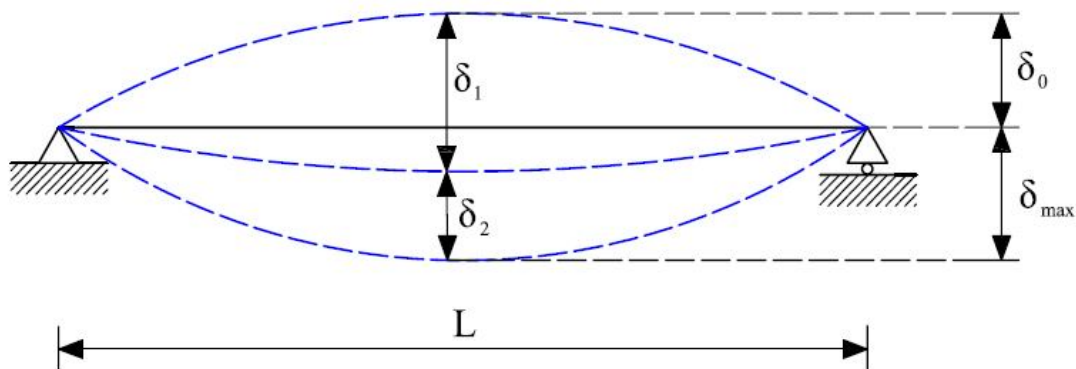
Το συνολικό βέλος δίνεται από την σχέση  $\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$

όπου:

$\delta_1$  το βέλος κάμψης λόγω μόνιμων φορτίων

$\delta_2$  το βέλος κάμψης λόγω μεταβλητών φορτίων και χρόνιων παραμορφώσεων από μόνιμα

$\delta_0$  το αντιβέλος



Σχήμα 6.17 Απεικόνιση βελών κάμψης

### Αποτελέσματα

Ο έλεγχος σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα. Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα βέλη κάμψης των κόμβων των δοκών του τελευταίου ορόφου έτσι όπως υπολογίστηκαν από το SAP2000.

| <b>ΒΕΛΗ ΚΑΜΨΗΣ ΚΟΜΒΩΝ ΔΟΚΩΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ ΟΡΟΦΟΥ</b> |                   |           |           |           |
|---|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Joint</b>                                      | <b>OutputCase</b> | <b>U1</b> | <b>U2</b> | <b>U3</b> |
| Text  | Text              | m         | m         | m         |
| 57  | Φ9                | 0,002299  | -0,000861 | -0,002662 |
| 57  | Φ10               | 0,002117  | -0,000814 | -0,002654 |
| 57  | Φ11               | 0,002276  | -0,000766 | -0,002491 |
| 57  | Φ12               | 0,002093  | -0,000719 | -0,002483 |
| 57  | Φ13               | 0,003628  | -0,000777 | -0,002529 |
| 57  | Φ14               | 0,003323  | -0,000698 | -0,002516 |
| 57  | Φ15               | 0,003361  | -0,000402 | -0,001825 |
| 57  | Φ16               | 0,003249  | -0,000397 | -0,00182  |
| 58  | Φ9                | 0,002268  | -0,000861 | -0,005383 |
| 58  | Φ10               | 0,002116  | -0,000814 | -0,00538  |
| 58  | Φ11               | 0,00224   | -0,000766 | -0,004997 |
| 58  | Φ12               | 0,002088  | -0,000719 | -0,004994 |
| 58  | Φ13               | 0,003541  | -0,000777 | -0,004967 |
| 58  | Φ14               | 0,003287  | -0,000698 | -0,004962 |
| 58  | Φ15               | 0,003293  | -0,000402 | -0,003411 |
| 58  | Φ16               | 0,003195  | -0,000397 | -0,00341  |
| 59  | Φ9                | 0,002236  | -0,000861 | -0,004811 |
| 59  | Φ10               | 0,002115  | -0,000814 | -0,004809 |
| 59  | Φ11               | 0,002202  | -0,000766 | -0,0045   |
| 59  | Φ12               | 0,002082  | -0,000719 | -0,004498 |
| 59  | Φ13               | 0,003451  | -0,000777 | -0,004505 |
| 59  | Φ14               | 0,00325   | -0,000698 | -0,004502 |
| 59  | Φ15               | 0,003222  | -0,000402 | -0,003211 |
| 59  | Φ16               | 0,003139  | -0,000397 | -0,003213 |
| 60  | Φ9                | 0,002208  | -0,000861 | -0,002165 |
| 60  | Φ10               | 0,002114  | -0,000814 | -0,002163 |
| 60  | Φ11               | 0,002171  | -0,000766 | -0,002038 |
| 60  | Φ12               | 0,002077  | -0,000719 | -0,002036 |
| 60  | Φ13               | 0,003374  | -0,000777 | -0,002063 |
| 60  | Φ14               | 0,003218  | -0,000698 | -0,00206  |
| 60  | Φ15               | 0,003162  | -0,000402 | -0,001544 |
| 60  | Φ16               | 0,003091  | -0,000397 | -0,001544 |
| 61  | Φ9                | 0,002299  | -0,000894 | -0,002465 |

|    |     |          |           |           |
|----|-----|----------|-----------|-----------|
| 61 | Φ10 | 0,002117 | -0,000815 | -0,002471 |
| 61 | Φ11 | 0,002276 | -0,000804 | -0,002296 |
| 61 | Φ12 | 0,002093 | -0,000725 | -0,002302 |
| 61 | Φ13 | 0,003628 | -0,000867 | -0,002217 |
| 61 | Φ14 | 0,003323 | -0,000736 | -0,002228 |
| 61 | Φ15 | 0,003361 | -0,000473 | -0,001536 |
| 61 | Φ16 | 0,003249 | -0,000454 | -0,00154  |
| 62 | Φ9  | 0,002268 | -0,000894 | -0,005275 |
| 62 | Φ10 | 0,002116 | -0,000815 | -0,005274 |
| 62 | Φ11 | 0,00224  | -0,000804 | -0,004897 |
| 62 | Φ12 | 0,002088 | -0,000725 | -0,004896 |
| 62 | Φ13 | 0,003541 | -0,000867 | -0,004841 |
| 62 | Φ14 | 0,003287 | -0,000736 | -0,004839 |
| 62 | Φ15 | 0,003293 | -0,000473 | -0,003322 |
| 62 | Φ16 | 0,003195 | -0,000454 | -0,003323 |
| 63 | Φ9  | 0,002236 | -0,000894 | -0,004491 |
| 63 | Φ10 | 0,002115 | -0,000815 | -0,004494 |
| 63 | Φ11 | 0,002202 | -0,000804 | -0,004195 |
| 63 | Φ12 | 0,002082 | -0,000725 | -0,004198 |
| 63 | Φ13 | 0,003451 | -0,000867 | -0,004113 |
| 63 | Φ14 | 0,00325  | -0,000736 | -0,004118 |
| 63 | Φ15 | 0,003222 | -0,000473 | -0,002885 |
| 63 | Φ16 | 0,003139 | -0,000454 | -0,002888 |
| 64 | Φ9  | 0,002208 | -0,000894 | -0,001931 |
| 64 | Φ10 | 0,002114 | -0,000815 | -0,001934 |
| 64 | Φ11 | 0,002171 | -0,000804 | -0,001813 |
| 64 | Φ12 | 0,002077 | -0,000725 | -0,001815 |
| 64 | Φ13 | 0,003374 | -0,000867 | -0,001759 |
| 64 | Φ14 | 0,003218 | -0,000736 | -0,001763 |
| 64 | Φ15 | 0,003162 | -0,000473 | -0,001283 |
| 64 | Φ16 | 0,003091 | -0,000454 | -0,001285 |
| 84 | Φ9  | 0,002299 | -0,000882 | -0,002897 |
| 84 | Φ10 | 0,002117 | -0,000814 | -0,002895 |
| 84 | Φ11 | 0,002276 | -0,00079  | -0,002717 |
| 84 | Φ12 | 0,002093 | -0,000723 | -0,002715 |
| 84 | Φ13 | 0,003628 | -0,000835 | -0,002694 |
| 84 | Φ14 | 0,003323 | -0,000723 | -0,002692 |
| 84 | Φ15 | 0,003361 | -0,000448 | -0,001827 |
| 84 | Φ16 | 0,003249 | -0,000434 | -0,001826 |
| 88 | Φ9  | 0,002299 | -0,000873 | -0,002806 |
| 88 | Φ10 | 0,002117 | -0,000814 | -0,002806 |
| 88 | Φ11 | 0,002276 | -0,00078  | -0,002629 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 88  | Φ12 | 0,002093 | -0,000721 | -0,00263  |
| 88  | Φ13 | 0,003628 | -0,000809 | -0,002592 |
| 88  | Φ14 | 0,003323 | -0,000712 | -0,002593 |
| 88  | Φ15 | 0,003361 | -0,000427 | -0,001756 |
| 88  | Φ16 | 0,003249 | -0,000417 | -0,001757 |
| 92  | Φ9  | 0,002236 | -0,000882 | -0,005061 |
| 92  | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005058 |
| 92  | Φ11 | 0,002202 | -0,00079  | -0,00475  |
| 92  | Φ12 | 0,002082 | -0,000723 | -0,004747 |
| 92  | Φ13 | 0,003451 | -0,000835 | -0,004705 |
| 92  | Φ14 | 0,00325  | -0,000723 | -0,0047   |
| 92  | Φ15 | 0,003222 | -0,000448 | -0,00322  |
| 92  | Φ16 | 0,003139 | -0,000434 | -0,003221 |
| 96  | Φ9  | 0,002236 | -0,000873 | -0,005047 |
| 96  | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,00505  |
| 96  | Φ11 | 0,002202 | -0,00078  | -0,004732 |
| 96  | Φ12 | 0,002082 | -0,000721 | -0,004735 |
| 96  | Φ13 | 0,003451 | -0,000809 | -0,004674 |
| 96  | Φ14 | 0,00325  | -0,000712 | -0,004679 |
| 96  | Φ15 | 0,003222 | -0,000427 | -0,003218 |
| 96  | Φ16 | 0,003139 | -0,000417 | -0,003222 |
| 100 | Φ9  | 0,002208 | -0,000882 | -0,002106 |
| 100 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,002105 |
| 100 | Φ11 | 0,002171 | -0,00079  | -0,001982 |
| 100 | Φ12 | 0,002077 | -0,000723 | -0,001981 |
| 100 | Φ13 | 0,003374 | -0,000835 | -0,001971 |
| 100 | Φ14 | 0,003218 | -0,000723 | -0,00197  |
| 100 | Φ15 | 0,003162 | -0,000448 | -0,001447 |
| 100 | Φ16 | 0,003091 | -0,000434 | -0,001447 |
| 104 | Φ9  | 0,002208 | -0,000873 | -0,002068 |
| 104 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,00207  |
| 104 | Φ11 | 0,002171 | -0,00078  | -0,001945 |
| 104 | Φ12 | 0,002077 | -0,000721 | -0,001946 |
| 104 | Φ13 | 0,003374 | -0,000809 | -0,001925 |
| 104 | Φ14 | 0,003218 | -0,000712 | -0,001928 |
| 104 | Φ15 | 0,003162 | -0,000427 | -0,001424 |
| 104 | Φ16 | 0,003091 | -0,000417 | -0,001426 |
| 258 | Φ9  | 0,002299 | -0,000885 | -0,003037 |
| 258 | Φ10 | 0,002117 | -0,000815 | -0,003037 |
| 258 | Φ11 | 0,002276 | -0,000794 | -0,002855 |
| 258 | Φ12 | 0,002093 | -0,000723 | -0,002855 |
| 258 | Φ13 | 0,003628 | -0,000845 | -0,002814 |



|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 258 | Φ14 | 0,003323 | -0,000727 | -0,002814 |
| 258 | Φ15 | 0,003361 | -0,000455 | -0,001859 |
| 258 | Φ16 | 0,003249 | -0,000439 | -0,001859 |
| 259 | Φ9  | 0,002299 | -0,000877 | -0,003006 |
| 259 | Φ10 | 0,002117 | -0,000814 | -0,003005 |
| 259 | Φ11 | 0,002276 | -0,000785 | -0,002821 |
| 259 | Φ12 | 0,002093 | -0,000722 | -0,00282  |
| 259 | Φ13 | 0,003628 | -0,000822 | -0,002786 |
| 259 | Φ14 | 0,003323 | -0,000717 | -0,002784 |
| 259 | Φ15 | 0,003361 | -0,000437 | -0,001843 |
| 259 | Φ16 | 0,003249 | -0,000425 | -0,001842 |
| 260 | Φ9  | 0,002299 | -0,000869 | -0,002983 |
| 260 | Φ10 | 0,002117 | -0,000814 | -0,002981 |
| 260 | Φ11 | 0,002276 | -0,000776 | -0,002803 |
| 260 | Φ12 | 0,002093 | -0,00072  | -0,002801 |
| 260 | Φ13 | 0,003628 | -0,0008   | -0,002773 |
| 260 | Φ14 | 0,003323 | -0,000708 | -0,00277  |
| 260 | Φ15 | 0,003361 | -0,00042  | -0,001847 |
| 260 | Φ16 | 0,003249 | -0,000411 | -0,001847 |
| 261 | Φ9  | 0,002268 | -0,000885 | -0,013839 |
| 261 | Φ10 | 0,002116 | -0,000815 | -0,013836 |
| 261 | Φ11 | 0,00224  | -0,000794 | -0,01329  |
| 261 | Φ12 | 0,002088 | -0,000723 | -0,013288 |
| 261 | Φ13 | 0,003541 | -0,000845 | -0,012941 |
| 261 | Φ14 | 0,003287 | -0,000727 | -0,012936 |
| 261 | Φ15 | 0,003293 | -0,000455 | -0,006634 |
| 261 | Φ16 | 0,003195 | -0,000439 | -0,006633 |
| 262 | Φ9  | 0,002268 | -0,000877 | -0,017783 |
| 262 | Φ10 | 0,002116 | -0,000814 | -0,01778  |
| 262 | Φ11 | 0,00224  | -0,000785 | -0,017145 |
| 262 | Φ12 | 0,002088 | -0,000722 | -0,017142 |
| 262 | Φ13 | 0,003541 | -0,000822 | -0,016661 |
| 262 | Φ14 | 0,003287 | -0,000717 | -0,016657 |
| 262 | Φ15 | 0,003293 | -0,000437 | -0,008178 |
| 262 | Φ16 | 0,003195 | -0,000425 | -0,008176 |
| 263 | Φ9  | 0,002268 | -0,000869 | -0,013794 |
| 263 | Φ10 | 0,002116 | -0,000814 | -0,013792 |
| 263 | Φ11 | 0,00224  | -0,000776 | -0,013244 |
| 263 | Φ12 | 0,002088 | -0,00072  | -0,013242 |
| 263 | Φ13 | 0,003541 | -0,0008   | -0,012903 |
| 263 | Φ14 | 0,003287 | -0,000708 | -0,012899 |
| 263 | Φ15 | 0,003293 | -0,00042  | -0,006626 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 263 | Φ16 | 0,003195 | -0,000411 | -0,006625 |
| 264 | Φ9  | 0,002236 | -0,000885 | -0,005257 |
| 264 | Φ10 | 0,002115 | -0,000815 | -0,005252 |
| 264 | Φ11 | 0,002202 | -0,000794 | -0,004942 |
| 264 | Φ12 | 0,002082 | -0,000723 | -0,004937 |
| 264 | Φ13 | 0,003451 | -0,000845 | -0,004882 |
| 264 | Φ14 | 0,00325  | -0,000727 | -0,004874 |
| 264 | Φ15 | 0,003222 | -0,000455 | -0,00328  |
| 264 | Φ16 | 0,003139 | -0,000439 | -0,00328  |
| 265 | Φ9  | 0,002236 | -0,000877 | -0,005236 |
| 265 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005236 |
| 265 | Φ11 | 0,002202 | -0,000785 | -0,004918 |
| 265 | Φ12 | 0,002082 | -0,000722 | -0,004918 |
| 265 | Φ13 | 0,003451 | -0,000822 | -0,00486  |
| 265 | Φ14 | 0,00325  | -0,000717 | -0,004861 |
| 265 | Φ15 | 0,003222 | -0,000437 | -0,00329  |
| 265 | Φ16 | 0,003139 | -0,000425 | -0,003292 |
| 266 | Φ9  | 0,002236 | -0,000869 | -0,005311 |
| 266 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005314 |
| 266 | Φ11 | 0,002202 | -0,000776 | -0,00499  |
| 266 | Φ12 | 0,002082 | -0,00072  | -0,004992 |
| 266 | Φ13 | 0,003451 | -0,0008   | -0,004934 |
| 266 | Φ14 | 0,00325  | -0,000708 | -0,004938 |
| 266 | Φ15 | 0,003222 | -0,00042  | -0,003353 |
| 266 | Φ16 | 0,003139 | -0,000411 | -0,003357 |
| 267 | Φ9  | 0,002272 | -0,000894 | -0,005547 |
| 267 | Φ10 | 0,002116 | -0,000815 | -0,005546 |
| 267 | Φ11 | 0,002245 | -0,000804 | -0,005172 |
| 267 | Φ12 | 0,002088 | -0,000725 | -0,005171 |
| 267 | Φ13 | 0,003553 | -0,000867 | -0,005102 |
| 267 | Φ14 | 0,003292 | -0,000736 | -0,0051   |
| 267 | Φ15 | 0,003302 | -0,000473 | -0,003424 |
| 267 | Φ16 | 0,003202 | -0,000454 | -0,003425 |
| 268 | Φ9  | 0,002272 | -0,000885 | -0,021091 |
| 268 | Φ10 | 0,002116 | -0,000815 | -0,021089 |
| 268 | Φ11 | 0,002245 | -0,000794 | -0,020356 |
| 268 | Φ12 | 0,002088 | -0,000723 | -0,020354 |
| 268 | Φ13 | 0,003553 | -0,000845 | -0,019735 |
| 268 | Φ14 | 0,003292 | -0,000727 | -0,019732 |
| 268 | Φ15 | 0,003302 | -0,000455 | -0,009094 |
| 268 | Φ16 | 0,003202 | -0,000439 | -0,009093 |
| 269 | Φ9  | 0,00222  | -0,000861 | -0,007618 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 269 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,007632 |
| 269 | Φ11 | 0,002185 | -0,000766 | -0,007318 |
| 269 | Φ12 | 0,002079 | -0,000719 | -0,007332 |
| 269 | Φ13 | 0,003408 | -0,000777 | -0,007196 |
| 269 | Φ14 | 0,003232 | -0,000698 | -0,007219 |
| 269 | Φ15 | 0,003189 | -0,000402 | -0,004036 |
| 269 | Φ16 | 0,003112 | -0,000397 | -0,004075 |
| 270 | Φ9  | 0,00222  | -0,000894 | -0,007104 |
| 270 | Φ10 | 0,002114 | -0,000815 | -0,007088 |
| 270 | Φ11 | 0,002185 | -0,000804 | -0,006824 |
| 270 | Φ12 | 0,002079 | -0,000725 | -0,006808 |
| 270 | Φ13 | 0,003408 | -0,000867 | -0,006634 |
| 270 | Φ14 | 0,003232 | -0,000736 | -0,006609 |
| 270 | Φ15 | 0,003189 | -0,000473 | -0,003675 |
| 270 | Φ16 | 0,003112 | -0,000454 | -0,003681 |
| 271 | Φ9  | 0,00222  | -0,000887 | -0,020124 |
| 271 | Φ10 | 0,002114 | -0,000815 | -0,020071 |
| 271 | Φ11 | 0,002185 | -0,000796 | -0,019532 |
| 271 | Φ12 | 0,002079 | -0,000724 | -0,019479 |
| 271 | Φ13 | 0,003408 | -0,000849 | -0,018949 |
| 271 | Φ14 | 0,003232 | -0,000728 | -0,01886  |
| 271 | Φ15 | 0,003189 | -0,000459 | -0,008961 |
| 271 | Φ16 | 0,003112 | -0,000442 | -0,008991 |
| 272 | Φ9  | 0,00222  | -0,000881 | -0,028004 |
| 272 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,02794  |
| 272 | Φ11 | 0,002185 | -0,000789 | -0,027222 |
| 272 | Φ12 | 0,002079 | -0,000723 | -0,027158 |
| 272 | Φ13 | 0,003408 | -0,000831 | -0,0264   |
| 272 | Φ14 | 0,003232 | -0,000721 | -0,026294 |
| 272 | Φ15 | 0,003189 | -0,000444 | -0,012172 |
| 272 | Φ16 | 0,003112 | -0,000431 | -0,012222 |
| 273 | Φ9  | 0,002236 | -0,000887 | -0,005207 |
| 273 | Φ10 | 0,002115 | -0,000815 | -0,005202 |
| 273 | Φ11 | 0,002202 | -0,000796 | -0,004894 |
| 273 | Φ12 | 0,002082 | -0,000724 | -0,004889 |
| 273 | Φ13 | 0,003451 | -0,000849 | -0,004828 |
| 273 | Φ14 | 0,00325  | -0,000728 | -0,00482  |
| 273 | Φ15 | 0,003222 | -0,000459 | -0,003244 |
| 273 | Φ16 | 0,003139 | -0,000442 | -0,003245 |
| 274 | Φ9  | 0,002236 | -0,000881 | -0,005137 |
| 274 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005135 |
| 274 | Φ11 | 0,002202 | -0,000789 | -0,004823 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 274 | Φ12 | 0,002082 | -0,000723 | -0,004821 |
| 274 | Φ13 | 0,003451 | -0,000831 | -0,004775 |
| 274 | Φ14 | 0,00325  | -0,000721 | -0,004772 |
| 274 | Φ15 | 0,003222 | -0,000444 | -0,003252 |
| 274 | Φ16 | 0,003139 | -0,000431 | -0,003253 |
| 275 | Φ9  | 0,00222  | -0,00087  | -0,024631 |
| 275 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,024595 |
| 275 | Φ11 | 0,002185 | -0,000777 | -0,023928 |
| 275 | Φ12 | 0,002079 | -0,000721 | -0,023892 |
| 275 | Φ13 | 0,003408 | -0,000803 | -0,023234 |
| 275 | Φ14 | 0,003232 | -0,000709 | -0,023174 |
| 275 | Φ15 | 0,003189 | -0,000422 | -0,010861 |
| 275 | Φ16 | 0,003112 | -0,000413 | -0,010924 |
| 276 | Φ9  | 0,002236 | -0,00087  | -0,005244 |
| 276 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005246 |
| 276 | Φ11 | 0,002202 | -0,000777 | -0,004923 |
| 276 | Φ12 | 0,002082 | -0,000721 | -0,004926 |
| 276 | Φ13 | 0,003451 | -0,000803 | -0,004865 |
| 276 | Φ14 | 0,00325  | -0,000709 | -0,00487  |
| 276 | Φ15 | 0,003222 | -0,000422 | -0,003316 |
| 276 | Φ16 | 0,003139 | -0,000413 | -0,00332  |
| 277 | Φ9  | 0,00222  | -0,000866 | -0,017197 |
| 277 | Φ10 | 0,002114 | -0,000814 | -0,017184 |
| 277 | Φ11 | 0,002185 | -0,000772 | -0,01667  |
| 277 | Φ12 | 0,002079 | -0,00072  | -0,016658 |
| 277 | Φ13 | 0,003408 | -0,00079  | -0,016227 |
| 277 | Φ14 | 0,003232 | -0,000704 | -0,016206 |
| 277 | Φ15 | 0,003189 | -0,000412 | -0,007882 |
| 277 | Φ16 | 0,003112 | -0,000405 | -0,007937 |
| 278 | Φ9  | 0,002236 | -0,000866 | -0,005226 |
| 278 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,005227 |
| 278 | Φ11 | 0,002202 | -0,000772 | -0,004907 |
| 278 | Φ12 | 0,002082 | -0,00072  | -0,004908 |
| 278 | Φ13 | 0,003451 | -0,00079  | -0,004871 |
| 278 | Φ14 | 0,00325  | -0,000704 | -0,004872 |
| 278 | Φ15 | 0,003222 | -0,000412 | -0,003346 |
| 278 | Φ16 | 0,003139 | -0,000405 | -0,003349 |
| 279 | Φ9  | 0,00223  | -0,000881 | -0,014199 |
| 279 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,014174 |
| 279 | Φ11 | 0,002196 | -0,000789 | -0,013699 |
| 279 | Φ12 | 0,002081 | -0,000723 | -0,013673 |
| 279 | Φ13 | 0,003435 | -0,000831 | -0,013343 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 279 | Φ14 | 0,003243 | -0,000721 | -0,013301 |
| 279 | Φ15 | 0,00321  | -0,000444 | -0,006792 |
| 279 | Φ16 | 0,003129 | -0,000431 | -0,006811 |
| 280 | Φ9  | 0,00223  | -0,00087  | -0,012981 |
| 280 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,012969 |
| 280 | Φ11 | 0,002196 | -0,000777 | -0,012505 |
| 280 | Φ12 | 0,002081 | -0,000721 | -0,012494 |
| 280 | Φ13 | 0,003435 | -0,000803 | -0,012193 |
| 280 | Φ14 | 0,003243 | -0,000709 | -0,012174 |
| 280 | Φ15 | 0,00321  | -0,000422 | -0,006335 |
| 280 | Φ16 | 0,003129 | -0,000413 | -0,006361 |
| 281 | Φ9  | 0,002224 | -0,000866 | -0,014394 |
| 281 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,014385 |
| 281 | Φ11 | 0,002189 | -0,000772 | -0,013917 |
| 281 | Φ12 | 0,00208  | -0,00072  | -0,013908 |
| 281 | Φ13 | 0,003419 | -0,00079  | -0,013568 |
| 281 | Φ14 | 0,003236 | -0,000704 | -0,013553 |
| 281 | Φ15 | 0,003197 | -0,000412 | -0,006829 |
| 281 | Φ16 | 0,003119 | -0,000405 | -0,006879 |
| 282 | Φ9  | 0,002224 | -0,000861 | -0,007692 |
| 282 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,007706 |
| 282 | Φ11 | 0,002189 | -0,000766 | -0,007368 |
| 282 | Φ12 | 0,00208  | -0,000719 | -0,007382 |
| 282 | Φ13 | 0,003419 | -0,000777 | -0,007256 |
| 282 | Φ14 | 0,003236 | -0,000698 | -0,00728  |
| 282 | Φ15 | 0,003197 | -0,000402 | -0,004178 |
| 282 | Φ16 | 0,003119 | -0,000397 | -0,004218 |
| 287 | Φ9  | 0,002257 | -0,000894 | -0,00493  |
| 287 | Φ10 | 0,002116 | -0,000815 | -0,004931 |
| 287 | Φ11 | 0,002227 | -0,000804 | -0,004578 |
| 287 | Φ12 | 0,002085 | -0,000725 | -0,004579 |
| 287 | Φ13 | 0,003509 | -0,000867 | -0,004521 |
| 287 | Φ14 | 0,003274 | -0,000736 | -0,004523 |
| 287 | Φ15 | 0,003268 | -0,000473 | -0,003157 |
| 287 | Φ16 | 0,003175 | -0,000454 | -0,003159 |
| 288 | Φ9  | 0,002247 | -0,000894 | -0,004659 |
| 288 | Φ10 | 0,002115 | -0,000815 | -0,00466  |
| 288 | Φ11 | 0,002216 | -0,000804 | -0,00434  |
| 288 | Φ12 | 0,002084 | -0,000725 | -0,00434  |
| 288 | Φ13 | 0,003483 | -0,000867 | -0,004266 |
| 288 | Φ14 | 0,003263 | -0,000736 | -0,004267 |
| 288 | Φ15 | 0,003247 | -0,000473 | -0,002997 |

|     |     |          |           |           |
|-----|-----|----------|-----------|-----------|
| 288 | Φ16 | 0,003159 | -0,000454 | -0,002999 |
| 302 | Φ9  | 0,002257 | -0,000861 | -0,005093 |
| 302 | Φ10 | 0,002116 | -0,000814 | -0,005091 |
| 302 | Φ11 | 0,002227 | -0,000766 | -0,004732 |
| 302 | Φ12 | 0,002085 | -0,000719 | -0,004731 |
| 302 | Φ13 | 0,003509 | -0,000777 | -0,004712 |
| 302 | Φ14 | 0,003274 | -0,000698 | -0,004709 |
| 302 | Φ15 | 0,003268 | -0,000402 | -0,003289 |
| 302 | Φ16 | 0,003175 | -0,000397 | -0,003289 |
| 303 | Φ9  | 0,002247 | -0,000861 | -0,004977 |
| 303 | Φ10 | 0,002115 | -0,000814 | -0,004973 |
| 303 | Φ11 | 0,002216 | -0,000766 | -0,004642 |
| 303 | Φ12 | 0,002084 | -0,000719 | -0,004639 |
| 303 | Φ13 | 0,003483 | -0,000777 | -0,004643 |
| 303 | Φ14 | 0,003263 | -0,000698 | -0,004637 |
| 303 | Φ15 | 0,003247 | -0,000402 | -0,003297 |
| 303 | Φ16 | 0,003159 | -0,000397 | -0,003297 |

Πίνακας 6.13 Βέλη κάμψης δοκών τελευταίου ορόφου

Η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση παρατηρείται στον κόμβο 272 για την φόρτιση Φ10 και είναι 2,8 cm.

$$\text{Άρα } \delta_{\max} = 2,8 \text{ cm} < \frac{L}{250} = \frac{1200}{250} = 4,8 \text{ cm}$$

Άρα ικανοποιείται ο έλεγχος βέλους κάμψης.

## Κεφάλαιο 7

### Συμπεράσματα

Μέσα από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Κατά την ιδιομορφική ανάλυση για να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό ιδιομορφικής μάζας κατά X χρειάστηκαν 13 ιδιομορφές και κατά Y χρειάστηκαν 8. Οι αριθμοί αυτοί είναι αναμενόμενοι λόγω της μεγάλης δυσκαμψίας του κτιρίου και στις δύο κατευθύνσεις, όπως φαίνεται από τους συνδέσμους δυσκαμψίας και τα σταυροειδή υποστυλώματα. Η κύρια ιδιοπερίοδος κατά X είναι η  $T=0,614\text{sec}$ , η οποία δίνεται στην πρώτη ιδιομορφή και δίνει δρώσα ιδιομορφική μάζα περίπου  $m_{1,X}=89\%$  της μάζας, και η κύρια περίοδος κατά Y είναι η  $T=0,602\text{sec}$ , η οποία δίνεται στη δεύτερη ιδιομορφή και έχει δρώσα ιδιομορφική μάζα  $m_{2,Y}=87\%$ . Οι δύο ιδιοπερίοδοι διαφέρουν πολύ λίγο ( $0,012\text{ sec}$ ), που σημαίνει ότι το κτίριο έχει περίπου ίδια δυσκαμψία σε κάθε κύρια διεύθυνση. Η τρίτη ιδιομορφή έχει στρεπτικό χαρακτήρα με  $T=0,454\text{ sec}$ . Παρατηρούμε ότι οι θεμελιώδεις ιδιοπερίοδοι των δύο κύριων διευθύνσεων είναι μεγαλύτερες από την στροφική ιδιοπερίοδο, άρα το κτίριο δεν είναι στρεπτικά εύκαμπτο.
2. Η απλοποιημένη φασματική μέθοδος είναι δυσμενέστερη της δυναμικής φασματικής, αφού χρησιμοποιεί ισοδύναμα στατικά φορτία για τον υπολογισμό της σεισμικής απόκρισης. Έτσι για κάθε διεύθυνση του κτιρίου η τέμνουσα βάσης υπολογίζεται από την σχέση  $V_0=M\cdot\Phi_d(T)$  όπου  $M$  είναι η συνολική ταλαντούμενη μάζα της κατασκευής,  $\Phi_d(T)$  η τιμή της φασματικής επιτάχυνσης σχεδιασμού και  $T$  η θεμελιώδης ασύζευκτη ιδιοπερίοδος μεταφορικής ταλάντωσης, κατά τη θεωρούμενη κύρια διεύθυνση του κτιρίου. Η πραγματική όμως δρώσα μάζα της θεμελιώδους ιδιομορφής είναι μικρότερη από τη συνολική ταλαντούμενη μάζα  $M$  ( $89\%M$  στη διεύθυνση X και  $87\%M$  στη διεύθυνση Y). Επίσης η συζευγμένη ιδιοπερίοδος είναι μεγαλύτερη από την ασύζευκτη  $T$ , οπότε η φασματική επιτάχυνση  $\Phi_d(T)$  προκύπτει μεγαλύτερη ή ίση προς την πραγματική του συζευγμένου συστήματος.
3. Από τους ελέγχους στην οριακή κατάσταση αστοχίας συμπεραίνουμε ότι τα φορτία του ανέμου και του χιονιού επηρεάζουν πολύ λίγο την κατασκευή. Σε σχέση με το φορτίο του ανέμου πιο σημαντική είναι η επίδραση του σεισμού στο κτίριο.
4. Η λύση της σύμμικτης πλάκας αποτελεί οικονομικότερη λύση από μία πλάκα ωπλισμένου σκυροδέματος, διότι εκμεταλλευόμαστε πλήρως τις ιδιότητες των δύο συνεργαζόμενων υλικών, δηλαδή την καλή αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη και του χάλυβα σε εφελκυσμό.
5. Κατασκευή με έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας

Η μέγιστη σχετική μετατόπιση των ορόφων υπολογίστηκε  $0,012897\text{ m}$ . Η γωνιακή παραμόρφωση στην ανώτατη στάθμη του κτιρίου είναι η εξής:

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{0,012897}{4} = 0,00322 < 0,005$$

Άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.

Κατασκευή χωρίς έκκεντρους συνδέσμους δυσκαμψίας

Η μέγιστη σχετική μετατόπιση των ορόφων υπολογίστηκε 0,038339 m. Η γωνιακή παραμόρφωση στην ανώτατη στάθμη του κτιρίου είναι η εξής:

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{0,038339}{4} = 0,00958 > 0,005$$

Ο έλεγχος δεν ικανοποιείται.

Παρατηρούμε ότι η κατασκευή χωρίς κατακόρυφους συνδέσμους δυσκαμψίας παρουσιάζει αρκετά μεγάλες μετακινήσεις (σχετικές μετακινήσεις μεταξύ των ορόφων), όπως φαίνεται και παραπάνω, κάτι που ίσως δημιουργήσει προβλήματα στην κατασκευή.



## Βιβλιογραφία

1. Ι. Ερμόπουλος «**Ευρωκώδικας 1**», Κλειδάριθμος, Β' εκδ. 2008
2. Κ. Τρέζος, Ζ. Μπαμπίρη «**Νεότερα στοιχεία για τη Βασική Ταχύτητα του Ανέμου**», περιοδ. Τεχνικά Χρονικά τχ 2, τόμ. 21, Ιαν-Δεκ 2001, σελ 129-142
3. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης «**Σχεδιασμός δομικών έργων από Χάλυβα**», Κλειδάριθμος, εκδ. 2005
4. Ν. Μαλακάτας, Κ. Τρέζος «**EN 1990**», Εκπαιδευτικές σημειώσεις του ΤΕΕ
5. Γρ. Φουρναράκου «**Σιδηρές Κατασκευές**» τόμος ΙΙΙ, Αθήνα 1986
6. Γ. Μιχάλτσου «**Ελαφρές Μεταλλικές Κατασκευές Θεωρία και Εφαρμογές**», Σιμεών, 3<sup>η</sup> έκδοση, Αθήνα 2009
7. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης «**Σιδηρές Κατασκευές**», Κλειδάριθμος, Τόμος Ι, Αθήνα 2008
8. Ι. Βάγιας, Ι. Ερμόπουλος, Γ. Ιωαννίδης «**Σιδηρές Κατασκευές**», Κλειδάριθμος, Τόμος ΙΙ, Αθήνα 2008
9. Ι. Βάγιας «**Σιδηρές Κατασκευές-Ανάλυση και Διαστασιολόγηση**», Κλειδάριθμος, Αθήνα 2006
10. Ι. Βάγιας «**Σύμμικτες Κατασκευές**», Κλειδάριθμος, 3<sup>η</sup> Έκδοση Αθήνα 2010
11. Eurocode 0 «**Eurocode - Basis of Structural Design**», European Standard EN1990
12. Eurocode 1 «**Basis of Design and Actions on Structures**», European Standard EN 1991
13. Eurocode 3 «**Design of Steel Structures**», European Standard EN 1993
14. Eurocode 8 «**Design provisions for earthquake resistance of structures**», European Standard EN 1998
15. Α. Καλπίνης – Ν. Σίμος ΑΕΒΕ «**SYMDECK 73**» Εγχειρίδιο σχεδιασμού σύμμικτων πλακών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 – τμήμα 1.3 και Ευρωκώδικα 4. Συνοδεύεται από λογισμικό που είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα [www.kalpinissimos.gr/symdesign](http://www.kalpinissimos.gr/symdesign)
16. Berkeley, California, USA «**SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures-STEEL DESIGN MANUAL**», Computers and Structures, Inc
17. Autodesk «**Robot Structural Analysis 2010 Professional Manual**»