

Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε



ΘΕΜΑ : «Σύμμικτες οικίες στην Ελλάδα, η εμπειρία από μια σύμμικτη οικία στο Χολαργό Αττικής»



Επιμέλεια :

ΜΑΓΓΑΝΑ ΔΙΚΑΤΕΡΙΝΗ (Α.Μ : 41756)

ΠΑΠΑΔΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ (Α.Μ : 41977)

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΡΑΛΑΜΠΙΑΚΗΣ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	Σελ. 9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή στις Σύμμικτες Οικίες	10
1.1 Αντικείμενο πτυχιακής	10
1.2 Ιστορική αναδρομή σύμμικτων κατασκευών	11
1.3 Λίγα λόγια για τους Ευρωκώδικες	12
1.3.1. Στόχοι Ευρωκωδίκων	13
1.3.2 Πρότυπα Ευρωκωδίκων	13
1.3.3 Ευρωκώδικας 4	14
1.4 Ορισμοί	15
1.5 Σύμβολα	16
1.5.1 Λατινικά Σύμβολα	16
1.5.2 Ελληνικά Σύμβολα	19
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	20
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Δομικά Υλικά	21
2.1 Ιστορική Αναδρομή	21
2.1.1 Χάλυβας	21
2.1.2 Σκυρόδεμα	22
2.2 Εισαγωγή	25
2.2.1 Σκυρόδεμα	25
2.2.2 Δομικός Χάλυβας	27
2.2.3 Χάλυβας Σκυροδέματος	29
2.2.4 Χάλυβας Χαλυβδοφύλλων	30

2.2.5. Χάλυβας Προέντασης	Σελ. 31
2.2.6 Χάλυβας Κοχλιών	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	33
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ανάλυση σύμμικτων μελών	34
3.1 Σύμμικτα δομικά μέλη	34
3.1.1 Σύμμικτοι δοκοί	35
3.1.2 Κατάταξη διατομών	37
3.1.2.1 Κατάταξη πελμάτων	38
3.1.2.2 Κατάταξη κορμού	41
3.1.3 Σύμμικτα υποστυλώματα	43
3.1.4 Σύμμικτες πλάκες	46
3.1.5 Χαλυβδόφυλλα	48
3.2 Μέσα διατμητικών συνδέσεων σύμμικτων δοκών	50
3.2.1 Διατμητικοί ήλοι κεφαλής	51
3.2.2 Κοχλιώσεις	56
3.2.4 Σύνδεση τριβής με προεντεταμένους κοχλίες	61
3.2.5 Διάτρητα ελάσματα	63
3.2.6 Συγκόλληση	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σύμμικτες Κατασκευές	67
4.1 Εμπειρία στις σύμμικτες κατασκευές και οικίες	67
4.1.1 Εμπειρία στην Ευρώπη	67
4.1.2 Εμπειρία στην Ελλάδα	68

4.2 Συστήματα ανέγερσης σύμμικτων κατασκευών	Σελ. 69
4.3 Μέτρα προστασίας σύμμικτων οικιών	70
4.3.1 Πυροπροστασία	70
4.3.2 Αντιδιαβρωτική προστασία	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σύμμικτη οικία στον Χολαργό	73
5.1 Ιστορική αναδρομή σύμμικτης οικίας	73
5.2 Σχέδια και φωτογραφίες από τη σύμμικτη οικία	75
5.3 Στατική επίλυση σύμμικτων δοκών	82
5.4 Στατική επίλυση μεταλλικού υποστηλώματος	151
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Ανακεφαλαίωση και προοπτικές	162

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. : Σύμμικτα δομικά στοιχεία κτιρίων	Σελ. 12
Εικόνα 2. : Χάλυβας	21
Εικόνα 3. : Σκυρόδεμα	22
Εικόνα 4. : Δομικός χάλυβας	28
Εικόνα 5. : Χάλυβας σκυροδέματος	30
Εικόνα 6. : Χάλυβας χαλυβδοφύλλων	31
Εικόνα 7. : Κοχλίες	32
Εικόνα 8. : Σύμμικτη κατασκευή	34
Εικόνα 9. : Σύμμικτα δομικά μέλη	35
Εικόνα 10.: Τυπικές διατομές σύμμικτων δοκών	35
Εικόνα 11.: Ενδεικτικές τιμές σύμμικτων υποστυλωμάτων	43
Εικόνα 12.: Κατακόρυφη και διαμήκης διάτμηση	50
Εικόνα 13.: Διατμητικοί ήλοι κεφαλής	51
Εικόνα 14.: Διαστάσεις διατμητικών ήλων κεφαλής	52
Εικόνα 15.: Ήλος-Κεραμικό δαχτυλίδι	52
Εικόνα 16.: Μηχανή συγκόλλησης	53
Εικόνα 17.: Φάσεις συγκόλλησης ήλων κεφαλής	53
Εικόνα 18.: Διατμητικοί ήλοι σε συμπαγής και σύμμικτες πλάκες	54
Εικόνα 19.: Οριζόντια τοποθέτηση διατμητικών ήλων	55
Εικόνα 20.: Γεωμετρία κοχλία	56
Εικόνα 21.: Είδη δυνάμεων που παραλαμβάνουν οι κοχλίες	58
Εικόνα 22.: Χειροκίνητο δυναμόκλειδο	58
Εικόνα 23.: Αγκύρια	60

Εικόνα 24.: Σύνδεση με προεντεταμένους κοχλίες	Σελ. 62
Εικόνα 25.: Διάτρητο έλασμα	63
Εικόνα 26.: Συγκόλληση	65
Εικόνα 27.: Συγκολλήσεις- Βασικές μορφές	65
Εικόνα 28.: Διάβρωση χάλυβα	71

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 : Τιμές αντοχών σκυροδέματος MPa και μέτρου ελαστικότητας Gra	Σελ. 26
Πίνακας 2.2 : Μηχανικά χαρακτηριστικά δομικών χαλύβων	27
Πίνακας 2.3 : Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής χάλυβας-σκυοδέματος	29
Πίνακας 2.4 : Χαρακτηριστικές αντοχές γαλβανισμένων χαλυβδοφύλλων	30
Πίνακας 2.5 : Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής και εφελκυστικής αντοχής για κοιλίες	32
Πίνακας 3.1 : Κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων σε κατηγορίες	39
Πίνακας 3.2 : Μέγιστες αποστάσεις ήλων για κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων στην κατηγορία 1 και 2	40
Πίνακας 3.3 : Αναφέρεται στην κατάταξη κορμών σε κατηγορίες	42
Πίνακας 3.4 : Τύποι αγκύρωσης	60

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 : Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων σκυροδέματος	Σελ. 26
Σχήμα 2.2 : Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων δομικού χάλυβα	28
Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα-σκυροδέματος	29
Σχήμα 3.1 : Κατηγορίες διατομών	37
Σχήμα 3.2 : Ενεργός διατομή κατηγορίας 3 που υπολογίζεται ως κατηγορίας 2 για αρνητική ροπή	41

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή εργασία με θέμα « Σύμμικτες οικίες στην Ελλάδα, η εμπειρία από μια σύμμικτη οικία στο Χολαργό Αττικής » πραγματοποιήθηκε από τις σπουδάστριες Μαγγανά Αικατερίνη και Παπαδάκη Παναγιώτα του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ και επιβλέφθηκε από τον Δρα Πολ. Μηχανικό Κ. Αριστοτέλη Χαραλαμπάκη.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των σύμμικτων κατασκευών και ειδικότερα των σύμμικτων οικιών. Η σύμμικτη κατασκευή έχει διεισδύσει δυναμικά στο χώρο των κτιρίων, κατακτώντας μερίδια αγοράς όχι μόνο στις παραδοσιακές εφαρμογές αλλά και στον τομέα των οικιών. Η αφορμή για την μελέτη των σύμμικτων οικιών είναι η ύπαρξη μιας τέτοιας κατασκευής στην περιοχή του Χολαργού Αττικής.

Στο πρώτο μέρος παρουσιάζονται οι σύμμικτες κατασκευές, τα δομικά υλικά από τα οποία αποτελούνται, καθώς και ο τρόπος ανάλυσης των σύμμικτων δομικών στοιχείων (δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών). Επιπλέον γίνεται αναφορά στην εμπειρία τόσο στην Ελλάδα όσο και στο εξωτερικό. Στο δεύτερο μέρος αναλύεται η σύμμικτη οικία στον Χολαργό όπου περιλαμβάνονται τα πλήρη στατικά και αρχιτεκτονικά σχέδια. Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Μέσα από την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ο αναγνώστης, μηχανικός ή μη, θα έχει την δυνατότητα να έρθει σε επαφή και να εξοικειωθεί για το συγκεκριμένο αντικείμενο τόσο σε πρακτικό όσο και σε θεωρητικό επίπεδο. Παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί ενώνει μοντέρνα με κλασσικά υλικά, καθώς με την συνεργασία των δύο υλικών, χάλυβας-σκυρόδεμα, ικανοποιούνται όλα τα κριτήρια φέρουσας ικανότητας, λειτουργικότητας, ολκιμότητας και ανθεκτικότητας στο χρόνο.

Κλείνοντας αυτό το σύντομο πρόλογο, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή μας Κ. Αριστοτέλη Χαραλαμπάκη, τον Αρχιτέκτονα Μηχανικό Κ. Σταματίου Ευάγγελο καθώς και την ιδιοκτήτρια της σύμμικτης οικίας.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στις Σύμμικτες Κατασκευές

1.1 Αντικείμενο πτυχιακής εργασίας

Όπως δηλώνεται στον τίτλο, το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των σύμμικτων οικιών. Ο λόγος που ασχοληθήκαμε με το συγκεκριμένο αντικείμενο είναι η παγκόσμια άνοδος των σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα τις τελευταίες δεκαετίες. Όμως ο αριθμός των σύμμικτων οικιών στην χώρα μας παραμένει χαμηλός.

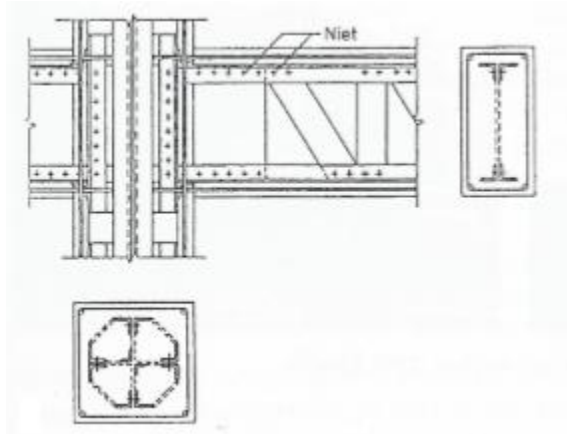
Η μακρόχρονη πλέον παγκόσμια εμπειρία στον σχεδιασμό, την ανέγερση και την συμπεριφορά μίας σύμμικτης κατασκευής μας παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών κατασκευών, τα οποία είναι τα εξής:

- Ταχύτητα ανέγερσης με αποτέλεσμα την πρόωμη έναρξη εκμετάλλευσης του κτιρίου και την ταχύτερη απόδοση της επένδυσης.
- Η απαίτηση μειωμένου χρόνου κατασκευής για να είναι δυνατή η όσο το δυνατόν συντομότερη έναρξη της απόδοσης του επενδυμένου, κυρίως προερχόμενου εκ δανεισμού, κεφαλαίου για την αγορά του ακινήτου και την κατασκευή του κτιρίου.
- Βελτίωση της αξιοπιστίας και της ακρίβειας της μεθόδου κατασκευής λόγω της βιομηχανικής παραγωγής των βασικών δομικών στοιχείων.
- Μεγάλα ελεύθερα ανοίγματα μεταξύ των υποστυλωμάτων δίνοντας την δυνατότητα για εκμετάλλευση επιπλέον χώρων αλλά και μεγάλη ελευθερία στις αρχιτεκτονικές επιλογές.
- Μείωση του εργοταξιακού κόστους και ανεξαρτησία ανέγερσης από καιρικές συνθήκες.
- Μείωση των εκσκαφών και του συνολικού όγκου θεμελίωσης λόγω μικρότερου βάρους.
- Δυνατότητα αποσυναρμολόγησης, λιγότερα απόβλητα, μείωση κόστους κατεδάφισης.

- Καθαρότερο περιβάλλον, με την χρήση του χάλυβα στις κατασκευές και δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον με ρύπους, ενώ μειώνεται αισθητά και η ηχορύπανση.
- Η χρήση τυποποιημένων συστημάτων για προσόψεις, διαχωριστικούς τοίχους, κλίμακες, εύκολα συνδεόμενων με το χαλύβδινο σκελετό.
- Άριστη συμπεριφορά σε σεισμικές καταπονήσεις, οφειλόμενη στη μηχανική συμπεριφορά του χάλυβα σε συνδυασμό με την πρόοδο της επιστήμης και αποδεδειγμένη σε μεγάλους σεισμούς σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Η μείωση των τιμών της πυροπροστασίας μέσω χρήσης νέων ελαφρύτερων υλικών προστασίας επί του ακατέργαστου χάλυβα.
- Μείωση του συνολικού πάχους των δαπέδων και κατά συνέπεια μείωση του συνολικού ύψους του κτιρίου για ίδιο αριθμό ορόφων ή αύξηση του αριθμού ορόφων για το ίδιο συνολικό ύψος.

1.2 Ιστορική αναδρομή σύμμικτων κατασκευών

Τα σύμμικτα δομικά στοιχεία εμφανίζονται για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1920 στην Ιαπωνία, όπου ηλωτές δικτυωτές δοκοί και ηλωτά υποστυλώματα σύνθετων διατομών από γωνιακά, εγκιβωτίζονταν σε σκυρόδεμα. Η συστηματική χρήση σύμμικτων στοιχείων (συνδυασμός σκυροδέματος – χάλυβα) σε οικοδομικά έργα απαντάται ήδη από την δεκαετία του 1930 κυρίως στην Ιαπωνία και της Ηνωμένες Πολιτείες. Στην Ευρώπη, η χρήση σύμμικτων δοκών ξεκίνησε στη Γερμανία στα τέλη του 1940, σε μια εποχή ανεπάρκειας του χάλυβα. Το 1956 εκδόθηκε και ο πρώτος σχετικός κανονισμός DIN 4239 "Σύμμικτες δοκοί σε κτίρια" βασιζόμενος στην ελαστική θεωρία και τη μέθοδο των επιτρεπόμενων τάσεων. Η χρήση όμως σύμμικτων στοιχείων σε κτίρια, γνώρισε μεγάλη άνθηση κυρίως στη δεκαετία του '80 με προεξέχουσα τη Βρετανία, στην οποία οι κατασκευές αυτές κατέχουν το 60% της αγοράς σε κτιριακά έργα. Στην Ιαπωνία, τα αντίστοιχα ποσοστά είναι 64%, στις ΗΠΑ 50%, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη περίπου 33%.



•Εικόνα 1• Σύμμικτα δομικά στοιχεία κτιρίων στην Ιαπωνία από το 1930-1970

1.3 Λίγα λόγια για τους Ευρωκώδικες

Οι Ευρωκώδικες αποτελούν πλέγμα κανονισμών αναφερόμενων στο σχεδιασμό δομικών έργων ειδικότητας Πολιτικού Μηχανικού. Στόχος τους είναι η βελτίωση της λειτουργίας της αγοράς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στην περιοχή των τεχνικών έργων, με την παράκαμψη των εμποδίων που προέρχονται από την ύπαρξη πολλών Εθνικών Κανονισμών και η ενδυνάμωση της ανταγωνιστικότητας της ευρωπαϊκής κατασκευαστικής βιομηχανίας σε χώρες της Ε.Ε.

Οι Ευρωκώδικες εκδόθηκαν αρχικώς από την Ε.Ε ως πρότυπα δοκιμαστικής εφαρμογής (ENV) για εναλλακτική προαιρετική χρήση προς τους εθνικούς κανονισμούς. Στη συνέχεια, οι εργασίες σύνταξης των Ευρωκωδίκων μεταβιβάστηκαν στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Τυποποίησης (CEN), με στόχο τη διαμόρφωση των τελικών προτύπων EN, η εφαρμογή των οποίων θα είναι υποχρεωτική στα κράτη μέλη της Ε.Ε, ενώ σταδιακά θα αποσύρονται οι αντίστοιχοι εθνικοί κανονισμοί.

Παράλληλα, για κάθε μέρος Ευρωκώδικα, εκδίδεται από κάθε χώρα το "Εθνικό Προσάρτημα". Το Προσάρτημα αυτό περιέχει "Εθνικά Καθορισμένες Παραμέτρους" οι οποίες προκύπτουν και εκφράζουν τις ειδικές γεωγραφικές, γεωλογικές ή κλιματικές συνθήκες, καθώς και τα συγκεκριμένα επίπεδα προστασίας που ισχύουν στην επικράτεια του κάθε κράτους.

1.3.1 Στόχοι των Ευρωκωδίκων

- Οι Στατικοί Ευρωκώδικες περιέχουν μία ομάδα προτύπων για το στατικό και γεωτεχνικό σχεδιασμό των κτιρίων και των έργων Πολιτικού Μηχανικού.
- Αποσκοπούν στο να χρησιμεύουν ως κείμενα αναφοράς για τους ακόλουθους σκοπούς:

α) Ως μέσο για να αποδεικνύεται η συμμόρφωση των κτιρίων των έργων Πολιτικού Μηχανικού προς τις θεμελιώδεις απαιτήσεις Οδηγίας Κατασκευαστικών Προϊόντων.

β) Ως πλαίσιο για την δημιουργία εναρμονισμένων τεχνικών προδιαγραφών για κατασκευαστικά προϊόντα.

- Καλύπτουν εκτέλεση και έλεγχο στο μέτρο που είναι απαραίτητο για να καταδειχτεί η ποιότητα των κατασκευαστικών προϊόντων και το επίπεδο της ποιότητας εργασίας τα οποία απαιτούνται για να υπάρχει συμμόρφωση προς τις παραδοχές κανόνων σχεδιασμού.
- Μέχρις ότου καταστεί διαθέσιμο το απαραίτητο σύνολο προδιαγραφών για τα προϊόντα και τις μεθόδους ελέγχου, ορισμένοι από τους Ευρωκώδικες καλύπτουν σε πληροφοριακά παραρτήματα μερικές από αυτές τις πλευρές του αντικειμένου.

1.3.2 Πρότυπα Ευρωκωδίκων

EN 1991 Ευρωκώδικας 1:	Βασικές αρχές σχεδιασμού και δράσεις στις κατασκευές
EN 1992 Ευρωκώδικας 2:	Σχεδιασμός κατασκευών από σκυρόδεμα
EN 1993 Ευρωκώδικας 3:	Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα
EN 1994 Ευρωκώδικας 4:	Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα
EN 1995 Ευρωκώδικας 5:	Σχεδιασμός κατασκευών από ξύλο
EN 1996 Ευρωκώδικας 6:	Σχεδιασμός κατασκευών από λιθοδομή
EN 1997 Ευρωκώδικας 7:	Γεωτεχνικός σχεδιασμός
EN 1998 Ευρωκώδικας 8:	Αντισεισμικός σχεδιασμός

EN 1999 Ευρωκώδικας 9: Σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο

Καθένα από τα παραπάνω πρότυπα, απαρτίζεται από διάφορα μέρη, τα οποία καλύπτουν όλα τα επιμέρους αντικείμενα του κάθε προτύπου.

1.3.3 Ευρωκώδικας 4

Σήμερα, έχει συνταχθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN), ο Ευρωκώδικας 4, που αφορά αποκλειστικά στις σύμμικτες κατασκευές και στους οποίους περιέχονται οι κανόνες σχεδιασμού και εκτέλεσης δομικών έργων από σύμμικτα στοιχεία. Πρόκειται για ένα Κανονισμό, στον οποίο έχει ενσωματωθεί η γνώση και η εμπειρία των τελευταίων δεκαετιών, τεχνικών και επιστημόνων που έχουν ασχοληθεί με τέτοιου είδους κατασκευές.

Ο Ευρωκώδικας 4 εφαρμόζεται στο σχεδιασμό συμμίκτων κατασκευών και μελών για κτίρια και τεχνικά έργα. Είναι συμβατός με τις αρχές και τις απαιτήσεις για την ασφάλεια και τη λειτουργικότητα των κατασκευών, καθώς και τις βάσεις σχεδιασμού και ελέγχων που δίδονται στο EN 1990- Βάσεις σχεδιασμού φέροντος οργανισμού.

Ο Ευρωκώδικας 4 ασχολείται μόνον με τις απαιτήσεις για αντοχή,λειτουργικότητα, ανθεκτικότητα και αντοχή σε πυρκαγιά των σύμμικτων κατασκευών. Άλλες απαιτήσεις, για παράδειγμα που αφορούν θερμική ή ηχητική μόνωση, δεν εξετάζονται.Ο Ευρωκώδικας 4 υποδιαιρείται σε διάφορα μέρη:

Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια

Μέρος 1-2 : Σχεδιασμός φέροντος οργανισμού σε συνθήκες πυρκαγιάς

Μέρος 2 : Γέφυρες

1.4 Ορισμοί

Σύμμικτο μέλος

Ορίζεται ένα δομικό στοιχείο με τμήματα από σκυρόδεμα και δομικό ή ψυχρής διαμόρφωσης χάλυβα, συνδεδεμένα μεταξύ τους με διατμητική σύνδεση κατά τρόπον ώστε να περιορίζεται η διαμήκης ολίσθηση μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα, καθώς και ο αποχωρισμός του ενός υλικού από το άλλο.

Διατμητική σύνδεση

Είναι

η μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα σύνδεση σε ένα σύμμικτο μέλος που έχει επαρκή αντοχή και δυσκαμψία ώστε να επιτρέπει το σχεδιασμό των δύο υλικών ως μερών ενός ενιαίου δομικού στοιχείου.

Σύμμικτη συμπεριφορά

Είναι η συμπεριφορά που εκδηλώνεται μετά την ενεργοποίηση της διατμητικής σύνδεσης λόγω της σκλήρυνσης του σκυροδέματος .

Σύμμικτη δοκός

Ονομάζεται ένα σύμμικτο μέλος που υπόκειται κατά κύριο λόγο σε κάμψη.

Σύμμικτο υποστύλωμα

Ονομάζεται ένα σύμμικτο μέλος που υπόκειται κατά κύριο λόγο σε θλίψη ή σε θλίψη.

Σύμμικτη πλάκα

Ονομάζεται η πλάκα στην οποία πτυχωτό χαλυβδόφυλλο έχει αρχικά χρησιμοποιηθεί ως μόνιμος σιδηρότυπος, και το οποίο στη συνέχεια συνεργάζεται στατικά με το σκληρωμένο σκυρόδεμα, αποτελώντας τον εφελκόμενο οπλισμό του τελικού δαπέδου.

Σύμμικτος κόμβος

Ονομάζεται ο κόμβος μεταξύ σύμμικτου μέλους και άλλου σύμμικτου, χαλύβδινου ή από σκυρόδεμα μέλους, στον οποίο ο οπλισμός λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό της αντοχής και της δυσκαμψίας του κόμβου.

Προένταση

Είναι η διαδικασία επιβολής θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα ενός σύμμικτου στοιχείου, η οποία επιτυγχάνεται μέσω καλωδίων προέντασης ή μέσω ελεγχόμενων επιβαλλομένων παραμορφώσεων.

1.5 Σύμβολα

1.5.1 Λατινικά Σύμβολα

A_s : Εμβαδόν τάσεων κοχλία

A_s : εμβαδόν εγκάρσιου οπλισμού

d_1 : Διάμετρος κορμού ήλου

E_{cm} : Μέση τιμή επιβατικού μέτρου ελαστικότητας

E_a : Μέτρο ελαστικότητας δομικού χάλυβα

f_{ck} : Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

f_{ctm} : Μέση εφελκυστική αντοχή

$f_{ctk0,05}$ και $_{0,95}$: Χαρακτηριστική τιμή εφελκυστικής αντοχής.
Ποσοστημόρια 5% και 95%.

f_{cd} : Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού σκυροδέματος

f_y : Όριο διαρροής δομικού χάλυβα

f_u : Εφελκυστική αντοχή δομικού χάλυβα

f_{yd} : Τάση σχεδιασμού δομικού χάλυβα

f_{yk} : Χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής του θλιβόμενου χάλυβα

f_{sd} : Τάση σχεδιασμού χάλυβα σκυροδέματος

f_{ys} : Όριο διαρροής χάλυβα σκυροδέματος

f_{yp} : Χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής των γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων

f_{up} : Εφελκυστική αντοχή γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων

$f_{yp,d}$: Χαρακτηριστική τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής των γαλβανισμένων χαλυβδοφύλλων

f_{ub} : Εφελκυστική αντοχή χάλυβα κοχλιών

f_{yb} : Όριο διαρροής χάλυβα κοχλιών

F_{pr} : Δύναμη προέντασης F_p κατά 40% μειωμένη

F_p : Πλήρης τιμή της δύναμης προέντασης

G_a : Μέτρο ολίσθησης δομικού χάλυβα

h : Ύψος

R_{td} : Διατμητική δύναμη αντοχής σχεδιασμού ανά μονάδα μήκους των ελασμάτων

1.5.2 Ελληνικά Σύμβολα

α : Θερμικός συντελεστής

α_t : Συντελεστής θερμικής διαστολής

γ_a : Ειδικό βάρος δομικού χάλυβα

γ_s : Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα σκυροδέματος

γ_c : Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος

γ_p : Συντελεστής ασφαλείας γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων

γ : Επιμέρους συντελεστής ασφαλείας στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

ν_a : Σταθερά Poisson δομικού χάλυβα

σ_c : Θλιπτική τάση σκυροδέματος

T_v : Κατακόρυφη διάτμηση

T_l : Διαμήκης διάτμηση

ϵ_c : Ανοιγμένη παραμόρφωση σκυροδέματος

μ : Συντελεστής τριβής χάλυβα-σκυροδέματος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Φουντάς Γ. , Υπολογισμός Σύμμικτων Κατασκευών με τον Ευρωκώδικα 4, δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Φουντάς Books, 2005-1
- Βάγιας Ι. / Παλαμάς Γ. / Τάτσης Κ. / Θανόπουλος Π. , Οδηγός Σχεδιασμού Σύμμικτων Κτιρίων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009
- Βάγιας Κ. Ιωάννης, Σύμμικτες Κατασκευές Από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα, τρίτη έκδοση, Αθήνα 2010
- Βάγιας Ι. / Ερμόπουλος Ι. / Ιωαννίδης Γ. , Σιδηρές Κατασκευές Τόμος 1, δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, Ελληνική Απόδοση

Ιστοσελίδες:

- <http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=238&la=1&catid=216>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

2.1 Ιστορική Αναδρομή

2.1.1 Χάλυβας

Η χρήση του χάλυβα υπαγορεύτηκε στην γεφυροποιία και τις βιομηχανικές κατασκευές από την ανάγκη κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων και στα κτίρια από την απαίτηση όλων και μεγαλύτερου ύψους. Οι πρώτες σιδηρές γέφυρες και τα πρώτα σιδηρά βιομηχανικά οικοδομικά έργα πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη το 19^ο αιώνα, αρχής γενομένης από την Αγγλία ως έκφραση της βιομηχανικής επανάστασης. Απεναντίας, η πρώτη χρήση του χάλυβα σε κτίρια έγινε στους ουρανοξύστες της Αμερικής, ιδιαίτερα στο Σικάγο, κατά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Η συστηματική χρήση σύμμικτων στοιχείων σε οικοδομικά έργα ξεκίνησε από την Ιαπωνία, όπου ήδη από τη δεκαετία του 1930 και μέχρι τη δεκαετία του 1970 ηλωτές δικτυωτές δοκοί και ηλωτά υποστυλώματα σύνθετων διατομών από γωνιακά εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα. Στην Ευρώπη και για ένα μεγάλο διάστημα μετά το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, δεν γινόταν χρήση του χάλυβα σε οικοδομικά έργα. Οι κυριότερες αιτίες ήταν η έλλειψη χάλυβα, οι χαμηλές τιμές του σκυροδέματος και το υψηλό κόστος της πυροπροστασίας. Η κατάσταση αυτή άλλαξε ριζικά στην Ευρώπη από τις αρχές του 1980 με την υιοθέτηση των αμερικανικών μεθόδων διαχείρισης fast-track, με το πρωτοπόρες την Αγγλία και τις σκανδιναβικές χώρες.



•Εικόνα 2• Χάλυβας

2.1.2 Σκυρόδεμα

Σύμφωνα με τις περισσότερες πηγές, ιδιαίτερα αυτές των οργανισμών των σχετιζόμενων με τη βιομηχανική παραγωγή και εφαρμογή, το σκυρόδεμα εφευρέθηκε κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους και αναπτύχθηκε ιδιαίτερα στον δυτικό κόσμο από το 1824 και μετά που ο Άγγλος Joseph Aspdin παρασκεύασε πρώτος το λεγόμενο τσιμέντο Portland. Σε αρχαιολογικές πηγές, όμως, αναφέρονται φυσικά αποθέματα τσιμέντου που εντοπίστηκαν στο Ισραήλ. Θεωρούνται ότι σχηματίστηκαν φυσικά με αυτόματη καύση ασβεστόλιθου, σχιστόλιθου και πετρελαίου.



•Εικόνα 3•Σκυρόδεμα

Ασσύριοι, Γιουγκοσλάβοι, Βαβυλώνιοι, Κινέζοι οι πρώτοι Διδάξαντες

Σκυρόδεμα έχει εντοπιστεί στη Συρία και τη Γιουγκοσλαβία χρονολογούμενο το 6500 π.Χ. το πρώτο και το 5500 π.Χ. το δεύτερο. Το πρώτο έχει εντοπιστεί σε νεκροπόλεις και το δεύτερο σε δάπεδα καταλυμάτων κοντά στον ποταμό Danube. Το 3.000 π.Χ. οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν σκυρόδεμα σε δάπεδα στην περιοχή Gansu στην Νότια Κίνα. Ήταν πρασινόμαυρο και περιείχε τσιμέντο αναμεμιγμένο με άμμο, σπασμένα κεραμικά, κόκκαλα και νερό. Το 2500 π.Χ. οι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν ασβέστη και γύψο ως τσιμέντο στις πυραμίδες. Πριν χρησιμοποιούσαν λάσπη με άχυρα. Το 800 π.Χ. οι Βαβυλώνιοι και οι Ασσύριοι χρησιμοποίησαν στις κατασκευές τους άσφαλτο με πέτρες και τούβλα σε διάφορα μεγέθη.

Η Αρχαία Ελληνική και Ρωμαϊκή περίοδος

Το 600 π.Χ. οι Έλληνες ανακάλυψαν στη Σαντορίνη τη Θηραϊκή γη, η οποία είναι φυσικό τσιμέντο και αναμιγνύομενη με το νερό αποκτά αντοχή. Το 300 π.Χ. οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν ως τσιμέντο ηφαιστειακή τέφρα (όπως η θηραϊκή γη) η οποία ονομάστηκε ποζολάνη από την περιοχή Pozzouli στην οποία βρέθηκε. Υπάρχουν αναφορές για αναλογία ανάμιξης δύο μέρη ποζολάνης με ένα μέρος ασβέστη. Με ποζουλανικό υδραυλικό τσιμέντο έχτισαν το 75 π.Χ. το θέατρο στην Πομπηίας και τα Ρωμαϊκά λουτρά. Το τσιμέντο αποτελείτο από ασβέστη και ηφαιστειακή τέφρα που περιείχε πυρίτιο και αλουμίνιο. Το 82 μ.Χ. αποπερατώθηκε το Κολοσσαίο και το 128 μ.Χ. το Πάνθεο. Κατασκευάστηκε με υδραυλικό ποζουλανικό τσιμέντο και αδρανή βαλσάτη στα θεμέλια, τούβλα και κομμάτια κίσσηρης στην ανωδομή. Αποτελεί κατά κάποιο τρόπο την πρώτη εφαρμογή του ελαφροσκυροδέματος.

Χτίστες, κηπουροί, αγρότες και σοβατζήδες οι σκαπανείς

Το 1824ο χτίστης Joseph Aspdin στο Leeds της Αγγλίας εφηύρε το πρώτο τσιμέντο με υψηλή αντοχή. Ήταν αποτέλεσμα καύσης μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου και άλεσης του προϊόντος (κλίνκερ) της καύσης. Το ονόμασε Portland γιατί έμοιαζε με το πέτρωμα που εξορυσσόταν στο νησί Portland της Αγγλίας. Είναι το τσιμέντο που έχει την πιο διαδεδομένη χρήση μέχρι σήμερα. Το 1848ο αγρότης Jean-Louis Lambot κατασκεύασε μικρές βάρκες διαστρώνοντας τσιμεντοκονίαμα σε πλέγματα από σύρμα και σιδερένιες ράβδους τοποθετημένα το ένα επάνω στο άλλο (ferrocement). Το 1854ο σοβατζής William Wilkinson, κατασκεύασε μικρά διώροφα σπίτια με δάπεδα και οροφή από σκυρόδεμα ενσωματώνοντας σιδερένιες ράβδους στο εφελκόμενο πέγμα τους. Το 1867ο κηπουρός Joseph Monier παρουσίασε μελέτη για κάνιστρα και αργότερα για δοκούς και στρωτήρες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το 1884 ο Earnest L. Ransom παρουσίασε σύστημα όπλισης του σκυροδέματος χρησιμοποιώντας στρεβλωμένες τετράγωνες ράβδους χάλυβα για να βελτιώσει τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού.

Πολυεπιστήμονες

Ορόσημο των κατασκευών από σκυρόδεμα θεωρείται το σπίτι που έκτισε μόνος του, με εξαιρετική επιμέλεια και κάνοντας μακροχρόνια πειράματα, ο μηχανολόγος William Wark στο λιμάνι Chester της Νέας Υόρκης το 1871-75 για χάρη της γυναίκας του, η οποία φοβόταν την πυρκαγιά. Είναι ο πρώτος που υιοθέτησε τη γαλλική λέξη beton για το σκυρόδεμα (αν και Αμερικανός). Το 1883 παρουσίασε την εργασία του στην ένωση μηχανολόγων μηχανικών με τίτλο: «Beton in combination with iron as a building material», αλλά, όπως αναφέρεται, το ακροατήριο ενδιαφέρθηκε περισσότερο για τα μοναδικά συστήματα παροχής νερού και θέρμανσης που είχε σχεδιάσει παρά για το οπλισμένο σκυρόδεμα. Είναι χαρακτηριστικό ότι το σπίτι είχε σχεδιαστεί με εξωτερική εμφάνιση τοιχοποιίας για να είναι κοινωνικά αποδεκτό. Και αναζητώντας τον επόμενο σταθμό στην εξέλιξη του σκυροδέματος συναντάμε τον Edison. Το σκυρόδεμα ήταν μια ακόμη περιοχή ενασχόλησης του Θωμά Edison, ίσως η λιγότερο γνωστή. Εκτός από την πρωτοποριακή του συμβολή το 1902 στην ανάπτυξη των υψικαμίνων παραγωγής του τσιμέντου, παρουσίασε το 1908 πρωτότυπο σύστημα καλουπιού από χυτοσίδηρο για την ενιαία σκυροδέτηση ολόσωμων κατοικιών από σκυρόδεμα με ενσωματωμένα τα υδραυλικά δίκτυα σωλήνων καθώς και τα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Εκδόσεις κανονισμών

- | | |
|-----------|---|
| 1945 | Πρώτη δημοσίευση στην Ελλάδα των μεταφρασμένων γερμανικών DIN1045 (Τεχνικά Χρονικά ΤΕΕ) |
| 1954 | Εκδίδεται ο πρώτος κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος. |
| 1970-1981 | Υιοθετούνται οι γερμανικές κατηγορίες B25, B35 |
| 1985 | Εκδίδεται ο κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος (ΦΕΚ 266/B/9.5.85) |
| 1997 | Αναθεώρηση το κανονισμού τεχνολογίας σκυροδέματος με έκδοση του ΚΤΣ 97 που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ/315/B/17.4.97 |

- 2002 Προσαρμογή του ΚΤΣ 97 στα Ευρωπαϊκά πρότυπα εισάγονται οι κατηγορίες κάθησης S₁-S₅
- 2006 Σύνθεση επιτροπής αναθεώρησης του ΚΤΣ 97 σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 206-1 (Δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ /1318/B/14.9.06)

2.2 Εισαγωγή

Τα χρησιμοποιούμενα στις σύμμικτες κατασκευές υλικά είναι ο δομικός χάλυβας, το σκυρόδεμα, ο χάλυβας σκυροδέματος, ο χάλυβας των χαλυβδόφυλλων, και τα υλικά των μέσων σύνδεσης (κοχλίες, αγκύρια, ήλοι). Στη συνέχεια δίνονται οι προδιαγραφές για τις ποιότητες των υλικών, εξαιρουμένου του χάλυβα προέντασης δεδομένου ότι σπάνια χρησιμοποιείται σε κτίρια. Αν γίνει κάτι τέτοιο αυτό αφορά πιθανώς στη χρήση προκατασκευασμένων, προεντεταμένων πλακών.

2.2.1. Σκυρόδεμα

Στις σύμμικτες κατασκευές το σκυρόδεμα συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «c». Στον πίνακα 2.1 δίνονται αποσπάσματα από τις προβλέψεις των προδιαγραφών σε σχέση με τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ποιοτήτων σκυροδέματος. Οι ποιότητες του σκυροδέματος βασίζονται στη χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικών δοκιμίων 28 ημερών. Ο Ευρωκώδικας 4 δίνει δύο τιμές εκ των οποίων η πρώτη αντιστοιχεί στην αντοχή κυλινδρικού και η δεύτερη στην αντοχή κυβικού δοκιμίου. Για παράδειγμα η ποιότητα C25/30 αντιστοιχεί σε αντοχή κυλίνδρου 25MPa και αντοχή κύβου 30MPa. Ως ειδικό βάρος σκυροδέματος λαμβάνονται οι τιμές 24kN/m³ για άοπλο και 25kN/m³ για οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ποιότητα σκυροδέματος	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	20	25	30	35	40	45	50
f_{cm}	28	33	38	43	48	53	58
f_{ctm}	2.2	2.36	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
$F_{ctk 0.05}$	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9
$F_{ctk 0.95}$	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3
E_{cm}	29	30.5	32	33.5	35	36	37

•**Πίνακας 2.1**• Τιμές αντοχών σκυροδέματος [MPa] και μέτρου ελαστικότητας [GPa]

Ως ειδικό βάρος σκυροδέματος λαμβάνονται οι τιμές 24kN/m^3 για άοπλο και 25kN/m^3 για οπλισμένο σκυρόδεμα.

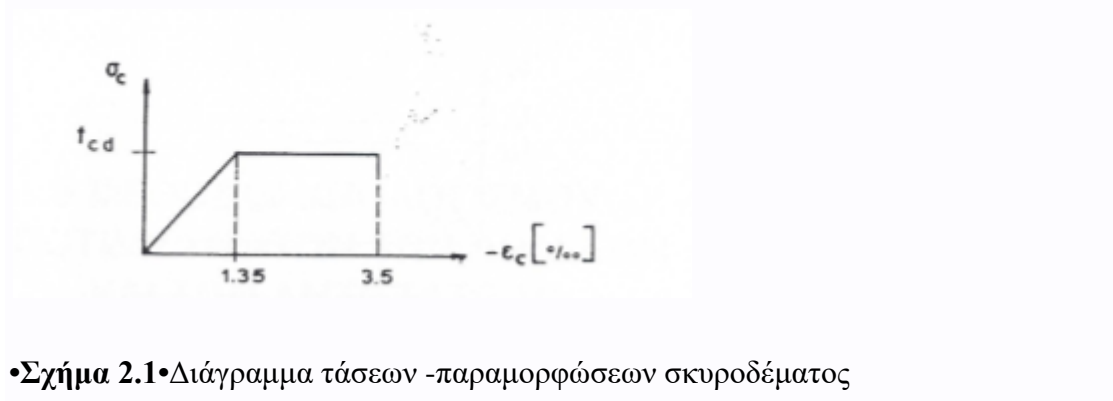
Ως θερμικός συντελεστής ορίζεται $\alpha = 10^{-5}/c$

Συντελεστής ασφαλείας σκυροδέματος $\gamma_c=1.50$

Η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος λαμβάνεται ίση με

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Ένα προσεγγιστικό, διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος δίνεται στο Σχήμα 2.1



•**Σχήμα 2.1**• Διάγραμμα τάσεων -παραμορφώσεων σκυροδέματος

2.2.2 Δομικός χάλυβας

Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου με μικρή περιεκτικότητα άνθρακα και μαγγανίου, καθώς και μικρές ποσότητες θείου, φωσφόρου, πυριτίου και οξυγόνο και αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα βιομηχανικά υλικά. Στον κατασκευαστικό τομέα συναντάμε τους μαλακούς χάλυβες των οποίων η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι πολύ μικρή και δεν ξεπερνά το 0,3% κ.β.

Ο δομικός χάλυβας είναι ο χάλυβας που χρησιμοποιείται σε όλα τα είδη σιδηρών έργων. Ως δομικό στοιχείο είναι γνωστή η χρήση του εδώ και δεκαετίες στον οπλισμό σκυροδέματος. Ωστόσο οι υψηλές του επιδόσεις σε συνδυασμό με την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας, επεξεργασίας και βιομηχανοποίησης του, έχουν καταστήσει το χάλυβα ως την κορυφαία επιλογή δομικού χάλυβα σε κατ' εξοχήν χαλύβδινους φέροντες οργανισμούς.

Στις σύμμικτες κατασκευές ο δομικός χάλυβας συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «a». Οι ποιότητες και τα δομικά χαρακτηριστικά δίνονται στην ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 10025 [25]. Οι χαρακτηριστικές τιμές του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής του δομικού χάλυβα δίνονται στον πίνακα 2.2. Για άλλου τύπου χάλυβες γίνονται αναφορά στον Ευρωκώδικα 3, Μέρος 1-1.

Ποιότητα κατά EN 10025-2	Πάχος στοιχείου t			
	t ≤ 40 mm		40mm < t ≤ 80mm	
	F _y (MPa)	F _u (MPa)	F _y (MPa)	F _u (MPa)
S 235	235	360	215	340
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	490
S 450	440	550	410	550

•Πίνακας 2.2•Μηχανικά χαρακτηριστικά δομικών χαλύβων

Άλλες τιμές για το δομικό χάλυβα είναι:

Ως μέτρο ελαστικότητας ορίζεται η τιμή $E_a=210.000 \text{ MPa}$

Ως μέτρο ολίσθησης ορίζεται $G_a = \frac{E_a}{2 \cdot (1 + \nu_a)}$

Ως σταθερά Poissonορίζεται $\nu_a=0.3$

Ως ειδικό βάρος ορίζεται $\gamma_a=78.5 \text{ kN /m}^3$

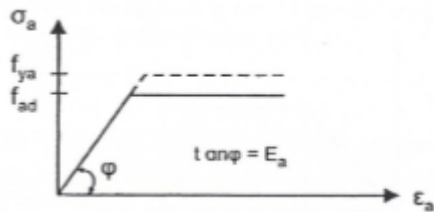
Ως συντελεστής θερμικής διαστολής ορίζεται $\alpha_t= 10^{-5}/c$

Ως συντελεστής ασφαλείας ορίζεται $\gamma_a=1.00$

Η τάση σχεδιασμού των δομικών χαλύβων δίνεται από την σχέση

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_a}$$

Το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων δίνεται στο Σχήμα 2.2



•Σχήμα 2.2• Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων δομικού χάλυβα



•Εικόνα 4• Δομικός χάλυβας

2.2.3. Χάλυβας σκυροδέματος

Στις σύμμικτες κατασκευές ο χάλυβας σκυροδέματος συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα « s ». Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων σκυροδέματος δίνονται στην Ευρωπαϊκή προδιαγραφή EN 10080 και τις ελληνικές προδιαγραφές ΕΛΟΤ 959 [23] και 971 [24]. Οι χάλυβες κατά ΕΛΟΤ 971 είναι συγκολλησιμοι, ενώ του ΕΛΟΤ 959 συγκολλησιμοι υπό προϋποθέσεις. Οι χαρακτηριστικές των ορίων διαρροής δίνονται στον πίνακα 2.3.

Ποιότητα χάλυβα		Όριο διαρροής
ΕΛΟΤ 959	ΕΛΟΤ 971	f_{ys} (MPa)
S 400	S 400s	400
S 500	S 500s	500

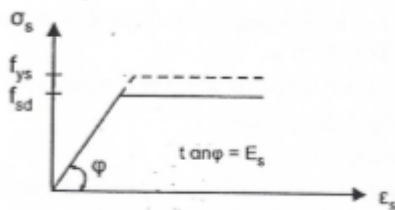
•**Πίνακας 2.3**• Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής χαλύβων-σκυροδέματος

Ως συντελεστής ασφαλείας ορίζεται $\gamma_s=1.15$

Η τάση σχεδιασμού των χαλύβων σκυροδέματος δίνεται από τη σχέση

$$f_{sd} = \frac{f_{ys}}{\gamma_s}$$

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των χαλύβων σκυροδέματος είναι ίδια με αυτά των δομικών χαλύβων.



•**Σχήμα 2.3**• Διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα σκυροδέματος



•Εικόνα 5•Χάλυβας σκυροδέματος

2.2.4 Χάλυβας χαλυβδόφυλλων

Στις σύμμικτες κατασκευές ο χάλυβας χαλυβδόφυλλων συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα «p». Τα χαλυβδόφυλλα αποτελούν ένα βασικό συστατικό στοιχείο των πλακών που ικανοποιούν μια σειρά από απαιτήσεις. Οι χάλυβες των χαλυβδόφυλλων προέρχονται από χάλυβες θερμής έλασης κατά EN 10025 [25] σε μορφή ρολών, οι οποίοι υφίστανται ψυχρή έλαση. Οι ποιότητες και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλυβδόφυλλων προέρχονται από τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές EN 10149 [26] για τα κοινά και EN 10147 για τα γαλβανισμένα χαλυβδόφυλλα [28].

Οι χαρακτηριστικές αντοχές των συχνότερα χρησιμοποιούμενων γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων δίνονται στον πίνακα 2.4.

Πρότυπο	Ποιότητα	f_{yp} [Mpa]	f_{up} [MPa]
EN 10 147	S 220 GD+Z	220	300
	S 250 GD+Z	250	330
	S 280 GD+Z	280	360
	S 320 GD+Z	320	390
	S 350 GD+Z	350	420

•Πίνακας 2.4• Χαρακτηριστικές αντοχές γαλβανισμένων χαλυβδόφυλλων

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά είναι ίδια με αυτά των άλλων χαλύβων

Ως συντελεστής ασφαλείας ορίζεται $\gamma_p=1,00$

Η τάση σχεδιασμού των χαλύβωνχαλυβδοφύλλων δίνεται από την σχέση

$$f_{y,p,d} = \frac{f_{yp}}{\gamma_p}$$

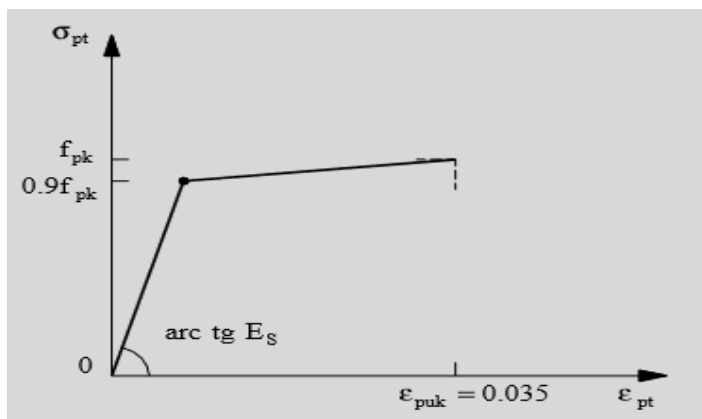


•Εικόνα 6• Χάλυβας χαλυβδοφύλλων

2.2.5. Χάλυβας Προέντασης

Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των χαλύβωνπροέντασης από χάλυβες προέντασης καθορίζονται από πιστοποιητικά. Συνήθως δίνεται για τούς χάλυβες προέντασης η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής (που αντιστοιχεί συνήθως σε παραμένουσα παραμόρφωση 0,1%) και η χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής. Για παράδειγμα ο συμβολισμός S1500/1700 υποδηλώνει χάλυβα προέντασης με « όριο διαρροής » 1500MPaκαι εφελκυστική αντοχή 1700 MPa.

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά είναι ίδια με αυτά των άλλων χαλύβων.



•Σχήμα 2.4• Απλοποιημένο διάγραμμα σ-ε για χάλυβες προέντασης

2.2.6 Χάλυβας Κοχλιών

Οι ποιότητες των κοχλιών καθορίζονται από την προδιαγραφή ISOR 989. Το όριο διαρροής f_{yb} και η εφελκυστική αντοχή f_{ub} (χαρακτηριστικές τιμές) δίνονται για τις διάφορες ποιότητες κοχλιών στον παρακάτω πίνακα.

Ποιότητα κοχλία	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} [MPa]	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} [MPa]	400	400	500	500	600	800	1000

•Πίνακας 2.5• Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής και εφελκυστικής αντοχής για κοχλίες

Η ποιότητα του κοχλία συμβολίζεται με δύο αριθμούς ως εξής:

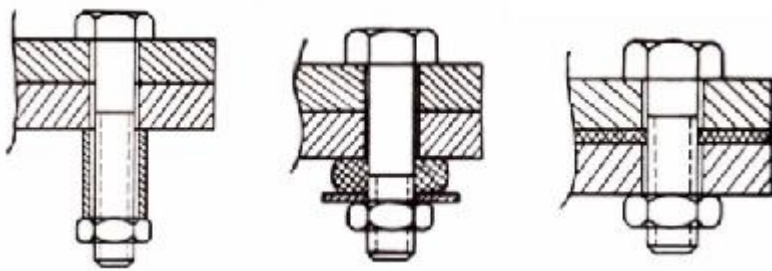
1^{ος} αριθμός: 1/100της εφελκυστικής αντοχής f_{ub} [MPa]

2^{ος} αριθμός: ο λόγος του ορίου διαρροής προς την εφελκυστική αντοχή $\times 10$

Όπως για παράδειγμα κοχλίας ποιότητας 6.8:

1^{ος} αριθμός: $f_{ub}/100 = 600/100 = 6$

2^{ος} αριθμός: $(f_{yb}/f_{ub}) \times 10 = (480/600) \times 10 = 8$



•Εικόνα 7• Κοχλίες

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βάγιας Ι. / Παλαμάς Γ. / Τάτσης Κ. / Θανόπουλος Π. , Οδηγός Σχεδιασμού Σύμμικτων Κτιρίων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009
- Βάγιας Κ. Ιωάννης, Σύμμικτες Κατασκευές Από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα, τρίτη έκδοση, Αθήνα 2010
- Βάγιας Ι. / Ερμόπουλος Ι. / Ιωαννίδης Γ. , Σιδηρές Κατασκευές Τόμος Ι, δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- Κωστέας Δ. Αντώνης, Υπολογισμός σιδηρών κατασκευών, Τόμος Ι, Αθήνα 1961-1963
- Ευρωκώδικας 4 – Σχεδιασμός σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα, Μέρος 1-1 : Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια, Ελληνική Απόδοση

Ιστοσελίδες:

- <http://www.interbeton.gr/default.asp?pageid=38&langid=1>
- http://concretestructures.blogspot.gr/2009/07/blog-post_3809.html
- <http://skoutarissteel.com/technika/o-chalivas-os-doimiko-stoixeio/>

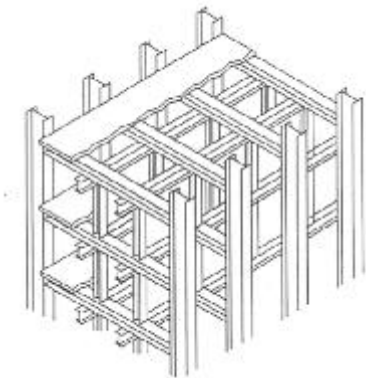
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση Σύμμικτων Μελών

3.1 Σύμμικτα δομικά μέλη

Τα δύο συμπληρωματικά υλικά, δομικός χάλυβας και οπλισμένο σκυρόδεμα, εισάγονται και δείχνεται πως η σύμμικτη δράση επιτυγχάνεται στην περίπτωση των σύμμικτων πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων. Η χρήση της σύμμικτης κατασκευής για κτίρια και γέφυρες δείχνεται σε πολλά τυπικά παραδείγματα, τα κυριότερα πλεονεκτήματα της παρουσιάζονται επίσης σε μία σύγκριση με μία σύγκριση με την χρήση κατασκευών χωριστά από σκυρόδεμα και χάλυβα.

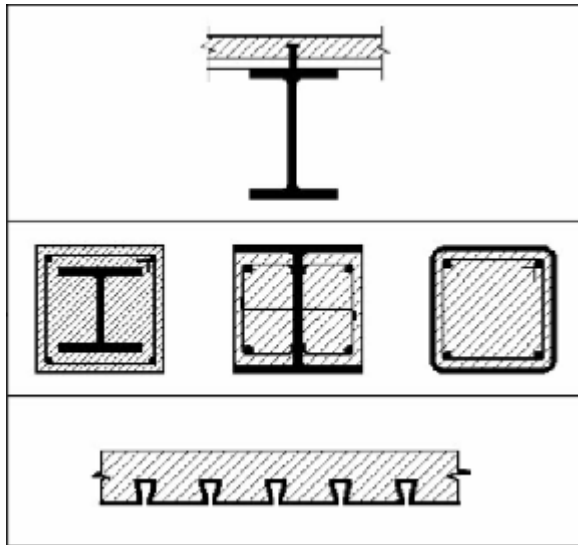
Ο πιο σημαντικός και πιο συχνά εμφανιζόμενος συνδυασμός δομικών υλικών είναι αυτός του χάλυβα και του σκυροδέματος, με εφαρμογές σε πολυώροφα κτίρια γραφείων και εργοστασίων, όπως επίσης και σε γέφυρες. Αυτά τα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μικτά δομικά συστήματα, για παράδειγμα πυρήνες από σκυρόδεμα εγκλεισμένοι σε χαλύβδινους σωλήνες, όπως επίσης και σύμμικτες κατασκευές όπου τα μέλη αποτελούνται από χάλυβα και σκυρόδεμα που ενεργούν με το σύμμικτο τρόπο.

Αυτά τα δύο διαφορετικά υλικά είναι συμβατά και συμπληρωματικά το ένα με το άλλο, έχουν σχεδόν την ίδια θερμική διαστολή, έχουν ένα ιδανικό συνδυασμό αντοχών με την αποτελεσματικότητα του σκυροδέματος σε θλίψη και του χάλυβα σε εφελκυσμό, το σκυρόδεμα δίνει προστασία από διάβρωση και θερμομόνωση στον χάλυβα σε υψηλή θερμοκρασία και επιπρόσθετα μπορεί να περιορίσει τις λιγυρές χαλύβδινες διατομές από τοπικό ή στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.



•Εικόνα 8• Σύμμικτη κατασκευή

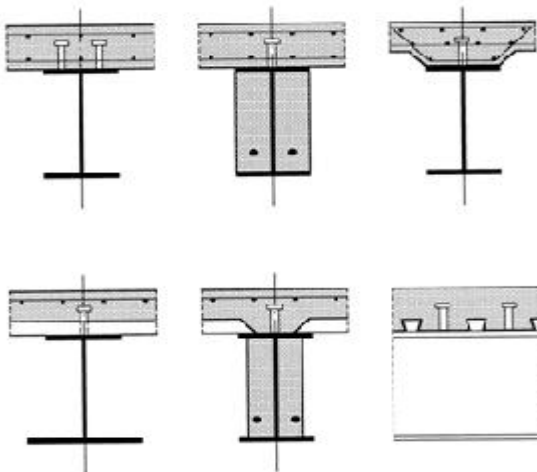
Παρακάτω θα αναλυθούν οι σύμμικτες δοκοί, πλάκες, υποστυλώματα.



•Εικόνα 9• Σύμμικτα δομικά μέλη

3.1.1 Σύμμικτες Δοκοί

Οι σύμμικτες δοκοί, που υπόκεινται κυρίως σε κάμψη, αποτελούνται από τη χαλύβδινη ολόσωμη διατομή που δρα σύμμικτα με τη συνεργαζόμενη πλάκα σκυροδέματος συνήθως στο πάνω πέλμα της δοκού ή σε κάποια απόσταση από αυτό που συνήθως δημιουργείται από το χαλυβδοέλασμα. Τα δύο υλικά συνδέονται μέσω διατμητικών συνδέσμων που εξασφαλίζουν την αποφυγή της σχετικής ολίσθησης στη διεπιφάνεια των δύο υλικών. Έτσι, η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω ήλων κεφαλής ημιαυτόματα συγκολλημένων στο χαλύβδινο πέλμα. Παρακάτω φαίνονται διάφορες τυπικές μορφές διατομών με συμπαγή πλάκα ή με σύμμικτη πλάκα.



•Εικόνα 10• Τυπικές διατομές σύμμικτων δοκών

Οι έλεγχοι των δοκών κτιρίων περιλαμβάνουν τόσο τη σιδηροδοκό στη φάση κατασκευής, όσο και τη σύμμικτη δοκό στη φάση λειτουργίας. Οι έλεγχοι αφορούν την οριακή κατάσταση αστοχίας - ΟΚΑ (κατάρρευση, ανατροπή, κόπωση) καθώς και την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας - ΟΚΛ (ταλάντωση, ρηγμάτωση, βέλη κάμψης).Οι επιμέρους έλεγχοι συνοψίζονται παρακάτω.

Σιδηροδοκός (φάση κατασκευής)

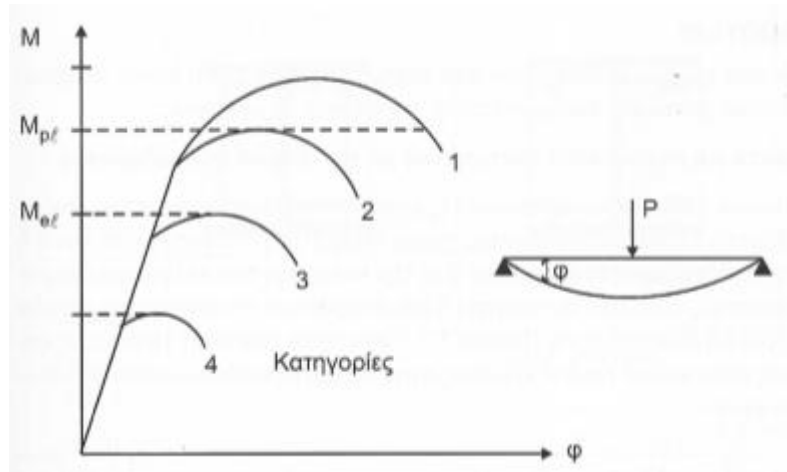
- Έλεγχοι αντοχής ΟΚΑ
- Έλεγχοι ευστάθειας, (στρεπτοκαμπτικός λυγισμός) ΟΚΑ

Σύμμικτη δοκός

- Αντοχή των κρίσιμων διατομών
- Αντοχή σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό
- Αντοχή σε κύρτωση του κορμού και εγκάρσιες δυνάμεις στον κορμό
- Αντοχή σε διαμήκη διάτμηση

3.1.2 Κατάταξη Διατομών

Οι διάφορες διατομές αναλόγως των δυνατοτήτων τους κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες.



•Σχήμα 3.1• Κατηγορίες διατομών

Κατηγορία 1: Είναι διατομές με αντοχή σε ροπή μεγαλύτερη της πλαστικής ροπής και στροφική ικανότητα επαρκή, ώστε να συμπεριφερθούν ως πλαστικές αρθρώσεις σε περίπτωση πλαστικής ανακατανομής της έντασης. Η εφαρμογή πλαστικής-πλαστικής μεθόδου προϋποθέτει διατομές κατηγορίας 1 στη θέση των πλαστικών αρθρώσεων.

Κατηγορία 2: Είναι διατομές με αντοχή τουλάχιστον ίση με την πλαστική ροπή, αλλά χωρίς στροφική ικανότητα λόγω τοπικού λυγισμού των πελμάτων ή του κορμού. Για το λόγο αυτό επιτρέπεται η εφαρμογή ο πολύ ελαστικής-πλαστικής μεθόδου ανάλυσης.

Κατηγορία 3: Είναι διατομές με αντοχή τουλάχιστον ίση με την ελαστική ροπή, τη ροπή δηλαδή στην οποία για γραμμική ελαστική συμπεριφορά των επιμέρους στοιχείων η πλέον εντεινόμενη ίνα μόλις εισέρχεται στη διαρροή. Συνεπώς επιτρέπεται μόνο η εφαρμογή ελαστικής-ελαστικής μεθόδου ανάλυσης.

Κατηγορία 4: Είναι διατομές με αντοχή μικρότερη, λόγω τοπικού λυγισμού της ελαστικής ροπής. Για τέτοιου είδους διατομές επιτρέπεται μόνο η εφαρμογή ελαστικής-ελαστικής μεθόδου, απαιτούνται δε πρόσθετοι έλεγχοι σε κύρτωση έναντι κινδύνου τοπικού λυγισμού.

Συνεπώς σε διατομές κατηγορίας 1 επιτρέπονται όλων των ειδών οι αναλύσεις, σε διατομές κατηγορίας 2 επιτρέπεται η ανάλυση E-Π και E-E, ενώ σε διατομές κατηγοριών 3 και 4 επιτρέπεται μόνο η ανάλυση E-E.

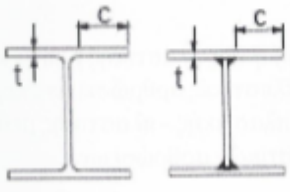
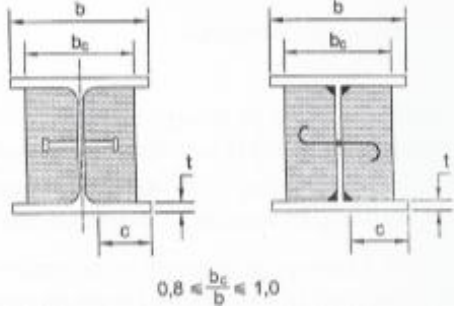
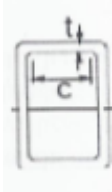
Η μείωση των αντοχών των διατομών οφείλεται στον τοπικό λυγισμό ο οποίος είναι φαινόμενο αστάθειας των επιμέρους θλιβόμενων πλακοειδών στοιχείων της διατομής (πέλματα-κορμός). Επομένως ταξινομούνται ξεχωριστά ο κορμός και το θλιβόμενο πέλμα, η δε διατομή ταξινομείται τελικώς με βάση τη δυσμενέστερη κατηγορία του κορμού ή του πέλματος. Εξαίρεση αποτελούν διατομές με πέλματα κατηγορίας 1 ή 2 και κορμό κατηγορίας 3, οι οποίες μπορεί να αντιμετωπιστούν ως κατηγορίας 2 με ενεργό κορμό. Είναι προφανές ότι η κατάταξη της διατομής μπορεί να είναι διαφορετική για θετικές και αρνητικές ροπές.

3.1.2.1 Κατάταξη πελμάτων

Θλιβόμενα πέλματα από χάλυβα κινδυνεύουν από τοπικό λυγισμό, εάν ο λόγος πλάτους προς πάχος τους c/t είναι μεγάλος. Διακρίνονται σε θλιβόμενα πέλματα μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος και σε θλιβόμενα πέλματα συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος.

α) Θλιβόμενα πέλματα μη συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος

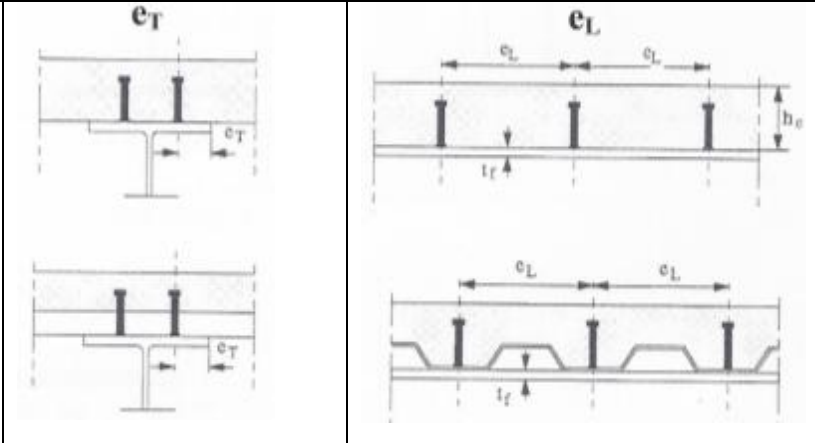
Η περίπτωση αυτή αφορά σιδηροδοκούς, σύμμικτες δοκούς στη φάση κατασκευής, σιδηροδοκούς με επικαθήμενη πλάκα σκυροδέματος χωρίς διατμητική σύνδεση με τη δοκό ή σύμμικτες δοκούς σε περιοχές αρνητικών ροπών. Για την κατάταξη των πελμάτων διακρίνονται δύο υποπεριπτώσεις, ανάλογα αν υπάρχει ή όχι σκυρόδεμα εγκιβωτισμού μεταξύ των πελμάτων. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα η παρουσία σκυροδέματος στον κορμό επιδρά ευμενώς στην αποφυγή κινδύνου τοπικού λυγισμού και αυξάνει τα όρια.

					
Κατηγορία	Μη εγκιβωτισμένος κορμός		Εγκιβωτισμένος κορμός	Κοίλη διατομή	
1	$c/t \leq 9\epsilon$		$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	
2	$c/t \leq 10\epsilon$		$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	
3	$c/t \leq 14\epsilon$		$c/t \leq 20\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	
F_y MPa	235	275	355	420	460
$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
Παρατήρηση: Σημειώνεται ότι αν η τάση σ στο πέλμα είναι μικρότερη από το όριο διαρροής τότε γίνεται αντικατάσταση του ορίου διαρροής f_y από την τάση αυτή, οπότε είναι $\epsilon = \sqrt{235/\sigma}$, σ σε Mpa					

•Πίνακας 3.1• Κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων σε κατηγορίες

β) Θλιβόμενα πέλματα συνδεόμενα διατμητικά με την πλάκα σκυροδέματος

Η περίπτωση αυτή αφορά σύμμικτες δοκούς σε περιοχές θετικών ροπών με ουδέτερο άξονα κάτω από την πλάκα, οπότε το πέλμα της σιδηροδοκού βρίσκεται υπό θλίψη. Τα πέλματα αυτά θεωρούνται κατηγορίας 1 ανεξαρτήτως λόγου c/t επειδή το σκυρόδεμα εμποδίζει τον τοπικό λυγισμό τους. Αν όμως η κατάταξη του πέλματος της σιδηροδοκού όπως θα βρισκόταν από τον προηγούμενο πίνακα, αγνοώντας την πλάκα σκυροδέματος, αντιστοιχούσε σε κατηγορία 3 ή 4, τίθενται η πρόσθετη περιορισμοί του παρακάτω πίνακα στις αποστάσεις των διατμητικών ήλων ώστε το πέλμα της σιδηροδοκού να μπορεί να κατατάσσεται στις κατηγορίες 1 ή 2.

Είδος πλάκας		
Ολόσωμες πλάκες	$e_t \leq 9 \cdot t_f \cdot e$	$22 \cdot t_f \cdot \epsilon$ $e_L \leq 6 \cdot h_c$ 800 mm
Σύμμικτες πλάκες (χαλυβδόφυλλο+ σιδηροδοκό)		$15 \cdot t_f \cdot \epsilon$ $e_L \leq 6 \cdot (h_c + h_p)$ 800 mm
$t_f =$ πάχος πέλματος σιδηροδοκού $h_p =$ ύψος χαλυβδόφυλλου $\epsilon = \sqrt{235} f_y$		

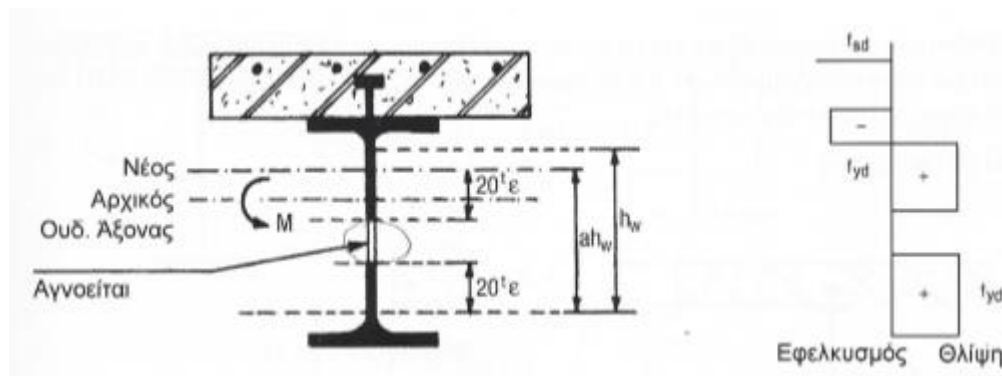
•Πίνακας 3.2• Μέγιστες αποστάσεις ήλων για κατάταξη θλιβόμενων πελμάτων στην κατηγορία 1 ή 2 (ανεξαρτήτως της τιμής του λόγου c/t)

3.1.2.2 Κατάταξη κορμού

Η ταξινόμηση των κορμών σε κατηγορίες γίνεται κατ'αναλογία της ταξινόμησης των πελμάτων, συναρτήσει του λόγου ύψους προς πάχος d/t .

Κορμός κατηγορίας 3 εγκιβωτισμένος σε σκυρόδεμα, μπορεί να θεωρηθεί ως κατηγορίας 2.

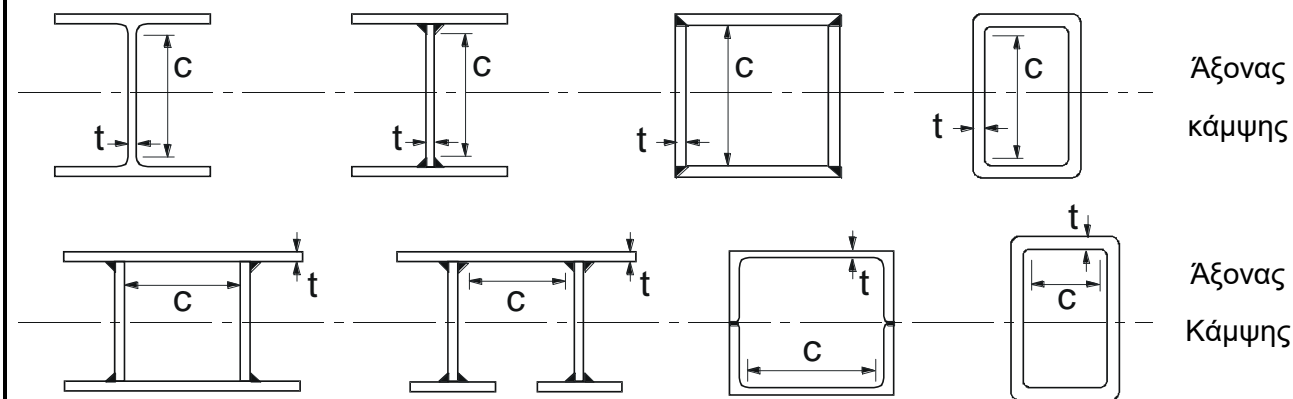
Μη εγκιβωτισμένος κορμός κατηγορίας 3 μπορεί να θεωρηθεί ως κατηγορία 2. Σε αυτή την περίπτωση όμως δεν θεωρείται όλη η θλιβόμενη διατομή του κορμού ενεργός, αλλά μόνο τμήμα αυτής. Το τμήμα αυτό εκτείνεται καθ' ύψος $20t$ ε από το θλιβόμενο πέλαμα και $20t$ ε από τη νέα θέση του ουδέτερου άξονα (t = πάχος κορμού). Η εφελκυσμένη περιοχή του κορμού θεωρείται φυσικά ως πλήρως ενεργή. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο προσδιορισμός της ενεργού περιοχής κορμού κατηγορίας 3 αν ταξινομηθεί ως κατηγορία 2 σε ένα παράδειγμα δοκού υπό αρνητικές ροπές, όπου ο νέος ουδέτερος άξονας είναι εντός του κορμού. Η μετατόπιση του πλαστικού άξονα από την αρχική στη νέα θέση οφείλεται στην αγνόηση της συμβολής μέρους του κορμού, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



•Σχήμα 3.2• Ενεργός διατομή κορμού κατηγορίας 3 που υπολογίζεται ως κατηγορίας 2 για αρνητική ροπή

Ο πίνακας 3.3 αναφέρεται στην κατάταξη κορμών σε κατηγορίες.

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα

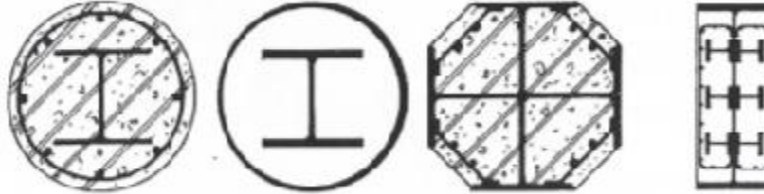


Κατηγορία	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη	Τμήμα που υπόκειται σε θλίψη	Τμήμα που υπόκειται σε κάμψη και θλίψη			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: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

*) $\psi \leq -1$ εφαρμόζεται όπου η θλιπτική τάση $\sigma < f_y$ είτε η εφελκυστική παραμόρφωση $\varepsilon_v > f_y/E$

3.1.3. Σύμμικτα Υποστυλώματα

Τα σύμμικτα υποστυλώματα αποτελούνται από σιδηροδοκούς πλήρως εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα, είτε από μερικώς εγκιβωτισμένων μεταλλικών δοκών ή δοκών με εγκιβωτισμένο κορμό είτε από κοιλοδοκούς γεμισμένες από σκυρόδεμα.



•Εικόνα 11• Ενδεικτικές μορφές σύμμικτων υποστυλωμάτων

Τα σύμμικτα υποστυλώματα έχουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή, δυσκαμψία και ολκιμότητα, πράγμα που τα καθιστά ιδανικά στοιχεία παραλαβής κατακόρυφων και οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων. Σε ορισμένες χώρες με μεγάλο σεισμικό κίνδυνο, όπως η Ιαπωνία, τα σύμμικτα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικώς ως κατακόρυφα φέροντα στοιχεία υψηλών κτιρίων. Το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού εμποδίζει την ανάπτυξη τοπικού λυγισμού στον χάλυβα, η σιδηρή κοίλη διατομή (κοιλοδοκός ή σωλήνας) προσφέρει την απαιτούμενη, συνεχή περίσφιξη στο σκυρόδεμα, ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός εμποδίζεται ως μορφή αστοχίας. Στους λόγους αυτούς οφείλεται κυρίως η μεγάλη πλαστιμότητα των σύμμικτων υποστυλωμάτων. Το σκυρόδεμα αυξάνει επίσης θεαματικά την πυροπροστασία των υποστυλωμάτων, σε περίπτωση δε κοίλων διατομών γεμισμένων με σκυρόδεμα τοποθετούνται εσωτερικά της διατομής διαμήκεις οπλισμοί, ώστε στην περίπτωση πυρκαγιάς όπου η χαλύβδινη κοιλοδοκός θεωρείται ότι χάνει τελείως την αντοχή της, το υποστυλώμα να συμπεριφέρεται ως υποστυλώμα από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ο τύπος του πλήρως εγκιβωτισμένου υποστυλώματος εμφανίζει, για επαρκές πάχος επικάλυψη σκυροδέματος, ικανοποιητική πυρανθεκτικότητα χωρίς ανάγκη λήψης επιπρόσθετων μέτρων, δεν χρειάζεται δε αντιδιαβρωτική προστασία. Ωστόσο, το μεταλλικό μέρος δεν είναι πλέον ορατό, δεν μπορεί δηλαδή να χρησιμοποιηθεί σαν διακοσμητικό στοιχείο, ενώ απαιτούνται επιπρόσθετα μεταλλικά στελέχη παραλαβής και μεταφοράς των επιβαλλόμενων δυνάμεων.

Ο τύπος μερικώς εγκιβωτισμένης δοκού είναι ευκολότερος στην κατασκευή, αφού η μεταλλική δοκός χρησιμεύει ταυτόχρονα σαν τύπος. Επιπλέον, στις ακάλυπτες επιφάνειες των πελμάτων μπορούν να γίνουν μεταγενέστερα εργασίες συγκόλλησης ή τοποθέτησης πρόσθετων δομικών στελεχών και δευτερευόντων δομικών μελών διαμόρφωσης εσωτερικών χώρων. Επαρκής χρονική διάρκεια πυρανθεκτικότητας επιτυγχάνεται κυρίως με εγκιβωτισμό οπλισμού, ο οποίος πρέπει να έχει επαρκή επικάλυψη σκυροδέματος.

Διατομές με γέμιση σκυροδέματος κατασκευάζονται από κοιλοδοκούς κυκλικής ή ορθογώνιας διατομής, οι οποίες χρησιμεύουν κατά την σκυροδέτησή σαν τύπος. Σε χαμηλούς πυλώνες με γέμιση το μεταλλικό περίβλημα περισφύγγει τον πυρήνα του σκυροδέματος και αυξάνει την φέρουσα ικανότητα. Το σκυρόδεμα οπλίζεται κυρίως για λόγους πυραντοχής, όπου η μεταλλική κοιλοδοκός δρα σαν συνδετήρας. Ωστόσο, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα, ώστε ο πυρήνας του σκυροδέματος να καταπονείται άμεσα και προσχεδιασμένα και στα σημεία σύνδεσης του με τους φορείς.

Ήδη στην αρχική φάση σχεδιασμού πρέπει να γίνεται προσπάθεια εκμετάλλευσης των δυνατών πλεονεκτημάτων σύμμικτων υποστυλωμάτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά σκιαγραφούνται ως εξής :

- Σύμμικτα υποστυλώματα παρουσιάζουν, εν μέρει, σημαντικά υψηλότερη αντοχή, και αρα για ίσα επίπεδα φέρουσας ικανότητας μπορούν να έχουν μικρότερες διαστάσεις, από καθαρά μεταλλικά υποστυλώματα ή υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος (μικρότερες απαιτήσεις χώρου).
- Το μέλος σκυροδέματος παρέχει επαρκή πυρανθεκτικότητα και αντιδιαβρωτική προστασία.
- Η ακαμψία ενός σύμμικτου υποστυλώματος είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή ενός καθαρά μεταλλικού υποστυλώματος.
- Οι συνδέσεις μπορούν να εκτελεστούν με συμβατικά συνδεσμολογικά στοιχεία μεταλλικών κατασκευών.
- Τα υποστυλώματα μπορούν να εγκατασταθούν αρκετά γρήγορα, είτε προκατασκευασμένα, είτε με επιτόπια έγχυση του σκυροδέματος εγκιβωτισμού ή γέμισης του μεταλλικού μέλλους.

- Τέλος, σε σεισμό ή άλλου είδους δυναμικές επιδράσεις, τα σύμμικτα υποστυλώματα παρουσιάζουν κατά κανόνα ικανοποιητική συμπεριφορά, ιδιαίτερα βελτιωμένη ολκιμότητα σε σχέση με συμβατικά υποστυλώματα οπλισμένου σκυροδέματος.

Οι έλεγχοι των υποστυλωμάτων γίνονται στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ). Συνήθως γίνονται στην τελική κατάσταση, όπου τα υπόλοιπα υποστυλώματα λειτουργούν ως σύμμικτα. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, ιδιαίτερα στα πολύ ψηλά κτίρια, τα οποία όμως σπάνια απαντώνται στην Ελλάδα, και στην περίπτωση ανέγερσης πολλών ορόφων χωρίς να έχουν ενδιάμεσα σκυροδετηθεί τα υποστυλώματα, απαιτείται έλεγχος του υποστυλώματος που αποτελείται μόνο από τη σιδηρά διατομή, σύμφωνα με τις προβλέψεις του Ευρωκώδικα 3 για χαλύβδινα υποστυλώματα. Οι έλεγχοι των σύμμικτων υποστυλωμάτων συνοψίζονται παρακάτω.

- Έλεγχοι γεωμετρικών χαρακτηριστικών
- Έλεγχοι αντοχής (διατομής) ΟΚΑ
- Έλεγχοι ευστάθειας (μέλους) ΟΚΑ
- Έλεγχοι διατμητικής σύνδεσης στις θέσεις εφαρμογής των φορτίων ΟΚΑ + ΟΚΛ

3.1.4. Σύμμικτες πλάκες

Η χρήση των σύμμικτων πλακών έχει γίνει δημοφιλής τα τελευταία χρόνια και έχει συμβάλει στην αύξηση της χρήσης των μεταλλικών κατασκευών σε οικοδομικά έργα. Οι σύμμικτες πλάκες αποτελούνται από χαλυβδόφυλλα και επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα. Τα χαλυβδόφυλλα χρησιμεύουν στη φάση κατασκευής ως τύπος για το έγχυτο σκυρόδεμα, και στη φάση λειτουργίας ως οπλισμός πλάκας. Στην πλάκα σκυροδέματος προβλέπεται ένας ελαφρύς οπλισμός.

Τα κύρια πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συνήθεις πλάκες από σκυρόδεμα είναι :

- Μικρότεροι χρόνοι κατασκευής
- Αποφυγή χρήσης ξυλοτύπου
- Επίτευξη μεγαλύτερων ανοιγμάτων
- Επίτευξη μικρότερων στατικών υψών
- Αυξημένη αντοχή έναντι πυρκαγιάς

Για την εξασφάλιση της σύμμικτης δράσης είναι σημαντική η εξασφάλιση της μεταφοράς της διαμήκουσ διάτμησης μεταξύ των μεταλλικών φύλλων και του σκυροδέματος. Αυτό γίνεται είτε με μηχανικό τρόπο μέσω πρόβλεψης κατάλληλων εγχοπών στα μεταλλικά φύλλα ή, σπανιότερα, συγκόλληση χαλύβδινου πλέγματος στα φύλλα, είτε μέσω τριβής όπου όμως θα πρέπει η αυλάκωση των φύλλων να είναι τέτοια, ώστε να περιορίζεται το σκυρόδεμα μεταξύ των αυλακώσεων για να αποφεύγεται η αποκόλληση του από την πλάκα. Στα άκρα της πλάκας όπου αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες οι μεγαλύτερες δυνάμεις διαμήκουσ διάτμησης, η αγκύρωση ενισχύεται είτε με πρόσθετους διατμητικούς συνδέσμους, είτε με κατάλληλη παραμόρφωση του μεταλλικού φύλλου.

Οι έλεγχοι των πλακών κτιρίων περιλαμβάνουν τόσο το χαλυβδόφυλλο στη φάση κατασκευής, όσο και τη σύμμικτη πλάκα στη φάση λειτουργίας. Οι έλεγχοι αφορούν τόσο στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ), όσο και στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (ΟΚΛ). Οι επιμέρους έλεγχοι συνοψίζονται παρακάτω:

Χαλυβδόφυλλο(φάση κατασκευής)

- Έλεγχοι αντοχής (ροπή, τέμνουσα, αλληλεπίδραση) ΟΚΑ
- Έλεγχος βελών
- Έλεγχος διαφραγματικής λειτουργίας

Σύμμικτη πλάκα

- Έλεγχος κάμψης ΟΚΑ
- Έλεγχος τέμνουσας ΟΚΑ
- Έλεγχος διατμητικής σύνδεσης ΟΚΑ
- Έλεγχος βελών ΟΚΑ
- Έλεγχος ρηγμάτωσης ΟΚΑ

3.1.5 Χαλυβδόφυλλα

Τα χαλυβδόφυλλα αποτελούν ένα βασικό συστατικό στοιχείο των πλακών και ικανοποιούν μια σειρά από απαιτήσεις, όπως :

- Χρησιμεύουν ως επιφάνεια εργασίας και τύπος για την πλάκα, παραλαμβάνοντας τα φορτία διάστρωσης.
- Λειτουργούν ως διαφράγματα κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης και σταθεροποιούν τις σιδηροδοκούς έναντι πλευρικού λυγισμού.
- Με το μεγάλο μήκος τους επί περισσότερων δοκών εξασφαλίζουν τη λειτουργία μιας συνεχούς δοκού.
- Δημιουργούν μια σύμικτη δράση με τη πλάκα και παραλαμβάνουν από κοινού τα ωφέλιμα φορτία.
- Χρησιμοποιούνται για την ανάρτηση διαφόρων στοιχείων
- Κατανέμουν τις παραμορφώσεις λόγω συστολής ξήρανσης και εμποδίζουν μια εκτεταμένη παραμόρφωση.

Τα χαλυβδόφυλλα προέρχονται από εν ψυχρώξελαση ταινιών χάλυβα, των λεγόμενων coils. Τα πάχη τους κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 0.5 και 2 mm. Για την προστασία έναντι διάβρωσης προβλέπεται γαλβανισμός των επιφανειών τους λόγω του μικρού τους πάχους. Το πάχος της στρώσης γαλβανισμού ανα πλευρά είναι περίπου ίσο με 0.02 mm. Η παραγωγή τους είναι συνεχής, τα φύλλα όμως κόβονται για λόγους μεταφοράς σε κατάλληλα μήκη. Ένα βασικό στοιχείο σχεδιασμού των φύλλων είναι η αντοχή τους στη φάση κατασκευής. Τα ύψη τους κυμαίνονται συναρτήσει του ανοίγματος μεταξύ 45 και 200mm. Για μεγαλύτερα ανοίγματα μπορεί να προβλεφθεί προσωρινή στήριξη στο μέσο ή στα τρίτα του ανοίγματος κατά τη διάρκεια κατασκευής. Τα πλάτη του κάτω πέλματος κυμαίνονται μεταξύ 150 και 300mm. Τα χαλυβδόφυλλα απαντώνται σε δύο τύπους, στη μορφή χελιδονιού και στην τραπεζοειδή. Λόγω των συχνά μεγάλων τιμών των λόγων b/t και τον κίνδυνο τοπικού λυγισμού προβλέπονται μικρές νευρώσεις στα πέλματα ή τον κορμό.

Η τοποθέτηση των χαλυβδοφύλλων γίνεται συνήθωςκάθετα στις δοκούς. Οι διατμητικοί ήλοι προς εξασφάλιση της ακραίας αγκύρωσης συγκολλούνται κατά κανόνα δια μέσω των φύλλων να είναι 1.25 mm και τα φύλλα να είναι καθαρά και ελεύθερα από υγρασία. Τέλος πρέπει να απομακρυνθεί κάθε χρώμα ή λοιπή επίστρωση από το πέλμα της σιδηροδοκού στη θέση της συγκόλλησης. Για μεγαλύτερα πάχη είναι δυνατή όμως και η διάνοιξη οπών από τις οποίες θα διέλθουν οι ήλοι.

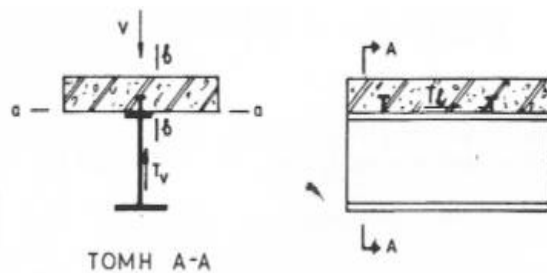
Το ελάχιστο πάχος έδρασηςαμφιέριστωνχαλυβδοφύλλων είναι 50mmαν η έδραση γίνεται σε χάλυβα ή σκυροδέμα, ή 70 mm αν η έδραση γίνεται σε άλλο υλικό όπως π.χ φέρουσα τοιχοποιία ή ξύλο.Τα αντίστοιχα ελάχιστα πλάτη έδρασης συνεχών χαλυβδοφύλλων είναι 75 mm και 100mm. Αν γίνεται υπερκάλυψη των φύλλων στις θέσεις των στηρίξεων, τότε τα ελάχιστα πλάτη υπερκάλυψης είναι 25mm και 30mm, ανάλογα με το υλικό του φορέα στήριξης.

Τα χαλυβδόφυλλα παραλαμβάνουν στη φάση κατασκευής (δηλαδή πριν την πήξη του έγχυτου σκυροδέματος) κατακόρυφα και πιθανόν οριζόντια φορτία ως ακολούθως :

- Τα ίδια βάρη τους.
- Τα ίδια βάρη του σκυροδέματος.
- Τα κατακόρυφα φορτία διάστρωσης του σκυροδέματος.
- Οριζόντια φορτία αν προβλέπεται να εξασφαλίζουν διαφραγματική λειτουργία κατά τη φάση κατασκευής.

3.2 Μέσα Διατμητικών Συνδέσεων Σύμμικτων Δοκών

Βασική προϋπόθεση της σύμμικτης λειτουργίας είναι η παραλαβή της διάτμησης που αναπτύσσεται στην διεπιφάνεια μεταξύ χαλύβδινης διατομής και σκυροδέματος. Η παραλαβή αυτή γίνεται στις σύμμικτες κατασκευές με μηχανικά μέσα, τα οποία ονομάζονται διατμητικοί σύνδεσμοι. Οι διατμητικοί σύνδεσμοι παραλαμβάνουν τη διατμητική ροή μεταξύ της χαλύβδινης διατομής και του σκυροδέματος, εμποδίζουν την ολίσθηση μεταξύ των δύο στοιχείων και εξασφαλίζουν την κοινή, σύμμικτη λειτουργία. Η διάτμηση οφείλεται στις τέμνουσες δυνάμεις V και στη στρέψη, αν υπάρχει στρεπτική ροπή. Όπως θα δούμε και στο παρακάτω σχήμα στον φορέα αναπτύσσονται δύο είδη διατμήσεων, η κατακόρυφη T_v και η διαμήκης T_l .



•**Εικόνα 12**• Κατακόρυφη και διαμήκης διάτμηση

Η κατακόρυφη διάτμηση T_v εξασφαλίζει την τη συνθήκη ισορροπίας των δυνάμεων ως προς τον κατακόρυφο άξονα, ενώ η διαμήκης διάτμηση T_l απαιτείται για λόγους συμβιβαστού των παραμορφώσεων μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος. Εμφανίζεται τόσο στη διεπιφάνεια χάλυβα-σκυροδέματος όσο και στα εξέχοντα τμήματα της πλάκας. Η πρώτη παραλαμβάνεται από τους διατμητικούς συνδέσμους, η δεύτερη από το σκυροδέμα και τους εγκάρσιους οπλισμούς της πλάκας.

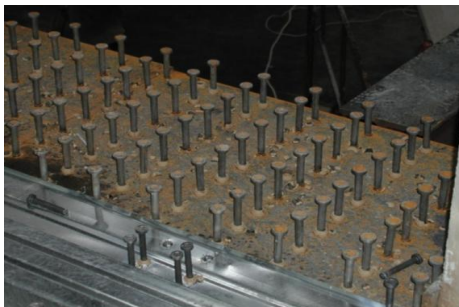
Επομένως, τα μέσα συνδέσεων πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής μεταβίβαση όλων των εσωτερικών δυνάμεων καθώς και η ελαστική ή η πλαστική παραμόρφωση των συνδέσεων να βρίσκεται εντός του πλαισίου των αποδεκτών παραμορφώσεων όλου του φορέα. Τέλος συμπεραίνουμε ότι η αντοχή των διατμητικών συνδέσεων καθορίζεται από την αντοχή του μέσου σύνδεσης, και την αντοχή του σκυροδέματος σε σύνθλιψη άντυγας.

3.2.1 Διατμητικοί Ήλοι Κεφαλής

Οι διατμητικοί ήλοι κεφαλής αποτελούν το συνηθέστερο τύπο διατμητικών συνδέσμων λόγω του εύκολου τρόπου κατασκευής και της πλεονεκτικής συμπεριφοράς τους. Βασικά πλεονεκτήματα τους είναι η ίδια διατμητική αντοχή και δυσκαμψία σε κάθε διεύθυνση καθώς και η μικρή παρεμπόδιση που μπορούν να επιφέρουν σε κατασκευαστικά θέματα (π.χ μικρή παρεμπόδιση στην τοποθέτηση οπλισμού). Η κεφαλή του ήλου εμποδίζει την ανύψωση της πλάκας σκυροδέματος και της αποκόλληση της από την σιδηροδοκό.

Το υλικό κατασκευής του ήλου είναι ειδικής ποιότητας ελατού χάλυβα. Είναι χάλυβας με μεγαλύτερη τάση να εκταθεί προς μία ή περισσότερες διαστάσεις του χώρου και λιγότερο μαλακός έτσι ώστε να εξουδετερώσει κατά κάποιον τρόπο τη σκλήρυνση του υλικού των ήλων κατά την ήλωση. Η αντοχή των ήλων, λόγω της κατεργασίας του υλικού μέσω θέρμανσης και εν συνέχεια απόψυξης του, πρέπει να είναι σημαντικά ανώτερος του αρχικού υλικού.

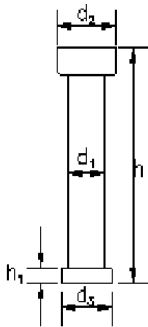
Είναι απαραίτητο μέσω διαφόρων δοκιμασιών να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποιότητα του χάλυβα των ήλων. Οι δοκιμασίες που προβλέπονται είναι σε εφελκυσμό, σε διάτμηση, σε σύνθλιψη και σε αναδίπλωση.



•Εικόνα 13• Διατμητικοί ήλοι κεφαλής

Οι διατμητικοί ήλοι κεφαλής, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, χαρακτηρίζονται από:

- την διάμετρο τους d_1 (συνήθως Φ_{13} , Φ_{15} , Φ_{19} , Φ_{22})
- το ύψος τους h (50-525 mm)
- την διάμετρο της κεφαλής τους, η οποία είναι μεγαλύτερη από την διάμετρο του κορμού της
- μία ακίδα που φέρουν στον πόδα και η οποία βοηθά στην διαδικασία συγκόλλησης
- συνοδεύονται από ένα κεραμικό δαχτυλίδι, που προφυλάσσει από την οξείδωση στην υψηλή θερμοκρασία της τήξης και της συγκόλλησης και βοηθάει στην διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας συγκόλλησης



•Εικόνα 14• Διαστάσεις διατμητικών ήλων κεφαλής



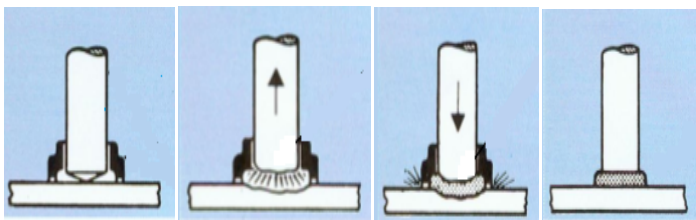
•Εικόνα 15• Ήλος-Κεραμικό δαχτυλίδι

Η συγκόλληση των ήλων γίνεται με τη βοήθεια ειδικής μηχανής(πιστόλι) σε τέσσερις φάσεις:

- Προσαρμογή κεφαλής του ήλου στο πιστόλι συγκόλλησης και εφαρμογή κεραμικού δακτυλίου στη βάση του.
- Με την πίεση της σκανδάλης του πιστολιού ανυψώνεται λίγο ο ήλος και με τη διοχέτευση υψηλού ρεύματος δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο μεταξύ της βάσης του ήλου και του μητρικού μετάλλου, το οποίο περιορίζεται εντός του κεραμικού δακτυλίου.
- Το μητρικό μέταλλο και η βάση του ήλου λιώνουν υπό την επίδραση του ηλεκτρικού τόξου και μετά το τέλος του του χρόνου συγκόλλησης πιέζεται ο ήλος στο τήγμα.
- Απομάκρυνση του πιστολιού και του κεραμικού δακτυλίου. Η βάση του ήλου στην τελική κατάσταση είναι εξογκωμένη λόγω υπερχειλίσης του τήγματος. Ο ρόλος του κεραμικού δακτυλίου είναι συνεπώς ο περιορισμός του ηλεκτρικού τόξου και ο σχηματισμός της βάσης του ήλου.

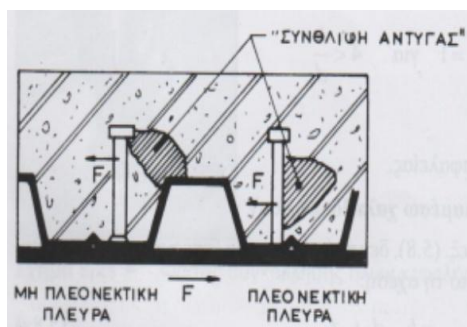
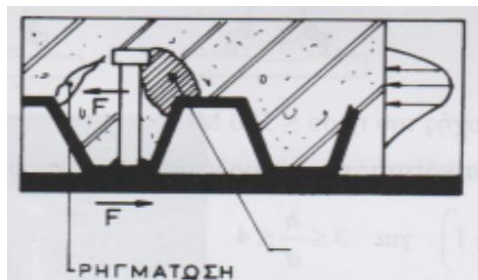
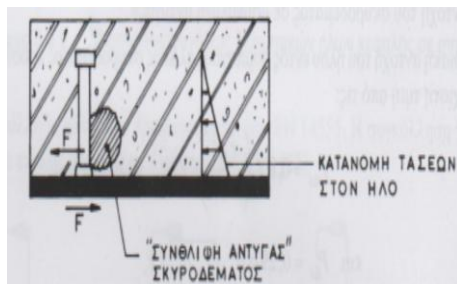


•Εικόνα 16• Μηχανή συγκόλλησης (πιστόλι)



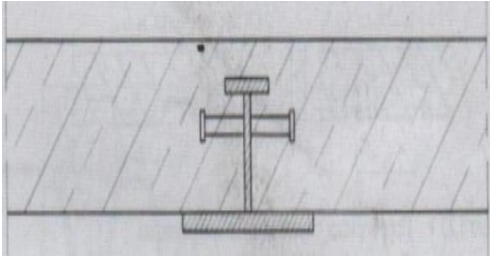
•Εικόνα 17• Φάσεις συγκόλλησης ήλων κεφαλής

Η αντοχή ήλων εντός σύμμικτης πλάκας αποτελούμενης από τραπεζοειδές χαλύβδινο φύλλο και πλάκα σκυροδέματος είναι μικρότερη από την αντοχή του εντός συμπαγούς πλάκας. Τούτο συμβαίνει επειδή η παρουσία του μεταλλικού φύλλου μειώνει την «ψίχα» του σκυροδέματος πίσω από τον ήλο και συνεπώς την αντοχή του. Για το λόγο αυτό αν ο ήλος τοποθετηθεί έκκεντρα ως προς το μέσον των φύλλων, πρέπει η εκκεντρότητα να είναι αντίθετη της φοράς της δύναμης που μεταβιβάζεται από τη σιδηροδοκό στην πλάκα. Έτσι υπάρχει αρκετή ποσότητα θλιβόμενου σκυροδέματος πίσω από τον ήλο, ώστε να μεταβιβαστεί η δύναμη από τη σιδηροδοκό μέσω του ήλου στο σκυρόδεμα.



•Εικόνα 18• Διατμητικοί ήλοι σε συμπαγής και σύμμικτες πλάκες

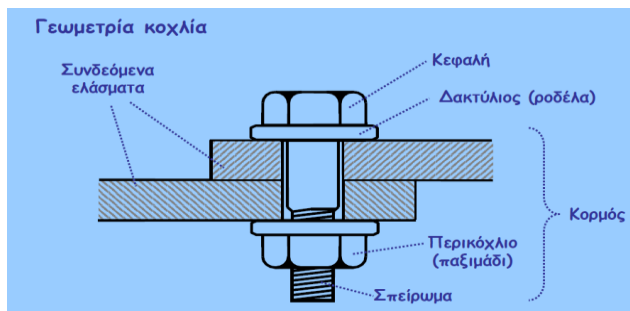
Τέλος, είναι δυνατή και η οριζόντια τοποθέτηση διατμητικών ήλων κεφαλής τόσο σε οικοδομικά έργα, όσο και στην γεφυροποιία. Τα αποτελέσματα πειραμάτων έδειξαν ότι η αντοχή των συνδέσμων αυτών είναι μικρότερη από αυτή των κατακόρυφων, λόγω του αναπτυσσόμενου εγκάρσιου εφελκυσμού. Για το λόγο αυτό απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού.



•Εικόνα 19• Οριζόντια τοποθέτηση διατμητικών ήλων

3.2.2 Κοχλιώσεις

Κοχλίας ονομάζεται κάθε κύλινδρος που φέρει στην επιφάνεια του σπείρωμα. Οι κοχλίες χρησιμοποιούνται στις λυόμενες συνδέσεις και αποτελούνται από την κεφαλή και τον κορμό. Ο κορμός περιλαμβάνει το αυλακωτό μέρος που ονομάζεται σπείρωμα και το μη-αυλακωτό που ονομάζεται αυχένος (υπάρχουν κοχλίες χωρίς αυχένα). Οι κοχλίες, συχνά, συνοδεύονται από το περικόχλιο (παξιμάδι), τους δακτυλίους και τα τυχόν μέσα εξασφάλισης όπως για παράδειγμα δεύτερο περικόχλιο. Οι δακτύλιοι παρεμβάλλονται μεταξύ του περικοχλίου και των ελασμάτων ή και μεταξύ της κεφαλής του κοχλία και των ελασμάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν κοχλίες χωρίς κεφαλή (φυτευτοί κοχλίες ή μπουλόνια), όπου ο αυχένος τους βρίσκεται στο μέσο του κορμού τους και κοχλίες χωρίς αυχένα όπου όλος ο κορμός τους είναι αυλακωτός. Η κεφαλή του κοχλία είναι συνήθως εξαγωνική. Το σπείρωμα ακολουθεί το μετρικό σύστημα ISO, σύμφωνα με τον DIN 868, Μέρος 1. Οι κοχλίες συμβολίζονται με το γράμμα Μ και το μέγεθος της διαμέτρου του σε mm. Το σπείρωμα του κοχλία είναι συνήθως δεξιόστροφο και όταν σπανίως είναι αριστερόστροφο πρέπει να μαρκάρεται για να μην υπάρχει κίνδυνος ξεσφιζίματος.



•Εικόνα 20• Γεωμετρία κοχλία

Η επιλογή των κοχλιών στις κατασκευές γίνεται με βάση την ποιότητα του υλικού από την οποία κατασκευάστηκαν και από τη διάμετρο τους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η επιθυμητή αντοχή του κοχλία στις διάφορες καταπονήσεις που καλείται να αναλάβει. Οι κοχλίες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους κοινούς και της υψηλής αντοχής (προεντεταμένους). Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 ως κοινοί θεωρούνται αυτοί που έχουν ποιότητα 4.6, 5.6, 6.8, 8.8 και 10.9, ενώ ως υψηλής αντοχής αυτοί που έχουν ποιότητα 8.8 και 10.9. Ο χαρακτηρισμός της ποιότητας ενός κοχλία προκύπτει με δύο αριθμούς με μία τελεία μεταξύ τους. Για να χαρακτηρίσουμε έναν κοχλία χρησιμοποιούμε την διάμετρο του κοχλία και την σχετική προδιαγραφή, για παράδειγμα κοχλίας M16, 10.9, DIN 6914.

Για κατασκευές με χαμηλή καταπόνηση, όπως σε υπόστεγα αποθηκών και σε απλά κτίρια χρησιμοποιούνται οι κοινόι κοχλίες. Κοχλίες υψηλής αντοχής εφαρμόζονται σε συνδέσεις τις γεφυροποιίας και γενικά σε έργα παρατηρούνται υψηλές καταπονήσεις από στατικά φορτία, αλλά και σε περιπτώσεις δυναμικών φορτίων.

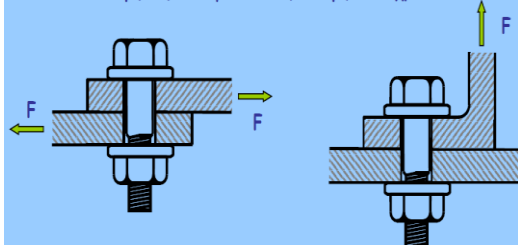
Οι κοχλιωτές συνδέσεις παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπουν εύκολη συναρμολόγηση αλλά και αποσυναρμολόγηση σε περίπτωση που απαιτείται αλλαγή χρήσης ή καθαίρεσης μιας κατασκευής.
- Καλύτερη επιλογή από άποψη κόστους και χρόνου κατασκευής.
- Έχουν μικρότερη ευαισθησία σε σχέση με τις συγκολλητές συνδέσεις σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση όπως στην περίπτωση διέλευσης τρένων πάνω από μία γέφυρα ή στη περίπτωση σεισμού.

Υπάρχουν φυσικά και κάποια μειονεκτήματα:

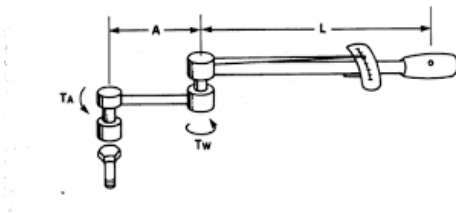
- Απαραίτητη η δημιουργία οπών με ακριβείς διαστάσεις στα συνδεόμενα μέλη κάτι το οποίο απαιτεί υπευθυνότητα, προσοχή και χρόνο.
- Δύσκολη η εξασφάλιση μονολιθικότητας μεταξύ μελών συνδεδεμένων με κοχλίες και που επιτυγχάνεται με ιδιαίτερη ευκολία στην περίπτωση των συγκολλητών συνδέσεων.

Μία κοχλίωση σχεδιάζεται προκειμένου να παραλάβει τη διατμητική δύναμη η οποία είναι κάθετη στον άξονα του κορμού, την εφελκυστική δύναμη η οποία είναι παράλληλη στον άξονα του κορμού καθώς και τις δύο μαζί ταυτόχρονα.



•Εικόνα 21• Είδη δυνάμεων που παραλαμβάνουν οι κοχλίες

Οι κοχλίες προεντείνονται συνήθως από το περικόχλιο και κατ' εξαίρεση από την κεφαλή μέχρι να επιτευχθεί η προβλεπόμενη ροπή σύσφιγξης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικών κλειδιών σύσφιγξως κοχλίων. όπως για παράδειγμα το δυναμόκλειδο είτε με μέτρηση της περιστροφής του κοχλίου.



•Εικόνα 22• Χειροκίνητο δυναμόκλειδο

3.2.3 Αγκύρια

Τα αγκύρια χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν φορτία σε κατασκευές από σκυρόδεμα ή για να συνδέσουν στοιχεία σκυροδέματος ή άλλων μεταξύ τους. Τα συνδεόμενα στοιχεία μπορούν είτε να είναι μέρος ενός πρωτογενούς δομικού συστήματος, όπως συνδέσεις, θεμελιώσεις μεταλλικών κατασκευών, είτε να αποτελούν δευτερεύουσες εγκαταστάσεις, όπως ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός, σωληνώσεις ψευδοροφές, προσόψεις, κιγκλιδώματα.

Οι στερεώσεις στο σκυρόδεμα με χρήση αγκυρίων εμφανίζουν ευρεία διάδοση τα τελευταία χρόνια, τόσο σε πρακτικό όσο και σε ερευνητικό επίπεδο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρησιμοποίηση μεταλλικών αγκυρίων σε τροποποιήσεις, αποκαταστάσεις και ενισχύσεις υφιστάμενων κατασκευών (μανδύες, πρόσθετα δομικά στοιχεία). Σε περίπτωση αντισεισμικής επέμβασης, τα αγκύρια χρησιμοποιούνται για την σύνδεση μεταξύ υφιστάμενων και πρόσθετων στοιχείων, για να υλοποιηθεί η ασφαλής μεταφορά των φορτίων. Η μεγάλη αυτή διάδοση των αγκυρίων οφείλεται σε σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν, όπως η γρήγορη και εύκολη εγκατάστασή τους, οι υψηλές τιμές αντοχής σε εφελκυσμό, διάτμηση και πυρκαγιά, η δυνατότητα αφαίρεσης και αντικατάστασης και τέλος το σχετικά χαμηλό κόστος.

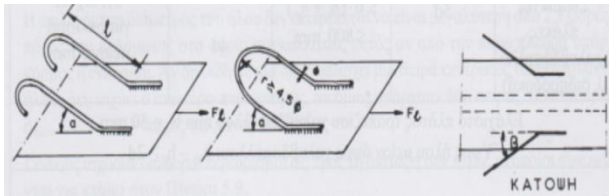
Η χρήση αγκυρίων από ράβδους οπλισμού σκυροδέματος ήταν παλιότερα μία συνήθης λύση προς εξασφάλιση της διατμητικής σύνδεσης, έχεις όμως τώρα καταργηθεί λόγω του μεγάλου κόστους της κατασκευής. Οι ράβδοι κάμπτονται ώστε να σχηματισθεί άγκιστρο ή αναβολέας στο άκρο του, ενώ στο άλλο άκρο συγκολλάτε στο πέλαμα της δοκού.

Τα αγκύρια διακρίνονται σε τέσσερις τύπους σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ 2000:

- Ευθύγραμμες αγκυρώσεις
- Καμπύλες αγκύρωσης (άγκιστρα ημικυκλικά, ορθογωνικά, αναβολείς)
- Ευθύγραμμες αγκυρώσεις με τουλάχιστον μία συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο στο μήκος της αγκύρωσης
- Αγκυρώσεις με πρόσθετα στοιχεία-σώματα αγκύρωσης (μόνο αν υπάρχουν σχετικές εγκριτικές αποφάσεις)

Τύποι Αγκύρωσης			
1			
2	<p>ἀγκίστρα ημικυκλικά</p> <p>$\geq 5\text{Ø}$</p> <p>$\varphi \geq 135^\circ$</p>	<p>ἀγκίστρα ορθογωνικά</p> <p>$\geq 5\text{Ø}$</p> <p>$135^\circ > \varphi \geq 90^\circ$</p>	<p>αναβολείς</p>
3			

•Πίνακας 3.4• Τύποι αγκύρωσης



•Εικόνα 23• Αγκύρια

3.2.4 Σύνδεση τριβής με προεντεταμένους κοχλίες

Συχνά η πλάκα σκυροδέματος δεν αποτελείται από επί τόπου έγχυτο σκυρόδεμα αλλά από προκατασκευασμένα στοιχεία. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατή η χρήση προεντεταμένων κοχλιών υψηλής αντοχής για την εξασφάλιση της διατμητικής σύνδεσης μεταξύ της σιδηροδοκού και της πλάκας σκυροδέματος. Οι προκατασκευασμένες πλάκες τοποθετούνται είτε απ' ευθείας πάνω στο πέλμα της σιδηροδοκού είτε μέσω μίας στρώσης τσιμεντοκονίας ή ρητίνης.

Στις θέσεις τοποθέτησης των προεντεταμένων κοχλιών προβλέπονται φωλιές στις προκατασκευασμένες πλάκες, οι οποίες γεμίζονται μαζί με τους διαμήκεις και τους εγκάρσιους αρμούς με μη συρρικνωμένου κονίαμα μετά την προένταση των κοχλιών. Οι εγκάρσιοι αρμοί πρέπει να διαμορφώνονται με ιδιαίτερη επιμέλεια γιατί παραλαμβάνουν τη θλιπτική δύναμη της σύμμικτης δοκού. Γι' αυτό, ιδιαίτερα στην περιοχή των εδράσεων, είναι δυνατόν να μην επαρκεί η τσιμεντοκονία αλλά να είναι αναγκαία η χρήση ρητινών. Πάντως για την Ελλάδα δεν συνιστάται σε κτιριακά έργα η χρήση προκατασκευασμένων πλακών, γιατί η πλάκα πρέπει να εξασφαλίσει και τη διαφραγματική λειτουργία του ορόφου σε περίπτωση σεισμού, πράγμα που προϋποθέτει άριστη συμπεριφορά των αρμών. Αυτό εξασφαλίζεται με κατάλληλες ρητίνες και πολύ επιμελημένη εργασία, η οποία αυξάνει το κόστος και γίνεται έτσι αντιοικονομική.

Σε περίπτωση χρήσης προκατασκευασμένων πλακών, η διατμητική σύνδεση εξασφαλίζεται με κοχλίες υψηλής αντοχής ποιότητας 8.8 ή 10.9, οι οποίοι συνήθως προεντίνονται με δύναμη 10% μεγαλύτερη από την ονομαστική δύναμη προέντασης. Ο λόγος είναι ότι υπάρχουν απώλειες της δύναμης προέντασης λόγω ερπυσμού και συστολή ξήρανσης, των αρμών κυρίως, της τάξης μεγέθους 30 έως 40%. Για το σκοπό αυτό γίνεται υπολογισμός με το 60% περίπου της δύναμης προέντασης, είτε εάν το επιτρέπουν οι συνθήκες εφαρμόζεται αργότερα συμπληρωματική προένταση.

Για την παραλαβή του λόγω της προέντασης δημιουργούμενου εγκάρσιου εφελκυσμού, οι κοχλίες περιβάλλονται από κατάλληλες σπείρες.

Η μεταφορά της διαμήκουσ διάτμησης στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας γίνεται μέσω τριβής, στην οριακή δε κατάσταση αστοχίας είτε μέσω τριβής, είτε μέσω άντυνας σύμφωνα με την επιλογή του μελετητή.

Η παραλαμβανόμενη δύναμη τριβής ενός προεντεταμένου κοχλία υψηλής αντοχής στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας είναι ίση με:

$$Prd = \frac{\mu \times F_p f}{\gamma_n}, \text{ όπου:}$$

F_p : δύναμη προέντασης F_p κατά 40% μειωμένη

μ : συντελεστής τριβής χάλυβα-σκυροδέματος

= 0,5 για πέλματα σιδηροδοκού πάχους τουλάχιστον 10mm

= 0,55 για πέλματα πάχους τουλάχιστον 15mm αμμοβολημένα χωρίς σκουριά

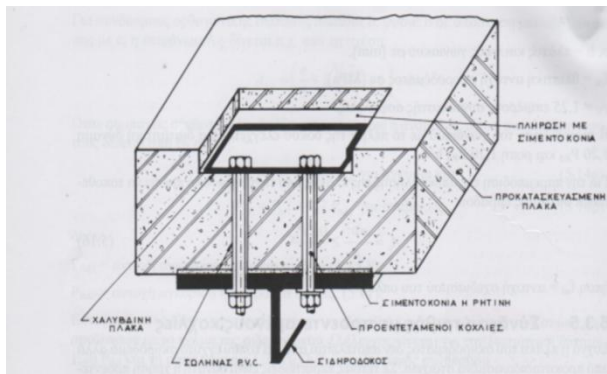
γ_n : 1,0 επιμέρους συντελεστής ασφαλείας στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

$$F_p = 0.7 \times f_{ub} \times A_s, \text{ όπου:}$$

F_p : πλήρης τιμή της δύναμης προέντασης

f_{ub} : εφελκυστική αντοχή χάλυβα κοχλίας

A_s : εμβαδόν τάσεων κοχλίας



•Εικόνα 24•Σύνδεση με προεντεταμένους κοχλίες

3.2.5 Διάτρητα ελάσματα

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι αποτελούνται από ένα συνεχές διάτρητο έλασμα το οποίο χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της διάτρησης σε σημειακά φορτιζόμενες πλάκες όπως μνηκτοειδής πλάκες, γενικές κοιτοστρώσεις, μεμονωμένα εύκαμπτα πέδιλα και συγκολλάτε στο πέλμα της σιδηροδοκού. Σε πλάκες χωρίς δοκούς (μνηκτοειδής) , οι οποίες καταπονούνται από ισχυρές συγκεντρωμένες δυνάμεις, μέρος της πλάκας δύναται να συμπαρασυρθεί από το υποστύλωμα και να αποκολληθεί. Ενώ σε περιπτώσεις γενικών κοιτοστρώσεων και λόγω κατακόρυφης συνιστώσας από σεισμό μπορεί το φαινόμενο της διάτρησης να έχει ιδιαίτερα επικίνδυνη εξέλιξη. Από τις οπές διέρχεται ο οπλισμός της πλάκας.. Τέτοιοι σύνδεσμοι αναπτύχθηκαν παλαιότερα από τον Leonhardt και συνεργάτες με υπολογισμό στη βάση των επιτρεπόμενων τάσεων. Τελευταία παρουσιάστηκε μια λίγο πιο εξελιγμένη μορφή από το Πολυτεχνείο της Πράγας, ο υπολογισμός των οποίων βασίζεται στη συνολική αντοχή. Για τα γεωμετρικά δεδομένα των ελασμάτων αυτών, η διατμητική δύναμη αντοχής σχεδιασμού ανά μονάδα μήκους δίνεται από τη σχέση:

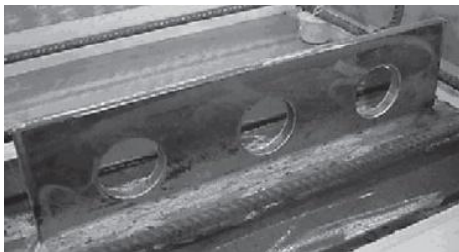
$$Prd = (-68 + 12.4 \times f_{ck} + 797 \times A_s) / \gamma_v \text{ όπου :}$$

$$P_{rd}(\text{N/mm}): \text{για } S235 \leq 1000 \text{ N/mm και για } S355 \leq 1500 \text{ N/mm}$$

$$f_{ck}(\text{N/mm}^2): \text{θλιπτική αντοχή σκυροδέματος}$$

$$A_s(\text{mm}^2/\text{mm}): \text{εμβαδόν εγκάρσιου οπλισμού}$$

$$\gamma_v = 1,4$$



•Εικόνα 25• Διάτρητο έλασμα

3.2.6. Συγκόλληση

Οι συγκολλήσεις των μετάλλων αποτελούν σήμερα μία από τις σημαντικότερες παραγωγικές διεργασίες. Ανήκουν στην κατηγορία των μόνιμων συνδέσεων ανάμεσα σε τεμάχια και επιτυγχάνεται μέσω της θερμότητας. Έχει στόχο το τελικό τεμάχιο να έχει την ίδια αντοχή με τα αρχικά κομμάτια. Η σύνδεση των διαφόρων τεμαχίων μεταξύ τους πραγματοποιείται με ραφές. Τα τεμάχια θερμαίνονται στη θέση της ραφής μέχρι τη θερμοκρασία τήξης και το υλικό για την πλήρωση της ραφής παρέχεται από μεταλλική τηκόμενη ράβδο. Η συγκόλληση είναι ο φθηνότερος και ο πλατύτερα χρησιμοποιούμενος τρόπος σύνδεσης στις κατασκευές ενώ θα πρέπει να γίνονται σε κλειστό χώρο με ελεγχόμενες συνθήκες (εργοστάσιο).

Η επιλογή του είδους και του πάχους της ραφής γίνεται ανάλογα προς τα υπό σύνδεση τεμάχια και προς τις ενεργούσες δυνάμεις. Οι ραφές επιτρέπεται να υποβληθούν σε θλίψη, εφελκυσμό και διάτμηση. Γίνεται διάκριση μεταξύ εσωραφών (πλήρους διείδυσης και μερικής διείδυσης) και εξωραφών. Απλούστερες στην εκτέλεση είναι οι εσωραφές και χρησιμοποιούνται συχνότερα, ενώ είναι και ανθεκτικότερες από τις εξωραφές λόγω καλύτερης κατανομής τάσεων.

Οι συγκολλήσεις παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς και μειονεκτήματα τα οποία είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα

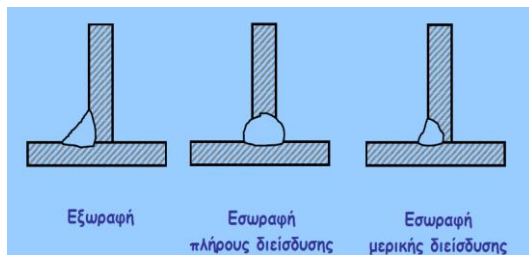
- Οι συγκολλητές κατασκευές είναι ελαφρότερες ως κατασκευές, διότι μεταχειριζόμαστε ως πρόσθετο υλικό μόνο την κόλληση.
- Οι συγκολλητές συνδέσεις εφαρμόζονται ικανοποιητικά και αποτελεσματικά σε κατασκευές που δέχονται μεγάλες καταπονήσεις σε εφελκυσμό, θλίψη.
- Εξασφαλίζουν πολύ καλή στεγανοποίηση συνδέσεων.
- Επιτυγχάνουν σημαντική εξοικονόμηση μεταλλικού υλικού.
- Εκτελούνται γρήγορα και το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό.

Μειονεκτήματα

- Οι συγκολλητές συνδέσεις είναι μόνιμες συνδέσεις. Έτσι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές που πρέπει να αποσυναρμολογούνται γρήγορα και εύκολα.
- Τα προς συγκόλληση κομμάτια πρέπει να είναι από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό, το οποίο να επιδέχεται βέβαια συγκόλληση.
- Ο έλεγχος των συγκολλήσεων για τυχόν ελαττώματα που μπορούν να έχουν στο εσωτερικό τους, απαιτεί ακριβό εξοπλισμό και χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό, πράγμα που δεν συμβαίνει στους άλλους τρόπους σύνδεσης.
- Η δημιουργία μια συγκολλητής ραφής καλής ποιότητας εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη δεξιότητα του τεχνίτη.



•Εικόνα26•Συγκόλληση



•Εικόνα 27•Συγκολλήσεις-Βασικές μορφές

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βάγιας Ι. / Παλαμάς Γ. / Τάτσης Κ. / Θανόπουλος Π. , Οδηγός Σχεδιασμού Σύμμικτων Κτιρίων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009
- Βάγιας Κ. Ιωάννης, Σύμμικτες Κατασκευές Από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα, τρίτη έκδοση, Αθήνα 2010
- Βάγιας Ι. / Ερμόπουλος Ι. / Ιωαννίδης Γ. , Σιδηρές Κατασκευές Τόμος Ι, δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- Κωστέας Δ. Αντώνης, Υπολογισμός σιδηρών κατασκευών, Τόμος Ι, Αθήνα 1961-1963
- Heinrich Andreas / SchmittHeene, Κτιριακές Κατασκευές, Εκδόσεις Γκιούρδας , 3η Ελληνική Επανεκδοση, Μετάφραση της 11ης, αναθεωρημένης και επανεπεξεργασμένης Γερμανικής έκδοσης του 1988 και με Ελληνικούς Κανονισμούς
- Θέμα μεταπτυχιακής εργασίας: «Μελέτη μεταλλικού εμπορικού κτίριου με σύμμικτα στοιχεία» / Όνομα: Ζαφειριάδης Χρήστος, Σπηλιώτης Αριστοτέλης / Επιβλέπων καθηγητής: Ιωαννίδης Γεώργιος / Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Θέμα διπλωματικής εργασίας: «Κοχλιωτές μετωπικές συνδέσεις μεταξύ κοιλοδοκών» / Όνομα: Βακανά Ευγενία, Λοϊζιάς Παναγιώτης / Επιβλέπων καθηγητής: Ιωαννίδης Γεώργιος / Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο / Ιούλιος 2013

Κεφάλαιο 4: Σύμμικτες κατασκευές

4.1 Εμπειρία στις σύμμικτες κατασκευές και οικίες

Οι μεγάλες αλλαγές που παρατηρούνται τις τελευταίες δεκαετίες σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης ζωής δεν ήταν δυνατόν να μην επηρεάσουν σημαντικά και την οικοδομική δραστηριότητα. Νέες τεχνολογίες, νέες μέθοδοι σχεδιασμού, νέοι τρόποι κατασκευής, νέα υλικά και νέοι κανονισμοί είναι ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της σημερινής εποχής. Μία από τις εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών είναι η ανάπτυξη των σύμμικτων κατασκευών από χάλυβα και σκυρόδεμα. Στις κατασκευές αυτές τα δύο δημοφιλέστερα υλικά, ο χάλυβας και το οπλισμένο σκυρόδεμα, συνδυάζονται με το βέλτιστο τρόπο ώστε να δώσουν ασφαλείς, λειτουργικές, ανθεκτικές στον χρόνο και οικονομικές κατασκευές. Η χρήση των σύμμικτων κατασκευών είναι πολύ διαδεδομένη στις περισσότερες προηγμένες χώρες του κόσμου. Επιπροσθέτως η εξαιρετική αντισεισμική συμπεριφορά τους τις καθιστά ιδιαίτερα δημοφιλείς σε σεισμογενείς περιοχές.

4.1.1 Εμπειρία στην Ευρώπη

Τα σύμμικτα οικοδομικά έργα θεωρούνται σήμερα σύγχρονες, γρήγορες και οικονομικές κατασκευές. Το ποσοστό τους στο σύνολο των κτιρίων εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Το μέγιστο ποσοστό απαντάται με 64% στην Ιαπωνία, όπου οι αντισεισμικές απαιτήσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένες. Στην Αμερική το αντίστοιχο ποσοστό είναι 50%, ενώ στην Ευρώπη κατά μέσον όρο 33%. Στην Αγγλία το ποσοστό των μεταλλικών κτιρίων είναι 60%, στη Στολχόμη 80%, ενώ στη νότια Ευρώπη, παρόλης της αυξημένης σεισμικότητας, παραμένει μικρό. Στην Ελλάδα έχει αυξηθεί πλέον το ποσοστό σύμμικτων κτιρίων. Τα τελευταία χρόνια όμως γίνεται όλο και μεγαλύτερη χρήση σύμμικτων κατασκευών σε οικοδομικά έργα για προσθήκες, μεσοπατώματα, σούπερ μάρκετ, βιομηχανίες, ξενοδοχεία κλπ.

Ιδιαίτερα δημοφιλείς είναι οι σύμμικτες γέφυρες σε περιπτώσεις κόμβων ή ανισόπεδων διαβάσεων αυτοκινητοδρόμων, λόγω της ταχύτητας κατασκευής τους, η οποία δεν δημιουργεί προβλήματα μακρόχρονης παρεμπόδισης της κυκλοφορίας. Έτσι, πάνω από έναν αυτοκινητόδρομο μεγάλης κυκλοφορίας στη Σκωτία συναρμολογήθηκε με τη βοήθεια γερανών σύμμικτη γέφυρα δύο ανοιγμάτων, συνολικού μήκους 41,75 μέτρων σε μία μόνο ημέρα.

4.1.2 Εμπειρία στην Ελλάδα

Ο τομέας των σύμμικτων κατασκευών έχει αναπτυχθεί στη χώρα μας αν και εντοπίζεται σημαντική δυσκολία λόγω της ανεπάρκειας μεθοδολογιών – εργαλείων σχεδιασμού και κατασκευής. Ωστόσο, πρόσφατα η ανάγκη ταχείας εκτέλεσης πολλών έργων που σχετίζονται με τους Ολυμπιακούς Αγώνες, εξανάγκασε δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς να στραφούν προς τις σύμμικτες κατασκευές.

Στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει δώσει έμφαση στις σύμμικτες κατασκευές. Ένας μεγάλος αριθμός έργων όπως κατοικίες και πολυώροφα κτίρια έχει αποπερατωθεί άγνογα με αυτό το είδος κατασκευής. Όπως αναφέρεται και παραπάνω τα κύρια δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ο χάλυβας και το σκυρόδεμα.

Έχουν κατασκευαστεί με μεγάλη επιτυχία στη χώρα μας αρκετές σύμμικτες γέφυρες σε διάφορα ανοίγματα, με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα την καλωδιωτή σύμμικτη γέφυρα Ρίου- Αντιρίου συνολικού μήκους 3 χιλιομέτρων, αποτελούμενη από 4 ανοίγματα των 600 μέτρων, σε ύψος 160 μέτρων πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση του κλειστού κολυμβητηρίου και γυμναστηρίου στις Ολυμπιακές εγκαταστάσεις της Καλογρέζας όπου ολόκληρη η στέγη στηρίζεται σε τέσσερις (4) πυλώνες από τετράδυμα σύμμικτα υποστηλώματα συνδεδεμένα σε διάφορες στάθμες με δοκούς σύζευξης, δύο μόνον από τα οποία παραλαμβάνουν όλη τη σεισμική ένταση. Κάθε ένα από τα τετράδυμα υποστηλώματα αποτελείται από κιβωτοειδή χαλύβδινη διατομή γεμισμένη με σκυρόδεμα και πλήρως εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα.

4.3 Συστήματα ανέγερσης σύμμικτων κατασκευών

Βασικό χαρακτηριστικό στοιχείο μιας σύμμικτης κατασκευής αποτελεί η δημιουργία ενός σύνθετου φέροντα οργανισμού από μεταλλικά στοιχεία δομικού χάλυβα, στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος και πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος σε μόνιμο μεταλλότυπο.

Στα σύμμικτα μεταλλικά σπίτια, ο φέρων οργανισμός αποτελείται από δοκούς, κολώνες και υποστυλώματα, τα οποία συνδέονται συνεκτικά μεταξύ τους για να δώσουν την απαραίτητη σταθερότητα. Συνήθως οι δοκοί είναι υψηλών διατομών τύπου ΙΡΕ, ΗΕΑ, ή ΗΕΒ.

Στα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ανήκουν η θεμελίωση καθώς και τα κατακόρυφα στοιχεία. Η θεμελίωση γίνεται με πεδιλοδοκούς (στις περιπτώσεις επιφανειακής θεμελίωσης) ή στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος όταν υπάρχει υπόγειο.

Οι πλάκες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, με σκυροδέτηση σε ξυλότυπο ή μεταλλότυπο.

Όσον αφορά την τοιχοποιΐα, οι βασικές επιλογές είναι τρεις. Πρωτίστως, υπάρχει η κλασσική τοιχοποιΐα που την συναντάμε στα περισσότερα συμβατικά σπίτια με τούβλα, ενώ εξωτερικά εφαρμόζεται ένα σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης για να υπάρχουν μειωμένες θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό της οικίας. Άλλη μία επιλογή είναι το ytong, που αποτελεί ένα δομικό υλικό με θερμομονωτικές δυνατότητες. Τέλος υπάρχει και το βιομηχανικό πάνελ (3Δ), που αποτελείται από δύο παράλληλα πλέγματα στα οποία παρεμβάλλεται ένα φύλλο διογκωμένης πολυστερίνης.

Τελειώνοντας με τους τοίχους, πηγαίνουμε στη στέγη η οποία μπορεί να αποτελείται είτε από κεραμοσκεπή, είτε από πλάκα μετόν με θερμομονωτική ενίσχυση και στεγανωτική στρώση.

Ένας τέτοιου τύπου φέροντας οργανισμός έχει ελαχιστοποιημένα στατικά φορτία που αποδίδουν κορυφαία αντισεισμική συμπεριφορά σε σύγκριση με συμβατικής κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ταυτόχρονα, επιτρέπει μικρότερες διατομές υποστυλωμάτων, μεγαλύτερα ανοίγματα, μεταγενέστερες μεταβολές όπως αλλαγές ή πρόσθεση ορόφων, με αντίστοιχες ενισχύσεις των ήδη υπάρχοντων δομικών εξαρτημάτων. Έτσι δίνεται τεράστια ελευθερία στον σχεδιασμό.

4.4 Μέτρα Προστασίας Σύμμικτων Οικιών

4.4.1. Πυροπροστασία

Η φωτιά πάντα αποτελούσε ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για τον σχεδιασμό των κτιρίων, κυρίως εάν αυτά ήταν πολυώροφα, καθώς και σε τέτοια περίπτωση αυξανόταν η δυσκολία απομάκρυνσης και διαφυγής από το κτίριο με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό και την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Αποτελεί ένα φαινόμενο που μπορεί να συμβεί σε ένα οποιοδήποτε κτίριο και με οποιαδήποτε ένταση.

Έτσι λοιπόν, η ανάγκη για τον έλεγχο του κτιρίου σε επίπεδο πυρασφάλειας οδήγησε στην εφαρμογή της ενεργητικής και παθητικής πυροπροστασίας. Με τον όρο ενεργητική πυροπροστασία εννοούμε τα μέτρα προς πρόληψη και καταπολέμηση της πυρκαγιάς, τα οποία και τίθενται σε λειτουργία μόνο σε περιπτώσεις φωτιάς (σύστημα αυτόματων καταιονητήρων). Ενώ, με τον όρο παθητική πυροπροστασία εννοούμε το σύνολο των μέτρων για την άμεση διαφυγή του κοινού μετά το ξέσπασμα της πυρκαγιάς (φωτισμός των οδεύσεων διαφυγής).

Τα χαλύβδινα δομικά στοιχεία πρέπει να προστατεύονται έναντι πυρκαγιάς μέσω επένδυσης με υγρά ή στερεά υλικά πυροπροστασίας. Στα πρώτα ανήκουν εκτοξευόμενα συστήματα, όπως προϊόντα από ορυκτές ίνες, βερμικουλίτες, άλλα χημικά προϊόντα απορρόφησης της θερμότητας, ή κατάλληλα υπό θερμοκρασία διογκούμενα χρώματα. Στα δεύτερα ανήκουν προκατασκευασμένες πλάκες από όμοια προϊόντα όπως στα εκτοξευόμενα συστήματα, οι οποίες κολλούνται ή βιδώνονται στα χαλύβδινα στοιχεία.

4.4.2. Αντιδιαβρωτική Προστασία

Η διάβρωση του χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα έχει ιδιαίτερες καταστροφικές επιπτώσεις στις αντίστοιχες κατασκευές παρουσίας υγρασία και οξυγόνου. Το πρόβλημα επιτείνεται από την παρουσία ιόντων χλωρίου. Επιβάλλεται η παρακολούθηση της διάβρωσης του σιδηροπολισμού των κατασκευών η οποία είναι δυνατόν να γίνει με την βοήθεια ηλεκτροχημικών μεθόδων. Με τις ίδιες μεθόδους είναι δυνατή και η προστασία του χάλυβα.

Η προστασία γίνεται με μεταλλικές επικαλύψεις ή με επιχρίσματα. Οι μεταλλικές επικαλύψεις ως μόνιμες προστασίες από διάβρωση, λαμβάνονται από επιψευδαργύρωση εν θερμώ. Αυτή γίνεται σε διαλύματα ψευδαργύρου σε θερμοκρασία από περίπου 450°C. Προϋπόθεση είναι μία γυμνή και καθαρή επιφάνεια, χωρίς λίπη και άλλους ρύπους. Στο λουτρό ψευδαργύρου σχηματίζονται στρώματα από κράμα σιδήρου/ψευδαργύρου πάνω στις χαλύβδινες επιφάνειες. Τα επιχρίσματα, είναι πολλά ενιαία στρώματα που τοποθετούνται με επάλειψης, βύθισης ή ραντίσματος. Εδώ ανήκουν το βασικό και το καλυπτικό επίχρισμα. Η απόθεση επιχρίσματος προϋποθέτει κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες, δηλαδή απομάκρυνση ρύπων, σκόνης, λαδιών και σκωρίας.



•Εικόνα 28•Διάβρωση χάλυβα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

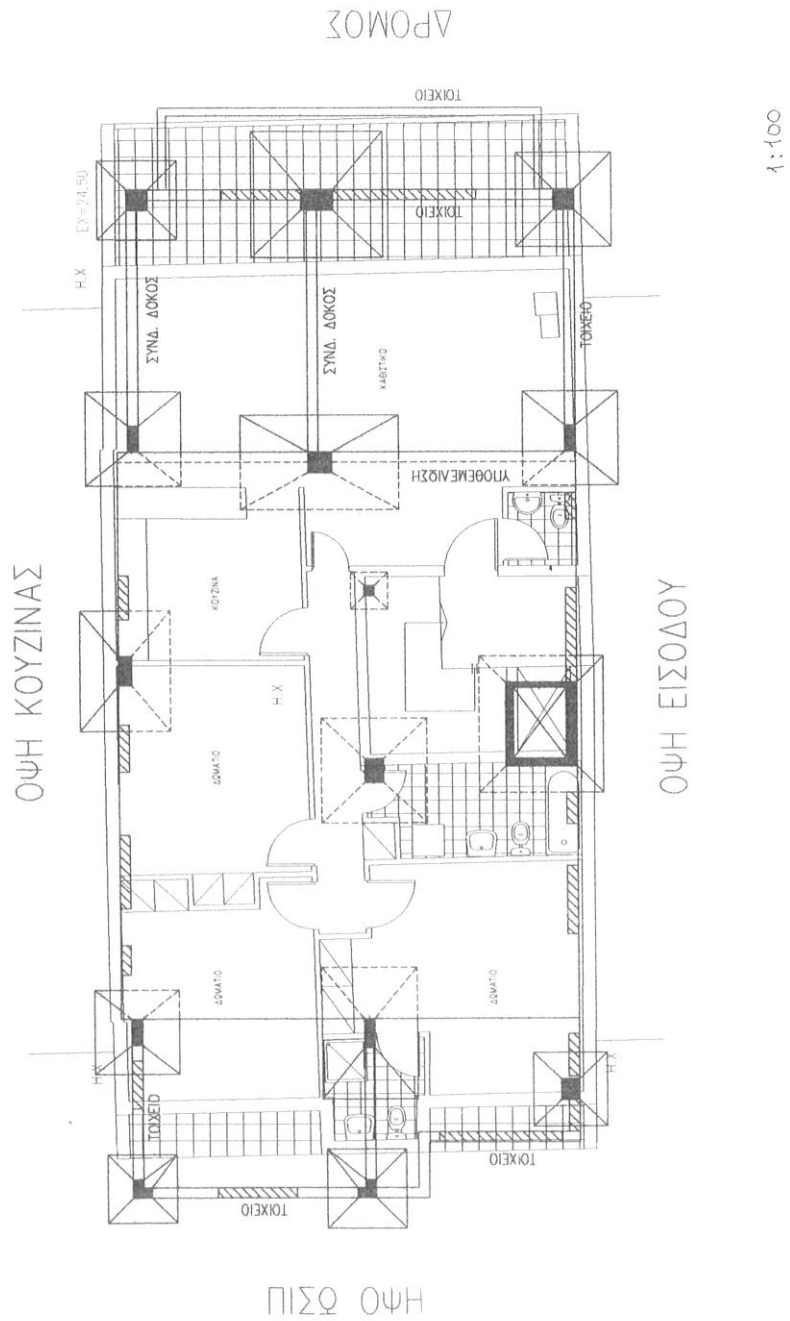
- Βάγιας Ι. / Παλαμάς Γ. / Τάτσης Κ. / Θανόπουλος Π. , Οδηγός Σχεδιασμού Σύμμικτων Κτιρίων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2009
- Βάγιας Κ. Ιωάννης, Σύμμικτες Κατασκευές Από Χάλυβα και Οπλισμένο Σκυρόδεμα, τρίτη έκδοση, Αθήνα 2010
- Βάγιας Ι. / Ερμόπουλος Ι. / Ιωαννίδης Γ. , Σιδηρές Κατασκευές Τόμος Ι, δεύτερη έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- HeinrichAndreas / SchmittHeene, Κτιριακές Κατασκευές, Εκδόσεις Γκιούρδας , 3η Ελληνική Επανάδοση, Μετάφραση της 11ης, αναθεωρημένης και επανεπεξεργασμένης Γερμανικής έκδοσης του 1988 και με Ελληνικούς Κανονισμούς
- Θέμα μεταπτυχιακής εργασίας: «Μελέτη μεταλλικού εμπορικού κτιρίου με σύμμικτα στοιχεία» / Όνομα: Ζαφειριάδης Χρήστος, Σπηλιώτης Αριστοτέλης / Επιβλέπων καθηγητής: Ιωαννίδης Γεώργιος / Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Κεφάλαιο 5: Σύμμικτη οικία στο Χολαργό

5.1 Ιστορική αναδρομή σύμμικτης οικίας

Η σύμμικτη οικία την οποία μελετάμε βρίσκεται στον δήμο Χολαργού επί της οδού Ελευθερίου Βενιζέλου 83 στον νομό Αττικής. Η πρώτη οικία η οποία κατασκευάστηκε το 1951 άνηκε σε δύο ιδιοκτήτες τους κ. Θεοφάνους και Όλγας Αλευρογιάννη. Το υλικό από το οποίο είχε χτιστεί ήταν πέτρα και διέθετε ένα μόνο δωμάτιο. Αργότερα, το 1956 οι ιδιοκτήτες αποφάσισαν να παρενέβουν σε εργασίες προσθήκης δύο επιπλέον δωματίων κουζίνας και λουτρού, εις το βάθος του οικοπέδου όπου οι εργασίες εκτελέστηκαν υπό την επίβλεψη του Πολιτικού Μηχανικού Όμηρου Ευαγγελινού. Το 1980, η νέα ιδιοκτήτρια κ. Ελένη Στρατική εξέδωσε άδεια ανέγερσης προσθήκης κατ'επέκτασιν τμήματος ισογείου, και μεθ'υπογείου από σκυρόδεμα, όπου η επίβλεψη των εργασιών εκτελέστηκε από τον Πολιτικό Μηχανικό Νικόλαο Στρούμπο. Με το πέρασμα των χρόνων, η ίδια πλέον ιδιοκτήτρια αποφάσισε να κάνει μία νέα επέκταση προσθήκης στην οικία, αλλά αυτή τη φορά καθ' ύψος δύο ορόφων και δώματος. Έτσι το 2006 εκδόθηκε η αντίστοιχη άδεια. Σύμφωνα με τις μελέτες του Πολιτικού Μηχανικού Χαρίλαου Ν. Μαραγκού, για να μπορούσε να πραγματοποιηθεί η προσθήκη έπρεπε η πέτρινη οικία να γκρεμιστεί. Όμως επειδή η ιδιοκτήτρια ήθελε να αποφύγει μία τέτοια ενέργεια, οδηγήθηκαν στην λύση της σύμμικτης οικίας. Τα στοιχεία που την χαρακτήριζαν ήταν τα μεταλλικά υποστυλώματα τα οποία τοποθετήθηκαν περιμετρικά της πέτρινης οικίας, χωρίς έτσι να το επιβαρύνουν, καθώς και σύμμικτα πατώματα. Οι εργασίες ολοκληρώθηκαν έπειτα από δύο ολόκληρα χρόνια (2008) λόγω του ότι υπήρχε καθυστέρηση στην παραλαβή του σιδήρου. Μέσω τη συνέντευξης που δόθηκε από την ιδιοκτήτρια, το συμπέρασμα είναι ότι ενώ ως κατασκευή κόστισε λίγο περισσότερο από αυτή της συμβατικής, τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά και τα πλεονεκτήματα πολύ περισσότερα. Μέχρι και σήμερα, δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα υγρασίας στο εσωτερικό της οικίας, καθώς επίσης και η εμφάνιση της σκουριάς στα μεταλλικά εξωτερικά στοιχεία είναι μηδαμινή. Τελευταίο και σπουδαιότερο είναι η ύπαρξη μεγάλων εσωτερικών ανοιγμάτων χωρίς την παρουσία κατακόρυφων στοιχείων. Έτσι, ο χώρος είναι πιο λειτουργικός. Στη συνέχεια

παρουσιάζονται τα αρχιτεκτονικά και στατικά σχέδια της οικίας, τα οποία δόθηκαν και παρουσιάζονται κατόπιν προφορικής άδειας των εμπλεκομένων.



Σχέδιο 5 : Παραδοχή της οικίας από σκυρόδεμα



Εικόνα 1



Εικόνα 2



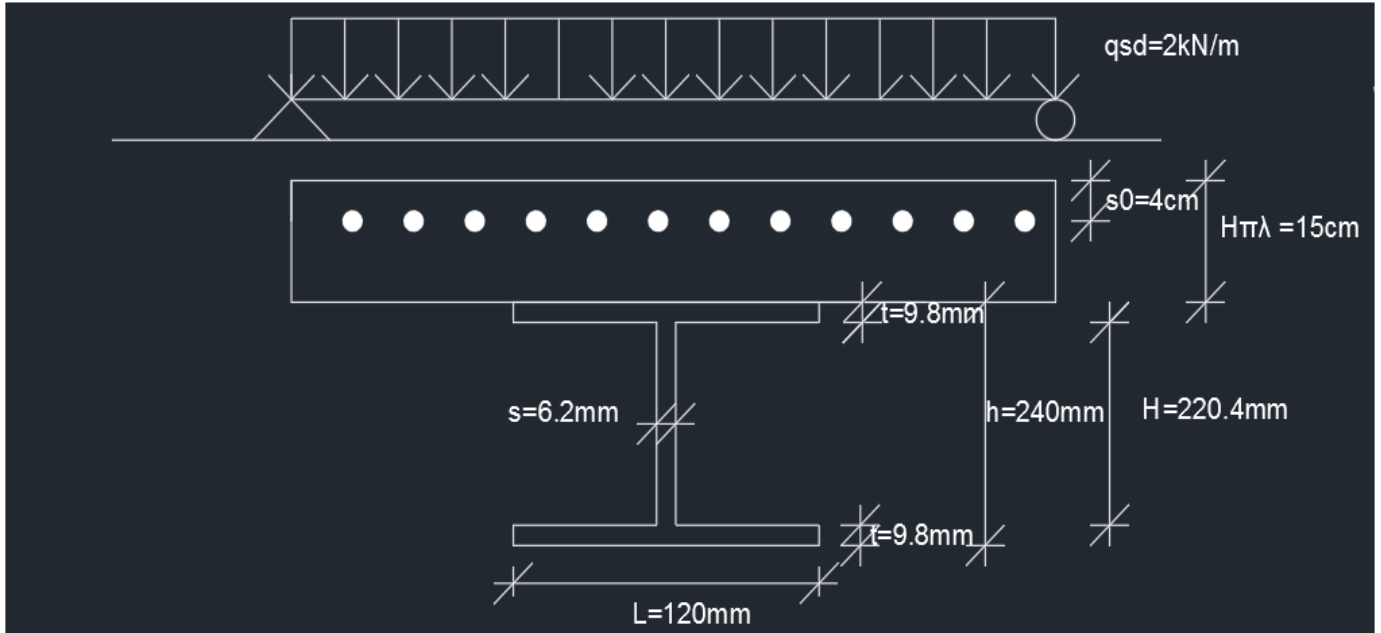
Εικόνα 3



Εικόνα 4

5.3 Στατική επίλυση σύμμικτων δοκών

ΑΣΚΗΣΗ:1

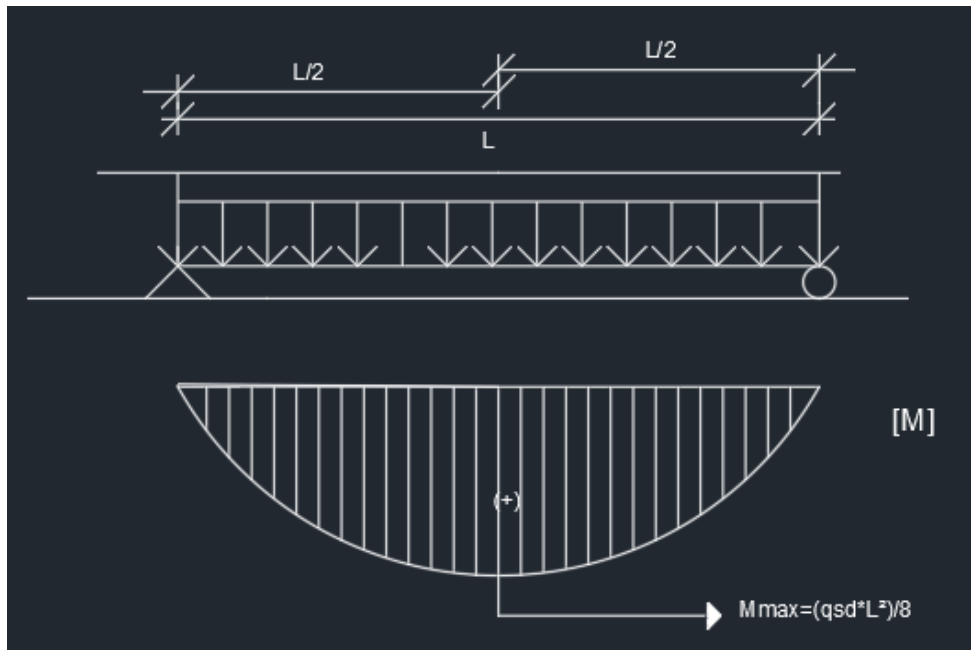


ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H = 15cm
	IPE240
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{220.4}{6.2} = 35.55$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυροδέμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus \text{Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus \text{Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus \text{Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 12 \times 0.98 = 11.76 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus \text{Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 22.04 \times 0.62 = 13.66 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}\color{blue}\color{green}\color{yellow} \oplus \text{Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 12 \times 0.98 = 11.76 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500cm^2 = 1695kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.66cm^2 = 321.01 kN$$

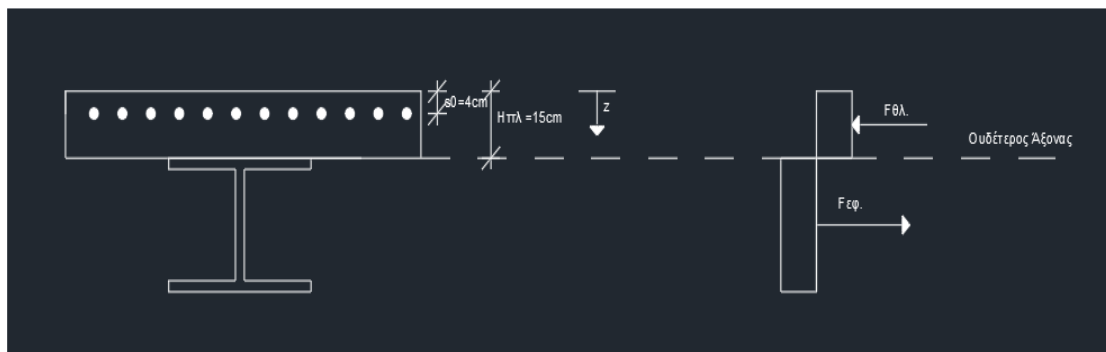
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{E\phi}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C + F_S = 1695 + 136.53 = 1831.53 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

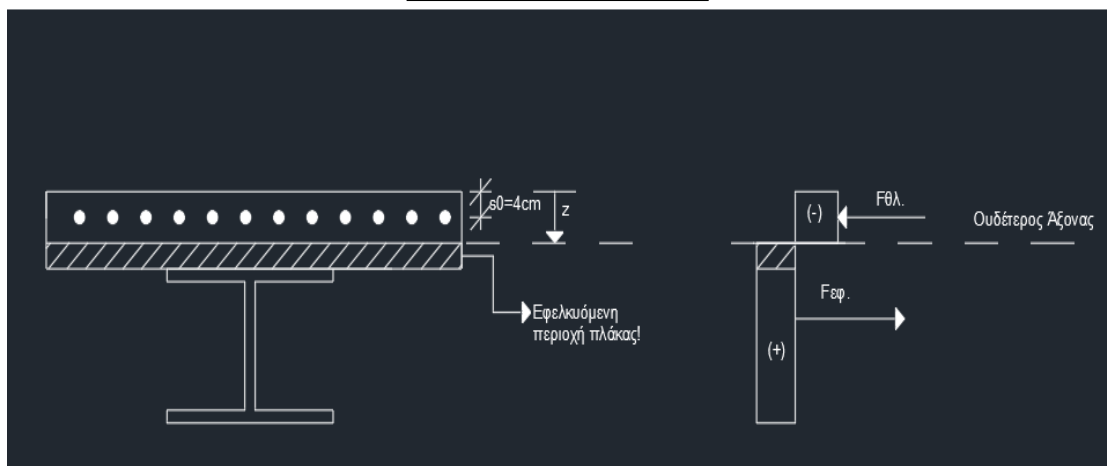
$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 276.36 + 321.01 + 276.36 = 873.73 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C,\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 873.73 \text{ kN} \quad (F_{C,\varepsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 136.53 = 873.73 \text{ kN}$$

$$z_0 = 6.52 \text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 6.52 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4cm και μικρότερο του 15cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53kN = 113 \times 6,52 + 136.53 \approx 873.73 kN$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_c^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{6.52}{2} = 3.26 cm$$

$$z_s = 4 cm$$

$$z_{AII} = 15 + \frac{0.98}{2} = 15,49 cm$$

$$z_{\kappa} = 15 + 0.98 + \frac{22.04}{2} = 27 cm$$

$$z_{KII} = 15 + 0.98 + 22.04 + \frac{0.98}{2} = 38.51 cm$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -736.76(3.26 - 6.52) - 136.5(4 - 6.52) + 276.36(15.49 - 6.52) + 321.01 (27 - 6.52) + 276.36(38.51 - 6.52)$$

$$M_{pl,Rd} = 20639.78 kNcm = 206.40 kNm$$

8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 98.43 kNm$

$$206.40 kNm \gg 98.43 kNm$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H =15cm
	IPE240
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού

- Για θετικές καμπτικές ροπές
- **Άνω Πέλμα:** Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.
- **Κάτω Πέλμα:** Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.
- **Κορμός:** Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$F_y (N/mm^2)$	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{220.4}{6.2} = 35.55$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ \text{ Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ \text{ Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 7 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 5.5 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ \text{ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 12 \times 0,98 = 11.76 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ \text{ Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 22.04 \times 0.62 = 13.66 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \color{blue}✚ \text{ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 12 \times 0,98 = 11,76 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 5.5 cm^2 = 239.14 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76 cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76 cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.66 cm^2 = 321.01 kN$$

5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\Lambda} = F_{E\Phi}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_c + F_s = 1695 + 239.14 = 1934.14 kN \quad \textcircled{1}$$

$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 276.36 + 321.01 + 276.36 = 873.73 kN \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 239.14\text{kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C,\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 873.73\text{ kN} \quad (F_{C,\varepsilon\varphi} = 0\text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 136.53 = 873.73\text{ kN}$$

$$z_0 = 5.62\text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 5.62 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4cm και μικρότερο του 15cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 239.14\text{kN} = 113 \times 5.62 + 239.14 \approx 873.73\text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_C^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{5.62}{2} = 2.81\text{ cm}$$

$$z_S = 4\text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{0.98}{2} = 15.49\text{ cm}$$

$$z_K = 15 + 0.98 + \frac{22.04}{2} = 27\text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 0.98 + 22.04 + \frac{0.98}{2} = 38.51\text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -635.06(2.81 - 5.62) - 239.14(4 - 5.62) + 276.36(15.49 - 5.62) + 321.01(27 - 5.62) + 276.36(38.51 - 5.62)$$

$$M_{pl,Rd} = 14331.47\text{ kNcm} = 143.31\text{ kNm}$$

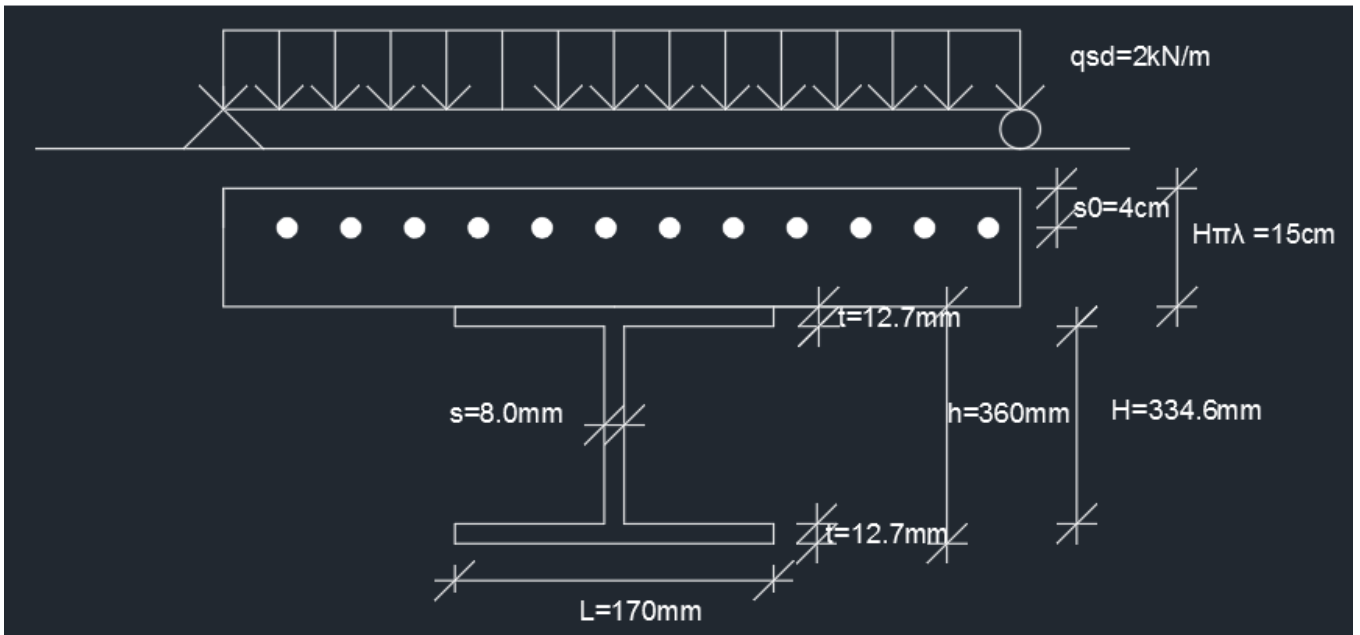
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 98.43 \text{ kNm}$

$$143.31 \text{ kNm} \gg 98.43 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:2

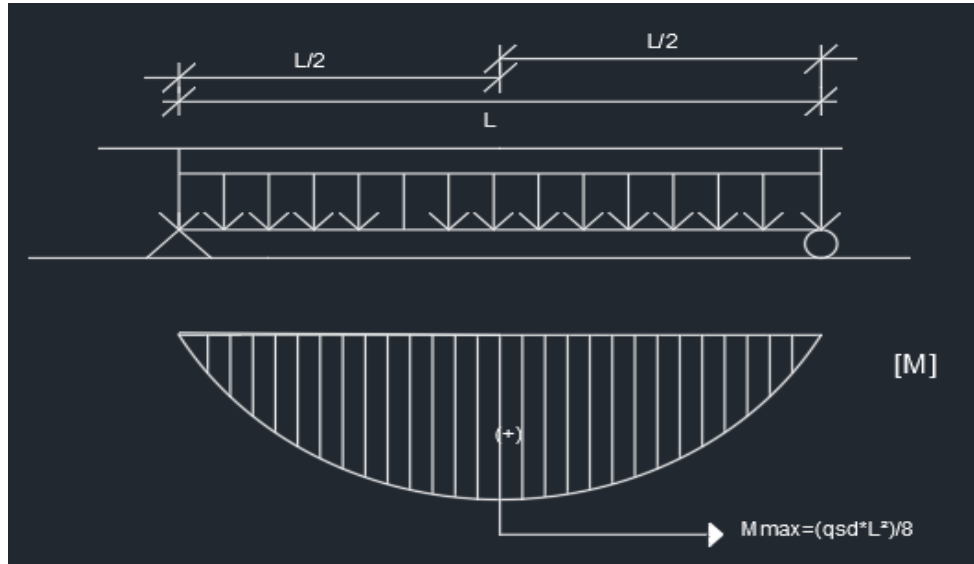


ΔΕΛΟΜΕΝΑ	H = 15cm
	IPE360
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{334.6}{8} = 41.825$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$+ f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$+ f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$+ f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$+ \text{Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$+ \text{Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$+ \text{Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 17 \times 1.27 = 21.59 \text{ cm}^2$$

$$+ \text{Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 33.46 \times 0.8 = 26.768 \text{ cm}^2$$

$$+ \text{Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 17 \times 1.27 = 21.59 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14 cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 21.59 cm^2 = 507,365 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 26.768 cm^2 = 629.048 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 21.59 cm^2 = 507.365 kN$$

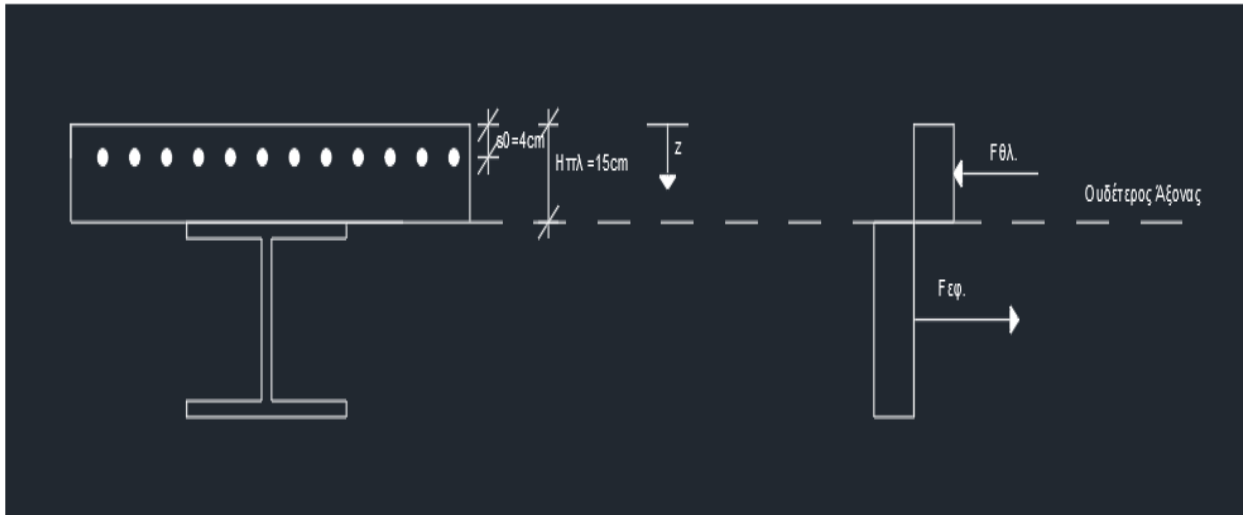
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\Lambda} = F_{E\Phi}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_c + F_s = 1695 + 136.53 = 1831.53 kN \quad \textcircled{1}$$

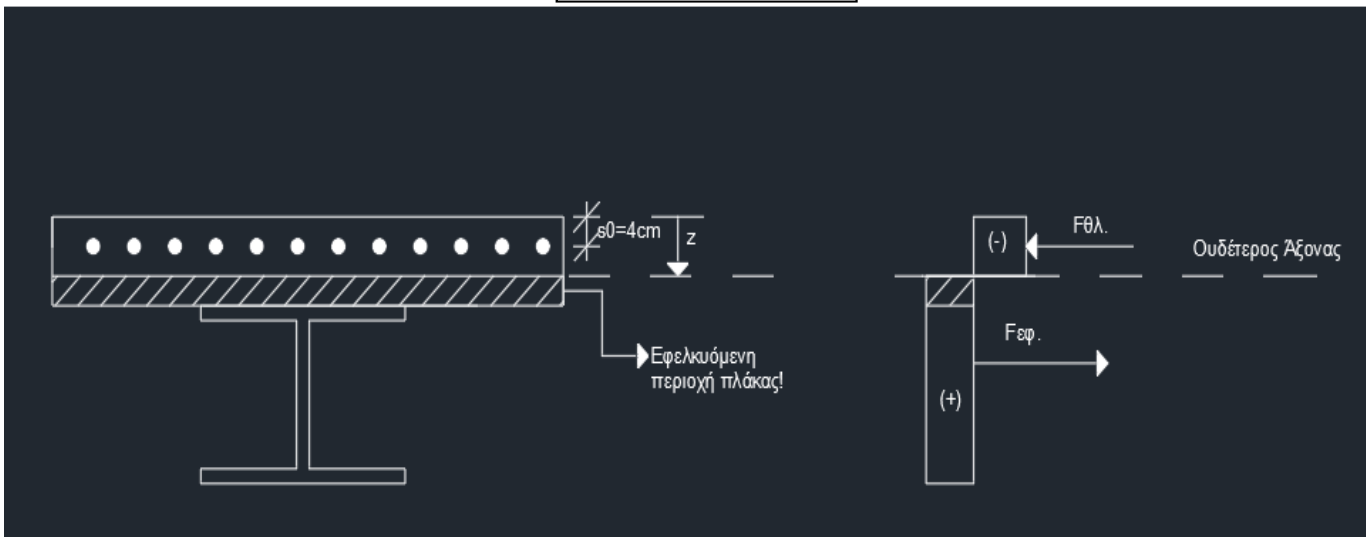
$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 507,365 + 629.048 + 507,365 = 1643.778 kN \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις ① και ② παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53\text{kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\epsilon\Phi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 1643.778\text{ kN} \quad (F_{C.\epsilon\Phi} = 0\text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 136.53 = 1643,778\text{ kN}$$

$$z_0 = 13,338\text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 13.338 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4cm και μικρότερο του 15cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53kN = 113 \times 13,338 + 136.53 = 1643,778 kN$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_c^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{13,338}{2} = 6,669cm$$

$$z_s = 4 cm$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{1,27}{2} = 15,635 cm$$

$$z_{\kappa} = 15 + 1,27 + \frac{33,46}{2} = 33 cm$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 1,27 + 33,46 + \frac{1,27}{2} = 50,365 cm$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} =$$

$$-1507.194 (6,669 - 13,338) - 136.5(4 - 13,338) + 507.365(15,635 - 13,338) + 629.04833 - 13,338 + 507.365(50,365 - 13,338)$$

$$M_{pl,Rd} = 43647.87 kNcm = 436.48 kNm$$

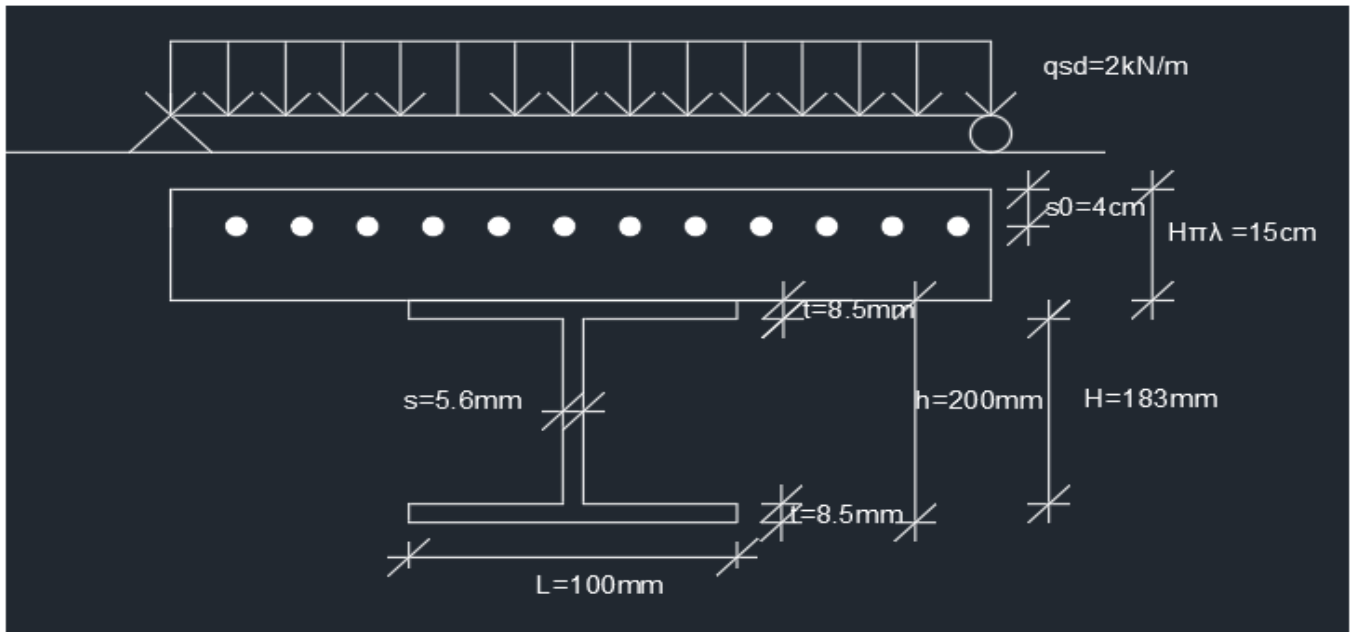
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

$$\text{πρέπει } M_{pl,Rd} \geq M_{max} \text{ όπου } M_{max} = 112.75 kNm$$

$$436.48 kNm \gg 112.75 kNm$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:3

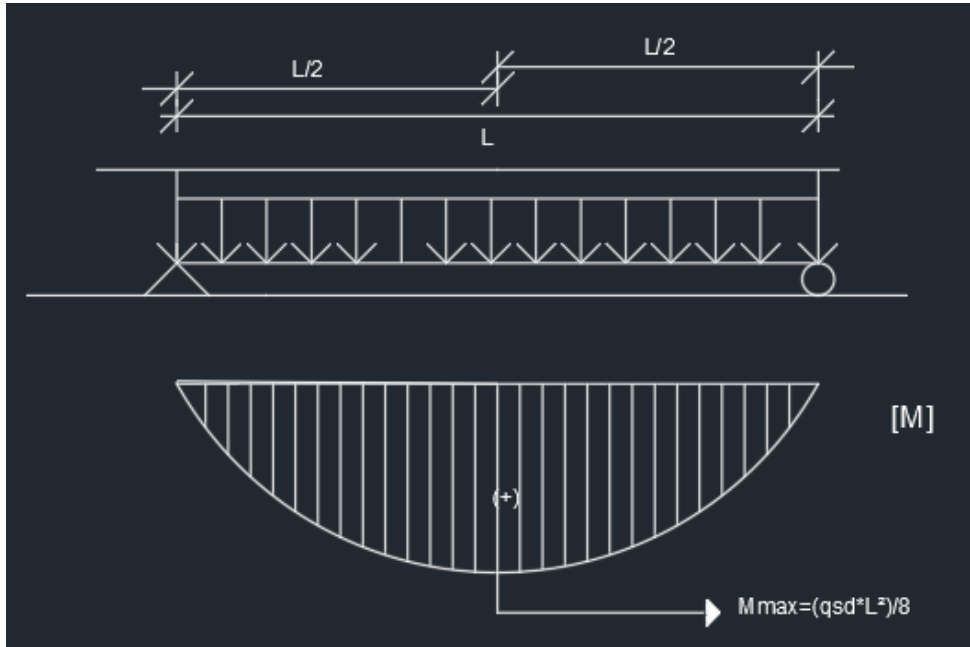


ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H =15cm
	IPE200
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$F_y (N/mm^2)$	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{183}{5.6} = 32.68$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**.
Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 10 \times 0.85 = 8.5 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 18.3 \times 0.56 = 10.25 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 10 \times 0.85 = 8.5 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 8.5 cm^2 = 199.75 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 10.25cm^2 = 240.88 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 8.5 cm^2 = 199.75 kN$$

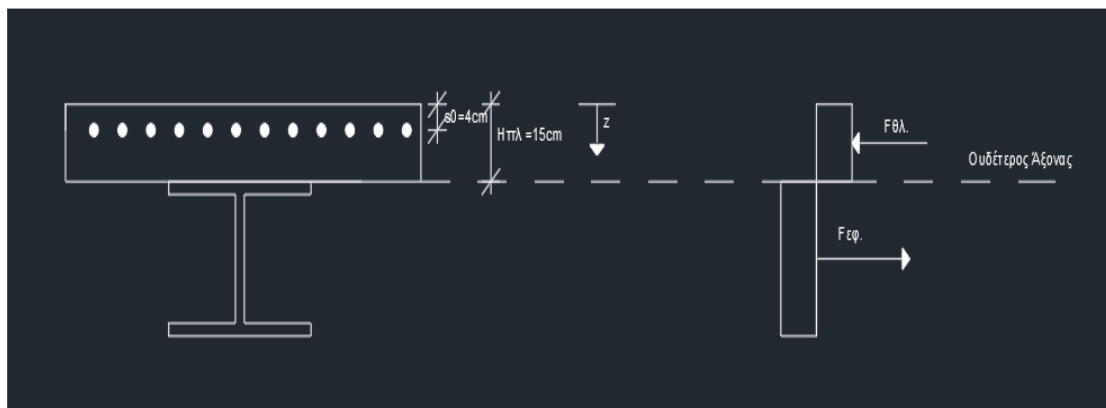
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{E\phi}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C + F_S = 1695 + 136.53 = 1831.53 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

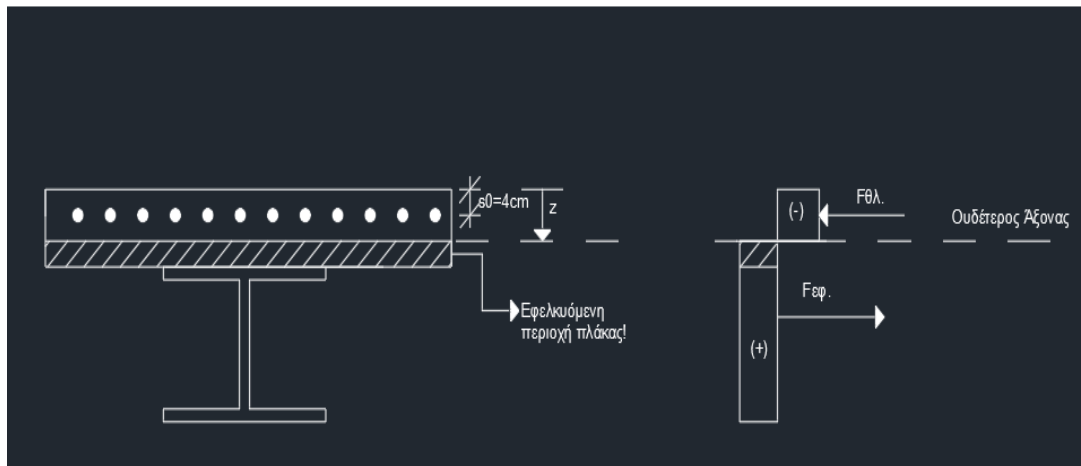
$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 199.75 + 240.88 + 199.75 = 640.34 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4 \text{ cm} \leq z_0 \leq 15 \text{ cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\epsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 640.38 \text{ kN} \quad (F_{C.\epsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 136.53 = 640.38 \text{ kN}$$

$$z_0 = 4.46 \text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 4.46 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4cm και μικρότερο του 15cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53kN = 113 \times 4.46 + 136.53 = 640.38 kN$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_c^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{4.46}{2} = 2.23 \text{ cm}$$

$$z_s = 4 \text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{0.85}{2} = 15.425 \text{ cm}$$

$$z_{\kappa} = 15 + 0.85 + \frac{18.3}{2} = 25 \text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 0.85 + 18.3 + \frac{0.85}{2} = 34.575 \text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -503,98 (2,23 - 4,46) - 136,5(4 - 4,46) + 199,75(15,425 - 4,46) + 240,88(25 - 4,46) + 199,75(34,575 - 4,46) = 14340,08 \text{ kNcm} = 143.4 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 143.4 \text{ kNm}$$

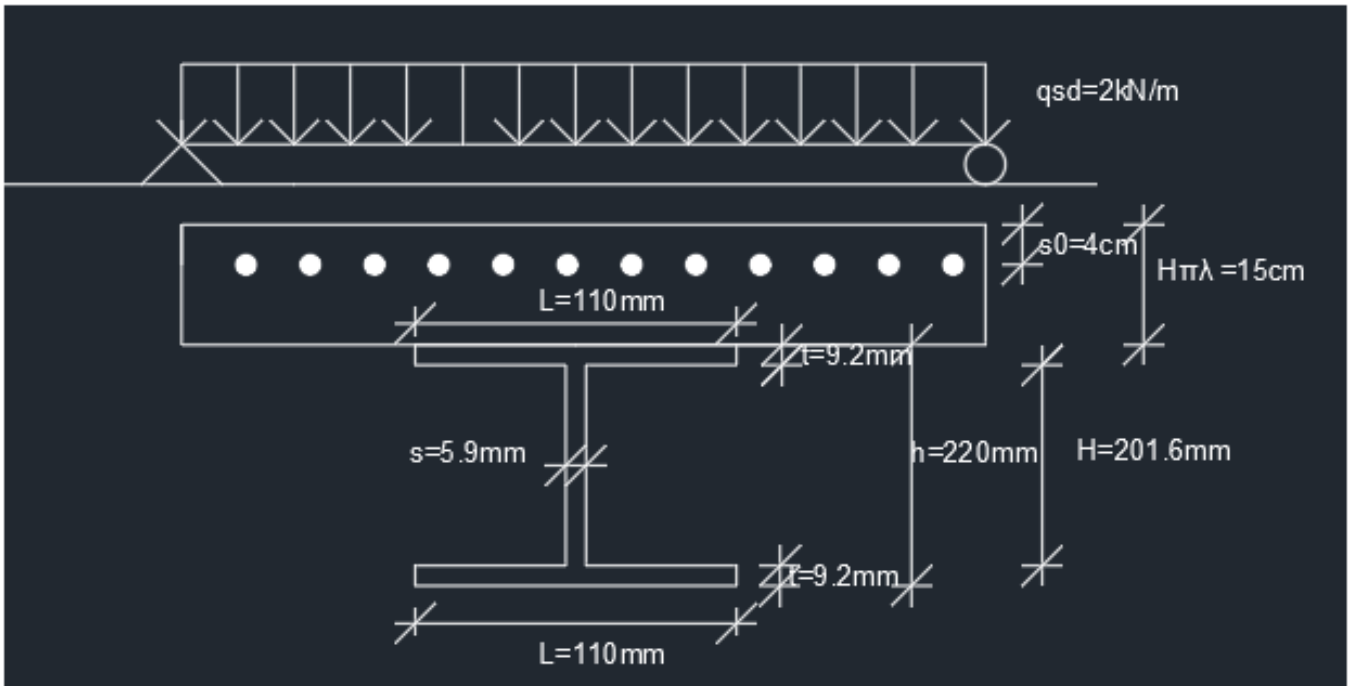
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 131.59 \text{ kNm}$

$$143.4 \text{ kNm} \gg 131.59 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:4

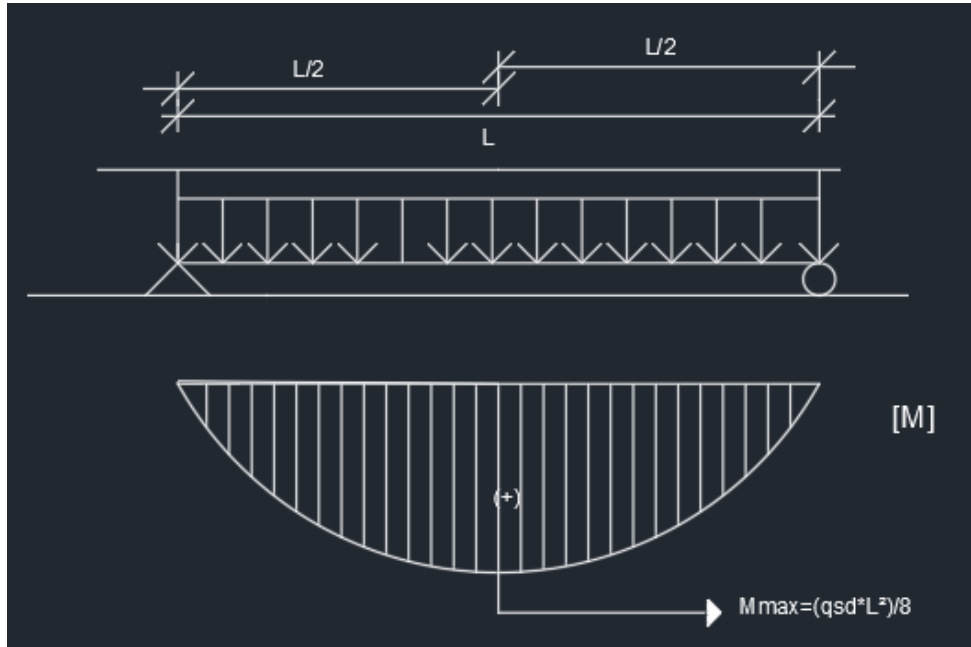


ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H = 15cm
	IPE220
	C20/25
	S500c
	S235
	$q_{sd} = 2 \text{ kN/m}$
	$N_{sd} = 0$
	$s_0 = 4 \text{ cm}$

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (h_w) προς το πάχος του κορμού (t_w). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	$F_y (N/mm^2)$	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{201.6}{5.9} = 34.17$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**.
Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1,
συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red}✚ f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}✚ f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}✚ f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red}✚ \text{ Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \text{ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 11 \times 0.92 = 10.12 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \text{ Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 20.16 \times 0.59 = 11.89 \text{ cm}^2$$

$$\color{red}✚ \text{ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 11 \times 0.92 = 10.12 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14 cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 10.12 cm^2 = 237.82 kN$$

$$F_K = f_{\alpha d} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.89 cm^2 = 279.42 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 10.12 cm^2 = 237.82 kN$$

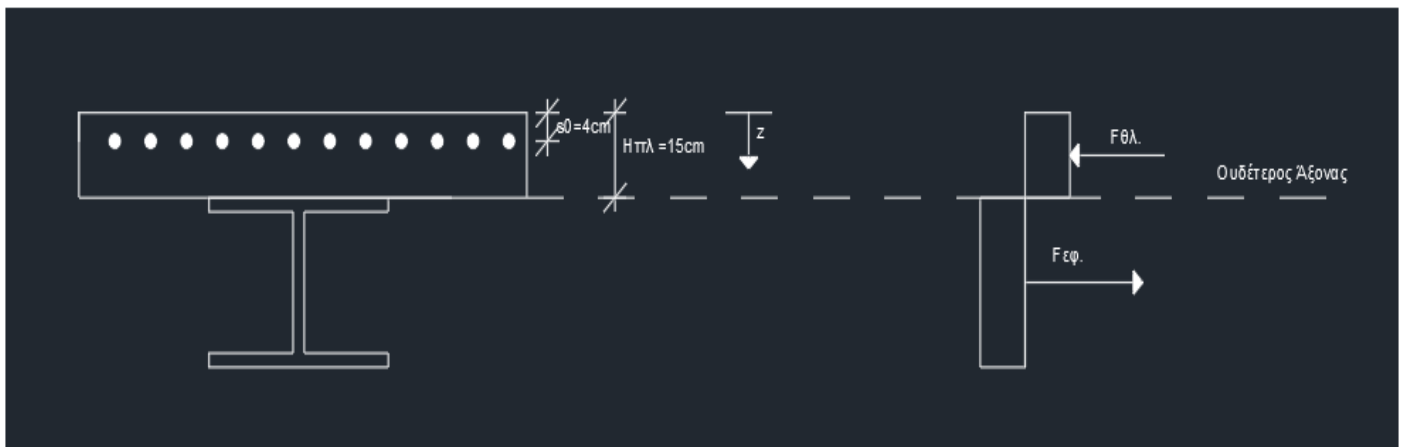
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{\epsilon\phi}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C + F_S = 1695 + 136.53 = 1831.53 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

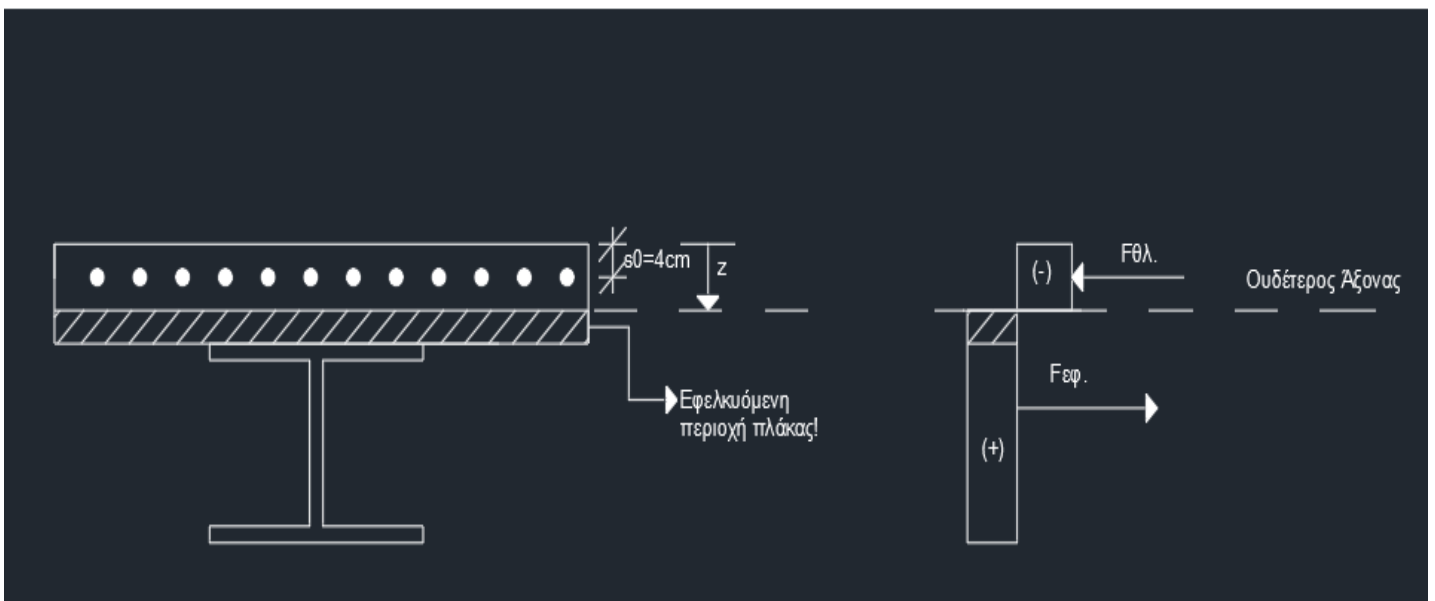
$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 237.82 + 279.42 + 237.82 = 755.06 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ 2η Υπόθεση

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\epsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 755.06 \text{ kN} \quad (F_{C.\epsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

πρέπει: $113z_0 + 136.53 = 755.06 \text{ kN}$

$z_0 = 5.47 \text{ cm}$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 5.47 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 15 cm . Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53 \text{ kN} = 113 \times 5.47 + 136.53 \approx 755.06 \text{ kN}$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$z_c^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{5.47}{2} = 2.73 \text{ cm}$

$z_s = 4 \text{ cm}$

$z_{A\Pi} = 15 + \frac{0.92}{2} = 15.46 \text{ cm}$

$z_{\kappa} = 15 + 0.92 + \frac{20.16}{2} = 26 \text{ cm}$

$z_{K\Pi} = 15 + 0.92 + 20.16 + \frac{0.92}{2} = 36.54 \text{ cm}$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$M_{pl,Rd} = -618.11(2.73 - 5.47) - 136.5(4 - 5.47) + 237.82(15.46 - 5.47) + 279.42(26 - 5.47) + 237.82(36.54 - 5.47)$

$M_{pl,Rd} = 17394.337 \text{ kNcm} = 173.94 \text{ kNm}$

8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 30.78 \text{ kNm}$

$173.94 \text{ kNm} \gg 30.78 \text{ kNm}$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H =15cm
	IPE220
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

Για θετικές καμπτικές ροπές **Άνω Πέλημα:** Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1.**

Κάτω Πέλημα: Επειδή το κάτω πέλημα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1.**

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72*\epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72*\epsilon$ αλλά μικρότερος από $83*\epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2.**

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{201.6}{5.9} = 34.17$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 7 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 5.5 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 11 \times 0.92 = 10.12 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 20.16 \times 0.59 = 11.89 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 11 \times 0.92 = 10.12 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 5.5 cm^2 = 239.14 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 10.12 cm^2 = 237.82 kN$$

$$F_K = f_{\alpha d} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.89 cm^2 = 279.42 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 10.12 cm^2 = 237.82 kN$$

5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

1η Υπόθεση Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\Lambda} = F_{E\Phi}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_c + F_s = 1695 + 239.14 = 1934.14 kN \quad \textcircled{1}$$

$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 237.82 + 279.42 + 237.82 = 755.06 \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 239.14\text{kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 755.06\text{ kN} \quad (F_{C.\varepsilon\varphi} = 0\text{ kN})$$

πρέπει: $113z_0 + 239.14 = 755.06\text{ kN}$

$$z_0 = 4.56\text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 4.56 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 15 cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 239.14\text{kN} = 113 \times 4.56 + 239.14 \approx 754.44\text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_C^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{4.56}{2} = 2.28\text{cm}$$

$$z_S = 4\text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{0.92}{2} = 15.46\text{ cm}$$

$$z_K = 15 + 0.92 + \frac{20.16}{2} = 26\text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 0.92 + 20.16 + \frac{0.92}{2} = 36.54\text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -515.18(2.28 - 4.56) - 239.14(4 - 4.56) + 237.82(15.46 - 4.56) + 279.42(26 - 4.56) + 237.82(36.54 - 4.56)$$

$$M_{pl,Rd} = 17477.03\text{ kNcm} = 174.77\text{ kNm}$$

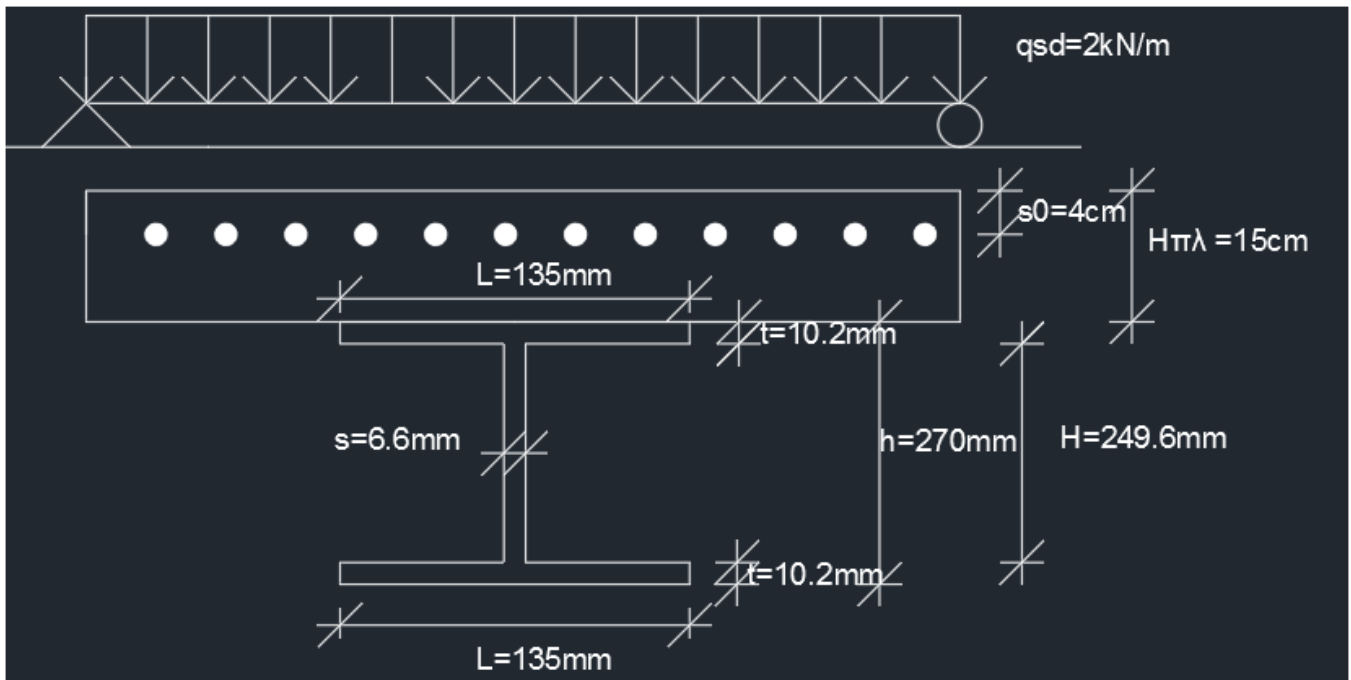
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 30.78 \text{ kNm}$

$$174.77 \text{ kNm} \gg 30.78 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:5

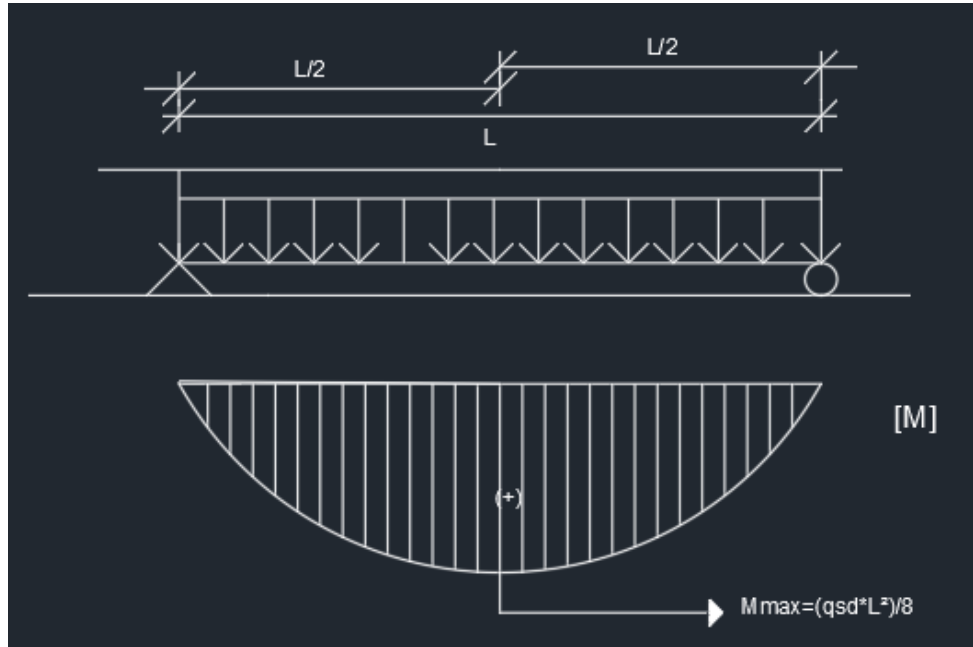


ΔΕΛΟΜΕΝΑ	H = 15cm
	IPE270
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{249.6}{6.6} = 37.81$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**.
Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{ Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{ Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 13.5 \times 1.02 = 13.77 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{ Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 24.96 \times .66 = 16.47 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \text{ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 13.5 \times 1.02 = 13.77 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500cm^2 = 1695kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.77cm^2 = 323.59 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 16.47 cm^2 = 387.04 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.77 cm^2 = 323.59 kN$$

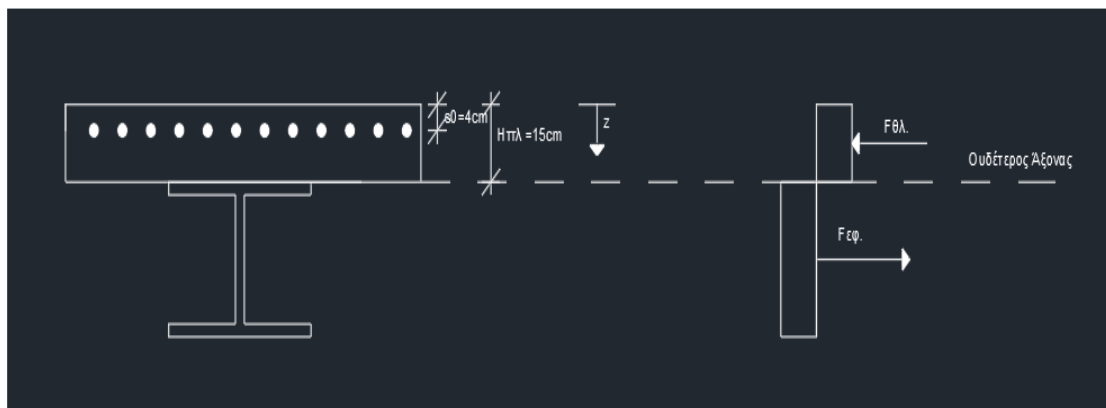
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{E\phi}$$



$$F_{\theta\lambda} = F_C + F_S = 1695 + 136.53 = 1831.53 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

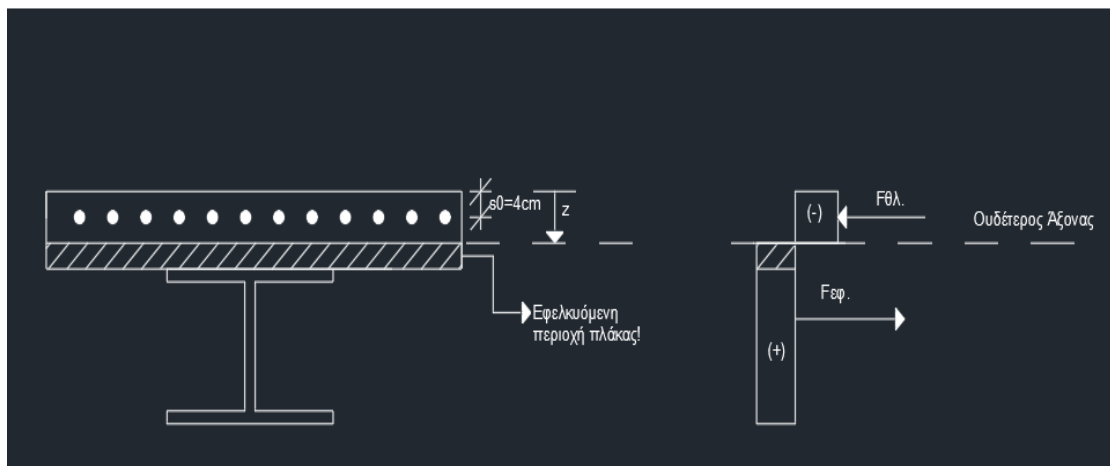
$$F_{E\phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 323.59 + 387.04 + 323.59 = 1034.22 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις ① και ② παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 15\text{cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 1034.22 \text{ kN} \quad (F_{C.\varepsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 136.53 = 1034.22 \text{ kN}$$

$$z_0 = 7.94 \text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 7.94 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 15 cm . Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53 \text{ kN} = 113 \times 7.94 + 136.53 \approx 1034.22 \text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_C^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{7.94}{2} = 3.97 \text{ cm}$$

$$z_S = 4 \text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{1.02}{2} = 15.51 \text{ cm}$$

$$z_K = 15 + 1.02 + \frac{24.96}{2} = 28.5 \text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 1.02 + 24.96 + \frac{1.02}{2} = 41.49 \text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -897.22(3.97 - 7.94) - 136.5(4 - 7.94) + 323.59(15.51 - 7.94) + 387.04(28.5 - 7.94) + 323.59(41.49 - 7.94)$$

$$M_{pl,Rd} = 25291.99 \text{ kNcm} = 252.92 \text{ kNm}$$

8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq \square_{max}$ όπου $\square_{max} = 0,25 \times L^2 = 0.25 \text{ kNm}$

$$252.92 \text{ kNm} \gg 0.25 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H =15cm
	IPE270
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής.

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές
- **Άνω Πέλμα:** Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.
- **Κάτω Πέλμα:** Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.
- **Κορμός:** Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72*\epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72*\epsilon$ αλλά μικρότερος από $83*\epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	ϵ	1	0.92	0.81

- $\frac{hw}{tw} = \frac{249.6}{6.6} = 37.82$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$
-

$$\color{red}+ \color{blue} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}+ \color{blue} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}+ \color{blue} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

- $\color{red}+ \color{blue}$ Επιφάνεια Σκυροδέματος: $A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$
- $\color{red}+ \color{blue}$ Επιφάνεια Χάλυβα: $A_s = 7 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 5.5 \text{ cm}^2$
- $\color{red}+ \color{blue}$ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: $A_{A\Pi} = 13.5 \times 1.02 = 13.77 \text{ cm}^2$
- $\color{red}+ \color{blue}$ Επιφάνεια Κορμού: $A_K = 24.96 \times .66 = 16.47 \text{ cm}^2$
- $\color{red}+ \color{blue}$ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: $A_{K\Pi} = 13.5 \times 1.02 = 13.77 \text{ cm}^2$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 5.5 cm^2 = 239.14 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.77 cm^2 = 323.59 kN$$

$$F_K = f_{\alpha d} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 16.47 cm^2 = 387.04 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{\alpha d} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.77 cm^2 = 323.59 kN$$

5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\Lambda} = F_{E\Phi}$$

$$F_c + F_s = 1695 + 239.14 = 1934.14 kN \quad \textcircled{1}$$

$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 323.59 + 387.04 + 323.59 = 1034.22 kN \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4cm \leq z_0 \leq 15cm$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 239.14 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C.\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 1034.22 \text{ kN} \quad (F_{C.\varepsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

$$\text{πρέπει: } 113z_0 + 239.14 = 1034.22 \text{ kN}$$

$$z_0 = 7.04 \text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 7.04 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 15 cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 239.14 \text{ kN} = 113 \times 7.94 + 239.14 \approx 1034.22 \text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_C^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{7.04}{2} = 3.52 \text{ cm}$$

$$z_S = 4 \text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 15 + \frac{1.02}{2} = 15.51 \text{ cm}$$

$$z_K = 15 + 1.02 + \frac{24.96}{2} = 28.5 \text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 15 + 1.02 + 24.96 + \frac{1.02}{2} = 41.49 \text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -795.52(3.52 - 7.04) - 239.14(4 - 7.04) + 323.59(15.51 - 7.04) + 387.04(28.5 - 7.04) + 323.59(41.49 - 7.04)$$

$$M_{pl,Rd} = 25721.57 \text{ kNcm} = 257.21 \text{ kNm}$$

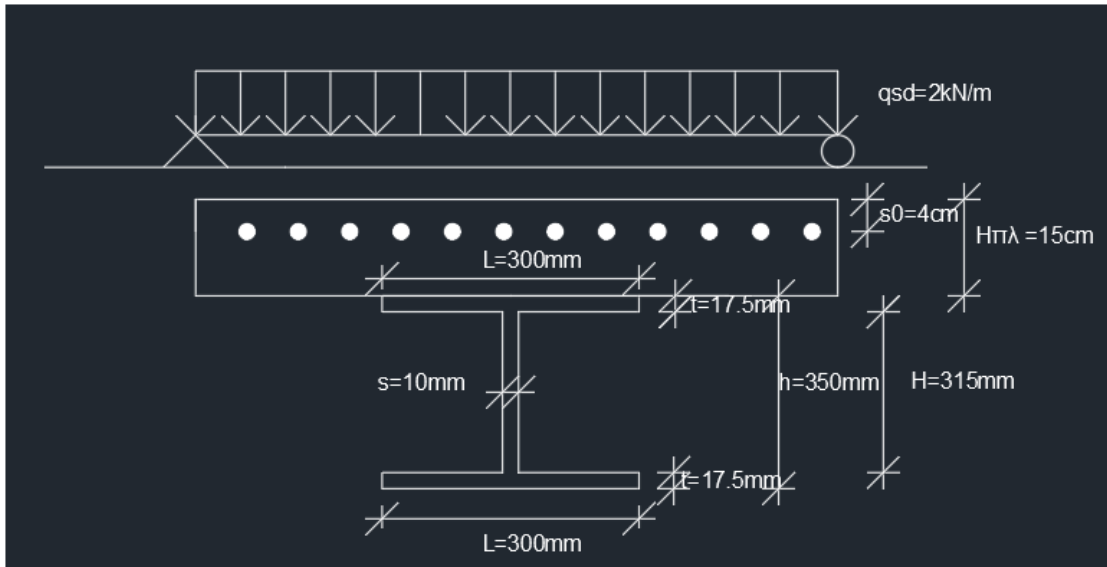
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 70.53 \text{ kNm}$

$$257.21 \text{ kNm} \gg 70.53 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:6

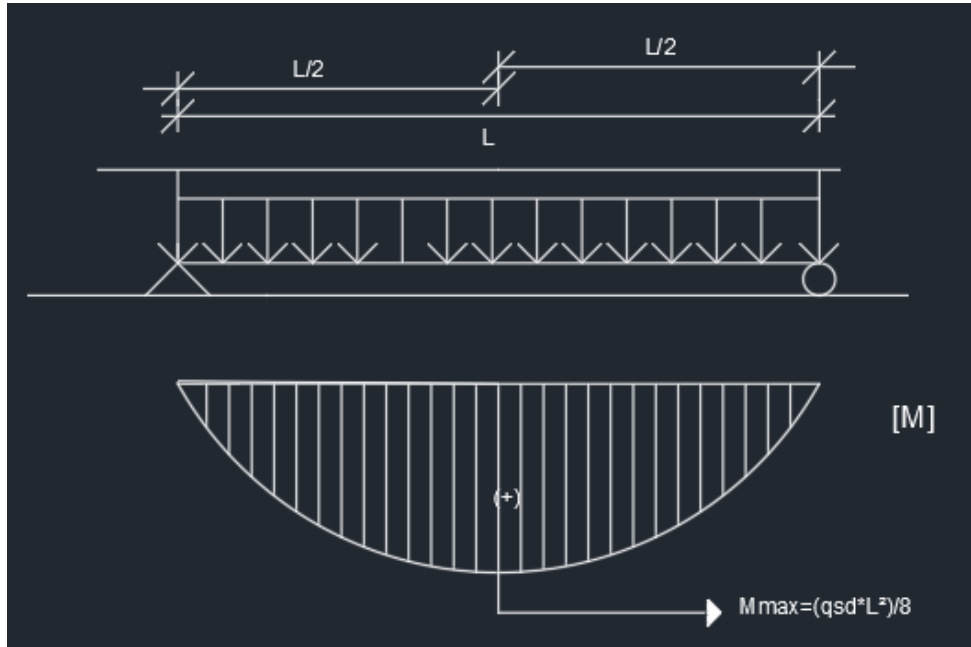


ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H =15cm
	HEA360
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (h_w) προς το πάχος του κορμού (t_w). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	E	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{315}{10} = 31.5$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**.
Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

Γc	1.5
Γs	1.15
Γa	1.0

- Σκυροδέμα: C20/25 → $f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c → $f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 → $f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$



3. Επιφάνειες

$$\text{Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 15 = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\text{Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\text{Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 30 \times 1.75 = 52.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 31.5 \times 1 = 31.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 30 \times 1.75 = 52.5 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1500 cm^2 = 1695 kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14 cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 52.5 cm^2 = 1233.75 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 31.5 cm^2 = 740.25 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 52.5 cm^2 = 1233.75 kN$$

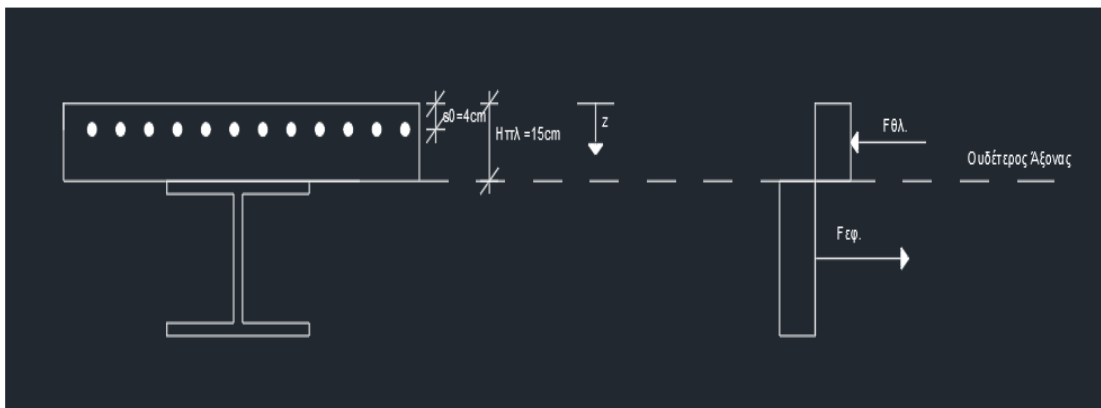
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{E\phi}$$



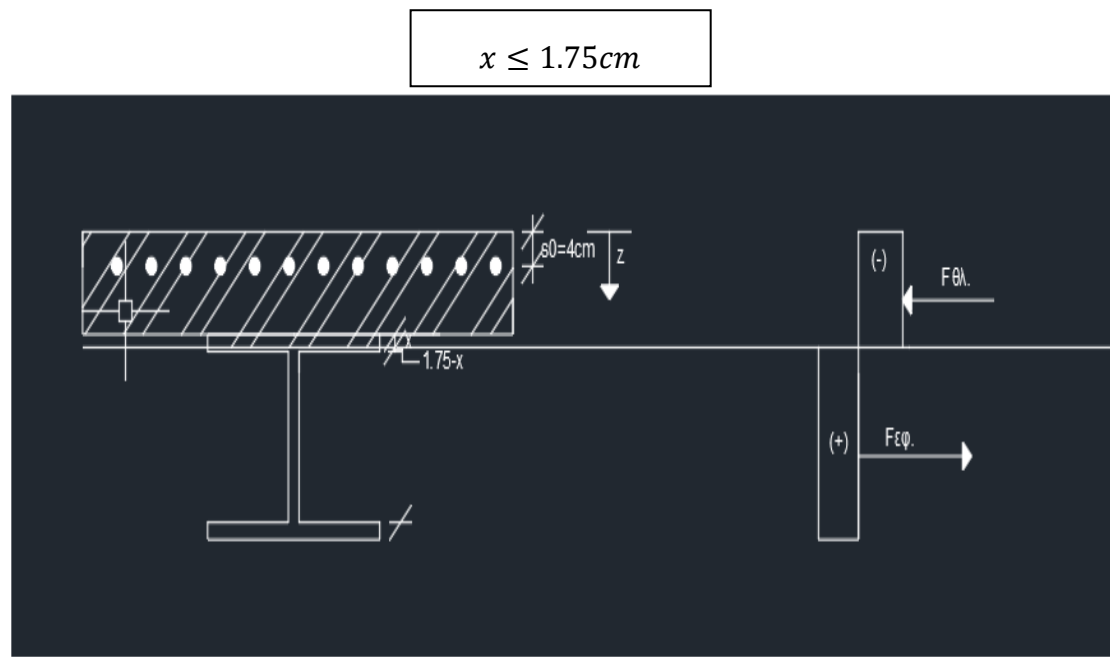
$$F_{\theta\lambda} = F_C + F_S = 1695 + 136.53 = 1831.53 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

$$F_{E\phi} = F_{A\pi} + F_K + F_{K\pi} = 1233.75 + 740.25 + 1233.75 = 3207.75 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι εφελκυστικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι θλιπτικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να Κατέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στο άνω πέλμα της δοκού με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της δοκού μικρότερη από 1,75cm



$$F_C^{\theta A} = f_{cd} \times (15 \times 100) = 1.13 \times 100 \times 15 = 1695 \text{ kN}$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{AII}^C = 23,5 \times 30 \times 1,75 = 1233,75 \text{ kN}$$

Έστω x το τμήμα του άνω πέλματος της δοκού το οποίο υπόκειται θλίψη. Το x είναι μετρούμενο από την άνω ακραία ίνα του άνω πέλματος της δοκού με κατεύθυνση προς τα κάτω.

$$\text{πρέπει: } 1695 + 136.53 + 30 \times 23.5 \times 1 \times x = 740.25 + 1233.75 + 23.5 \times 30 \times (1.75 - x)$$

$$x = 0.98 \text{ cm} \leq 1,75 \text{ cm}$$

Άρα η απόσταση του κέντρου βάρους από την άνω ακραία ίνα της πλάκας είναι:

$$z_0 = 15 + 0.98 = 15.98 \text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 15,98cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 15 cm και μικρότερο του 16,75 cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta A} = F_C + F_S + F_{AII} = 1695 + 136.53 + 690.9 = 2522.43 \text{ kN}$$

$$F_{\varepsilon\phi} = F_{AII} + F_K + F_{KII} = 542,85 + 740.25 + 1233,75 = 2522,43 \text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_c^{\theta A} = \frac{z_0}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ cm}$$

$$z_s = 4 \text{ cm}$$

$$z_{AII}^{\theta A} = 15 + \frac{0,98}{2} = 15,49 \text{ cm}$$

$$z_{AII}^{E\phi} = 15 + 0,98 + \frac{0,77}{2} = 16,36 \text{ cm}$$

$$z_K^{E\phi} = 15 + 1,75 + \frac{31,5}{2} = 42 \text{ cm}$$

$$z_{KII} = 15 + 1,75 + 31,5 + \frac{1,75}{2} = 49,12 \text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} = & -1695 \times (7,5 - 15,98) - 136,53 \times (4 - 15,98) - 690,9 \\ & \times (15,49 - 15,98) + 542,85 \times (16,36 - 15,98) + 740,25 \times (42 \\ & - 15,98) + 1233,75 \times (49,12 - 15,98) \end{aligned}$$

$$M_{pl,Rd} = 76701,83 \text{ kNcm} = 767,02 \text{ kNm}$$

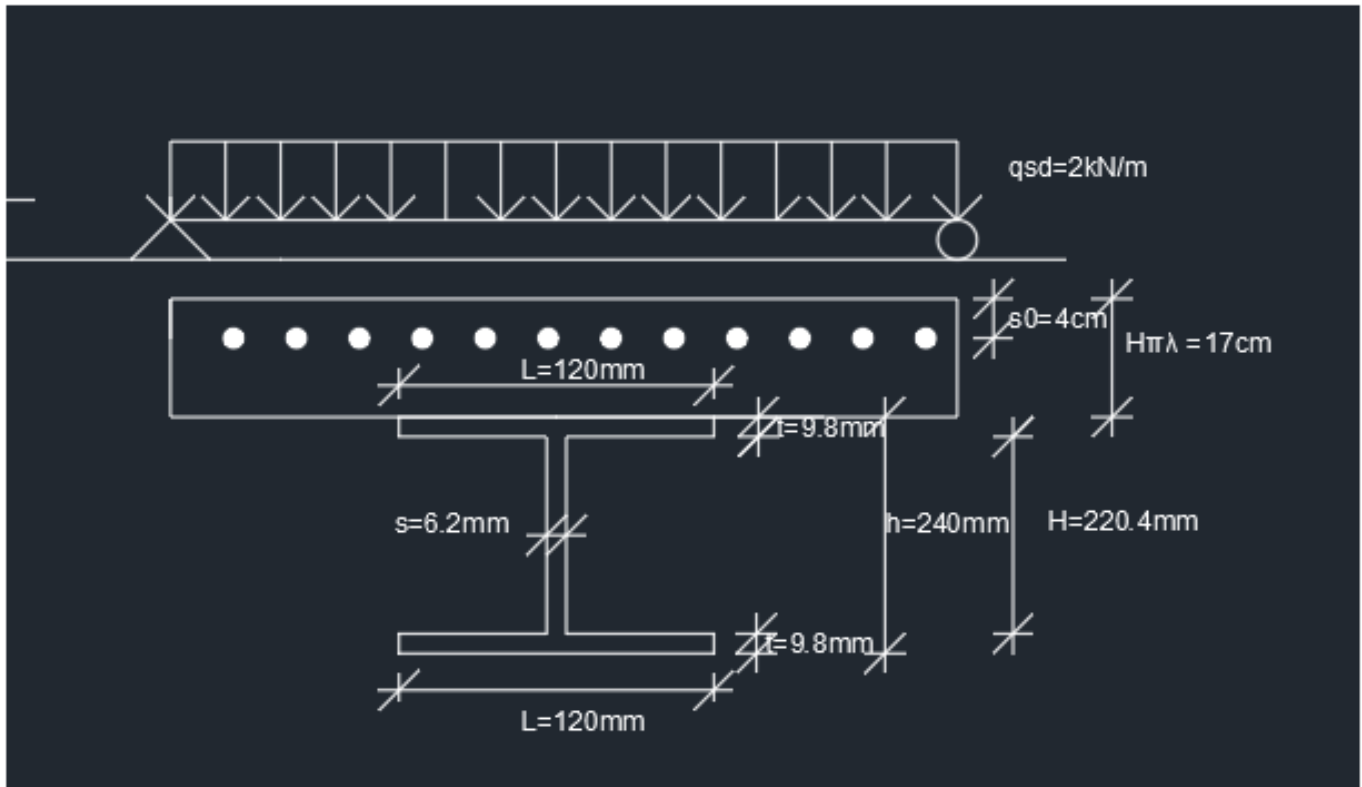
8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 206.80 \text{ kNm}$

$$767,02 \text{ kNm} \gg 206.80 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΑΣΚΗΣΗ:7

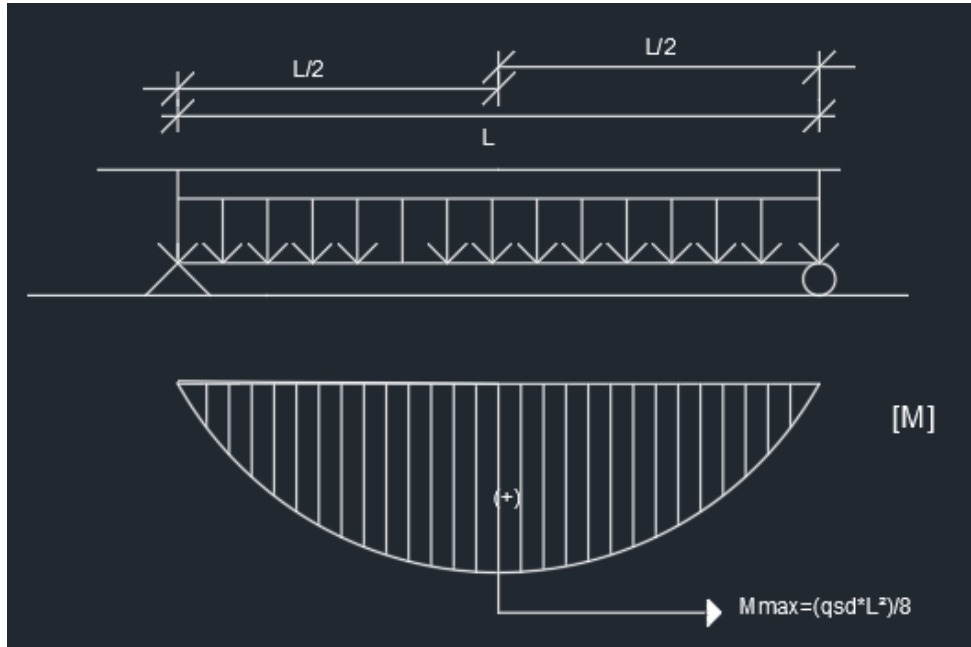


ΔΕΔΟΜΕΝΑ	H = 17cm
	IPE240
	C20/25
	S500c
	S235
	$q_{sd} = 2 \text{ kN/m}$
	$N_{sd} = 0$
	$s_0 = 4 \text{ cm}$

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής

1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές



Άνω Πέλμα: Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.

Κάτω Πέλμα: Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.

Κορμός: Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\epsilon = \sqrt{235/f_y}$	F_y (N/mm ²)	235	275	355
	E	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{220.4}{6.2} = 35.55$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

Γ_c	1.5
Γ_s	1.15
Γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

3. Επιφάνειες

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Σκυροδέματος: } A_c = 100 \times 17 = 1700 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Χάλυβα: } A_s = 4 \times \pi \times \frac{1.0^2}{4} = 3.14 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Άνω Πέλματος: } A_{A\Pi} = 12 \times 0.98 = 11.76 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Κορμού: } A_K = 22.04 \times 0.62 = 13.66 \text{ cm}^2$$

$$\color{red} \color{blue} \color{green} \color{purple} \color{brown} \text{ Επιφάνεια Κάτω Πέλματος: } A_{K\Pi} = 12 \times 0.98 = 11.76 \text{ cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{kN}{cm^2} \times 1700cm^2 = 1921kN$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{kN}{cm^2} \times 3.14cm^2 = 136.53 kN$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 11.76cm^2 = 276.36 kN$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{kN}{cm^2} \times 13.66cm^2 = 321.01 kN$$

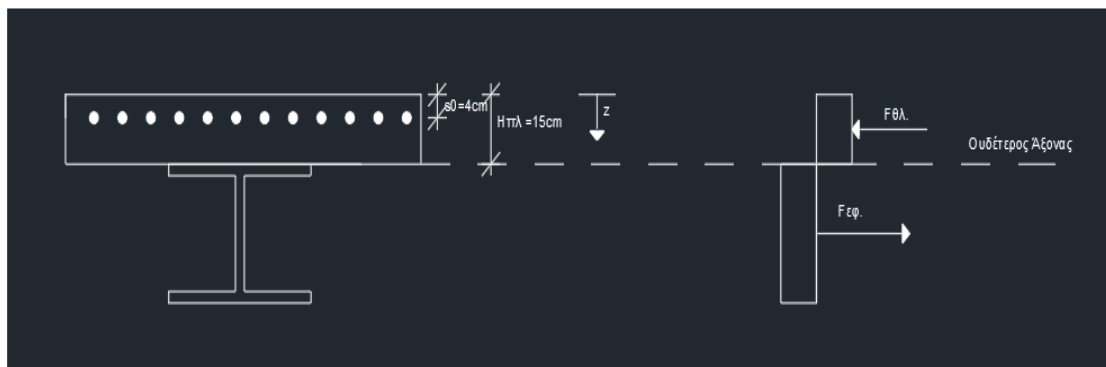
5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\lambda} = F_{\epsilon\phi}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C + F_S = 1921 + 136.53 = 2057.51 \text{ kN} \quad \textcircled{1}$$

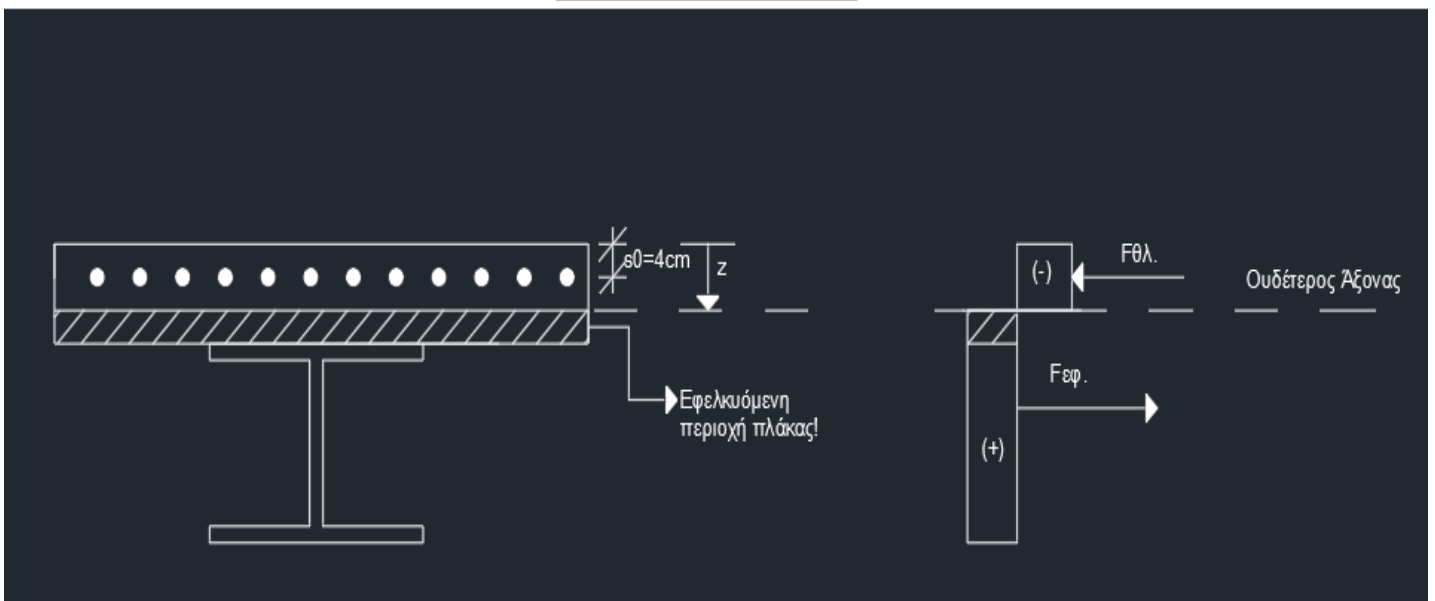
$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 276.36 + 321.01 + 276.36 = 873.73 \text{ kN} \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 15cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 17\text{cm}$$



$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 136.53 \text{ kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C,\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 873.73 \text{ kN} \quad (F_{C,\varepsilon\varphi} = 0 \text{ kN})$$

πρέπει: $113z_0 + 136.53 = 873.73 \text{ kN}$

$z_0 = 6.52 \text{ cm}$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 6.52 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 17 cm . Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 136.53 \text{ kN} = 113 \times 6.52 + 136.53 \approx 873.73 \text{ kN}$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$z_c^{\square\square} = \frac{\square_0}{2} = \frac{6.52}{2} = 3.26 \text{ cm}$

$z_s = 4 \text{ cm}$

$z_{A\Pi} = 17 + \frac{0.98}{2} = 17.49 \text{ cm}$

$z_{\kappa} = 17 + 0.98 + \frac{22.04}{2} = 29 \text{ cm}$

$z_{K\Pi} = 17 + 0.98 + 22.04 + \frac{0.98}{2} = 40.51 \text{ cm}$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$M_{pl,Rd} = -736.76(3.26 - 6.52) - 136.5(4 - 6.52) + 276.36(17.49 - 6.52) + 321.01(29 - 6.52) + 276.36(40.51 - 6.52)$

$M_{pl,Rd} = 22387.31 \text{ kNcm} = 223.87 \text{ kNm}$

8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq \square_{max}$ όπου $\square_{max} = 38.36 \text{ kNm}$

$$223,87 \text{ kNm} \gg 38.36 \text{ kNm}$$

Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.

ΔΕΛΟΜΕΝΑ	H =17cm
	IPE240
	C20/25
	S500c
	S235
	qsd= 2 kN/m
	Nsd=0
	s0=4cm

ΖΗΤΟΥΜΕΝΟ: Εύρεση μέγιστης ασκούμενης ροπής και επάρκειας διατομής1. Προκαταρκτική κατάταξη διατομής με παραδοχή καθαρής κάμψης δοκού.

- Για θετικές καμπτικές ροπές
- **Άνω Πέλμα:** Υποθέτουμε ότι μπορεί να βρίσκεται σε θλίψη οπότε παρά το γεγονός ότι απαιτείται έλεγχος κατάταξης δεν γίνεται καθώς η επαφή με τη πλάκα εξασφαλίζει την κατάταξη του άνω πέλματος στην **κατηγορία 1**.
- **Κάτω Πέλμα:** Επειδή το κάτω πέλμα βρίσκεται σε εφελκυσμό προκύπτει ότι κατατάσσεται στην **κατηγορία 1**.
- **Κορμός:** Η κατηγοριοποίηση του κορμού προκύπτει από την εύρεση του λόγου του μήκους του υπό εξέταση κορμού (hw) προς το πάχος του κορμού (tw). Στη περίπτωση που ο λόγος του ύψους προς το πάχος του κορμού προκύψει μικρότερος από το $72 \cdot \epsilon$, όπου ϵ είναι η αναλογία του παραμορφωμένου μήκους προς το αρχικό, τότε ο κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**, ενώ στη περίπτωση που ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από $72 \cdot \epsilon$ αλλά μικρότερος από $83 \cdot \epsilon$ τότε η διατομή του κορμού ανήκει στην **κατηγορία 2**.

$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$F_y (N/mm^2)$	235	275	355
	ε	1	0.92	0.81

$$\frac{hw}{tw} = \frac{220.4}{6.2} = 35.55$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**.
Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

Από τη παραπάνω σχέση συμπεραίνεται ότι κορμός ανήκει στην **κατηγορία 1**. Επομένως, αφού και τα δύο πέλματα και ο κορμός είναι στη κατηγορία 1, συμπεραίνεται ότι η διατομή όλης της δοκού ανήκει στην **κατηγορία 1**.

2. Πλαστική Ροπή Αντοχής

γ_c	1.5
γ_s	1.15
γ_a	1.0

- Σκυρόδεμα: C20/25 $\rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa} = 2 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Οπλισμού: B500c $\rightarrow f_{sk} = 500 \text{ MPa} = 50 \text{ kN/cm}^2$
- Χάλυβας Δοκού: S355 $\rightarrow f_{ya} = 235 \text{ MPa} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$

$$\color{red}{\oplus} f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \times 0.85 = 0.85 \times \frac{2}{1.5} = 1.13 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}{\oplus} f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN/cm}^2$$

$$\color{red}{\oplus} f_{ad} = \frac{f_{ya}}{\gamma_a} = \frac{23.5}{1} = 23.5 \text{ kN/cm}^2$$

4. Δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα

Οι δυνάμεις που μπορούν να παραλάβουν τα τμήματα ισούνται με το εμβαδόν του κάθε τμήματος επί την τάση που αναπτύσσεται σε αυτό .

$$F = f \times A$$

$$F_c = f_{cd} \times A_c = 1.13 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1700 \text{ cm}^2 = 1921 \text{ kN}$$

$$F_s = f_{sd} \times A_s = 43.48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 5.5 \text{ cm}^2 = 239.14 \text{ kN}$$

$$F_{A\Pi} = f_{ad} \times A_{A\Pi} = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 11.76 \text{ cm}^2 = 276.36 \text{ kN}$$

$$F_{K\Pi} = f_{ad} \times A_{K\Pi} = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 11.76 \text{ cm}^2 = 276.36 \text{ kN}$$

$$F_K = f_{ad} \times A_K = 23.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 13.66 \text{ cm}^2 = 321.01 \text{ kN}$$

5. Εύρεση ουδέτερου άξονα κατά ύψος

▪ **1η Υπόθεση**

Αρχικά, υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται στην διεπιφάνεια μεταξύ πλάκας και μεταλλικής δοκού.

Καθώς δεν ασκείται κάποια θλιπτική εξωτερική συγκεντρωμένη αξονική δύναμη πρέπει οι εσωτερικές θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται να είναι ίσες με τις εσωτερικές εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται εσωτερικά.

$$F_{\theta\Lambda} = F_{E\Phi}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_C + F_S = 1921 + 239.14 = 2160.14kN \quad \textcircled{1}$$

$$F_{E\Phi} = F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 276.36 + 321.01 + 276.36 = 873.73 kN \quad \textcircled{2}$$

Από τις σχέσεις $\textcircled{1}$ και $\textcircled{2}$ παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων θλιπτικών δυνάμεων και των εσωτερικά ασκούμενων εφελκυστικών δυνάμεων. Για να επιτευχθεί η ισότητα μεταξύ των εσωτερικά ασκούμενων δυνάμεων πρέπει να μειωθούν οι θλιπτικές δυνάμεις και ταυτόχρονα να αυξηθούν οι εφελκυστικές. Άρα, ο ουδέτερος άξονας πρέπει να ανέβει.

▪ **2η Υπόθεση**

Υποθέτουμε ότι ο ουδέτερος άξονας βρίσκεται μέσα στη πλάκα με απόσταση από την πάνω ακραία ίνα της πλάκας μεγαλύτερη από 4cm και μικρότερη από 17cm.

$$4\text{cm} \leq z_0 \leq 17\text{cm}$$

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S$$

$$F_C^{\theta\Lambda} = f_{cd} \times (z_0 \times 100) = 1.13 \times 100 \times z_0 = 113z_0$$

$$F_S = 239.14\text{kN}$$

$$F_{E\Phi} = F_{C,\varepsilon\varphi} + F_{A\Pi} + F_K + F_{K\Pi} = 873.73\text{ kN} \quad (F_{C,\varepsilon\varphi} = 0\text{ kN})$$

πρέπει: $113z_0 + 239.14 = 873.73\text{ kN}$

$$z_0 = 5.61\text{ cm}$$

Παρατηρούμε ότι το z_0 είναι 6.52 cm το οποίο είναι μεγαλύτερο του 4 cm και μικρότερο του 17 cm. Η τιμή αυτή είναι αποδεκτή.

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

$$F_{\theta\Lambda} = F_C^{\theta\Lambda} + F_S = 113z_0 + 239.14\text{kN} = 113 \times 6,52 + 239.14 \approx 873.73\text{ kN}$$

6. Αποστάσεις από Κέντρο Βάρους κάθε επιφάνειας

$$z_c^{\theta\Lambda} = \frac{z_0}{2} = \frac{5.61}{2} = 2.8 \text{ cm}$$

$$z_s = 4 \text{ cm}$$

$$z_{A\Pi} = 17 + \frac{0.98}{2} = 17,49 \text{ cm}$$

$$z_{\kappa} = 17 + 0.98 + \frac{22.04}{2} = 29 \text{ cm}$$

$$z_{K\Pi} = 17 + 0.98 + 22.04 + \frac{0.98}{2} = 40.51 \text{ cm}$$

7. Πλαστική Ροπή Αντοχής

$$M_{pl,Rd} = \sum F_i \times (z_i - z_0)$$

$$M_{pl,Rd} = -633.93(28 - 5.61) - 239.14(4 - 5.61) + 276.36(17.49 - 5.61) + 321.01(29 - 5.61) + 276.36(40.51 - 5.61)$$

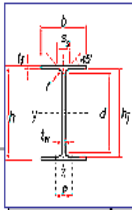
$$M_{pl,Rd} = 22602.89 \text{ kNcm} = 226.03 \text{ kNm}$$

8. Έλεγχος επάρκειας διατομής

πρέπει $M_{pl,Rd} \geq M_{max}$ όπου $M_{max} = 38.36 \text{ kNm}$

$$226.03 \text{ kNm} \gg 38.36 \text{ kNm}$$

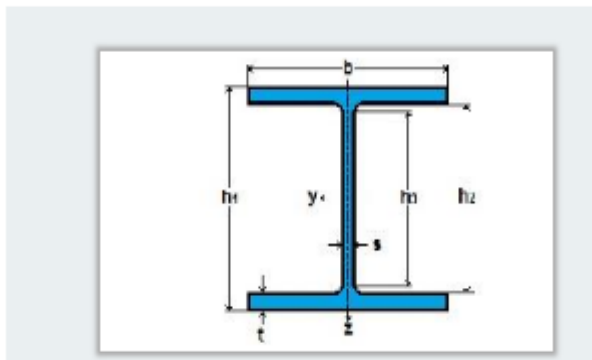
Παρατηρείται, από την παραπάνω σχέση, ότι η διατομή επαρκεί.



IPE - European Standard Beams
www.Structural-Drafting-Net-Expert.com
 Steel Sections Drafting Service Home page

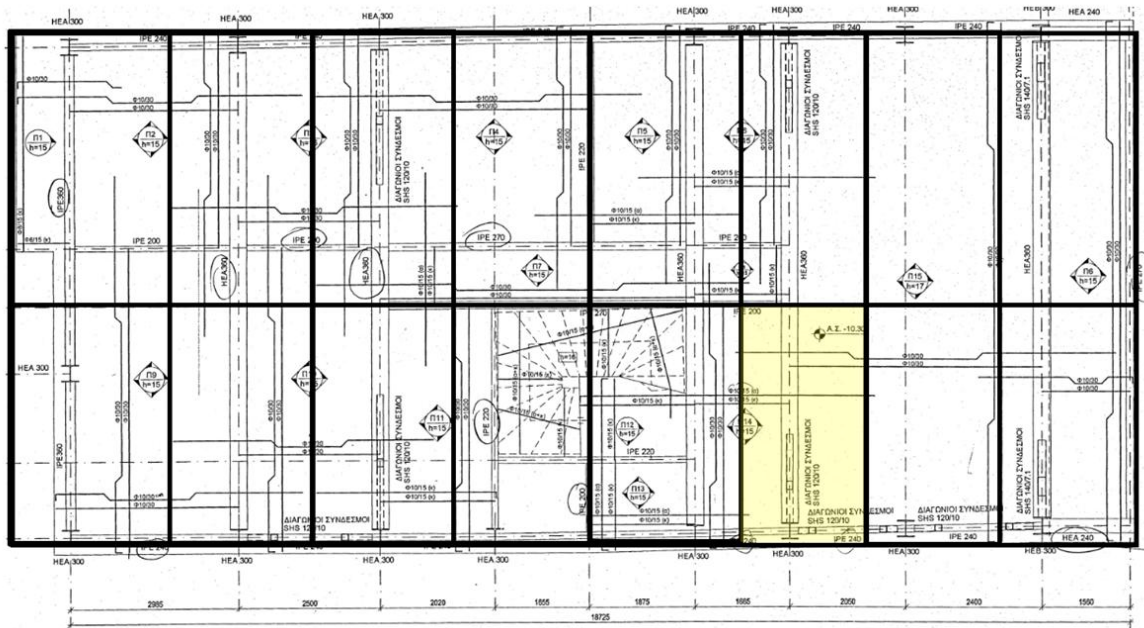
Designation	Dimensions					Area A mm ²	Weight G kg/m	Dimensions for detailing					Surface	
	h	b	t _w	t _f	r			h _i	d	Ø	P _{min}	P _{max}	A _L	A _G
	mm	mm	mm	mm	mm			mm	mm		mm	mm	mm	m ² /m
IPE 80	80	46	3.8	5.2	5.0	764	6.0	69.6	59.6	-	-	-	0.328	54.64
IPE 100	100	55	4.1	5.7	7.0	1030	8.1	88.6	74.6	-	-	-	0.400	49.33
IPE 120	120	64	4.4	6.3	7.0	1320	10.4	107.4	93.4	-	-	-	0.475	45.82
IPE 140	140	73	4.7	6.9	7.0	1640	12.9	126.2	112.2	-	-	-	0.551	42.70
IPE 160	160	82	5.0	7.4	9.0	2010	15.8	145.2	127.2	-	-	-	0.623	39.47
IPE 180	180	91	5.3	8.0	9.0	2390	18.8	164.0	146.0	M10	48	48	0.698	37.13
IPE 200	200	100	5.6	8.5	12.0	2850	22.4	183.0	159.0	M10	54	58	0.768	34.36
IPE 220	220	110	5.9	9.2	12.0	3340	26.2	201.6	177.6	M12	60	62	0.848	32.36
IPE 240	240	120	6.2	9.8	15.0	3910	30.7	220.4	190.4	M12	66	68	0.922	30.02
IPE 270	270	135	6.6	10.2	15.0	4590	36.1	249.6	219.6	M16	72	72	1.041	28.86
IPE 300	300	150	7.1	10.7	15.0	5380	42.2	278.6	248.6	M16	72	86	1.160	27.46
IPE 330	330	160	7.5	11.5	18.0	6260	49.1	307.0	271.0	M16	78	96	1.254	25.52
IPE 360	360	170	8.0	12.7	18.0	7270	57.1	334.6	298.6	M22	88	88	1.353	23.70
	400	180	8.6	13.5	21.0	8450	66.3	373.0	331.0	M22	96	98	1.467	22.12

Denumire si dimensiune profil	Greutate		Dimensiuni (mm)						Sectiune	Modulul sectiunii	
	kg / ml		h1	b	s	t	h2	h3	cm ²	cm ³	
	Teoretica	Comerciala							F	Wx	Wy
HEA 100	16,7	17,1	96	100	5,0	8,0	80	56	21,24	72,76	26,7
HEA 120	19,9	20,4	114	120	5,0	8,0	98	74	25,34	106,3	38,4
HEA 140	24,7	25,3	133	140	5,5	8,5	116	92	31,42	155,4	55,6
HEA 160	30,4	31,2	152	160	6,0	9,0	134	104	38,77	220,1	76,9
HEA 180	35,5	36,4	171	180	6,0	9,5	152	122	45,25	293,6	102,7
HEA 200	42,3	43,0	190	200	6,5	10,0	170	134	53,83	388,6	133,6
HEA 220	50,5	52,0	210	220	7,0	11,0	188	152	64,34	515,2	177,7
HEA 240	60,3	62,0	230	240	7,5	12,0	206	164	76,84	675,1	230,7
HEA 260	68,2	70,0	250	260	7,5	12,5	225	177	86,82	836,4	282,1
HEA 280	76,4	78,0	270	280	8,0	13,0	244	196	97,26	1013,0	340,2
HEA 300	88,3	90,0	290	300	8,5	14,0	262	208	112,50	1260,0	420,6
HEA 320	97,6	100,0	310	300	9,0	15,5	279	225	124,4	1479,0	465,7
HEA 340	105,0	108,0	330	300	9,5	16,5	297	243	133,50	1678,0	495,7
HEA 360	112,0	115,0	350	300	10,0	17,5	315	261	142,80	1891,0	525,8
HEA 400	125,0	128,0	390	300	11,0	19,0	352	298	159,00	2311,0	570,9



5.4 Στατική επίλυση μεταλλικού υποστηλώματος

Τμηματοποιούμε την κάτοψη μας, ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την φόρτιση ανά υποστώμα. Το συνολικό εμβαδόν της πλάκας είναι $8.865 \times 18725 = 166,00$ τ.μ., η οποία έχει διαιρεθεί σε 16 τμήματα, με εμβαδόν το κάθε ένα εξ αυτών $10,37$ τ.μ. Η πλάκα είναι πάχους $0,15$ μ.



Για τον υπολογισμό των φορτίων που δέχεται η πλάκα πρέπει να υπολογίσουμε τα μόνιμα και τα κινητά φορτία.

Υπολογισμός Μόνιμων Φορτίων

Η πλάκα είναι κατασκευασμένη από σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 με ίδιο βάρος φόρτισης 2500Kg/m^3 και συντελεστή ασφαλείας $1,15$. Οπότε η φόρτιση που δέχεται το υποστώμα λόγω της πλάκας υπολογίζεται σε

$$G_d = E \times d \times E.B \times 1.15 = 10.37 \times 0.15 \times 2500 \times 1.35 = 5249.80 \text{KN}$$

Υπολογισμός Κινητών Φορτίων

Για τον υπολογισμό των κινητών φορτίων θεωρούμε συντελεστή ασφαλείας 1,5 και φόρτιση 250Kg/m³.

$$Q_d = E \times E.B. \times 1.50 = 10.37 \times 2.5 \times 1.50 = 3888.75KN$$

$$Q_{ολ} = G_d + Q_d = 5249.8 + 3888.75 = 9138.55 KN$$

Το υποστύλωμα είναι μεταλλικό κατηγορίας HEA, (πλατύπελμες ελαφρού τύπου) τα χαρακτηριστικά της οποίας παρουσιάζονται ως εξής Δοκοί θερμής έλασης, με παράλληλες ωτίδες, χαρακτηριζόμενες με την ονομασία HEA, καθώς η ελαφρά σειρά IPBI αντιστοιχεί στην σειρά A κατά EURONORM 53-62, ποιότητας S235JR, S275JR και S355 κατά ΕΛΟΤ EN 10025.

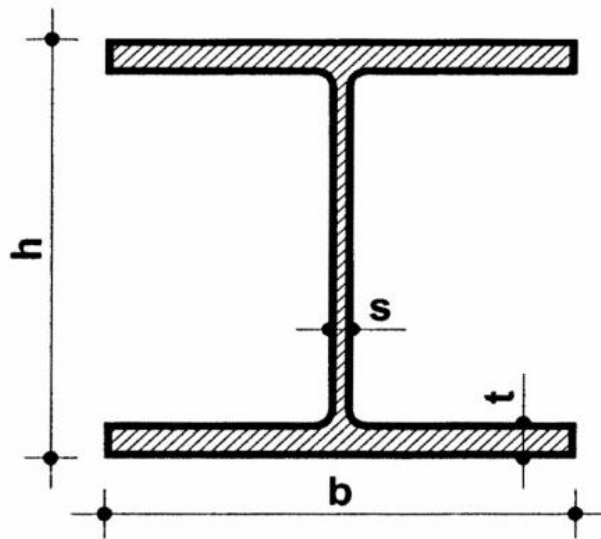
ύψος h : 96mm – 990mm

πλάτος b : 100mm – 300mm

πάχος s : 5mm – 16,5mm

μήκος δοκού: 4m – 15m

διαστάσεις, βάρος, ανοχή κατά ΕΛΟΤ-EN 10025



Προσδιορισμός Ορίου Διαρροής

Οι ονομαστικές τιμές αντοχής διαρροής f_y και της οριακής εφελκυστικής αντοχής αστοχίας f_u για ελατό χάλυβα εν θερμώ δίνονται στον ακόλουθο πίνακα για κατηγορίες χάλυβα Fe360, Fe430, Fe510, σύμφωνα με τον EN 10025 και για κατηγορίες χάλυβα Fe E 275, Fe E 355 σύμφωνα με τον prEN 10113.

Πίνακας 1 Ονομαστικές τιμές αντοχής διαρροής F_v και οριακής εφελκυστικής αντοχής αστοχίας για δομικούς χάλυβες κατά EN 10025 και prEN 10113

Ονομαστική Κατηγορία Χάλυβα	T<40mm		40mm<t<100mm	
EN 10025				
Fe 360	235	360	215	340
Fe 430	275	430	255	410
Fe 510	355	510	335	490
PrEN 10113				
Fe E 275	275	390	255	370
Fe E 355	355	490	335	470

Η ονομαστική κατηγορία χάλυβα που χρησιμοποιούμε στην περίπτωση μελέτης είναι Fe 360

Ο υπολογισμός γίνεται βάσει του τύπου

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Όπου το f_y το επιλέγουμε από τον ως άνω πίνακα., οπότε :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

Προσδιορισμός Κατηγορίας Διατομής

Η κατηγοριοποίηση της διατομής εξαρτάται από τον κορμό και το πέλαμα του στοιχείου. Η κατάταξη του κορμού γίνεται βάσει του πίνακα της επόμενης σελίδας, στον οποίο ελέγχουμε τη στήλη υπο θλίψη για Nsd και υπο κάμψη για Msd.

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικές τιμές του λόγου πλάτος προς πάχος μέλους της διατομής (7)

Εσωτερικά θλιβόμενα τμήματα						
				Αξονας κάμψης		
				Αξονας Κάμψης		
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	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	όταν $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ όταν $\alpha \leq 0,5$: $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	όταν $\psi > -1$: $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ όταν $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$			
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	f_y	235	275	355	420	460
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ εφαρμόζεται όπου η θλιπτική τάση $\sigma < f_y$, είτε η σφελκυστική παραμόρφωση $\varepsilon_y > f_y/E$

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικές τιμές του λόγου πλάτος προς πάχος μέλους της διατομής

Προεξέχοντα πέλματα						
Ελατές διατομές			Συγκολλητές διατομές			
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	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t < \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Κατανομή τάσεων στα τμήματα (θλίψη θετική)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Για k_σ βλέπε EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/F_y}$	F_y	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Βρίσκουμε το α που είναι η απόσταση του ουδέτερου άξονα από τον άξονα που χωρίζει την επιφάνεια της διατομής σε δύο ίσα τμήματα. Το α πρέπει να βρίσκεται μέσα στ όρια του 0 και του 1 και σε περίπτωση που το υπερβαίνει θα θεωρείται ίσο με 1. Το α υπολογίζεται από τον τύπο

$$\alpha = \frac{1}{d} \times \left(\frac{d}{2} + a \right)$$

Όπου,

$$\alpha = \frac{Nsd}{2 \times tw \times \frac{fy}{\gamma Mo}}$$

$$\alpha = \frac{9138.55}{2 \times 8,5 \times \frac{235}{1,1}} = \frac{9138.55}{3631.81} = 2.51.$$

Η κατηγορία της διατομής παίρνει την τιμή της μεγαλύτερης κατάταξης κορμού ή πέλματος.

Έλεγχος σε Θλίψη

Κατά τον έλεγχο σε θλίψη θα πρέπει να ικανοποιείται η εξής ανισότητα

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

Όπου :

$$N_{c,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M1}}$$

Στην περίπτωση όπου η ανίσωση ισχύει η διατομή επαρκεί σε θλίψη. Στην συνέχεια εξετάζουμε το δοκίμιο σε λυγισμό.

$$N_{c,Rd} = \frac{112.5 \times 10^2 \times 235}{1,1} = 2.403,41 \text{ KN}$$

Έλεγχος σε Κάμψη

Για συμπαγείς διατομές με δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικής αντοχής, δηλαδή διατομές κατηγοριών 1 και 2, ο υπολογισμός της καμπτικής φέρουσας ικανότητας μπορεί να γίνει με πλαστικές μεθόδους, κάνοντας κάποιες παραδοχές. Οι παραδοχές που γίνονται είναι:

- Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αγνοείται στους υπολογισμούς.
- Ισχύει η επιπεδότητα των διατομών χάλυβα – σκυροδέματος.
- Οι τάσεις στον χάλυβα και στο σκυρόδεμα φτάνουν την οριακή τιμή σχεδιασμού.
- Αγνοείται η συμβολή των χαλυβδόφυλλων στην ανάληψη τάσεων.
- Θεωρείται πλήρης ήλωση.

Επομένως οι οριακές πλαστικές ροπές $M_{pl,Rd}$, που προκύπτουν για κατηγορίες διατομών 1 και 2 δίνονται από τους επόμενους πίνακες ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται ο ουδέτερος άξονας στη διατομή και αν το πέλμα σκυροδέματος βρίσκεται σε ζώνη θλίψης ή εφελκυσμού. Κατά τον έλεγχο σε κάμψη θα πρέπει να ικανοποιείται η εξής ανισότητα

$$M_{y,sd} \leq M_{c,Rd}$$

Όπου :

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

Στην περίπτωση όπου η ανίσωση ισχύει η διατομή επαρκεί σε κάμψη.

Έλεγχος Λυγισμού

Στον έλεγχο λυγισμού εξετάζεται το φαινόμενο του πλευρικού λυγισμού. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο είναι :

- Οι συνοριακές συνθήκες
- Το είδος και η θέση των φορτίων, τα οποία επηρεάζουν την κατανομή της ροπής κατά
- μήκος της δοκού (δηλαδή τη μορφή του διαγράμματος καμπτικών ροπών)
- Το σημείο εφαρμογής των φορτίων καθ' ύψος της διατομής (κέντρο βάρους, άνω πέλμα, κάτω πέλμα)
- Επίδραση του σημείου εφαρμογής των φορτίων καθ' ύψος της διατομής (κέντρο βάρους, άνω πέλμα, κάτω πέλμα)

Για την ικανοποίηση του ελέγχου πρέπει $N_{sd} > N_{d,rd}$, όπου

$$N_{d,rd} = \chi * \frac{\beta \alpha * A * f_y}{\gamma M_1}$$

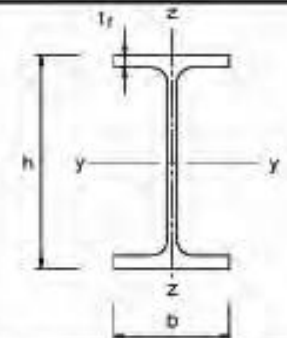
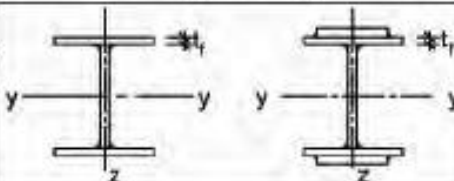

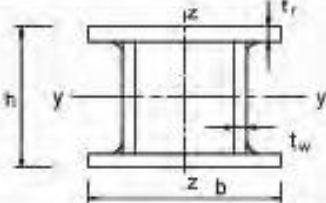
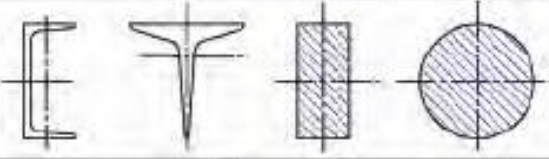
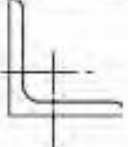
Το χ είναι μειωτικός συντελεστής που προσδιορίζεται από την αδιάστατη λυγηρότητα λ που προκύπτει από την παρακάτω σχέση

$$\lambda = \frac{\lambda}{\lambda_1} * \sqrt{\beta A}$$

Το λ παίρνει δύο διαφορετικές τιμές σε σχέση με τον άξονα λυγισμού. Για άξονα y-y είναι $\lambda_y = \frac{l}{i_y}$ και για άξονα z-z είναι $\lambda_z = \frac{l}{i_z}$ και καταλήγοντας σε δύο $\bar{\lambda}$ το $\bar{\lambda}_y$ και το $\bar{\lambda}_z$

Στην συνέχεια πάμε στον πίνακα και βλέπουμε ποια καμπύλη λυγισμού με τις ανάλογες συνθήκες ανήκει στον ανάλογο άξονα.

Πίνακας 4 Επιλογή καμπύλης λυγισμού για δεδομένη διατομή

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

Πίνακας λυγισμού

λ	a	b	c	d
0.2	1	1	1	0.9491
0.3	0.9775	0.9641	0.9491	0.8973
0.4	0.9528	0.9261	0.8973	0.843
0.5	0.9243	0.8842	0.843	0.7854
0.6	0.89	0.8371	0.7854	0.7247
0.7	0.8477	0.7837	0.7247	0.6622
0.8	0.7957	0.7245	0.6622	0.5998
0.9	0.7339	0.6612	0.5998	0.5399
1	0.6656	0.597	0.5399	0.4842
1.1	0.596	0.5352	0.4842	0.4338
1.2	0.53	0.4781	0.4338	0.3888
1.3	0.47003	0.4269	0.3888	0.3492
1.4	0.4179	0.3817	0.3492	0.3145
1.5	0.3724	0.3422	0.3145	0.2842
1.6	0.3332	0.3079	0.2842	0.2577
1.7	0.2994	0.2781	0.2577	0.2345
1.8	0.2702	0.2521	0.2345	0.2141
1.9	0.2449	0.2294	0.2141	0.2229
2	0.2229	0.2095	0.2229	0.2036
2.1	0.2036	0.192	0.2036	0.1867
2.2	0.1867	0.1765	0.1867	0.1717
2.3	0.1717	0.1628	0.1717	0.1585
2.4	0.1585	0.1506	0.1585	0.1467
2.5	0.1467	0.1397	0.1467	0.1362
2.6	0.1362	0.1299	0.1362	0.1267
2.7	0.1267	0.1211	0.1267	0.1182
2.8	0.1182	0.1132	0.1182	0.1105
2.9	0.1105	0.106	0.1105	0.1036
3	0.1036	0.0994	0.1036	0.9491

Κάνουμε γραμμική παρεμβολή

λy	b	λz	c
0.9	0.6612	1.5	0.3145
0.93	0.642	1.51	0.311
1	0.597	1.6	0.2842

$$N_{d,rd} = 0,311 \times \frac{1 \times 112,5 \times 10^2 \times 235}{1,1} = 747,46 \text{ KN}$$

Πρέπει

$$N_{sd} > N_{d,rd} = 2.403,41 \text{ KN} > 747.46 \text{ KN}$$

ΙΣΧΥΕΙ

Κεφάλαιο 6: Ανακεφαλαίωση και προοπτικές

Στις σύμμικτες κατασκευές ηλώνονται μεταλλικοί φορείς ή δοκοί με μέλη σκυροδέματος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε μεταξύ τους αναπτύσσεται μία κοινή και ισχυρή σύμμικτη δράση. Στην βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων της διατομής με την άμεση συνάρτηση <<θλίψη στο σκυρόδεμα>> και <<εφελκυσμός στο μεταλλικό μέλος>> συνεισφέρουν τα αξιόπιστα δομικά υλικά σκυρόδεμα και χάλυβας. Σήμερα οι φέρουσες ικανότητες των υλικών αξιοποιούνται σε μεγάλο βαθμό, ενώ μπορούν να ανακυκλωθούν χωρίς ιδιαίτερες δυσκολίες.

Οι σύμμικτες κατασκευές είναι πλέον γρήγορες στην εκτέλεση, και απαιτούν χαμηλά βάρη συναρμογής, ιδιαίτερα τότε, όταν χρησιμοποιούνται φατνωματικά χαλυβδόφυλλα. Ο ψηλός βαθμός προκατασκευής μετατρέπει το εργοτάξιο σε χώρο καθαρής συναρμογής με <<just in time>> παράδοση προκατασκευασμένων μελών. Από εκεί προκύπτουν σημαντικά οφέλη για κατασκευές σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές με περιορισμένη ελευθερία χώρων, ιδιαίτερα δε για σύμμικτες υπόγειες κατασκευές.

Ο εγκιβωτισμός των κορμών μεταλλικών δοκών αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις των τελευταίων 15 χρόνων. Αυξάνει σημαντικά την πυραντίσταση της κατασκευής, χωρίς να περιορίζει τις δυνατότητες εγκατάσταση παροχών και αποχετεύσεων.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε, ότι υπάρχουν αρκετοί λόγοι να στραφεί κανείς προς την σύμμικτη εκτέλεση μιας κατασκευής. Από την άλλη πλευρά όμως, η σύμμικτη εκτέλεση μιας κατασκευής δεν μπορεί να υλοποιηθεί εάν δεν τηρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.

Ο κύριος και ο ανάδοχος του ενός έργου γωρίζουν, ότι η εκτέλεση μίας κατασκευής σαν σύμμικτη είναι γρήγορη, ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες, με μικρούς χρόνους ανέγερσης και σίγουρο προγραμματισμό.

Ωστόσο, η διαστασιολόγηση των μεταλλικών δοκών, φορέων και ελασμάτων πρέπει να γίνει νωρίς, ώστε αυτά να μπορέσουν να παραγγελθούν έγκαιρα και να επεξεργασθούν στο εργοστάσιο. Αυτό μπορεί φυσικά να οδηγήσει σε προβλήματα, όταν ο προγραμματισμός των εγκαταστάσεων παροχών και αποχέτευσης πρέπει να γίνεται παράλληλα με την πορεία του έργου, κάτι το οποίο συμβαίνει κατά κανόνα. Αλλά και εκεί υπάρχουν λύσεις, οι οποίες ξεκινούν από την επίπεδη οροφή με εγκιβωτισμένους μεταλλικούς φορείς με αρκετά μεγάλα τετραγωνικά ανοίγματα, και φτάνουν μέχρι την στοιβαζόμενη διάταξη κύριων και δευτερεύοντων φορέων.

Το επιλεγμένο δομικό σύστημα δεν προσδιορίζει μόνο το κόστος του φέροντος οργανισμού, αλλά επηρεάζει σημαντικά και το κόστος της εσωτερικής διαμόρφωσης των χώρων, των λειτουργικών εγκαταστάσεων, καθώς και το κόστος μιας ενδεχόμενης μετατροπής χρήσης κτιρίου. Για το λόγο αυτό, απαιτείται μία σφαιρική εξέταση της κατασκευής, και όχι η μεμονωμένη μελέτη δομικών μελών και συγκεκριμένων εσωτερικών διαρρυθμίσεων. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί με ολοκληρωμένο σχεδιασμό, μία αρκετά απαιτητική εργασία για τον μελετητή μηχανικό, σε συνεργασία με τον αρχιτέκτονα, τον εργαλάβο μηχανικό και τους λοιπούς εμπλεκόμενους στο έργο. Μία τέτοια συνεργασία σε βάσεις εμπιστοσύνης, πέρα από κατασκευαστικούς και οικονομικούς περιορισμούς, είναι αρκετά κοπιαστική, αλλά η ανταμοιβή είναι μεγάλη, όταν το έργο ολοκληρώνεται με επιτυχία.

Οι οικονομικές αναλύσεις δείχνουν, ότι από την μία πλευρά το κόστος κατασκευής του φέροντος οργανισμού ανέρχεται σε πολλές περιπτώσεις μόλις στο 15-30% του συνολικού κόστους, από την άλλη πλευρά οι κατασκευαστικές εταιρείες έχουν δυσκολίες να πετύχουν τιμές, οι οποίες να καλύπτουν το κοστολόγιο τους. Αυτό θα έπρεπε να δημιουργεί αμφιβολίες για οποιαδήποτε σύγκριση οικονομικών μεγεθών. Κατά κανόνα, η σύμμικτη λύση δεν πρέπει να είναι ακριβότερη από τον ανταγωνισμό, ώστε τελικά να αποτελέσει και την επιλογή. Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν ξεκινούν από την ταχύτητα συναρμογής μέχρι το μεγάλος πλήθος εναλλακτικών λύσεων σχετικά με τις εγκαταστάσεις λειτουργίας και εσωτερικής διαρρύθμισης. Εδώ παίζει και η χρήση χαλυβδόφυλλων ένα σημαντικό ρόλο. Δεν συμβάλλουν απλώς στην ταχεία ανέγερση, αλλά προσφέρονται και σαν ιδανικά μέσα ανάρτησης και στήριξης.

Η εγκατάσταση του εξοπλισμού λειτουργίας και η εσωτερική διαμόρφωση σε κτιριακά έργα γίνεται ιδιαίτερα εύκολη με την χρήση επίπεδων ορόφων. Εδώ αποτελεί η επίπεδη οροφή με εγκιβωτισμένες μεταλλικές δοκούς -η επονομαζόμενη λεπτότοιχη οροφή slim-floor – μία πολύ ενδιαφέρουσα καινοτομία, η οποία καθιστά τη χρήση χάλυβα πάλι ανταγωνιστική, ακόμη και για μικρά ανοίγματα από 6m και πάνω. Ήδη έχουν αναφερθεί τέτοιες κατασκευές στην Κ. Ευρώπη, αλλά είναι γνωστό, ότι οι οροφές αυτές έχουν κατακτήσει σημαντικά μερίδια στις αγορές των σκανδιναβικών χωρών. Φυσικά, εκεί παίζει ένα ιδιαίτερο ρόλο και ο μακρύς, κρύος χειμώνας, καθώς αυτός απαιτεί γρήγορα, σχεδόν στεγνή εγκατάσταση.

Την παρούσα περίοδο βελτιώνονται ήδη γνωστά δομικά συστήματα και αναπτύσσονται νέα. Σε αυτά ανήκουν οροφές με προκατασκευασμένες πλάκες σκυροδέματος μεγάλων διαστάσεων, με ψηλά τραπεζοειδή χαλυβδόφυλλα και εγκιβωτισμένες μεταλλικές δοκούς.

Η αυξανόμενη διάδοση σύμμικτων κατασκευών και η προσοχή, με την οποία αντιμετωπίζονται, δείχνουν, ότι αυτός ο τύπος κατασκευής αποτελεί μία ενδιαφέρουσα και ανταγωνιστική λύση, όχι μόνο για λόγους τεχνολογίας και εκτέλεσης, αλλά και για οικονομικούς λόγους. Στον τομέα των μεταλλικών κατασκευών αποτελούν πλέον απαραίτητο συστατικό, και επίσης και η βιομηχανία κατασκευών σκυροδέματος σχεδιάζει και χτίζει σύμμικτα, εάν προσφέρονται οι κατάλληλες προϋποθέσεις. Τέλος, τα πλαίσια υλοποίησης σύμμικτων κατασκευών ορίζονται από τον κανόνα <<το σωστό δομικό υλικό και το σωστό δομικό μέλος στη σωστή θέση>>.