



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ
ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 2 (ΝΕΝ-ΕΝ 1992-1-1) ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ
ΠΛΑΙΣΙΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Εγγλέζου Αντιγόνη

Επιβλέπων: Καττής Μαρίνος
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2009

**ANALYSIS AND DESIGN OF FLAT SLABS OF
CONCRETE STRUCTURES ACCORDING TO EC2
(NEN-EN 1992-1-1) AND EQUIVALENT FRAME
METHOD**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, που εκπονήθηκε παράλληλα με την εργασία "Ανάλυση και σχεδιασμός πλακών χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (NEN-EN 1992-1-1) με την άμεση μέθοδο" , είναι να αξιοποιήσει την υπάρχουσα εμπειρία άλλων χωρών πάνω στην ανάλυση και σχεδιασμό πλακών χωρίς δοκούς. Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου, όπως αυτή περιγράφεται στους κανονισμούς του ACI 318-05 και BS 8110, φέρνεται μαζί με τις αρχές ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς που προτείνει ο EC2 διαμορφώνοντας μια συστηματική μεθοδολογία ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς.

ABSTRACT

For the analysis and design of flat slabs of concrete structures, a systematic methodology is presented based upon the equivalent frame method and on the EC2 (NEN-EN 1992-1-1) requirements. The methodology is then applied to the design of specific flat slab of a multistory concrete structure. Particular attention is given to the shear punching strength analysis of the slab according to EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου.....	4
1.1 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τους Κώδικες ACI 318-05, BS 8110, EC2 (NEN-EN 1992-1-1).....	4
1.1.1 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τον Κώδικα ACI 318-05.....	4
1.1.2 Η μέθοδος του ισοδύναμου υποστηλώματος σύμφωνα με τον BS 8110	10
1.1.3 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τον EC2 (NEN- EN 1992-1-1).....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Διάτρηση πλακών χωρίς δοκούς.....	23
2.1 Διάτρηση πλακών σύμφωνα με τον EC2(NEN-EN 1992-1-1).....	23
2.2 Διατμητική αντοχή σε διάτρηση πλακών των βάσεων υποστηλωμάτων χωρίς διατμητικό οπλισμό.....	37
2.3 Διατμητική αντοχή σε διάτρηση πλακών των βάσεων υποστηλωμάτων με διατμητικό οπλισμό.....	39
2.4 Η πλάκα στα εσωτερικά υποστηλώματα.....	42
2.5 Η πλάκα στα ακριανά και γωνιακά υποστηλώματα	43
2.6 Διατμητικός οπλισμός διάτρησης	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον EC2(NEN-EN 1992-1-1).....	46
3.1 Τα βήματα της ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς.....	46
3.2 Σχεδιασμός έναντι οριακών καταστάσεων και λειτουργικότητας.....	48
3.3 Λεπτομέρειες όπλισης.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εφαρμογή της προτεινόμενης διαδικασίας ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς σε πλάκα βιομηχανικού κτιρίου	54
4.1 Δεδομένα βιομηχανικού κτιρίου	54
4.2 Ανάλυση και σχεδιασμός.....	55
4.3 Έλεγχοι σε διάτρηση	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	86
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην ανάλυση και στο σχεδιασμό του δομικού συστήματος μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, η συνήθης πρακτική στην Ελλάδα, αλλά και σε άλλες χώρες, είναι να αναλύονται ξεχωριστά τα δομικά στοιχεία των πλακών από το υπόλοιπο δομικό σύστημα, που συνήθως αποτελεί ένα χωρικό πλαίσιο γραμμικών στοιχείων. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των αντιδράσεων των πλακών μεταφέρονται ως φορτία στο χωρικό πλαίσιο. Στην πρακτική αυτή, η επίδραση της ακαμψίας των πλακών στην ακαμψία του χωρικού πλαισίου παίρνεται υπόψη με το ισοδύναμο πλάτος των πλακοδοκών, ενώ η επίδραση της ακαμψίας του χωρικού πλαισίου στις πλάκες δε λαμβάνεται υπόψη. Η τελευταία απλοποίηση φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα των πλακών που στηρίζονται σε δοκούς, όπου στην ανάλυσή τους παίρνονται υπόψη μόνο τα οριζόντια στοιχεία των δοκών που στηρίζουν τις πλάκες. Όμως, στην ανάλυση των πλακών που στηρίζονται απευθείας σε υποστηλώματα, η επίδραση της ακαμψίας των κατακόρυφων στοιχείων στην ανάπτυξη των ροπών στις πλάκες γίνεται σημαντική.

Στην περίπτωση των πλακών χωρίς δοκούς, παράλληλα με τα παραπάνω κάνει την εμφάνισή της το φαινόμενο της διάτρησης, που δε συναντάται στις πλάκες με δοκούς. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με τη συγκεντρωμένη δράση των φορτίων των υποστηλωμάτων, όταν αυτά εδράζουν ή υποστηλώνουν πλάκες με λεπτό πάχος. Η κάθετη δράση μεγάλων συγκεντρωμένων φορτίων σε λεπτά επιφανειακά στοιχεία, όπως είναι οι πλάκες και τα κελύφη, προκαλούν την ανάπτυξη μεγάλων κατακόρυφων διατμητικών τάσεων, τοπικά στην περιοχή έδρασης ή υποστήλωσης, που έχει σαν αποτέλεσμα τη διατμητική αστοχία των πλακών.

Σε αντίθεση με τους κανονισμούς άλλων χωρών, όπως για παράδειγμα στην Αμερική και στην Αγγλία, οι μέχρι τώρα Ελληνικοί κανονισμοί σκυροδέματος δεν έχουν δώσει την απαραίτητη έμφαση στον σχεδιασμό των πλακών χωρίς δοκούς. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι στην καθημερινή πρακτική ο Έλληνας μηχανικός αποφεύγει την επιλογή αυτής της λύσης, ακόμα και στις περιπτώσεις όπου

αυτή επιβάλλεται. Ο Ευρωκώδικας 2 (NEN-EN 1992-1-1), που πρόκειται να εφαρμοστεί υποχρεωτικά από το Μάρτιο του 2010 σε όλες τις χώρες της Ευρώπης, δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ανάλυση και στο σχεδιασμό πλακών χωρίς δοκούς. Για την ανάλυση των πλακών αυτών ο EC2 προτείνει τη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου, μια μέθοδο που μαζί με την άμεση μέθοδο χρησιμοποιείται στην Αμερική και στην Αγγλία πάνω από πενήντα χρόνια. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Ελληνικοί κανονισμοί που ισχύουν σήμερα, που αποτελούν ουσιαστικά μια έκδοση του παλιού EC2, προτείνουν τη μέθοδο αυτή ως μέθοδος ανάλυσης των πλακών χωρίς δοκούς, μια μέθοδο άγνωστη στην ελληνική πρακτική. Παράλληλα με τη μέθοδο ανάλυσης ο EC2 (NEN-EN 1992-1-1) στη νέα του έκδοση που πρόκειται να εφαρμοστεί, εισηγείται και μια σειρά βασικών αρχών για την ανάλυση και το σχεδιασμό σε διάτρηση των πλακών αυτών. Οι βασικές αυτές αρχές διαφέρουν ριζικά από εκείνες που υπάρχουν στους ισχύοντες κανονισμούς άλλων χωρών.

Η παρούσα διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε παράλληλα με τη διπλωματική εργασία 'Ανάλυση και σχεδιασμός πλακών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (NEN-EN 1992-1-1) με την άμεση μέθοδο' εστιάζει στη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου. Στις δύο αυτές εργασίες παρουσιάζονται και αναλύονται οι δύο βασικές μέθοδοι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στους Κώδικες του ACI 318-05 και BS 8110: η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου και η άμεση μέθοδος. Βασικός σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιοποιήσει την υπάρχουσα εμπειρία που έχει αποκτηθεί σε άλλες χώρες πάνω στην ανάλυση και σχεδιασμό των πλακών χωρίς δοκούς, έτσι όπως έχει καταγραφεί στη σχετική βιβλιογραφία των χωρών αυτών και έχει ενσωματωθεί στους σχετικούς κανονισμούς. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου, έτσι όπως αυτή χρησιμοποιείται στους κανονισμούς του ACI 318-05 και BS 8110, φέρνεται μαζί με τις αρχές ανάλυσης και σχεδιασμού σε διάτρηση πλακών χωρίς δοκούς που προτείνει ο EC2 διαμορφώνοντας έτσι μια συστηματική μεθοδολογία ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής επιδεικνύεται με ένα συγκεκριμένο παράδειγμα, που είναι η ανάλυση και ο σχεδιασμός μιας πλάκας βιομηχανικού κτιρίου χωρίς δοκούς.

Στο κεφάλαιο 1 της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου, έτσι όπως αυτή περιγράφεται στους τρεις Κώδικες: ACI 318-05, BS 8110,

EC2 (NEN-EN 1992-1-1). Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές για το σχεδιασμό σε διάτρηση των πλακών χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον EC2. Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται και συζητούνται οι βασικές αρχές ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς, έτσι όπως αυτές προτείνονται από τον EC2. Τέλος στο κεφάλαιο 4, τα παραπάνω εφαρμόζονται στην ανάλυση και στο σχεδιασμό μιας πλάκας ενός βιομηχανικού κτιρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

1.1 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τους Κώδικες ACI 318-05, BS 8110, EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

1.1.1 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τον Κώδικα ACI 318-05

Γενικά

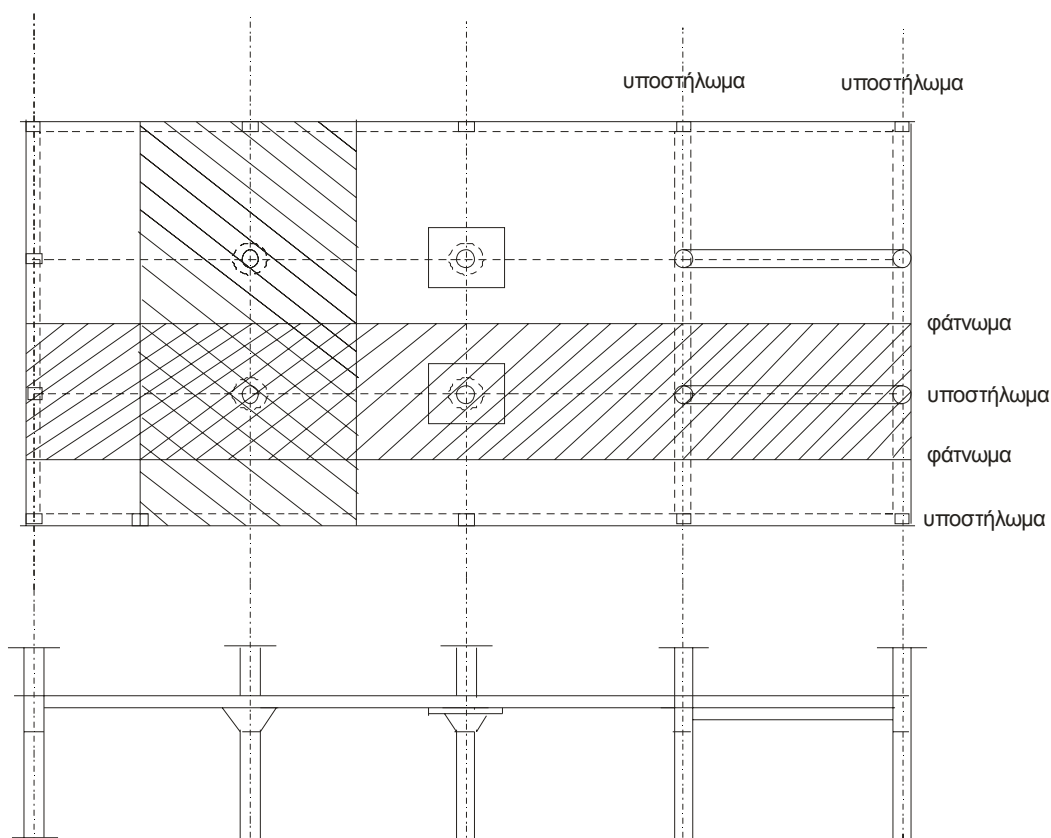
Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου αναπτύχθηκε από τον Peabody το 1948 και ενσωματώθηκε στον κώδικα ACI του 1960 σαν *σχεδιασμός με την ελαστική μέθοδο*. Η μέθοδος επεκτάθηκε ευρέως και τελειοποιήθηκε βασιζόμενη σε έρευνες που έγιναν τη δεκαετία του 1960. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο σημερινό κώδικα ACI σαν μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου.

Είναι προφανές ότι η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου έχει αναπτυχθεί με την υπόθεση ότι η ανάλυση μπορεί να γίνει με την μέθοδο διανομής των ροπών. Εάν η ανάλυση πραγματοποιηθεί με υπολογιστή, χρησιμοποιώντας ένα τυπικό πρόγραμμα ανάλυσης πλαισίου, τότε απαιτούνται ειδικές τεχνικές μοντελοποίησης.

Διαίρεση της κατασκευής σε ισοδύναμα πλαίσια

Με τη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου η κατασκευή διαιρείται σε συνεχή πλαίσια κεντραρισμένα στις γραμμές των υποστηλωμάτων και εκτεινόμενα κατά μήκος και εγκάρσια, όπως δείχνεται στις σκιαγραμμισμένες λωρίδες στο Σχήμα 1-1. Κάθε

πλαίσιο συντίθεται από μια σειρά υποστηλωμάτων και από μια εκτεταμένη συνεχή δοκό. Η δοκός, ή η πλάκα-δοκός, συμπεριλαμβάνει το τμήμα της πλάκας που φράσσεται από τις κεντρικές γραμμές του πάνελ σε κάθε πλευρά των υποστηλωμάτων, μαζί με τις δοκούς που βρίσκονται στις γραμμές των υποστηλωμάτων, ή τις διαπλατύνσεις των φατνωμάτων, εάν αυτές χρησιμοποιούνται. Για κατακόρυφες φορτίσεις, κάθε πλάκα με τα υποστηλώματά της μπορεί να αναλυθεί ξεχωριστά, υποθέτοντας ότι τα υποστηλώματα είναι πακτωμένα στις πλάκες πάνω και κάτω. Στον υπολογισμό της καμπτικής ροπής σ' ένα στήριγμα είναι αρκετά βολικό και αρκετά ακριβές να υποτεθεί ότι το συνεχές πλαίσιο είναι πλήρως πακτωμένο, όχι στο δεδομένο στήριγμα, αλλά σε θέση δύο πλαισίων πέρα από αυτό, δεδομένου ότι το πλαίσιο συνεχίζει πέρα από αυτό το σημείο.



Σχήμα 1-1: Το ισοδύναμο πλαίσιο σύμφωνα με τον Κώδικα ACI 318-05

Ροπή αδράνειας της δοκού-πλάκας

Οι ροπές αδράνειας που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση πρέπει να βασίζονται στην πλήρη διατομή του σκυροδέματος, αμελώντας τον οπλισμό, αλλά μεταβολές στη διατομή κατά μήκος του άξονα του μέλους πρέπει να παίρνονται υπόψη.

Για τις λωρίδες-δοκούς, η πρώτη μετάβαση της ροπής αδράνειας στο μέσον της δοκού συμβαίνει στην άκρη της διαπλάτυνσης του φατνώματος, αν υπάρχουν τέτοιες διαπλάτυνσεις. Η επόμενη μετάβαση συμβαίνει στην άκρη του υποστηλώματος ή στη διαπλατυσμένη κεφαλή του. Ενώ η ακαμψία της λωρίδας-πλάκας θα μπορούσε να θεωρηθεί άπειρη μέσα στα όρια του υποστηλώματος, ή μέσα στις διαπλατυσμένες κεφαλές, σε θέσεις κοντά στις κεντρικές γραμμές του φατνώματος (σε κάθε λωρίδα πλάκας) η ακαμψία είναι μικρότερη. Σύμφωνα με την διάταξη 13.1.3 του ACI 318-05, από το κέντρο του υποστηλώματος μέχρι την παρειά του υποστηλώματος ή την διαπλάτυνση της κεφαλής, η ροπή αδράνειας της πλάκας λαμβάνεται ίση με την τιμή στην παρειά του υποστηλώματος ή της διαπλάτυνσης, διαιρεμένη με την ποσότητα $(1 - c_2 / l_2)^2$, όπου c_2 είναι η πλευρά του υποστηλώματος ή της διαπλατυσμένης κεφαλής και l_2 είναι το άνοιγμα του φατνώματος, μετρημένα και τα δύο κάθετα στη διεύθυνση στην οποία προσδιορίζεται η ροπή.

Οι μεταβολές αυτές στις ροπές αδράνειας έχουν ως αποτέλεσμα η ροπή αδράνειας να μεταβάλλεται βηματικά κατά μήκος των στοιχείων. Οι συντελεστές ακαμψίας, οι συντελεστές μεταβίβασης, και οι συντελεστές ομοιόμορφου φορτίου αμφίπακτης δοκού που χρειάζονται για την ανάλυση με τη μέθοδο διανομής των ροπών παρέχονται σε κατάλληλους πίνακες.

Το ισοδύναμο υποστήλωμα

Στη μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου, τα υποστήλωματα θεωρούνται ότι είναι προσκολλημένα στη συνεχή δοκό-πλάκα με στρεπτικά μέλη τα οποία είναι κάθετα στη διεύθυνση του ανοίγματος. Το στρεπτικό μέλος επεκτείνεται στις κεντρικές γραμμές του φατνώματος οριοθετώντας κάθε πλευρά της εξεταζόμενης δοκού-πλάκας. Η στρεπτική παραμόρφωση αυτών των εγκάρσιων μελών υποστήριξης

μειώνει την ισοδύναμη καμπτική ακαμψία που παρέχεται από το πραγματικό υποστήλωμα στη στήριξη. Αυτή η επίδραση παίρνεται υπόψη στην ανάλυση με τη χρήση αυτού, που καλείται ισοδύναμο υποστήλωμα έχοντας ακαμψία μικρότερη από αυτή του πραγματικού υποστηλώματος.

Η δράση ενός υποστηλώματος και του εγκάρσιου στρεπτικού στοιχείου διευκρινίζεται στο Σχήμα 1-2, που δείχνει το υποστήλωμα και την εγκάρσια δοκό στο εξωτερικό υποστήριγμα μιας συνεχούς λωρίδας πλάκας-δοκού. Από το σχήμα αυτό είναι ξεκάθαρο ότι ο περιστροφικός περιορισμός που παρέχεται στο τέλος του ανοίγματος της πλάκας στη διεύθυνση l_1 , επηρεάζεται όχι μόνο από την καμπτική ακαμψία του υποστηλώματος, αλλά και από τη στρεπτική ακαμψία στην άκρη της δοκού AC. Με τη διανεμημένη ροπή στρέψης m_t , που εφαρμόζεται πάνω στην πλάκα, και με την αντίδραση M_t , που παρέχεται στο υποστήλωμα, οι ακραίες διατομές στις θέσεις A και C, θα στρέφονται σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι η διατομή στη θέση B, λόγω της στρεπτικής παραμόρφωσης της άκρης της δοκού. Για να πάρουμε υπόψη αυτό το αποτέλεσμα, το πραγματικό υποστήλωμα και η δοκός αντικαθίστανται από ένα ισοδύναμο υποστήλωμα, έτσι ώστε η συνολική ευκαμψία (το αντίστροφο της ακαμψίας) του ισοδύναμου υποστηλώματος να ορίζεται ως το άθροισμα των ευκαμψιών του πραγματικού υποστηλώματος και της δοκού. Δηλαδή

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{K_t}, \quad (1.1)$$

όπου

K_{ec} = καμπτική ακαμψία του ισοδύναμου υποστηλώματος

K_c = καμπτική ακαμψία του πραγματικού υποστηλώματος

K_t = στρεπτική ακαμψία της άκρης του δοκαριού

Οι παραπάνω ποσότητες εκφράζονται σε μονάδες ροπής ανά μονάδα περιστροφής. Στον υπολογισμό του K_c , η ροπή της αδράνειας του πραγματικού υποστηλώματος θεωρείται ότι είναι άπειρη από το πάνω μέρος της πλάκας μέχρι τη βάση της πλάκας-

δοκού, και το I_g βασίζεται στην πλήρη διατομή του σκυροδέματος. Οι συντελεστές ακαμψίας σε μια τέτοια περίπτωση δίνονται σε κατάλληλο πίνακα.

Η ισοδύναμη διατομή του εγκάρσιου στρεπτικού μέλους, που μπορεί να περιλαμβάνει ή να μην περιλαμβάνει ένα κορμό δοκού όπως φαίνεται και στο σχήμα. Ο συντελεστής στρέψης C υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση που βασίζεται στην ισοδύναμη διατομή που έχει προσδιοριστεί.

$$\beta_t = \frac{E_{cb} C}{2E_{cs} I_s} \quad (1.2)$$

όπου

β_t = παράμετρος που σχετίζεται με τον περιστροφικό περιορισμό της ισοδύναμης πλάκας-δοκού

I_s υπολογίζεται για το άνοιγμα της πλάκας στη διεύθυνση l_1 και το πλάτος του οριοθετείται από τον άξονα των κέντρων του φατώματος στη διεύθυνση l_2

E_{cb} , E_{cs} = μέτρα ελαστικότητας της δοκού και του σκυροδέματος της πλάκας, αντίστοιχα

Η στρεπτική ακαμψία K_t μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση

$$K_t = \sum \frac{9E_{cs} C}{l_2 (1 - c_2 / l_2)^3} \quad (1.3)$$

όπου

E_{cs} = μέτρο ελαστικότητας της πλάκας

c_2 = διάσταση του ορθογωνικού υποστηλώματος, διαπλατυσμένης κεφαλής στη διεύθυνση l_2

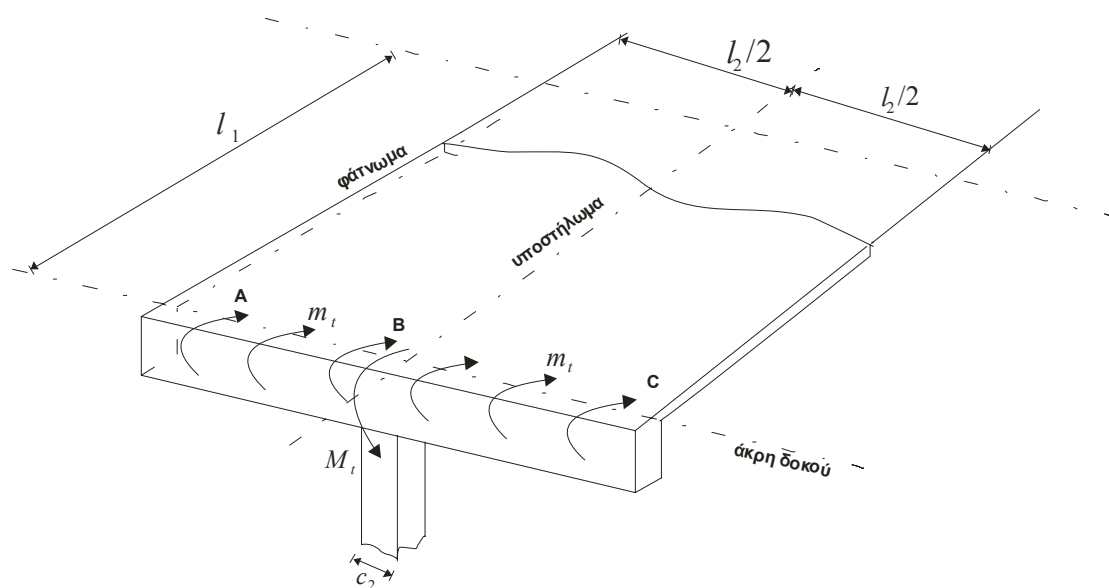
C = σταθερά διατομής

Η σταθερά C υπολογίζεται χωρίζοντας τη διατομή σε ορθογωνικά μέρη, καθένα από τα οποία έχει ως μικρότερη διάσταση τη x και ως μεγαλύτερη τη y , και αθροίζοντας τις συνεισφορές όλων των μελών με τη σχέση

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y} \right) \frac{x^3 y}{3}, \quad (1.4)$$

Η υποδιαίρεση γίνεται με τέτοιον τρόπο ώστε να μεγιστοποιηθεί η σταθερά C .

Η πρόσθεση εφαρμόζεται στην τυπική περίπτωση στην οποία υπάρχουν πλάκες-δοκοί (με ή χωρίς άκρα δοκών) και στις δύο πλευρές του υποστηλώματος. Το μήκος l_2 υπολογίζεται από κέντρο σε κέντρο των στηρίξεων και γι' αυτό μπορεί να προκύπτουν διαφορετικές τιμές σε κάθε όρο της παραπάνω σχέσης, αν τα εγκάρσια ανοίγματα είναι άνισα.



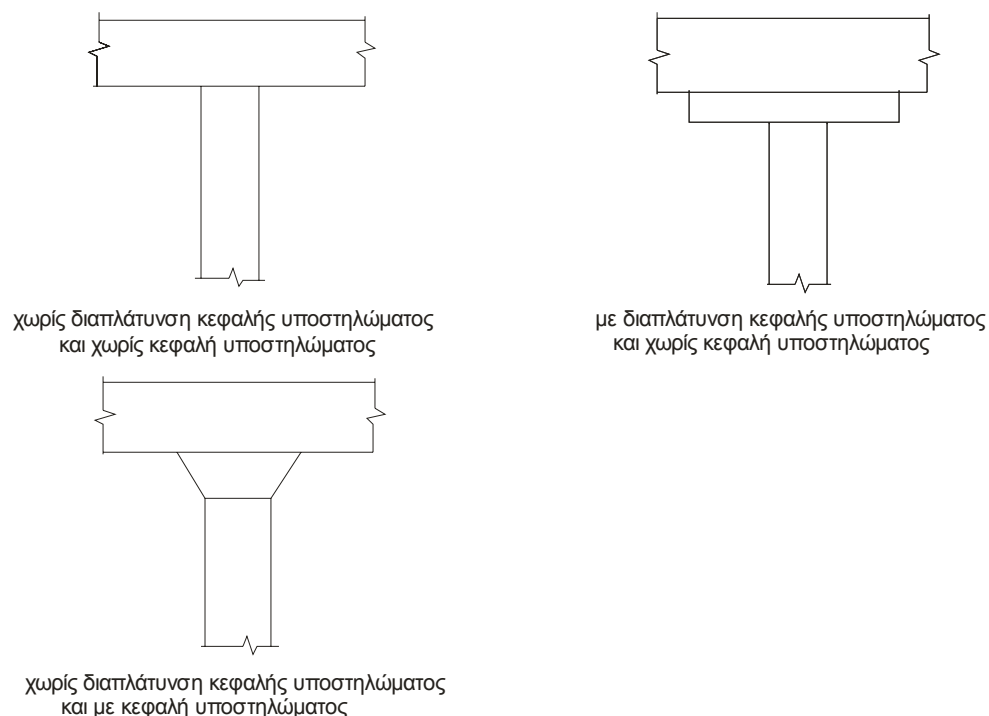
Σχήμα 1-2: Στρέψη σε κατακόρυφο μέλος στήριξης που παρουσιάζει τη βάση του ισοδύναμου υποστηλώματος σύμφωνα με τον Κώδικα ACI 318-05

Εάν ένα φάτνωμα περιέχει μια δοκό παράλληλη στη διεύθυνση στην οποία προσδιορίζονται οι ροπές, η τιμή του K_t που έχει υπολογιστεί από την παραπάνω σχέση οδηγεί στις τιμές του K_{ec} που είναι πολύ χαμηλές. Συνεπώς σε τέτοιες περιπτώσεις προτείνεται η τιμή του K_t που έχει υπολογιστεί από την παραπάνω σχέση να πολλαπλασιάζεται με το λόγο της ροπής της αδράνειας της πλάκας με μια τέτοια δοκό προς τη ροπή της αδράνειας της πλάκας χωρίς αυτή.

Η έννοια του ισοδύναμου υποστηλώματος που περιγράφεται σε σχέση με ένα εξωτερικό υποστήλωμα, εφαρμόζεται σε όλα τα υποστηλώματα στήριξης για κάθε συνεχή δοκό-πλάκα, σύμφωνα με την μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου.

1.1.2 Η μέθοδος του ισοδύναμου υποστηλώματος σύμφωνα με τον BS 8110

Βασικοί ορισμοί



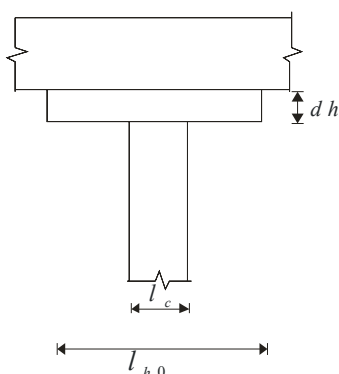
Σχήμα 1-3 : Λεπτομέρειες υποστηλώματος-πλάκας σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

Σύμφωνα με τους ορισμούς του Κώδικα BS 8110, η πλάκα χωρίς δοκούς είναι μια πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος που στηρίζεται απευθείας σε υποστηλώματα, με ή χωρίς διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλωμάτων. Η διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλώματος είναι μια τοπική αύξηση του πάχους της πλάκας στην περιοχή του υποστηλώματος. Η κεφαλή του υποστηλώματος είναι μια τοπική διαπλάτυνση του υποστηλώματος στη σύνδεση με την πλάκα. Οι ορισμοί αυτοί διευκρινίζονται στο Σχήμα 1-3.

Η ανάλυση πλακών χωρίς δοκούς

Οι πλάκες χωρίς δοκάρια συνήθως στηρίζονται από μια ορθογωνική διάταξη υποστηλωμάτων. Η ανάλυση μπορεί να διεξαχθεί με μια ισοδύναμη μέθοδο πλαισίου ή με τη χρήση ενός κώδικα πεπερασμένων στοιχείων. Όταν χρησιμοποιείται η ισοδύναμη μέθοδος πλαισίου ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο άνοιγμα δεν πρέπει να ξεπερνάει το 2. Η ανάλυση για ομοιόμορφα διανεμημένο κατακόρυφο φορτίο γίνεται με τη χρήση κατάλληλων πινάκων. Οι ιδιότητες της πλάκας χωρίς δοκάρια για ανάλυση είναι παρόμοιες με αυτές των συμπαγών πλακών.

Η ισοδύναμη διάσταση κεφαλής του υποστηλώματος



Σχήμα 1-4 : Πλάκα χωρίς δοκούς- ορισμοί σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

l_h = ισοδύναμη διάσταση κεφαλής υποστηλώματος

l_{h0} = πραγματική διάσταση κεφαλής

$$l_{h,max} = l_c + 2(d_h - 40) \quad (1.5)$$

l_c = διάσταση του υποστηλώματος κατά τη διεύθυνση του l_h

d_h = ύψος της κεφαλής

l_h = επιλέγεται ως το μικρότερο από το l_{h0} ή το $l_{h,max}$

Η ισοδύναμη διάμετρος κεφαλής του υποστηλώματος

$$h_c = (4A / \pi)^{\frac{1}{2}} \leq 0.25l_x \quad (1.6)$$

h_c = ισοδύναμη διάμετρος υποστηλώματος ή κεφαλής υποστηλώματος

A = εμβαδόν υποστηλώματος ή εμβαδόν ισοδύναμης κεφαλής υποστηλώματος όπως ορίζεται από το l_h

l_x = μικρότερο άνοιγμα που περιβάλλει το υποστήλωμα

Το h_c δεν πρέπει λαμβάνεται μεγαλύτερο από το ένα τέταρτο του μικρότερου ανοίγματος της πλάκας που στηρίζει το υποστήλωμα.

Η διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλωμάτων

Οι διαπλάτυνσεις κεφαλών υποστηλωμάτων θα είναι αποτελεσματικές στην ανάλυση αν η μικρότερη διάσταση της διαπλάτυνσης είναι τουλάχιστον το ένα τρίτο του μικρότερου ανοίγματος των περιβαλλόντων φατνωμάτων. Για τον έλεγχο της διάτησης αυτός ο περιορισμός δεν εφαρμόζεται.

Συνδυασμοί φορτίων για την ανάλυση

$$LC_1 = 1.35G_k + 1.5Q_k \quad \text{για όλα τα ανοίγματα}$$

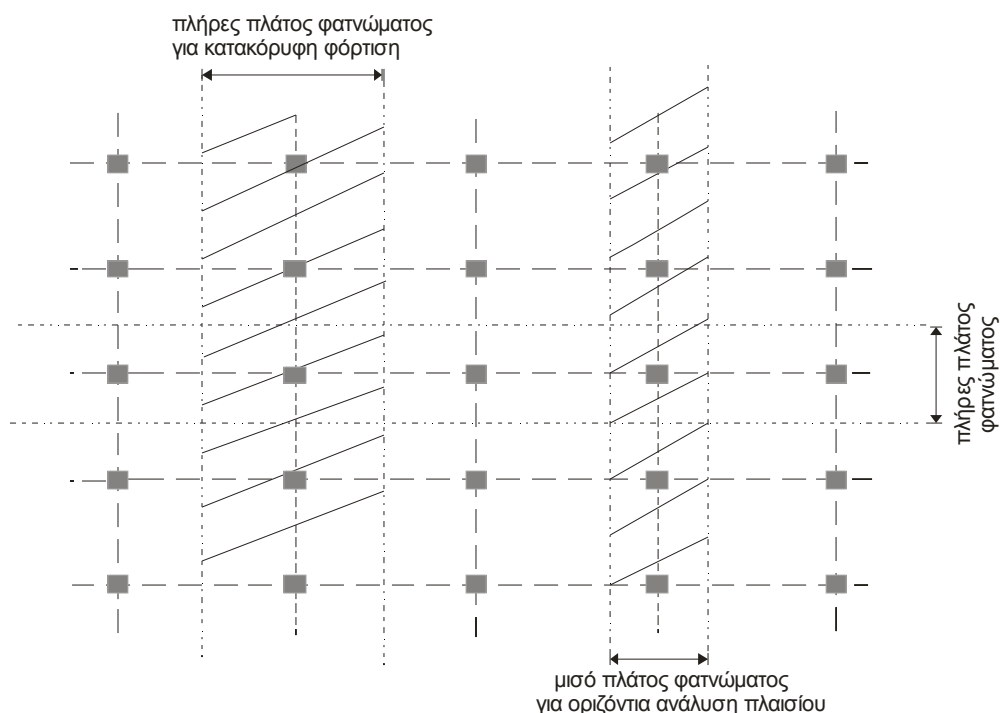
$$LC_1 = 1.35G_k + 1.5Q_k \quad \text{σε εναλλακτικά ανοίγματα και άλλα ανοίγματα με} \\ 1.0G_k$$

όπου

G_k = χαρακτηριστικό μόνιμο φορτίο

Q_k = χαρακτηριστικό κινητό φορτίο

Το ισοδύναμο πλάτος της πλάκας για ανάλυση

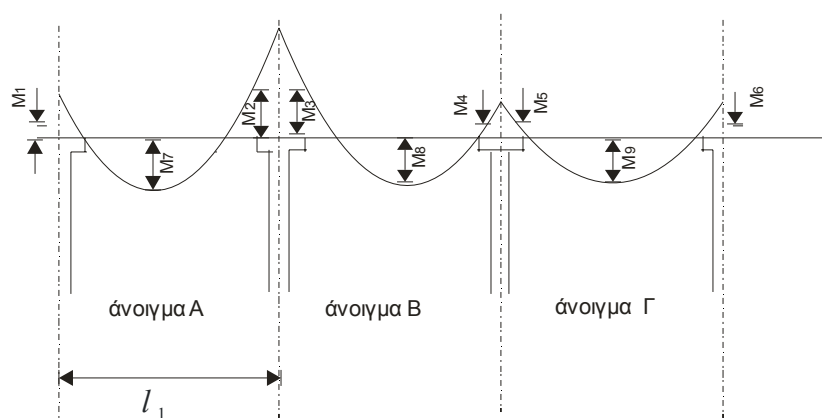


Σχήμα 1-5: Κάτοψη πλάκας που απεικονίζει τα πλάτη των φανωμάτων για ανάλυση σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

Για τη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου, για κατακόρυφη φόρτιση θεωρούμε το πλήρες πλάτος του φανώματος μεταξύ των υποστηλωμάτων. Για οριζόντια φόρτιση σαν πλαίσιο θεωρούμε ακαμψία του μισού πλάτους του πλαισίου. Η ανάλυση μπορεί να διεξαχθεί χρησιμοποιώντας πρόγραμμα υπολογιστή ή τη μέθοδο διανομής ροπών. Η ανάλυση μπορεί επίσης να διεξαχθεί για ομοιόμορφη διανομή κατακόρυφων φορτίων χρησιμοποιώντας σχετικούς πίνακες. Δεδομένου ότι η πλευρική ευστάθεια

δεν εξαρτάται από τη σύνδεση πλάκας-υποστηλώματος και η φόρτιση στην πλάκα χωρίς δοκάρια για το σχεδιασμό βασίζεται σε μια μοναδική περίπτωση φορτίου, δηλαδή για την LC_1 , ο λόγος Q_k / G_k δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1.25, το Q_k δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 5 kN/m² και πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις σειρές από φατνώματα.

Ο σχεδιασμός πλακών χωρίς δοκάρια



Σχήμα 1-6: Περιορισμοί αρνητικών ροπών για πλάκες χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον BS 8110

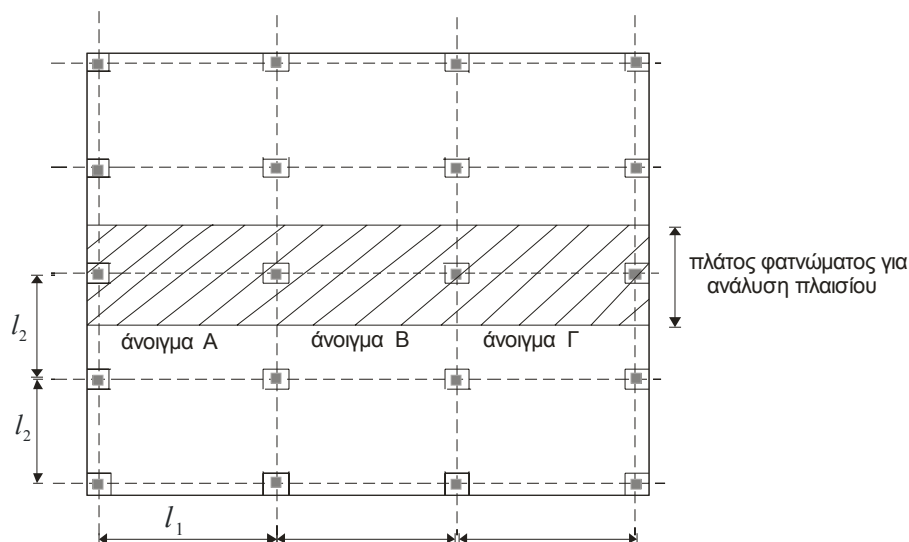
Ο σχεδιασμός μπορεί να βασιστεί στην αρνητική ροπή στο $h_c / 2$ από την κεντρική γραμμή του υποστηλώματος. Αλλά αυτή η αρνητική ροπή μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθεί αν το άθροισμα της θετικής ροπής σχεδιασμού και της μέσης αρνητικής ροπής σχεδιασμού είναι μικρότερο από την παρακάτω έκφραση:

$$M' = \left(\frac{nl_2}{8} \right) \left(l_1 - \frac{2h_c}{3} \right)^2, \quad (1.7)$$

Όπου

l_1 = η απόσταση από κέντρο σε κέντρο του υποστηλώματος κατά τη διεύθυνση όπου έχει θεωρηθεί η πλάκα

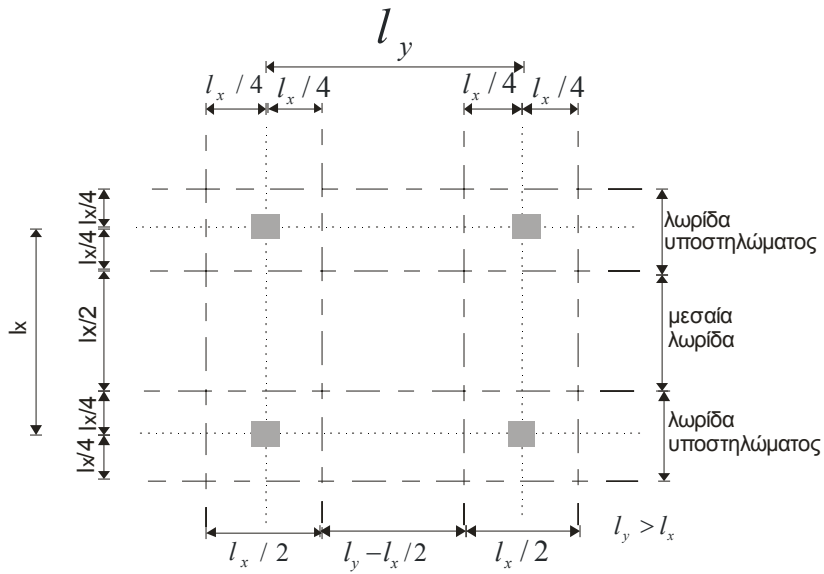
l_2 = η απόσταση από κέντρο σε κέντρο του υποστηλώματος κατακόρυφα στη διεύθυνση του ανοίγματος που έχει θεωρηθεί
 n = το συνολικό απόλυτο φορτίο πάνω στην πλάκα (kN/m^2)



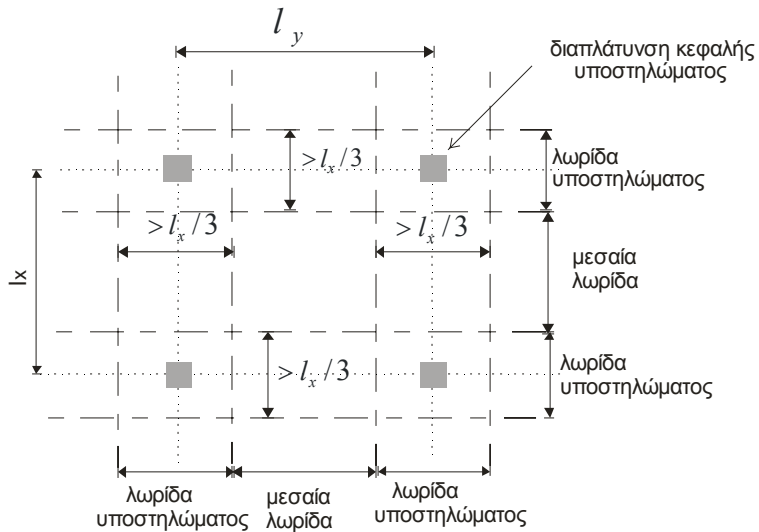
Σχήμα 1-7: Τυπική κάτοψη πλάκας -περιορισμοί αρνητικών ροπών σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

Διαίρεση φατνωμάτων

Τα φατνώματα διαιρούνται σε λωρίδες υποστηλωμάτων και μεσαίες λωρίδες όπως φαίνεται. Για πλάκα χωρίς διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλώματος η λωρίδα υποστηλώματος έχει $l_x/4$ πλάτος σε κάθε πλευρά της κεντρικής γραμμής του υποστηλώματος, όπου l_x είναι το μικρότερο άνοιγμα. Για πλάκα με διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλώματος η λωρίδα του υποστηλώματος έχει το μέγεθος της διαπλάτυνσης. Η διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλώματος δε λαμβάνεται υπόψη αν το μέγεθός της είναι μικρότερο από $l_x/3$.



Σχήμα 1-8: Πλάκα -διαίρεση λωρίδων σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110



Σχήμα 1-9: Πλάκα -διαίρεση λωρίδων σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110
 Κάτοψη πλάκας με διαπλάτυνσεις κεφαλών υποστηλωμάτων:
 αγνοήστε τις διαπλάτυνσεις αν το πλάτος τους είναι $< l_x/3$

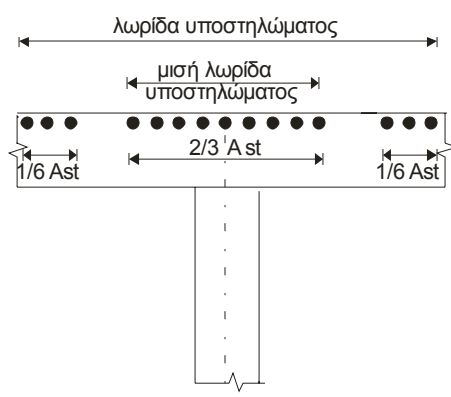
Διανομή ροπών μεταξύ υποστηλωμάτων και μεσαίων λωρίδων

Οι ροπές που προκύπτουν από την ανάλυση του πλαισίου μπορούν να διαιρεθούν όπως παρακάτω:

Πίνακας 1.1: Ποσοστά διανομής ροπών

	Λωρίδα υποστηλώματος	Μεσαία λωρίδα
Αρνητική	75%	25%
Θετική	55%	45%

Όταν χρησιμοποιούνται οι διαπλάτυνσεις των κεφαλών των υποστηλωμάτων και οι λωρίδες των υποστηλωμάτων καθορίζονται από το πλάτος της διαπλάτυνσης, είναι πιθανόν να συμβεί η μεσαία λωρίδα να είναι μεγαλύτερη από την μεσαία λωρίδα σε μια πλάκα χωρίς διαπλάτυνση κεφαλής υποστηλώματος. Σε αυτήν την περίπτωση οι ροπές στη μεσαία λωρίδα θα αυξηθούν και αυτές στη λωρίδα του υποστηλώματος θα μειωθούν αναλογικά ώστε η συνολική αρνητική και θετική ροπή να παραμείνουν αμετάβλητες.



Σχήμα 1-10: Λεπτομέρειες οπλισμού σε πλάκα σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

Σχεδιασμός των φατνωμάτων των πλακών χωρίς δοκούς

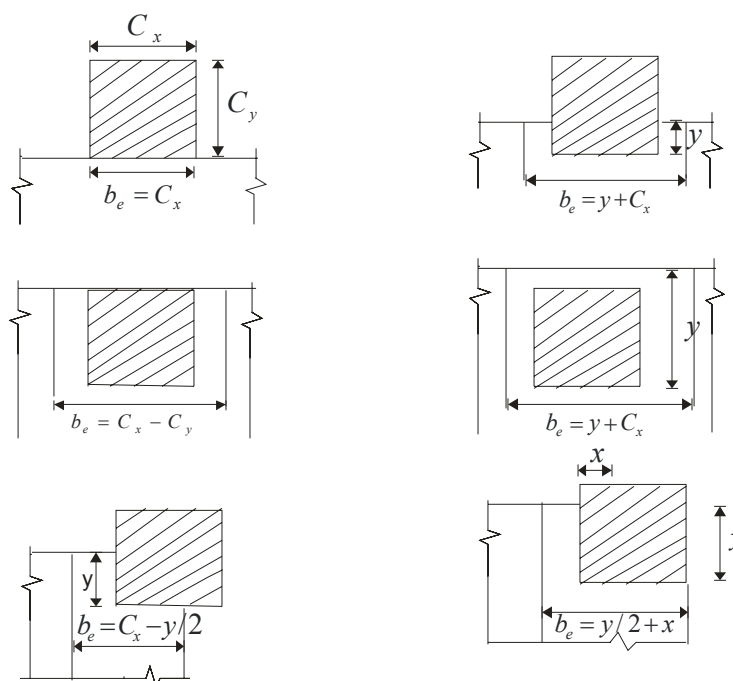
Ο σχεδιασμός είναι όμοιος με το σχεδιασμό των πλακών .

Εσωτερικά και ακριανά πλαίσια

Τα δύο τρίτα του αρνητικού οπλισμού στήριξης στη λωρίδα του υποστηλώματος πρέπει να τοποθετηθούν στο μισό του πλάτους της λωρίδας του υποστηλώματος κεντραρισμένο πάνω στο υποστήλωμα.

Σύνδεση ροπών στα ακριανά υποστηλώματα

Για την εύρεση του ισοδύναμου πλάτους της πλάκας b_e για μεταφορά της ροπής ανάμεσα στην πλάκα χωρίς δοκάρια και το ακριανό υποστήλωμα δείτε τα παρακάτω σχέδια



Σχήμα 1-11: Ισοδύναμο πλάτος πλάκας για σύνδεση ροπών στα ακριανά υποστήλωματα σύμφωνα με τον Κώδικα BS 8110

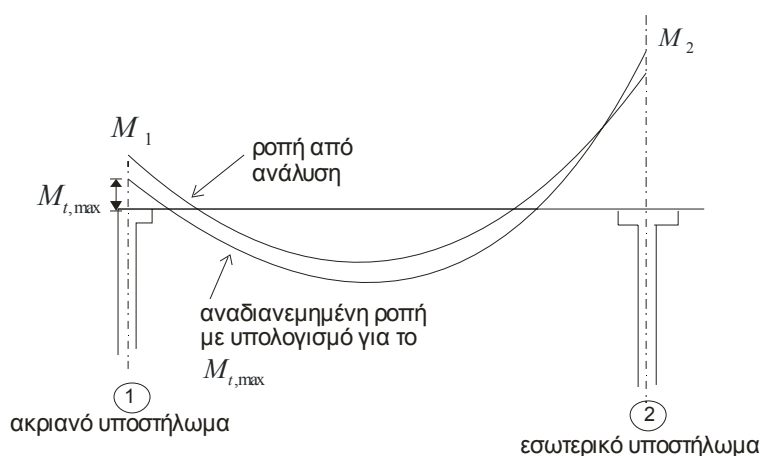
Η ανώτερη τιμή αυτής της ροπής πρέπει να είναι

$$M_{t,\max} = 0.15b_e d^2 f_{cu} , \quad (1.8)$$

όπου

d = ισοδύναμο πλάτος του οπλισμού στην κορυφή στη λωρίδα υποστηλώματος.

Η ροπή $M_{t,\max}$ πρέπει να είναι μικρότερη από το μισό της ροπής σχεδιασμού που προκύπτει από τη μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου ή το 70% της ροπής σχεδιασμού από τη μέθοδο πλαισίου ή μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Η δομική διάταξη μπορεί να αλλάξει αν δεν ικανοποιείται η παραπάνω συνθήκη.



Σχήμα 1-12: Ανεπαρκής ικανότητα μεταφοράς ροπής στο ακριανό υποστήλωμα σύμφωνα με τον Κώδικα BS8110

Όταν η ροπή σχεδιασμού είναι μεγαλύτερη από την $M_{t,\max}$, τότε μπορεί να διεξαχθεί αναδιανομή ροπών ώστε να μειωθεί η ροπή σχεδιασμού στην τιμή $M_{t,\max}$. Διαφορετικά για να μεταφερθούν ροπές μεγαλύτερες από την $M_{t,\max}$ στο ακριανό υποστήλωμα, η άκρη της πλάκας θα πρέπει να ενισχυθεί με ένα ακριανό δοκάρη ή με

μια ακριανή λωρίδα. Το ακριανό δοκάρι θα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μεταφέρει την επιπρόσθετη ροπή στρέψης στο υποστηλώμα.

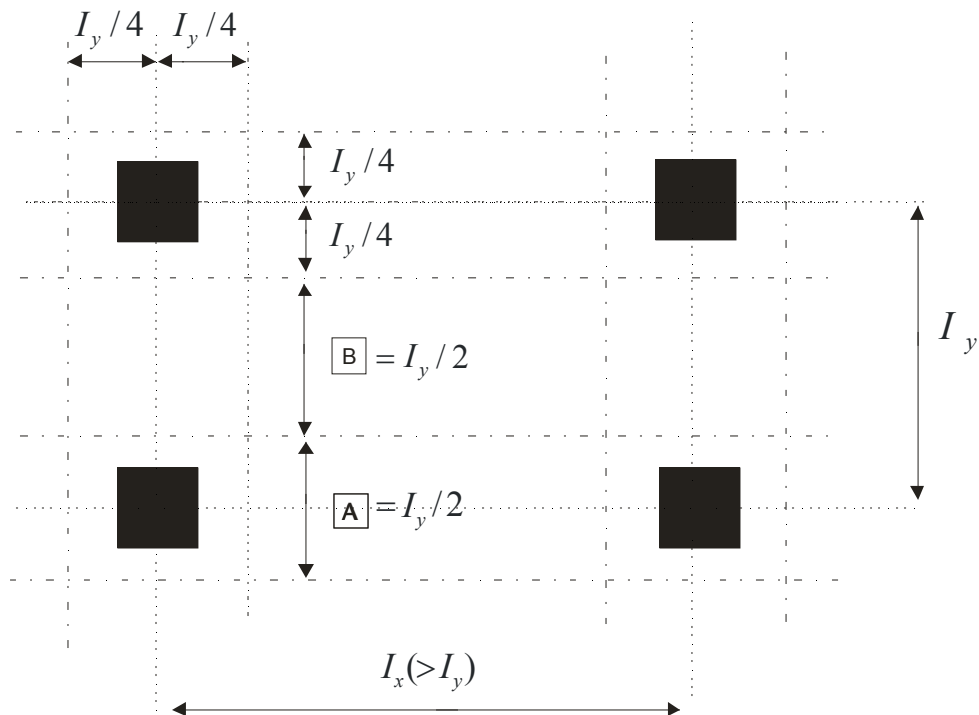
1.1.3 Η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου σύμφωνα με τον EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

Σύμφωνα με τον EC2, οι πλάκες χωρίς δοκούς πρέπει να έχουν ομοιόμορφο πάχος ή να έχουν ενσωματωμένες διαπλατύνσεις της κεφαλής των υποστηλωμάτων. Οι πλάκες χωρίς δοκούς θα πρέπει να αναλυθούν χρησιμοποιώντας αποδεκτές μεθόδους ανάλυσης, όπως είναι η μέθοδος του πλαισίου (στην οποία η επιφάνεια εξιδανικεύεται σαν ένα σύνολο αλληλοσυνδεδεμένων διακριτών μελών, η μέθοδος των γραμμών διαρροής, των πεπερασμένων στοιχείων, ή την μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλες γεωμετρικές και υλικές ιδιότητες.

Ανάλυση με την ισοδύναμη μέθοδο πλαισίου

Η κατασκευή θα πρέπει να διαιρεθεί στην διαμήκη και στην εγκάρσια διεύθυνση σε πλαίσια που αποτελούνται από υποστηλώματα και τμήματα των πλακών που περιέχονται μεταξύ των κεντρικών γραμμών των γειτονικών φατνωμάτων (περιοχή που περιορίζεται από τέσσερα γειτονικά υποστηλώματα). Η ακαμψία των μελών πρέπει να υπολογίζεται από τις συμπαγείς διατομές τους. Για κατακόρυφη φόρτιση, η ακαμψία πρέπει να βασίζεται στο πλήρες πλάτος των πάνελ. Για οριζόντια φόρτιση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί το 40% αυτής της τιμής, για να αντικατοπτρίσει την αυξημένη ευκαμψία των κόμβων της πλάκας/υποστηλωμάτων σε κατασκευές πλακών χωρίς δοκούς, συγκρινόμενες με τους κόμβους υποστηλωμάτων / δοκών. Το ολικό φορτίο του φατνώματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση σε κάθε διεύθυνση. Οι ολικές καμπτικές ροπές που απαιτώνται από την ανάλυση θα πρέπει να διανέμονται σε όλο το πλάτος της πλάκας. Στην ελαστική ανάλυση οι αρνητικές ροπές τείνουν να συγκεντρώνονται προς τις κεντρικές γραμμές των υποστηλωμάτων. Τα φατνώματα θα πρέπει να υποθεθούν ότι διαιρούνται σε λωρίδες υποστηλωμάτων

και σε μεσαίες λωρίδες (βλέπε Σχήμα 1-14) και οι καμπτικές ροπές θα πρέπει να προσδιορίζονται με βάση τον Πίνακα 1.2 που ακολουθεί:



όπου

- A- λωρίδα υποστηλώματος
- B- μεσαία λωρίδα

Σχήμα 1-13: Διάρθρωση των φανωμάτων στις πλάκες σύμφωνα με τον EC2

Πίνακας 1.2 : Ποσοστά διανομής ροπών σύμφωνα με τον EC2

	Αρνητικές ροπές	Θετικές ροπές
Λωρίδα υποστηλώματος	60-80%	50-70%
Μεσαία λωρίδα	40-20%	50-30%

Σημείωση : Οι συνολικές αρνητικές και θετικές ροπές για να αντιστέκονται στις λωρίδες των υποστηλωμάτων και τις μεσαίες μαζί, θα πρέπει πάντα να προστίθενται πάνω από το 100%

Εκεί όπου το πλάτος της λωρίδας του υποστηλώματος διαφέρει από το $0.5l_x$, όπως δείχνεται στο Σχήμα 1-14, και γίνεται ίσο με το πλάτος της διαπλάτυνσης της κεφαλής του υποστηλώματος, τότε το πλάτος της μεσαίας λωρίδας θα πρέπει να διευθετείται ανάλογα.

Σε περίπτωση που υπάρχουν περιμετρικοί δοκοί, που είναι επαρκώς σχεδιασμένοι για στρέψη, οι ροπές μεταφέρονται στα ακριανά ή γωνιακά υποστηλώματα, και θα πρέπει να περιορίζονται στην ροπή αντοχής μιας ορθογωνικής διατομής ίσης με $0.17b_e d^2 f_{ck}$ (βλέπε Σχήμα 2-11 για τον ορισμό του b_e). Η θετική ροπή στο ακριανό άνοιγμα θα πρέπει να διευθετηθεί ανάλογα.

Μη κανονική διάταξη υποστηλωμάτων

Η μη κανονική διάταξη των υποστηλωμάτων στην πλάκα χωρίς δοκούς, δεν μπορεί να αναλυθεί με καλή προσέγγιση χρησιμοποιώντας την ισοδύναμη μέθοδο πλαισίου. Οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι η μέθοδος πλαισίου ή κάποια άλλη ελαστική μέθοδος. Σε μια τέτοια περίπτωση η ακόλουθη απλοποιημένη προσέγγιση μπορεί να είναι ικανοποιητική:

- η πλάκα αναλύεται σε κάθε διεύθυνση για το πλήρες φορτίο, $\gamma_Q Q_K + \gamma_G G_K$ πάνω σε όλα τα φατνώματα
- οι ροπές στο μεσαίο άνοιγμα και στο υποστήλωμα θα πρέπει να αυξάνονται για να λάβουν υπόψη τις επιδράσεις των φορτίων σχεδιασμού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί φορτίζοντας το κρίσιμο εξεταζόμενο τμήμα (ή τμήματα) με $\gamma_Q Q_K + \gamma_G G_K$ και την υπόλοιπη πλάκα με $\gamma_G G_K$. Εκεί όπου υπάρχει σημαντική μεταβολή στο μόνιμο φορτίο μεταξύ των φατνωμάτων, το γ_G θα πρέπει να παίρνεται ίσο με 1 για τα αφόρτιστα φατνώματα
- οι επιδράσεις αυτών των συγκεντρωμένων φορτίσεων πρέπει να εφαρμόζονται και σε άλλα κρίσιμα φατνώματα και στα υποστηλώματα στο ίδιο φόντο.

(Θα πρέπει να εφαρμόζονται οι περιορισμοί σε σχέση με την μεταβίβαση των ροπών στα ακριανά υποστηλώματα που δίνονται από τον Ευρωκώδικα.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΠΛΑΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ

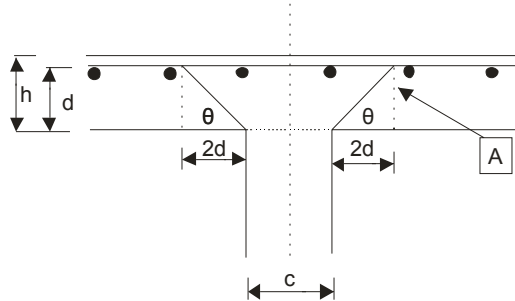
2.1 Διάτρηση πλακών σύμφωνα με τον EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

Οι διατάξεις του EC2 για την διάτρηση καλύπτουν την διάτρηση σε συμπαγείς πλάκες, σε κυψελοειδείς πλάκες με συμπαγή τμήματα πάνω από τα υποστηλώματα και τις θεμελιώσεις. Η διάτρηση μπορεί να προέλθει από ένα συγκεντρωμένο φορτίο ή από μια αντίδραση που ενεργεί σε μία σχετικά μικρή περιοχή, η οποία καλείται φορτισμένη επιφάνεια A_{load} μιας πλάκας ή μιας θεμελίωσης. Ένα κατάλληλο μοντέλο για τον έλεγχο της αστοχίας από διάτρηση στην οριακή κατάσταση αστοχίας φαίνεται στο Σχήμα 2-1.

Η διατμητική αντοχή θα πρέπει να ελέγχεται στην παρειά του υποστηλώματος και στην βασική περίμετρο ελέγχου u_1 . Εάν απαιτείται οπλισμός διάτρησης, τότε θα πρέπει να βρεθεί μία παραπέρα περίμετρος $u_{out,ef}$, όπου πέρα της οποίας δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης.

Οι διατάξεις οι οποίες δίνονται στο κεφάλαιο της διάτρησης του EC2, είναι κυρίως διατυπωμένοι για την περίπτωση μιας ομοιόμορφα διανεμημένης φόρτισης. Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως στα πέδιλα θεμελίωσης, το φορτίο μέσα στη περίμετρο ελέγχου προστίθεται στην αντοχή του δομικού συστήματος, και πρέπει να αφαιρεθεί όταν προσδιοριστούν οι τάσεις σχεδιασμού από διάτρηση.

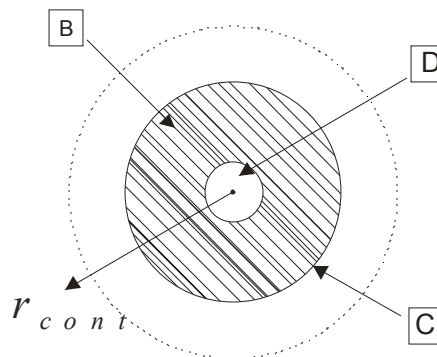
α. τομή



όπου $\theta = \arctan(1/2) = 26.6^\circ$

A - βασικό τμήμα ελέγχου

β. κάτοψη



όπου

B - βασική περιοχή ελέγχου A_{cont}

C - βασική περίμετρος ελέγχου, u_1

D - φορτισμένη περιοχή A_{load}

r_{cont} η ευρύτερη περίμετρος ελέγχου

Σχήμα 2-1: Κατακόρυφο μοντέλο διάτρησης στην οριακή κατάσταση αστοχίας σύμφωνα με τον EC2

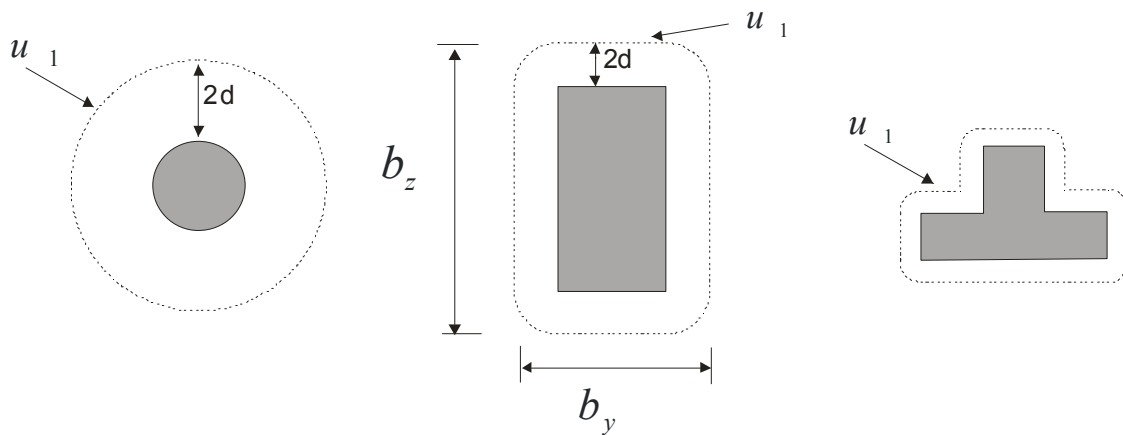
Διανομή φορτίων και περίμετρος ελέγχου

Η βασική περίμετρος ελέγχου u_1 πρέπει κανονικά να παρθεί σε απόσταση $2d$ από την φορτισμένη επιφάνεια και θα πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το μήκος της.

Το ισοδύναμο πλάτος της πλάκας θεωρείται σταθερό και μπορεί να προσδιοριστεί από την σχέση ως :

$$d_{eff} = \frac{(d_y + d_z)}{2} , \quad (2.1)$$

όπου d_y και d_z είναι τα ενεργά πλάτη του οπλισμού στις δύο ορθογώνιες διευθύνσεις.

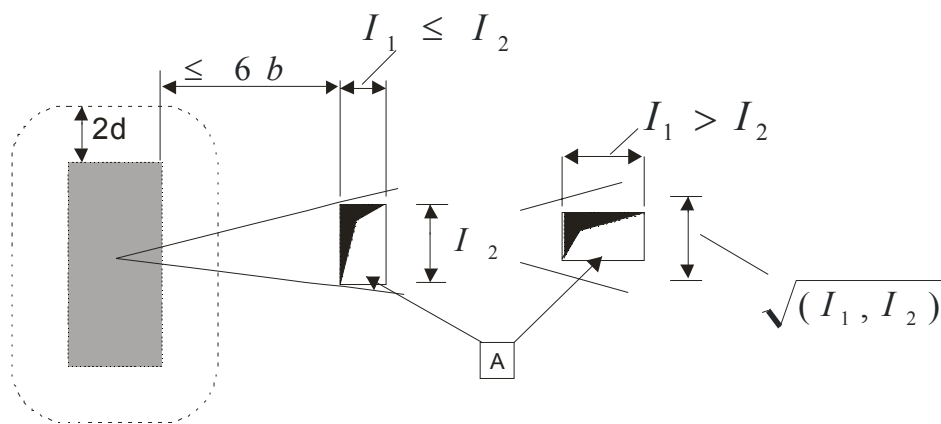


Σχήμα 2-2: Τυπικές βασικές περίμετροι ελέγχου γύρω από τις φορτισμένες περιοχές σύμφωνα με τον EC2

Περίμετροι ελέγχου σε μια απόσταση μικρότερη των $2d$, θα πρέπει να θεωρούνται εκεί όπου η συγκεντρωμένη δύναμη αντιτίθεται από μια υψηλή πίεση (για παράδειγμα, η τάση εδάφους σε μια βάση), ή τις επιδράσεις ενός φορτίου ή μιας

αντίδρασης, μέσα σε μια απόσταση $2d$ για περιφέρεια της περιοχής εφαρμογής της δύναμης.

Για τις φορτισμένες περιοχές που βρίσκονται κοντά σε ανοίγματα (τρύπες), εάν η συντομότερη απόσταση μεταξύ της περιμέτρου της φορτισμένης περιοχής και άκρης του ανοίγματος δεν ξεπερνά τα $6d$, τότε το τμήμα της περιμέτρου που περιέχεται μεταξύ των δύο επαπτόμενων γραμμών που σχεδιάζονται στο περίγραμμα του ανοίγματος από το κέντρο της φορτισμένης περιοχής θεωρείται ότι είναι ανενεργό.



όπου A- το άνοιγμα

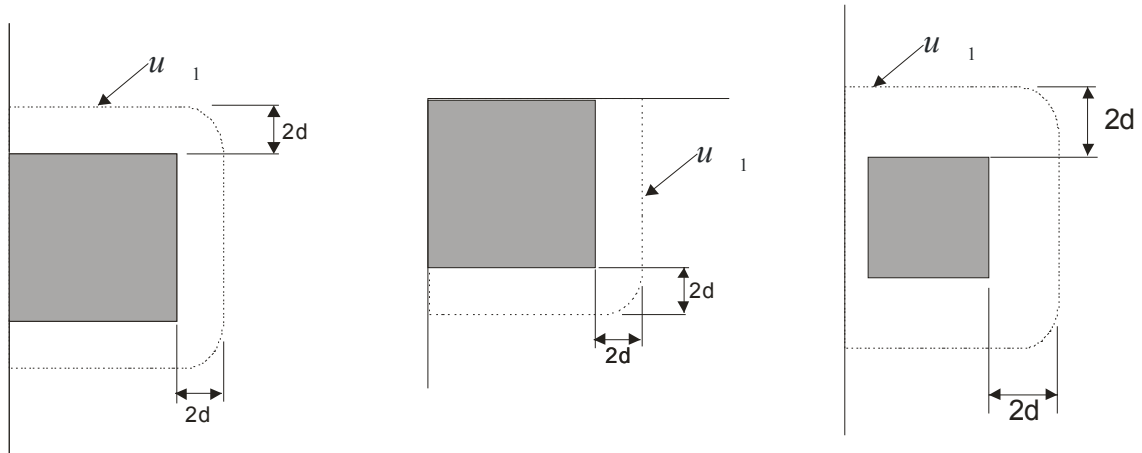
Σχήμα 2-3: Περίμετρος ελέγχου κοντά σε άνοιγμα σύμφωνα με τον EC2

Για φορτισμένη επιφάνεια η οποία βρίσκεται κοντά σε άκρη ή σε γωνία, η περίμετρος ελέγχου θα πρέπει να λαμβάνεται όπως στο Σχήμα 2-4, εάν αυτό δίνει μια περίμετρο, (με εξαίρεση τα μη στηριζόμενα άκρα), μικρότερη από αυτή που απαιτείται παραπάνω.

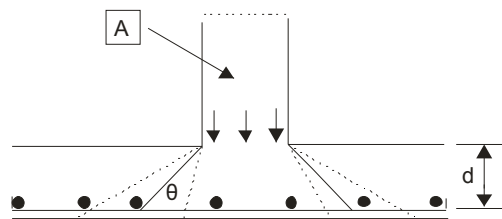
Η διατομή ελέγχου είναι αυτή που ακολουθεί την περίμετρο ελέγχου και εκτείνεται πέρα από το ισοδύναμο πλάτος d . Για πλάκες με σταθερό πάχος, η διατομή ελέγχου είναι κάθετη στο μεσαίο επίπεδο της πλάκας. Για πλάκες ή πέδιλα μεταβλητού

πάχους, το ισοδύναμο πλάτος πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι το πλάτος της περιμέτρου της φορτισμένης περιοχής, όπως δείχνεται στο Σχήμα 2-5.

Για τις φορτισμένες περιοχές που βρίσκονται κοντά σε άκρη ή γωνία, δηλαδή σε απόσταση μικρότερη του d , θα πρέπει πάντα να παρέχεται ειδικός οπλισμός.



Σχήμα 2-4: Βασικές περιμέτροι ελέγχου για φορτισμένες περιοχές κοντά ή ακριβώς στην άκρη ή γωνία, σύμφωνα με τον EC2



όπου $\theta \geq \arctan(1/2)$

A – φορτισμένη περιοχή

Σχήμα 2-5: Πλάτος διατομής ελέγχου σε πέδιλο μεταβλητού πάχους σύμφωνα με τον EC2

Οι επιπλέον περιμέτροι, u_i , εντός ή εκτός της βασικής περιοχής ελέγχου, θα πρέπει να έχουν το ίδιο σχήμα όπως της περιμέτρου βασικού ελέγχου.

Για πλάκες που στηρίζονται σε υποστηλώματα με κυκλική κεφαλή, για τα οποία $I_H < 2h_H$, (βλέπε Σχήμα 2-6), ο έλεγχος των δυνάμεων διάτρησης σύμφωνα με το τον EC2, απαιτείται μόνο στη διατομή ελέγχου έξω από την κεφαλή του υποστηλώματος. Η απόσταση της διατομής αυτής από το κέντρο βάρους του υποστηλώματος r_{cont} μπορεί να πάρει την τιμή:

$$r_{cont} = 2d + I_H + 0.5c \quad , \quad (2.2)$$

όπου

- I_H είναι η απόσταση από την παρειά του υποστήλωματος μέχρι την άκρη της κεφαλής του υποστηλώματος
- c είναι η διάμετρος του κυκλικού υποστηλώματος

Για ένα ορθογωνικό υποστήλωμα με ορθογώνια κεφαλή με $I_H < 2h_H$ και γενικές διαστάσεις I_1 και I_2 ($I_1 = c_1 + 2I_{H1}, I_2 = c_2 + 2I_{H2}, I_1 \leq I_2$), η τιμή r_{cont} μπορεί να ληφθεί ως η μικρότερη τιμή των:

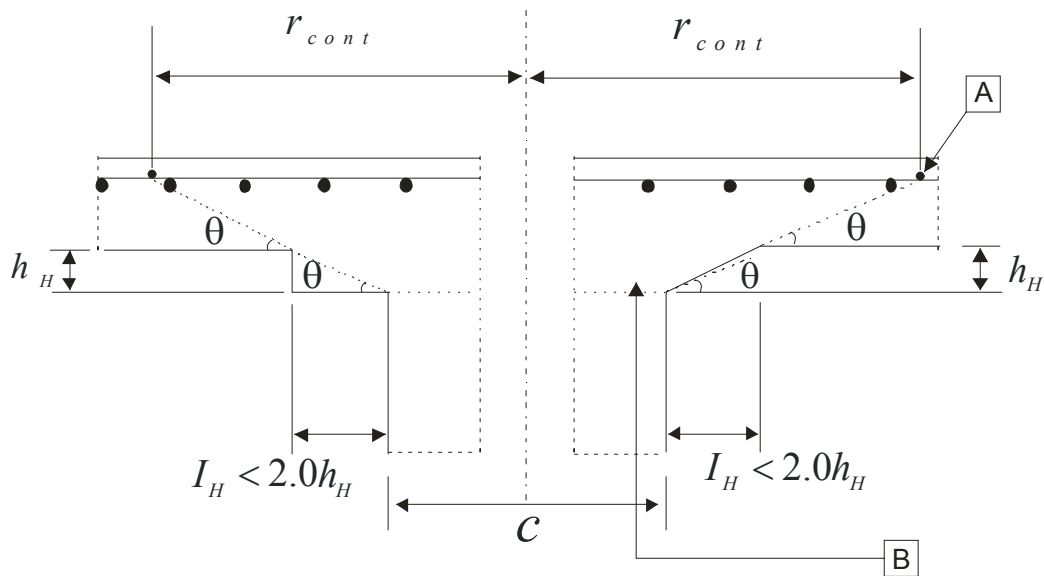
$$r_{cont} = 2d + 0.56\sqrt{I_1 I_2} \quad (2.3)$$

$$r_{cont} = 2d + 0.69I_1 \quad (2.4)$$

Για πλάκες με διαπλατυσμένες κεφαλές υποστηλωμάτων, όπου $I_H > 2h_H$, οι διατομές μέσα στην κεφαλή και στην πλάκα θα πρέπει να ελέγχονται. Οι παραπάνω διατάξεις εφαρμόζονται για ελέγχους μέσα στην κεφαλή του υποστηλώματος με το d να παίρνεται ως d_H , σύμφωνα με το Σχήμα 2-7. Για κυκλικά υποστηλώματα οι αποστάσεις από κέντρο βάρους του υποστηλώματος και της διατομής ελέγχου μπορούν να ληφθεί ως :

$$r_{cont,ext} = I_H + 2d + 0.5c \quad (2.5)$$

$$r_{cont,ext} = 2(d + h_H) + 0.5c \quad (2.6)$$



όπου

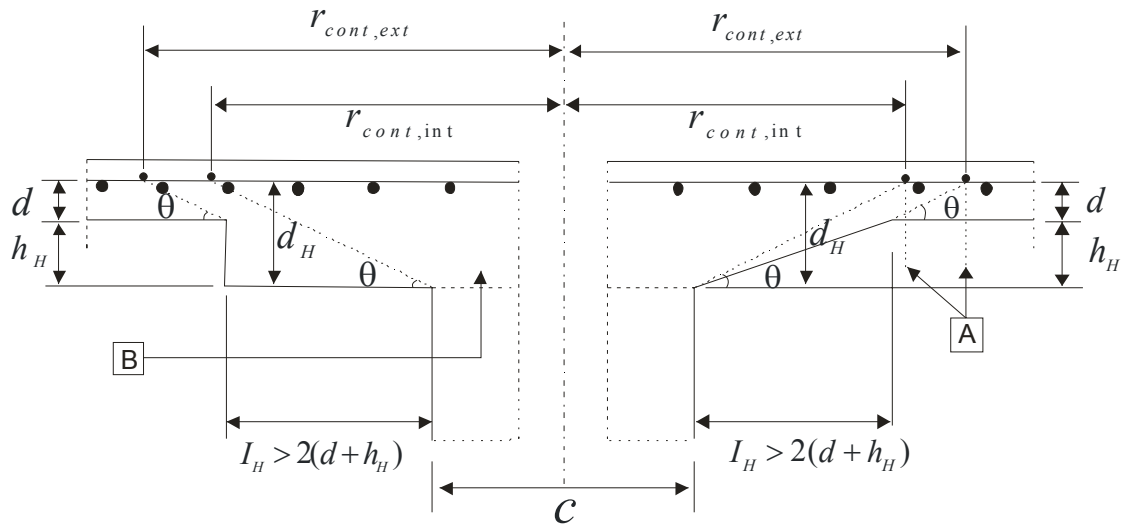
A- Βασικό τμήμα ελέγχου

B- Φορτισμένη περιοχή A_{load}

$$\theta = \arctan(1/2) = 26.6^\circ$$

Σχήμα 2-6: Πλάκα με μεγεθυμένη κεφαλή υποστηλώματος όπου

$I_H < 2.0h_H$ σύμφωνα με τον EC2



όπου

A- Βασικό τμήμα ελέγχου για κυκλικό υποστήλωμα

B- Φορτισμένη περιοχή A_{load}

$$\theta = \arctan(1/2) = 26.6^\circ$$

Σχήμα 2-7: Πλάκα με μεγεθυμένη κεφαλή υποστηλώματος όπου $I_H > 2(d + h_H)$ σύμφωνα με τον EC2

Υπολογισμοί διάτρησης

Η διαδικασία σχεδιασμού για την διάτρηση βασίζεται σε ελέγχους στην παρειά του υποστηλώματος και στην βασική περίμετρο ελέγχου u_1 . Εάν απαιτείται οπλισμός διάτμησης, τότε θα πρέπει να βρεθεί μία επιπλέον περίμετρος $u_{out,ef}$ πέρα από την οποία δεν θα απαιτείται οπλισμός. Οι παραπάνω διατμητικές τάσεις σχεδιασμού (MPa) κατά μήκος της διατομής ελέγχου ορίζονται ως :

$V_{Rd,c}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση της πλάκας, η

οποία θεωρείται χωρίς οπλισμό διάτμησης κατά μήκος του διατομής ελέγχου.

$V_{Rd,cs}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση της πλάκας, η οποία θεωρείται με οπλισμό διάτρησης κατά μήκος του τμήματος ελέγχου.

$V_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της μέγιστης αντοχής στη διάτρηση κατά μήκος της διατομής ελέγχου που θεωρείται.

Οι παρακάτω έλεγχοι θα πρέπει να εκτελούνται:

(α) Στην περίμετρο του υποστηλώματος, ή στη περίμετρο της φορτισμένης περιοχής, η μέγιστη δύναμη διάτρησης θα πρέπει να ικανοποιεί την σχέση :

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

(β) Δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης εάν ισχύει η σχέση:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c}$$

(γ) Όπου η V_{Ed} ξεπερνά την $V_{Rd,c}$ για την διατομή ελέγχου που θεωρείται, η τάση διάτρησης θα πρέπει να παρέχεται σύμφωνα με τις αναφορές για την διάτρηση που ακολουθούν.

Εκεί όπου η αντίδραση στην στήριξη είναι έκκεντρη σε σχέση με την περίμετρο ελέγχου, η μέγιστη διατμητική δύναμη θα πρέπει να προσδιορίζεται από τον ακόλουθη σχέση:

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}, \quad (2.7)$$

όπου

d είναι η το ισοδύναμο πλάτος της πλάκας, η τιμή του οποίου μπορεί να παρθεί ίσο με $(d_y + d_z)/2$, όπου

d_y, d_z είναι τα ενεργά πλάτη στην y και z διεύθυνση, αντίστοιχα, της διατομής ελέγχου

u_i είναι το μήκος της περιμέτρου ελέγχου

το β δίνεται από την σχέση :

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \cdot \frac{u_1}{W_1}, \quad (2.8)$$

όπου

- u_1 είναι το μήκος της βασικής περιμέτρου ελέγχου που θεωρείται
- k είναι ο συντελεστής που εξαρτάται από τον λόγο των διαστάσεων c_1 και c_2 των υποστηλωμάτων. Η τιμή του είναι μια συνάρτηση του λόγου της εξισορροπημένης ροπής που μεταφέρεται από αντίρροπες διατμητικές τάσεις από κάμψη και στρέψη. (Πίνακας 2.1)
- W_1 αντιστοιχεί σε μια διανομή της διάτμησης όπως περιγράφεται στο Σχήμα 6.19, και είναι μια συνάρτηση της βασικής περιμέτρου ελέγχου u_1 :

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl, \quad (2.9)$$

όπου

- dl είναι το απειροστό μήκος της περιμέτρου
- e είναι η απόσταση του dl από τον άξονα γύρω από τον άξονα που ενεργεί η ροπή M_{Ed} .

Πίνακας 2.1: Τιμές του k για ορθογωνικές φορτισμένες περιοχές

c_1/c_2	≤ 0.5	1.0	2.0	≥ 3.0
k	0.45	0.60	0.70	0.80

Για ορθογωνικά υποστηλώματα :

$$W_1 = \frac{c_1^2}{2} + c_1 c_2 + 4c_2 d + 16d^2 + 2\pi d c_1, \quad (2.10)$$

όπου

c_1 είναι η διάσταση του υποστηλώματος που είναι παράλληλη στην εκκεντρότητα του φορτίου

c_2 είναι η διάσταση του υποστηλώματος που είναι κάθετη στην εκκεντρότητα του φορτίου

Για εσωτερικά κυκλικά υποστηλώματα η τιμή του β υπολογίζεται από την σχέση :

$$\beta = 1 + 0.6\pi \frac{e}{D + 4d}, \quad (2.11)$$

όπου D είναι η διάμετρος του κυκλικού υποστηλώματος.

Για ένα εσωτερικό ορθογωνικό υποστήλωμα όπου το φορτίο είναι έκκεντρο ως προς τους δύο άξονες, η ακόλουθη έκφραση για το β μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

$$\beta = 1 + 1.8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}, \quad (2.12)$$

όπου

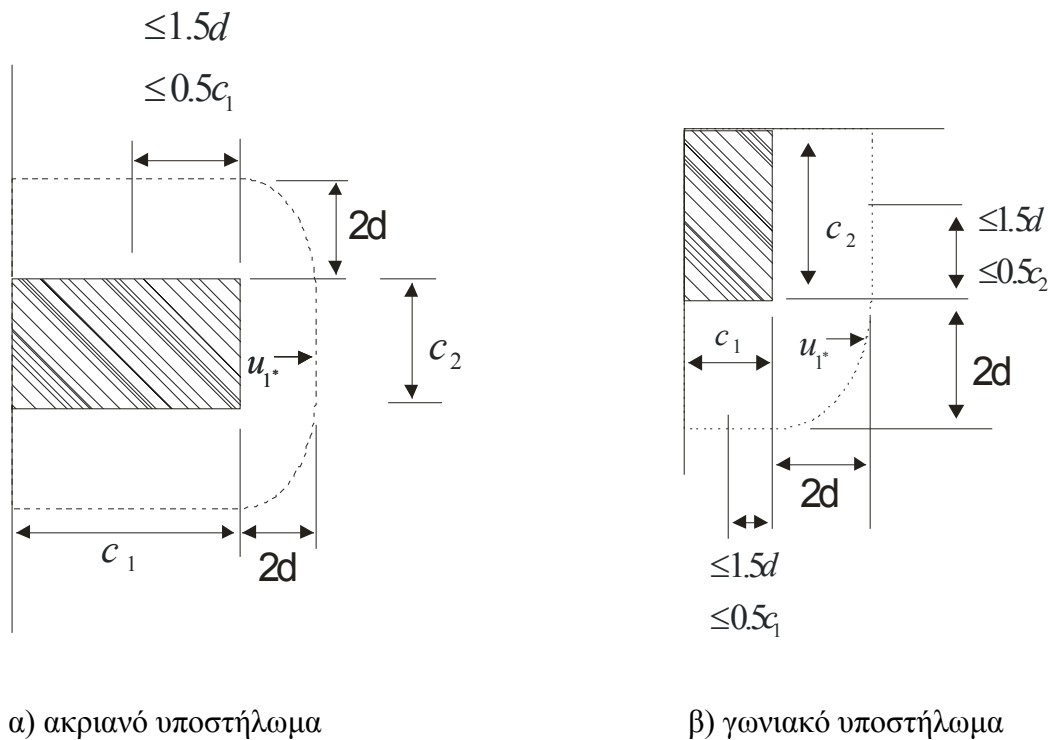
e_y και e_z είναι οι εκκεντρότητες M_{Ed} / V_{Ed} κατά μήκος των αξόνων y και z αντίστοιχα

b_y και b_z είναι οι διαστάσεις της περιμέτρου ελέγχου (βλέπε Σχήμα 2-2)

Σημείωση: Η e_y προέρχεται από μια ροπή γύρω από τον άξονα z, και η e_z είναι μια ροπή γύρω από τον άξονα y.

Για συνδέσεις ακριανών υποστηλωμάτων, όπου η εκκεντρότητα που είναι κάθετη στην άκρη της πλάκας (προερχόμενη από μια ροπή γύρω από έναν άξονα που

παράλληλο στην άκρη της πλάκας), κατευθύνεται στο εσωτερικό και δεν υπάρχει εκκεντρότητα παράλληλη στο άκρο, η δύναμη διάτρησης μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ομοιόμορφα διανεμημένη κατά μήκος της περιμέτρου ελέγχου u_1 , όπως δείχνεται στο Σχήμα 2-8:



Σχήμα 2-8: Μειωμένη βασική περίμετρος u_{1*} σύμφωνα με τον EC2

Όπου υπάρχουν εκκεντρότητες στις δύο ορθογώνιες διευθύνσεις, το β μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη σχέση:

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{u_1}{W_1} e_{par} \quad (2.13)$$

όπου

u_1 είναι η βασική περίμετρος ελέγχου (βλέπε Σχήμα 2-4)

u_{1*} είναι η μειωμένη βασική περίμετρος ελέγχου (βλέπε Σχήμα 2-8)

e_{par} είναι η εκκεντρότητα που είναι παράλληλη στην άκρη της πλάκας, προερχόμενη από μια ροπή γύρω από άξονα κάθετο στην άκρη του υποστηλώματος.

k υπολογίζεται από τον Πίνακα 2.1 με τον λόγο c_1/c_2 να αντικαθίσταται από $c_1/2c_2$

W_1 υπολογίζεται από την βασική περίμετρο ελέγχου u_1 .

Για ένα ορθογωνικό υποστήλωμα όπως αυτό δείχνεται στο Σχήμα 2-8(α):

$$W_1 = \frac{c_2^2}{4} + c_1c_2 + 4c_1d + 8d^2 + 2\pi dc_2 \quad (2.14)$$

Εάν η εκκεντρότητα που είναι κάθετη στην άκρη της πλάκας, δεν κατευθύνεται στο εσωτερικό, τότε εφαρμόζεται η σχέση (2.8). Όταν υπολογίζεται W_1 , η εκκεντρότητα e θα πρέπει να μετριέται από το κεντροειδές της περιμέτρου ελέγχου.

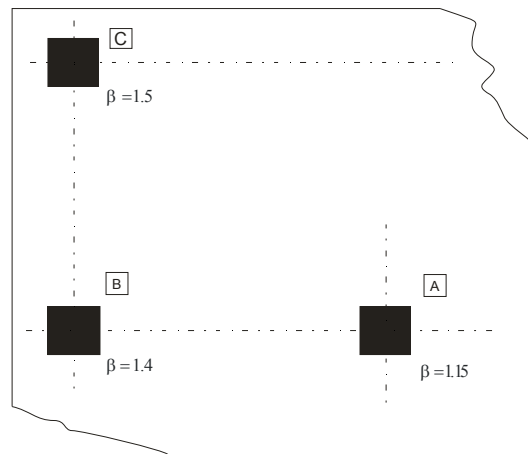
Για συνδέσεις ενός γωνιακού υποστηλώματος, όπου η εκκεντρότητα κατευθύνεται στο εσωτερικό της πλάκας, θεωρείται ότι η δύναμη διάτρησης διανέμεται ομοιόμορφα κατά μήκος της μειωμένης περιμέτρου ελέγχου u_1^* , όπως ορίζεται στο Σχήμα 2-8(β). Τότε η τιμή του β μπορεί να θεωρηθεί ως εξής:

$$\beta = \frac{u_1}{u_1^*} \quad (2.15)$$

Εάν η εκκεντρότητα κατευθύνεται προς το εξωτερικό, τότε εφαρμόζεται η σχέση (2.8).

Για κατασκευές όπου η πλευρική ευστάθεια δεν εξαρτάται από την δράση του πλαισίου μεταξύ των υποστηλώματων και των πλακών, και όπου τα γειτονικά άνοιγματα δεν διαφέρουν σε μήκος περισσότερο από 25%, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι προσεγγιστικές τιμές του β .

Σημείωση: Οι τιμές που συνιστά ο EC2 δείχνονται στο Σχήμα 2-9.



Σχήμα 2-9: Προτεινόμενες τιμές του β σύμφωνα με τον EC2

Εκεί όπου το συγκεντρωμένο φορτίο εφαρμόζεται κοντά στην στήριξη του υποστηλώματος μιας πλάκας χωρίς δοκούς, η μείωση της διατμητικής δύναμης δεν ισχύει, και δεν θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται στους υπολογισμούς.

Η διατμητική δύναμη διάτρησης V_{Ed} σε μια πλάκα θεμελίωσης, μπορεί να μειωθεί λόγω της ευνοϊκής δράσης της εδαφικής πίεσης.

Η κάθετη συνιστώσα V_{pd} , που προέρχεται από προτεταμένο τένοντα που διέρχεται από την διατομή ελέγχου, μπορεί να ληφθεί υπόψη ως ευνοϊκή δράση εκεί όπου απαιτείται.

2.2 Διατμητική αντοχή σε διάτρηση πλακών των βάσεων υποστηλωμάτων χωρίς διατμητικό οπλισμό

Η διατμητική αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας θα πρέπει να εκτιμηθεί για την βασική διατομή ελέγχου, σύμφωνα με τον EC2. Η διατμητική αντοχή σχεδιασμού σε διάτρηση [MPa] μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}), \quad (2.16)$$

όπου

f_{ck} σε MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0, \text{ όπου } d \text{ σε mm} \quad (2.17)$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \leq 0.02, \quad (2.18)$$

$\rho_{ly} \rho_{lz}$ σχετίζονται με τον εφελκόμενο χάλυβα οπλισμού στην y-και

z- διεύθυνση αντίστοιχα ως μέσες τιμές, παίρνοντας υπόψη ένα πάχος πλάκας ίσο με το πλάτος του υποστηλώματος αυξημένο κατά $3d$ σε κάθε πλευρά του.

$$\sigma_{cp} = (\sigma_{cy} + \sigma_{cz}) / 2, \quad (2.19)$$

όπου

σ_{cy}, σ_{cz} είναι οι ορθές τάσεις σκυροδέματος στην κρίσιμη διατομή στις y-και z- διευθύνσεις (MPa, θετικές στην θλίψη)

$$\sigma_{cy} = \frac{N_{Ed,y}}{A_{cy}} \text{ και } \sigma_{cz} = \frac{N_{Ed,z}}{A_{cz}}, \quad (2.20), (2.21)$$

$N_{Ed,y}, N_{Ed,z}$ είναι οι διαμήκεις δυνάμεις δια μέσου του πλήρους φατνώματος για εσωτερικά υποστηλώματα και η διαμήκης δύναμη δια μέσου της διατομής ελέγχου για τα ακριανά υποστηλώματα. Η δύναμη μπορεί να προέρχεται από ένα φορτίο ή από μία δράση λόγω προέκτασης

A_c είναι το εμβαδόν του σκυροδέματος σύμφωνα με τον ορισμό του N_{Ed}

Σημείωση: Η συνιστώμενη τιμή για το $C_{Rd,c}$ είναι το $0.18/\gamma_c$, για το V_{min} δίνεται από την σχέση $V_{min} = 0.035k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ και για το k_1 είναι η τιμή 0.1.

Η αντοχή στην διάτρηση των βάσεων των υποστηλωμάτων θα πρέπει να επαληθεύεται στην περίμετρο ελέγχου σε απόσταση $2d$ από την περίμετρο του υποστηλώματος.

Για συγκεντρωμένα φορτία, η καθαρή εφαρμοσμένη δύναμη είναι:

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad (2.22)$$

όπου

V_{Ed} είναι η διατμητική δύναμη που εφαρμόζεται

ΔV_{Ed} είναι η καθαρή προς τα πάνω δύναμη εντός της περιμέτρου ελέγχου που θεωρείται (για παράδειγμα προς τα πάνω πίεση από το έδαφος μείον το ιδίον βάρος της βάσης).

$$V_{Ed} = V_{Ed,red} / u d \quad (2.23)$$

$$V_{Rd} = C_{Rd,c} k (100 \rho f_{ck})^{1/3} \times 2d / a \geq V_{min} \times 2d / a \quad (2.24)$$

όπου

- a είναι η απόσταση από την περίμετρο του υποστηλώματος μέχρι την περίμετρο ελέγχου που θεωρείται
- $C_{Rd,c}$ ορίζεται από την σχέση (2.16)
- V_{\min} ορίζεται από την σχέση (2.16)
- k ορίζεται από την σχέση (2.17)

Για έκκεντρες φορτίσεις

$$V_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \left[1 + k \frac{M_{Ed}u}{V_{Ed,red}W} \right], \quad (2.25)$$

όπου

- k ορίζεται κατάλληλα στην (2.7) ή (2.13), και W είναι ίδιο με το W_1 αλλά για την περίμετρο u .

2.3 Διατμητική αντοχή στην διάτρηση πλακών και υποστηλωμάτων με διατμητικό οπλισμό

Εκεί όπου απαιτείται διατμητικός οπλισμός διάτρησης, θα πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση :

$$V_{Rd,cs} = 0.75V_{Rd,c} + 1.5(d/s_r)A_{sw}f_{ywd,ef} (1/(u_1d)) \sin a, \quad (2.26)$$

όπου

- A_{sw} είναι το εμβαδόν της μιας περιμέτρου διατμητικού οπλισμού γύρω από το υποστήλωμα [mm^2]
- s_r είναι η ακτινική απόσταση της περιμέτρου του διατμητικού οπλισμού [mm]
- $f_{ywd,ef}$ είναι η ισοδύναμη δύναμη σχεδιασμού του διατμητικού οπλισμού

διάτρησης, σύμφωνα με τον σχέση:

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25d \leq f_{ywd} [MPa], \quad (2.27)$$

- d είναι η μέση τιμή του ισοδύναμου πλαισίου στις ορθογώνιες διευθύνσεις [mm]
- a είναι η γωνία μεταξύ του διατμητικού οπλισμού και του επιπέδου της πλάκας

Εάν παρέχεται μόνο μία γραμμή κεκαμένων ράβδων, τότε ο λόγος d/s_r της σχέσης (2.26), μπορεί να πάρει την τιμή 0.67.

Λεπτομερείς απαιτήσεις για τον διατμητικό οπλισμό διάτρησης δίνονται στο παρακάτω.

Στη γειτονιά του υποστηλώματος, η διατμητική αντοχή στην διάτρηση περιορίζεται σε ένα μέγιστο που δίνεται που από την σχέση:

$$V_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq V_{Rd,max}, \quad (2.28)$$

όπου

u_0	για ένα κεντρικό υποστήλωμα	$u_0 =$	μήκος περιμέτρου υποστηλώματος
	για ένα ακριανό υποστήλωμα	$u_0 = c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$	(2.29)

	για ένα γωνιακό υποστήλωμα	$u_0 = 3d \leq c_2 + c_1$	(2.30)
--	----------------------------	---------------------------	--------

u_0 σε mm

c_2, c_1 είναι οι διαστάσεις του υποστηλώματος όπως δείχνεται στο Σχήμα 2-8

$$v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

β βλέπε (2.11), (2.12), (2.13).

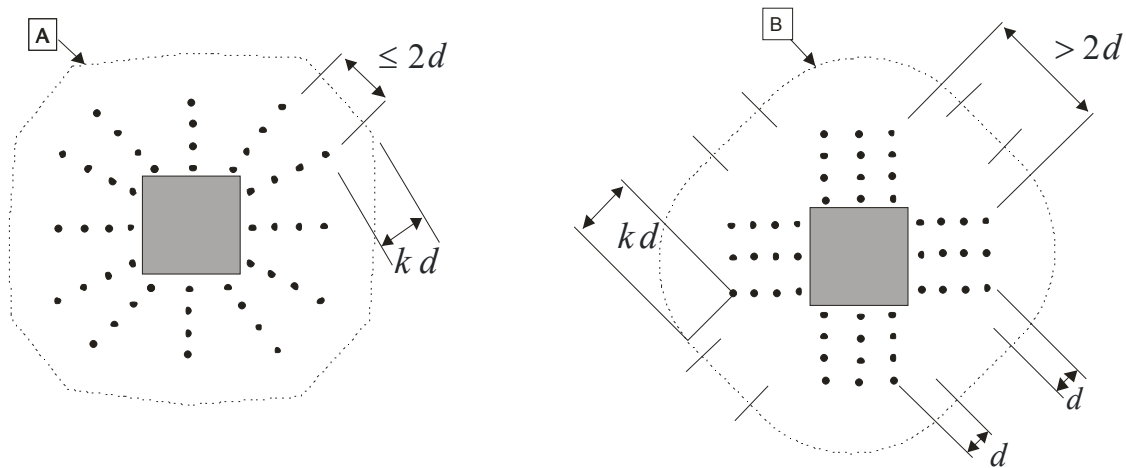
Σημείωση: Η προτεινόμενη τιμή του $V_{Rd,max}$ είναι η $0.5vf_{cd}$.

Η περίμετρος ελέγχου στην οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης ,είναι η u_{out} ή ($u_{out,ef}$,βλέπε Σχήμα 2-10), και θα πρέπει να υπολογίζεται με την Σχέση(2.31):

$$u_{out,ef} = \beta V_{Ed} / (V_{Rd,c} d) \quad (2.31)$$

Η εξωτερική περίμετρος του διατμητικού οπλισμού θα πρέπει να τοποθετείται σε μια διάσταση όχι μεγαλύτερη του kd εντός της u_{out} η ($u_{out,ef}$ βλέπε Σχήμα 2-10).

Εκεί όπου χρησιμοποιείται ειδικός διατμητικός οπλισμός διάτρησης, η $V_{Rd,cs}$ θα πρέπει να προσδιορίζεται με τις κατάλληλες δοκιμές που ορίζονται στον Ευρωπαϊκό Τεχνικό Κανονισμό.



όπου

A - περίμετρος u_{out}

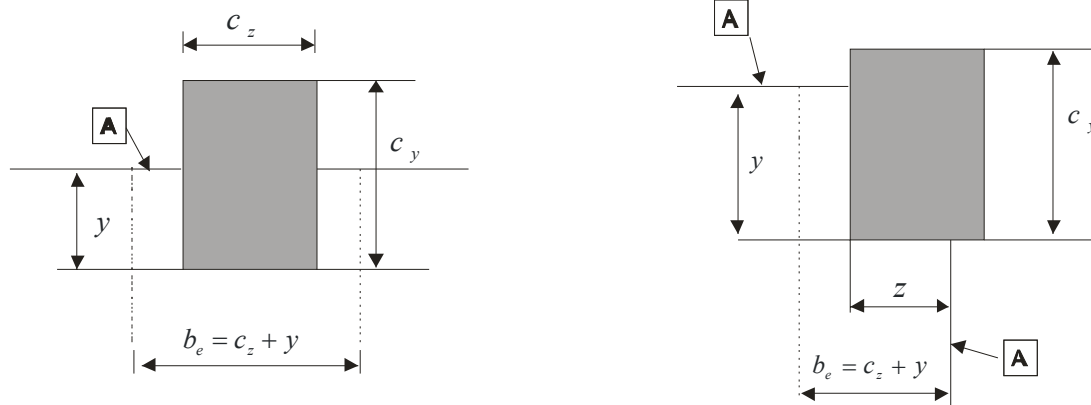
B - περίμετρος $u_{out,ef}$

Σχήμα 2-10: Περίμετροι ελέγχου σε εσωτερικά υποστηλώματα σύμφωνα με τον EC2

Η προτεινόμενη τιμή του k είναι 1.5.

2.4 Η πλάκα στα ακριανά και γωνιακά υποστηλώματα

Θα πρέπει να τοποθετείται κάθετος οπλισμός σε ένα ελεύθερο άκρο, προκειμένου να μεταβιβάζονται οι καμπτικές ροπές από την πλάκα στο ακριανό ή στο γωνιακό υποστήλωμα. Ο οπλισμός αυτός θα πρέπει να τοποθετείται μέσα στο ενεργό πλάτος b_e . (Σχήμα 2-11)



α) ακριανό υποστήλωμα

β) γωνιακό υποστήλωμα

Σημείωση: το y μπορεί να είναι $> c_y$

Σημείωση: το z μπορεί να είναι

c_z και το y μπορεί να

είναι $> c_y$

όπου

A- άκρη της πλάκας

Σχήμα 2-11: Ενεργό πλάτος, b_e , της πλάκας χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον EC2

2.5 Η πλάκα στα εσωτερικά υποστηλώματα

Η διάταξη του οπλισμού στις πλάκες χωρίς δοκάρια, θα πρέπει να αντανακλά τη συμπεριφορά κάτω από συνθήκες λειτουργίας. Γενικά αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συγκέντρωση του οπλισμού πάνω από τα υποστηλώματα.

Στα κεντρικά υποστηλώματα, εάν γίνουν ακριβείς υπολογισμοί, ένας μέγιστος οπλισμός, εμβαδού $0.5A_t$, θα πρέπει να τοποθετείται σε ένα πλάτος ίσο με το άθροισμα των 0.125 φορές του πλάτους του φατνώματος, σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος. Το A_t αντιπροσωπεύει το εμβαδόν του οπλισμού που απαιτείται ώστε να παραληφθεί η συνολική αρνητική ροπή από το άθροισμα των δύο μισών φατνωμάτων σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος .

Στα κεντρικά υποστηλώματα σε κάθε ορθογωνική διεύθυνση, θα πρέπει να παρέχεται κάτω οπλισμός (2 ράβδοι), ο οποίος οπλισμός θα πρέπει να διέρχεται δια μέσου του υποστηλώματος.

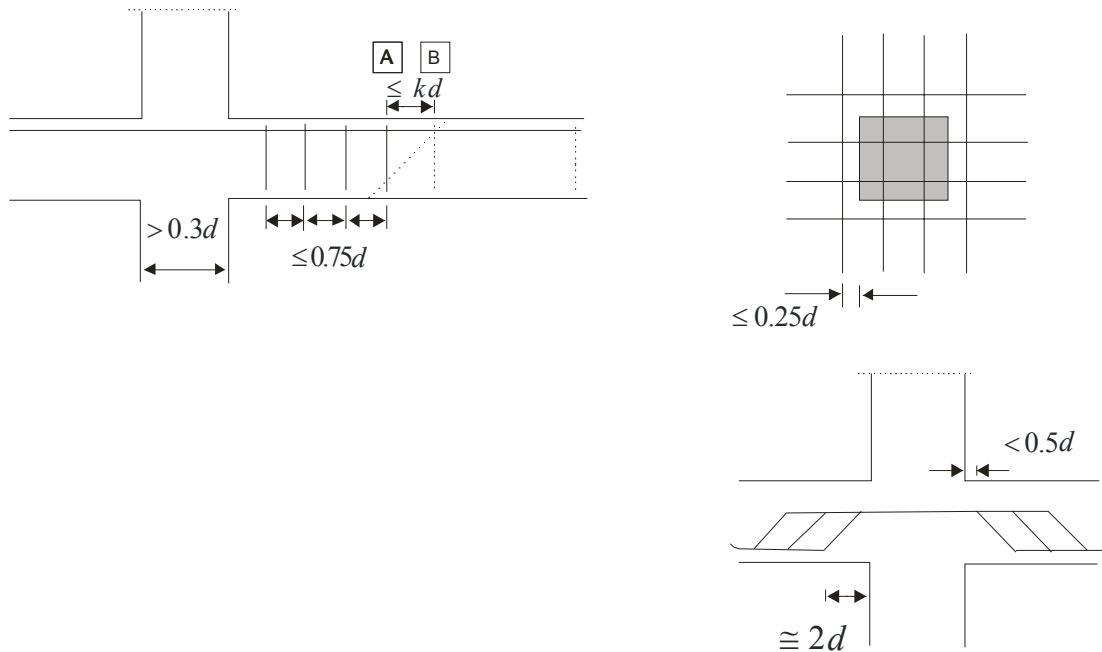
2.6 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Εκεί που απαιτείται οπλισμός διάτρησης, αυτός θα πρέπει να τοποθετείται μεταξύ της φορτισμένης περιοχής του υποστηλώματος και της απόστασης kd , εσωτερικά της περιμέτρου ελέγχου, πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης. Θα πρέπει να παρέχονται σε τουλάχιστον δύο περιμέτρους από σκέλη συνδετήρων. Η απόσταση των περιμέτρων των σκελών των συνδετήρων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $0.75d$.

Η απόσταση των σκελών των συνδετήρων δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το $1.5d$ μέσα στην πρώτη περίμετρο ελέγχου ($2d$ από την φορτισμένη επιφάνεια), και επίσης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $2d$ για περιμέτρους έξω από την περίμετρο ελέγχου, όταν

αυτό το τμήμα της περιμέτρου υποτίθεται ότι συνεισφέρει στην διατμητική ικανότητα.

Για κεκαμμένες ράβδους προς τα κάτω, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-12 μία περίμετρος μπορεί να θεωρηθεί επαρκής.



α) αποστάσεις συνδετήρων

β) αποστάσεις κεκαμμένων ράβδων

όπου

A- η εξωτερική περίμετρος στην οποία απαιτείται διατμητικός οπλισμός

B- η πρώτη περίμετρος ελέγχου όπου δεν απαιτείται διατμητικός οπλισμός

Όπου απαιτείται να τοποθετηθεί διατμητικός οπλισμός, το εμβαδόν ενός σκέλους συνδετήρα $A_{s,min}$, παρέχεται από την σχέση:

$$A_{s,min} \times (1.5 \sin a + \cos a) / (s_r \times s_t) \geq 0.08 \times \sqrt{f_{ck}} / f_{yk}, \quad (2.32)$$

όπου a είναι η γωνία μεταξύ του διατμητικού οπλισμού διάτρησης και

του κύριου οπλισμού (για κατακόρυφους συνδετήρες $\alpha=90^\circ$, $\sin 90=1$)

s_r είναι η απόσταση των διατμητικών συνδετήρων στην ακτινική διεύθυνση

s_t είναι η απόσταση των διατμητικών συνδετήρων στην εφαπτομενική διεύθυνση

f_{ck} σε MPa

Η κατακόρυφη συνιστώσα μόνο εκείνων των προεκτεταμένων τενόντων που διέρχονται μέσα σε μια απόσταση $0.5d$ του υποστήλωματος, μπορεί να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της διάτμησης. Για κεκαμμένες ράβδοι προς τα πάνω, που περνούν δια μέσου της φορτισμένης περιοχής σε μια απόσταση που δεν υπερβαίνει τα $0.25d$ από αυτήν την περιοχή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως οπλισμός διάτμησης. Η απόσταση μεταξύ της παρειάς της στήριξης, ή της περιφέρειας της φορτισμένης περιοχής, και του πιο γειτονικού οπλισμού διάτμησης που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό, δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα $d/2$. Αυτή η απόσταση θα πρέπει να παρέχεται στη στάθμη του εφελκυσμένου οπλισμού. Εάν παρέχεται μια μόνο σειρά κεκαμμένων ράβδων προς τα πάνω, η κλίση τους μπορεί να μειωθεί στις 30° .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΑΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ ΤΟΝ EC2 (NEN-EN 1992- 1-1)

3.1 Τα βήματα της ανάλυσης και του σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται μια συστηματική διαδικασία για την ανάλυση και το σχεδιασμό των πλακών δίχως δοκούς από σκυρόδεμα, σύμφωνα με τον EC2 (NEN-EN 1992-1-1) και παρέχονται οι σχετικοί πίνακες και τα βήματα για τον σχεδιασμό. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται με τα διαγράμματα ροής που καταχωρούνται στο Παράρτημα.

Για την ανάλυση των μεγεθών μπορεί να χρησιμοποιηθεί πέρα της μεθόδου που αναπτύσσεται στο προηγούμενο κεφάλαιο :

- η άμεση μέθοδος
- η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων
- η μέθοδος των γραμμών διαρροής

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο EC2 παρέχει περισσότερες οδηγίες πάνω στη μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου. Όταν οι καμπτικές ροπές και οι διατμητικές δυνάμεις έχουν τελικώς προσδιοριστεί, η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό των πλακών χωρίς δοκούς.

Τα βήματα σχεδιασμού

Η διαδικασία για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των πλακών δίχως δοκούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1. Υποτίθεται ότι το πάχος των πλακών έχει ήδη αποφασιστεί κατά τη φάση του προκαταρκτικού σχεδιασμού. Οι λεπτομέρειες πάνω στο σχεδιασμό της διάρκειας ζωής του έργου, στις φορτίσεις, στις ιδιότητες των υλικών, στις μεθόδους ανάλυσης, στο ελάχιστο πάχος επικάλυψης για ανθεκτικότητα και συνάφεια, και στον έλεγχο του εύρους των ρωγμών, θα συζητηθούν αργότερα.

Πίνακας 3.1: Διαδικασία σχεδιασμού των πλακών χωρίς δοκούς

Βήματα	Εργασία	Πρόσθετες οδηγίες
1	Προσδιορίστε την σχεδιαζόμενη διάρκεια ζωής	NA to EN 1990
2	Εκτιμήστε τις δράσεις πάνω στην πλάκα	EN 1991
3	Προσδιορίστε ποιος συνδυασμός δράσεων εφαρμόζεται	NA to EN 1990
4	Προσδιορίστε τη διάταξη των φορτίων	NA to EN 1992-1-1
5	Εκτιμήστε τις απαιτήσεις αντοχής σκυροδέματος στο χρόνο και προσδιορίστε την αντοχή του σκυροδέματος	
6	Ελέγξτε τις απαιτήσεις επικάλυψης για αντοχή σε πυρκαγιά	EN 1992-1-2:Section 5
7	Υπολογίστε την ελάχιστη επικάλυψη για αντοχή στο χρόνο, πυρκαγιά και απαιτήσεις συνάφειας	EN 1992-1-2 Cl 4.4.1
8	Αναλύστε την κατασκευή για να προσδιοριστούν οι κρίσιμες ροπές και οι δυνάμεις διάτμησης	EN 1992-1-1 Section 5
9	Σχεδιάστε τον οπλισμό κάμψης	EN 1992-1-1 Section 6.1
10	Ελέγξτε το βέλος κάμψης	EN 1992-1-1 Section 7.4
11	Ελέγξτε τη διατμητική ικανότητα σε διάτρηση	EN 1992-1-1 Section 6.4
12	Ελέγξτε τα διαστήματα των ράβδων οπλισμού	EN 1992-1-1 Section 7.3
13	Ελέγξτε την αντοχή στη μεταφορά των ροπών από το υποστήλωμα στην πλάκα	EN 1992-1-1 Annex 1.2(5)

3.2 Σχεδιασμός έναντι οριακών καταστάσεων αντοχής και λειτουργικότητας

Αντοχή στη φωτιά

Ο EC2, με τίτλο ο *Δομικός σχεδιασμός έναντι φωτιάς*, προσφέρει μια επιλογή από προηγμένες, απλοποιημένες ή πινακοποιημένες μεθόδους για τον προσδιορισμό της αντοχής έναντι πυρκαγιάς. Το να χρησιμοποιούνται πίνακες είναι ο πιο γρήγορος τρόπος για να προσδιοριστούν οι ελάχιστες διαστάσεις και η επικάλυψη για τις πλάκες χωρίς δοκούς. Υπάρχουν, όμως, ορισμένοι περιορισμοί οι οποίοι, αν τελικά εφαρμοστούν, θα πρέπει να αντληθούν περισσότερα στοιχεία σε εξειδικευμένη βιβλιογραφία. Αντί να δίνεται μια ελάχιστη επικάλυψη, η πινακοποιημένη μέθοδος βασίζεται σε μια ονομαστική αξονική απόσταση a . Αυτή είναι η απόσταση από το κέντρο της ράβδου οπλισμού μέχρι την εξωτερική επιφάνεια του μέλους. Πρόκειται για μια ονομαστική (όχι ελάχιστη) διάσταση, και συνεπώς ο μελετητής θα πρέπει να εξασφαλίσει ότι $a \geq c_{nom} + \phi_{link} + \phi_{bar} / 2$. Οι σχετικές απαιτήσεις για τις πλάκες δίχως δοκούς δίνονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες διαστάσεις και αξονικές αποστάσεις για οπλισμένες πλάκες σκυροδέματος

Αντοχή σε πυρκαγιά	Ελάχιστες διαστάσεις	
	Πάχος πλάκας, h_s	Αξονική απόσταση, a
REI 60	180	15
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 240	200	50

Παρατηρήσεις:

1. Ο πίνακας προέρχεται από EN 1992-1-2 Table 5.9
2. Η αξονική απόσταση μετράται μέχρι το κέντρο της εξωτερικής στρώσης των ράβδων οπλισμού

3. Ο πίνακας ισχύει μόνο αν οι λεπτομερείς απαιτήσεις (βλέπε παρατήρηση 4) έχουν τηρηθεί και, σε σχεδιασμό σε κανονικές θερμοκρασίες, η αναδιανομή των καμπτικών ροπών δεν ξεπερνάει το 15%
4. Για αντοχή σε πυρκαγιά της κατηγορίας R90 και πάνω τουλάχιστον το 20% του συνολικού οπλισμού σε κάθε διεύθυνση πάνω από τα ενδιάμεσα στηρίγματα που απαιτείται από τον EN 1992-1-1, θα πρέπει να συνεχίζει σε όλο το μήκος του ανοίγματος. Αυτός ο οπλισμός θα πρέπει να τοποθετηθεί στη λωρίδα του υποστηλώματος.
5. Υπάρχουν τρεις τύποι έκθεσης σε πυρκαγιά που θα πρέπει να ικανοποιούνται:
 - R Μηχανική αντοχή για φέρων φορτίο
 - E Ακεραιότητα του διαχωρισμού
 - I Μόνωση

Οι απαιτήσεις του EN 1992-1-1 θα πρέπει να προσδιορίζουν την επικάλυψη.

Κάμψη

Η διαδικασία για τον καμπτικό σχεδιασμό παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής 1 του παραρτήματος. Αυτό στηρίζεται στον τύπο που εξάγεται με βάση το απλοποιημένο ορθογωνικό στερεό των τάσεων του EC2. Οποιαδήποτε μέθοδος ανάλυσης και αν χρησιμοποιηθεί, οι διατάξεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2 απαιτούν από τον μελετητή να συγκεντρώσει τον οπλισμό πάνω από τα υποστηλώματα. Το Παράρτημα 1 του EC2 δίνει συστάσεις για την μέθοδο του ισοδύναμου πλαισίου, για το πώς θα πρέπει να διανεμηθεί η ροπή κάμψης. Οι μελετητές που χρησιμοποιούν την μέθοδο πλαισίου, τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ή την μέθοδο των γραμμών διαρροής, μπορούν επίσης να επιλέξουν να ακολουθήσουν τις συστάσεις του Παραρτήματος 1 του ευρωκώδικα, για να ικανοποιήσουν αυτή την απαίτηση. Το ίδιο ισχύει και για τους μελετητές που χρησιμοποιούν την άμεση μέθοδο σχεδιασμού, για την ανάλυση των πλακών, παρόλο που η συγκεκριμένη μέθοδος δεν προτείνεται από τον EC2. Ο EC2 προσφέρει διάφορες μεθόδους για τον προσδιορισμό της σχέσης τάσεων παραμόρφωσης του σκυροδέματος. Για απλοποίηση η μέθοδος που παρουσιάζεται εδώ είναι το απλοποιημένο ορθογωνικό στερεό των τάσεων (βλέπε διάγραμμα ροής 2 του Παραρτήματος).

Ο EC2 δίνει συστάσεις για το σχεδιασμό των δομικών στοιχείων σκυροδέματος μέχρι την κατηγορία C90/105. Όμως για αντοχή σκυροδέματος μεγαλύτερης της κατηγορίας C50/60, το στερεό των τάσεων τροποποιείται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αντοχή του σκυροδέματος βασίζεται στην κυλινδρική αντοχή και όχι στην κυβική αντοχή, (για κατηγορία σκυροδέματος C28/35 η κυλινδρική αντοχή είναι 28 MPa ,ενώ η κυβική αντοχή είναι 35 MPa).

Βέλος κάμψης

Ο EC2 παρέχει δύο εναλλακτικές μεθόδους για το προσδιορισμό του βέλους κάμψης. Είτε περιορίζοντας τον λόγο μήκος ανοίγματος / ύψος δομικού στοιχείου , είτε εκτιμώντας το θεωρητικό βέλος κάμψης χρησιμοποιώντας τους τύπους που δίνονται στον EC2. Ο λόγος μήκος ανοίγματος / ύψος δομικού στοιχείου, θα πρέπει να τονιστεί ότι δεν θα πρέπει να ξεπερνά ποτέ την τιμή μήκος ανοίγματος / 250 . Ο λόγος μήκος ανοίγματος / ύψος δομικού στοιχείου, εφαρμόζεται εκεί όπου η κατασκευή παραμένει καλουπωμένη κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή μέχρι το σκυρόδεμα να αποκτήσει ικανή αντοχή να υποστηρίξει τα φορτία της κατασκευής. Μπορεί γενικά να θεωρηθεί ότι το νωρίτερο ξεκαλούπωμα δε θα επηρεάσει σημαντικά το βέλος κάμψης μετά την εγκατάσταση των επικαλύψεων ή των επιστρώσεων.

3.3 Λεπτομέρειες όπλισης

Κανόνες για αποστάσεις και ποσότητα του οπλισμού

- Ελάχιστο εμβαδόν οπλισμού

Το ελάχιστο εμβαδό του διαμήκους οπλισμού στην κύρια διεύθυνση

είναι: $A_{s, \min} = 0.26 f_{ctm} b_t d / f_{yk}$ αλλά όχι λιγότερο από $0.00013b$ (βλέπε

Πίνακα 3.3)

Πίνακας 3.3: Ελάχιστο ποσοστό του απαιτούμενου οπλισμού

f_{ck}	f_{ctm}	ελάχιστο $\%(0.26 f_{ctm} / f_{ck})$
25	2.6	0.13%
28	2.8	0.14%
30	2.9	0.15%
32	3.0	0.16%
35	3.2	0.17%
40	3.5	0.18%
45	3.8	0.20%
50	4.1	0.21%

Όπου $f_{ck} = 500$ MPa

Το ελάχιστο εμβαδόν ενός σκέλους συνδετήρων για κατακόρυφο διατμητικό οπλισμό από διάτρηση:

$$1,5 A_{sw, \min} / (S_r S_t) \geq 0,08 (f_{ck}) / f_{yk}$$

Η οποία μπορεί να γραφτεί ως

$$A_{sw, \min} \geq (S_r S_t) / F$$

όπου

s_r = η απόσταση των σκελών στην ακτινική διεύθυνση

s_t = η απόσταση των σκελών στην εφαπτομενική διεύθυνση

η F μπορεί να υπολογιστεί από τον Πίνακα 3.4

Πίνακας 3.4: Προσδιορισμός του συντελεστή F για συγκεκριμένο $A_{sw, \min}$

f_{ck}	Συντελεστής, F
25	1875
28	1772
30	1712
32	1657
35	1585
40	1482
45	1398
50	1326

Σημείωση: το f_{ck} θεωρείται ως 500 MPa

- Μέγιστο εμβαδόν οπλισμού
Εκτός περιοχών ματίσματος, το μέγιστο εμβαδόν οπλισμού εφελκυσμού ή θλίψης δεν πρέπει να υπερβαίνει:
 $A_{s, \max} = 0,4 A_c$
- Ελάχιστη απόσταση του οπλισμού
Η ελάχιστη απόσταση των ράβδων οπλισμού (σίδερα) θα πρέπει να είναι η μεγαλύτερη από :
 - 1 x διάμετρο της ράβδου
 - διάσταση αδρανών + 5mm
 - 20mm

Μέγιστη απόσταση του κύριου οπλισμού

Για πλάκες με πάχος μικρότερο από 200 mm, οι παρακάτω κανόνες για τα μέγιστα διαστήματα εφαρμόζονται:

- για τον κύριο οπλισμό : $3h$ αλλά όχι περισσότερο από 400mm
- για το δευτερεύοντα οπλισμό : $3,5h$ αλλά όχι περισσότερο από 450mm

Η εξαίρεση είναι σε περιοχές με συγκεκριμένα φορτία, ή σε περιοχές με τη μέγιστη ροπή, όπου εφαρμόζονται τα ακόλουθα:

- για τον κύριο οπλισμό : $2h$ αλλά όχι περισσότερο από 250mm
- για το δευτερεύοντα οπλισμό : $3h$ αλλά όχι περισσότερο από 400mm, όπου το h είναι το πάχος της πλάκας.

Αποστάσεις του διατμητικού οπλισμού διάτρησης

Όπου απαιτείται οπλισμός διάτρησης, θα πρέπει να τηρούνται οι παρακάτω κανόνες :

- Θα πρέπει να παρέχεται μεταξύ της παρειάς της κολόνας και του kd μέσα στην εξωτερική περίμετρο, όπου δεν απαιτείται πλέον ο διατμητικός οπλισμός. Το k είναι 1,5 εκτός αν η περίμετρος στην οποία δεν απαιτείται πλέον ο διατμητικός οπλισμός, είναι μικρότερη από $3d$ από την παρειά της κολόνας. Σ' αυτήν την περίπτωση ο οπλισμός πρέπει να τοποθετείται στη ζώνη ανάμεσα στο $0.3d$ έως $1.5d$ από την παρειά της κολόνας.
- Θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο περίμετροι από τους συνδετήρες διάτρησης .
- Η ακτινωτή απόσταση των συνδετήρων δεν πρέπει να ξεπερνάει το $0,75d$ (βλέπε διάγραμμα 3 του Παραρτήματος)
- Η εφαπτομενική απόσταση των συνδετήρων δεν πρέπει να ξεπερνάει τις τιμές ανάμεσα στα $1,5d$ και $2d$ από την παρειά της κολόνας.
- Η εφαπτομενική απόσταση των συνδετήρων δεν πρέπει να ξεπερνάει το $2d$ για οποιαδήποτε άλλη περίμετρο.
- Η απόσταση ανάμεσα στην παρειά της κολόνας και του κοντινότερου διατμητικού οπλισμού θα πρέπει να είναι μικρότερη από $0,5d$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ-ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΛΑΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ ΣΕ ΠΛΑΚΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

4.1 Δεδομένα του βιομηχανικού κτιρίου

Στο Σχήμα 4-1 δείχνεται η τομή και η κάτοψη ενός βιομηχανικού κτιρίου που πρόκειται να κατασκευαστεί από οπλισμένο σκυρόδεμα με πλάκες χωρίς δοκούς. Για την ανάλυση και τον σχεδιασμό του κτιρίου αυτού θα εφαρμοστούν οι διαδικασίες που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3. Τα δεδομένα για μια τυπική πλάκα ορόφου του κτιρίου αυτού είναι:

- διαστάσεις πλάκας: $22.5 \times 25.5m$
- διαστάσεις υποστηλωμάτων: $450 \times 450mm$
- ονομαστική τιμή επικάλυψης: $c_{nom} = 30mm$
- κινητό φορτίο $q_k = 5.0 kN/m^2$
- φορτίο επίστρωσης $2 kN/m^2$
- κατηγορία χάλυβα S500
- κατηγορία σκυροδέματος C30

4.2 Ανάλυση και σχεδιασμός

Εκτίμηση πάχους πλάκας

Το ελάχιστο πάχος h της πλάκας χωρίς δοκούς ,σύμφωνα με τον Κώδικα ACI , υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.1: Ελάχιστο πάχος πλακών χωρίς εσωτερικά και ακριανά δοκάρια

$f_y [MPa]$	Χωρίς διαπλατύνσεις κεφαλών	
	Εξωτερικά φατνώματα	Εσωτερικά φατνώματα
220	$l_n / 34$	$l_n / 37$
400	$l_n / 30$	$l_n / 33$
500	$l_n / 28$	$l_n / 31$

Το ελάχιστο πάχος h με βάση το εξωτερικό φάτνωμα είναι:

$$h = \frac{l_n^{(cm)}}{28} = \frac{805}{28} = 28.75cm$$

όπου $l_n = 8.5 - 0.45 = 8.05m$ Επιλέγεται $h = 30cm$

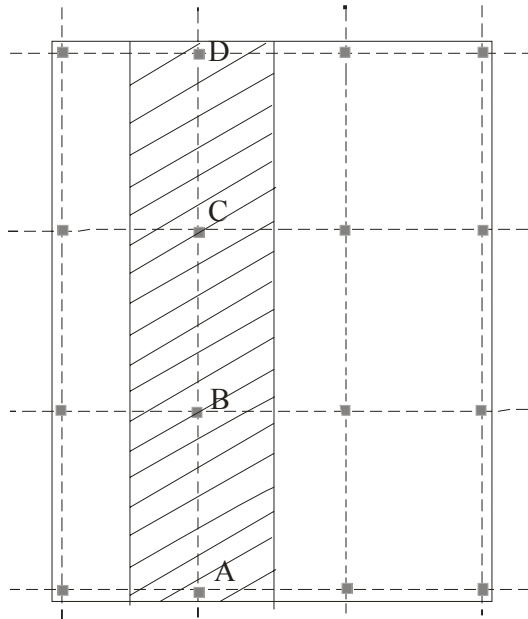
Υπολογισμός φορτίων πλάκας

- μόνιμο φορτίο - από το ίδιο βάρος $\gamma_{\mu\pi} \times h = 25kN / m^3 \times 0.30 = 7.5kN/m^2$
 - επίστρωση $2kN/m^2$
 Συνεπώς $g_k = 9.5kN/m^2$
- κινητό φορτίο: $q_k = 5.0kN/m^2$
- συνολικό φορτίο: $w_u = 1.2 \times 9.5 + 1.6 \times 5.0 = 19.4kN/m^2$

Ο λόγος του κινητού φορτίου προς το μόνιμο είναι: $5/9.5 = 0.53 < 0.75$, συνεπώς η ανάλυση μπορεί να γίνει με το πλήρες παραγοντοποιημένο φορτίο να δρα σε όλα τα ανοίγματα , αντί για μια συγκεκριμένη μεθοδολογία φόρτισης.

Ακαμψίες υποστηλωμάτων-πλάκας δοκού

Θεωρείται λωρίδα πλάτους $7.5m$ με κεντρικό άξονα να διέρχεται από τα κέντρα των υποστηλωμάτων παράλληλη προς τα ανοίγματα των $8.5m$



Σχήμα 4-2: Μεγάλη κατεύθυνση-λωρίδα πλάτους 7.5 m

Υπολογισμός ακαμψίας πλάκας δεξιά από το αριστερό εξωτερικό υποστήλωμα:

$$K_s = \frac{4E_c I_s}{l_n - c_1/2} = \frac{4E_c \times 168.75 \times 10^8}{8500 - 450/2} = 81.57 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{7500 \times 300^3}{12} = 168.75 \times 10^8$$

Υπολογισμός ακαμψίας ακριανού αριστερού υποστηλώματος:

$$K_c = \frac{4E_c I_c}{l_n} = \frac{4E_c \times 34.17 \times 10^8}{3500} = 39.05 \times 10^5 E_c$$

$$\text{όπου } I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{450 \times 450^3}{12} = 34.17 \times 10^8$$

$$K_{c,tot} = 2 \times K_c = 78.10 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός στρεπτικής ακαμψίας της πλάκας στην πλευρά του υποστηλώματος για το ακριανό αριστερό υποστήλωμα:

$$K_t = \frac{\sum 9E_c C}{l_2(1 - c_2/l_2)^3} = \frac{9E_c \times 23.49 \times 10^8}{7500(1 - 450/7500)^3} = 33.94 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0.63 \frac{300}{450}\right) \frac{300^3 \times 450}{3} = 23.49 \times 10^8$$

x = πάχος πλάκας (μικρότερη τιμή)

y = διάσταση υποστηλώματος (μεγαλύτερη τιμή)

Υπολογισμός ακαμψίας ισοδύναμου ακριανού αριστερού υποστηλώματος:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_{c,tot}} + \frac{1}{K_t} = \left[\frac{1}{78.10 \times 10^5} + \frac{1}{33.95 \times 10^5} \right] E_c \Rightarrow K_{ec} = 23.66 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός ακαμψίας πλάκας δεξιά από το υποστήλωμα B:

$$K_s = \frac{4E_c I_s}{l_n - c_1/2} = \frac{4E_c \times 168.75 \times 10^8}{8500 - 450/2} = 81.57 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{7500 \times 300^3}{12} = 168.75 \times 10^8$$

Υπολογισμός ακαμψίας υποστηλώματος B:

$$K_c = \frac{4E_c I_c}{l_n} = \frac{4E_c \times 34.17 \times 10^8}{3500} = 39.05 \times 10^5 E_c$$

$$\text{όπου } I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{450 \times 450^3}{12} = 34.17 \times 10^8$$

$$K_{c,tot} = 2 \times K_c = 78.10 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός στρεπτικής ακαμψίας της πλάκας στην πλευρά του υποστηλώματος για το υποστήλωμα B:

$$K_t = \frac{\sum 9E_c C}{l_2(1-c_2/l_2)^3} = \frac{9E_c \times 23.49 \times 10^8}{7500(1-450/7500)^3} = 33.94 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0.63 \frac{300}{450}\right) \frac{300^3 \times 450}{3} = 23.49 \times 10^8$$

x = πάχος πλάκας (μικρότερη τιμή)

y = διάσταση υποστηλώματος (μεγαλύτερη τιμή)

$$K_{t,tot} = 2 \times 33.94 \times 10^5 E_c = 67.88 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός ακαμψίας ισοδύναμου υποστηλώματος B:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_{c,tot}} + \frac{1}{K_{t,tot}} = \left[\frac{1}{78.10 \times 10^5} + \frac{1}{67.88 \times 10^5} \right] E_c \Rightarrow K_{ec} = 36.32 \times 10^5 E_c$$

Για το υποστήλωμα C ισχύουν ό,τι και για το υποστήλωμα B και για το ακριανό δεξιό υποστήλωμα ισχύουν ό,τι και για το αριστερό ακριανό υποστήλωμα.

Υπολογισμός εντατικών μεγεθών ισοδύναμου πλαισίου

στον κόμβο A δεξιά στην πλάκα:

$$DF = \frac{K_s}{K_{s,right} + K_{ec}} = \frac{81.57}{81.57 + 23.66} = 0.78$$

στον κόμβο A στα υποστηλώματα:

$$DF = 0.22$$

στον κόμβο B αριστερά στην πλάκα και δεξιά στην πλάκα:

$$DF = \frac{K_s}{K_{s,right} + K_{ec} + K_{s,left}} = \frac{81.57}{81.57 \times 2 + 23.66} = 0.44$$

στον κόμβο B στα υποστηλώματα:

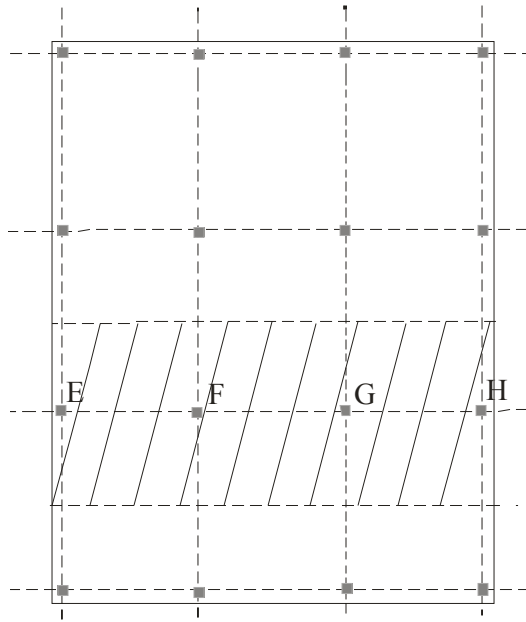
$$DF = 0.56$$

όμοια στον κόμβο C με τον κόμβο B

όμοια στον κόμβο D με τον κόμβο A

Ακαμψίες υποστηλωμάτων-πλάκας δοκού

Θεωρείται λωρίδα πλάτους $8.5m$ με κεντρικό άξονα να διέρχεται από τα κέντρα των υποστηλωμάτων παράλληλη προς τα ανοίγματα των $7.5m$



Σχήμα 4-3 : Μικρή κατεύθυνση-λωρίδα πλάτους $8.5m$

Υπολογισμός ακαμψίας πλάκας δεξιά από το αριστερό εξωτερικό υποστήλωμα:

$$K_s = \frac{4E_c I_s}{l_n - c_1 / 2} = \frac{4E_c \times 191.25 \times 10^8}{7500 - 450 / 2} = 105.15 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{8500 \times 300^3}{12} = 191.25 \times 10^8$$

Υπολογισμός ακαμψίας ακριανού αριστερού υποστηλώματος:

$$K_c = \frac{4E_c I_c}{l_n} = \frac{4E_c \times 34.17 \times 10^8}{3500} = 39.05 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{450 \times 450^3}{12} = 34.17 \times 10^8$$

$$K_{c,tot} = 2 \times K_c = 78.10 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός στρεπτικής ακαμψίας της πλάκας στην πλευρά του υποστηλώματος για το ακριανό αριστερό υποστήλωμα:

$$K_t = \frac{\sum 9E_c C}{l_2(1 - c_2/l_2)^3} = \frac{9E_c \times 23.49 \times 10^8}{8500(1 - 450/8500)^3} = 29.28 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0.63 \frac{300}{450}\right) \frac{300^3 \times 450}{3} = 23.49 \times 10^8$$

x = πάχος πλάκας (μικρότερη τιμή)

y = διάσταση υποστηλώματος (μεγαλύτερη τιμή)

Υπολογισμός ακαμψίας ισοδύναμου ακριανού αριστερού υποστηλώματος:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_{c,tot}} + \frac{1}{K_t} = \left[\frac{1}{78.10 \times 10^5} + \frac{1}{29.28 \times 10^5} \right] E_c \Rightarrow K_{ec} = 21.30 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός ακαμψίας πλάκας δεξιά από το υποστήλωμα F:

$$K_s = \frac{4E_c I_s}{l_n - c_1/2} = \frac{4E_c \times 191.25 \times 10^8}{7500 - 450/2} = 105.15 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{8500 \times 300^3}{12} = 191.25 \times 10^8$$

Υπολογισμός ακαμψίας υποστηλώματος F:

$$K_c = \frac{4E_c I_c}{l_n} = \frac{4E_c \times 34.17 \times 10^8}{3500} = 39.05 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{450 \times 450^3}{12} = 34.17 \times 10^8$$

$$K_{c,tot} = 2 \times K_c = 78.10 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός στρεπτικής ακαμψίας της πλάκας στην πλευρά του υποστηλώματος για το υποστήλωμα F:

$$K_t = \frac{\sum 9E_c C}{l_2(1-c_2/l_2)^3} = \frac{9E_c \times 23.49 \times 10^8}{8500(1-450/8500)^3} = 29.28 \times 10^5 E_c$$

όπου

$$C = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right) \frac{x^3 y}{3} = \left(1 - 0.63 \frac{300}{450}\right) \frac{300^3 \times 450}{3} = 23.49 \times 10^8$$

x = πάχος πλάκας (μικρότερη τιμή)

y = διάσταση υποστηλώματος (μεγαλύτερη τιμή)

$$K_{t,tot} = 2 \times 29.28 \times 10^5 E_c = 58.56 \times 10^5 E_c$$

Υπολογισμός ακαμψίας ισοδύναμου υποστηλώματος F:

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{K_{c,tot}} + \frac{1}{K_{t,tot}} = \left[\frac{1}{78.10 \times 10^5} + \frac{1}{58.56 \times 10^5} \right] E_c \Rightarrow K_{ec} = 33.47 \times 10^5 E_c$$

Για το υποστήλωμα G ισχύουν ό,τι και για το υποστήλωμα F και για το ακριανό δεξιό υποστήλωμα ισχύουν ό,τι και για το αριστερό ακριανό υποστήλωμα.

Υπολογισμός εντατικών μεγεθών ισοδύναμου πλαισίου

στον κόμβο E δεξιά στην πλάκα:

$$DF = \frac{K_s}{K_{s,right} + K_{ec}} = \frac{105.15}{105.15 + 21.30} = 0.83$$

στον κόμβο E στα υποστηλώματα:

$$DF = 0.17$$

στον κόμβο F αριστερά στην πλάκα και δεξιά στην πλάκα:

$$DF = \frac{K_s}{K_{s,right} + K_{ec} + K_{s,left}} = \frac{105.15}{105.15 \times 2 + 21.30} = 0.45$$

στον κόμβο B στα υποστηλώματα: $DF = 0.55$

όμοια στον κόμβο G με τον κόμβο F

όμοια στον κόμβο H με τον κόμβο E

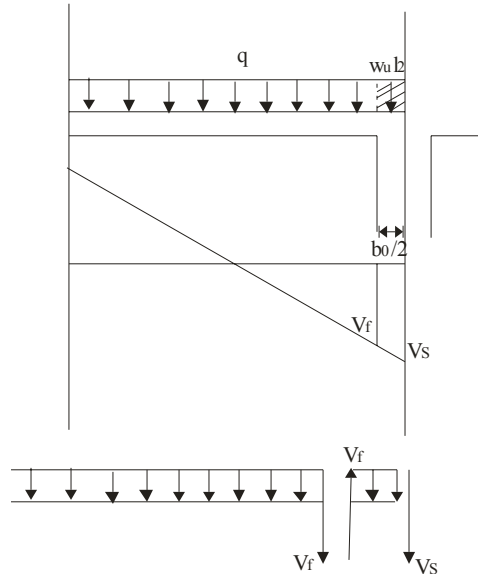
Για τον υπολογισμό των ροπών στις δύο λωρίδες γίνεται χρήση του προγράμματος Statik 5-Version 1.23 αφού πρώτα έχουν υπολογιστεί τα παρακάτω:

φορτία που εφαρμόζονται στη λωρίδα πλάτους $7.5m$: $w_u \times l = 145.5kN$

φορτία που εφαρμόζονται στη λωρίδα πλάτους $8.5m$: $w_u \times l = 164.9kN$

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το πρόγραμμα δείχνονται στο Παράρτημα.

Οι ροπές που προκύπτουν από το πρόγραμμα αναφέρονται στις στηρίξεις, για το λόγο αυτό γίνεται αναγωγή στην παρειά του υποστηλώματος.



Σχήμα 4-4: Προσδιορισμός ροπής στην παρειά του υποστηλώματος

Για παράδειγμα, ο προσδιορισμός της ροπής όπου η ροπή είναι $-1059.18 kN/m^2$ είναι:

$$q = 19.4 \times 7.5 = 145.5 kN/m^2$$

$$\Delta V = 145.5 \times \frac{0.45}{2} = 32.7 kN$$

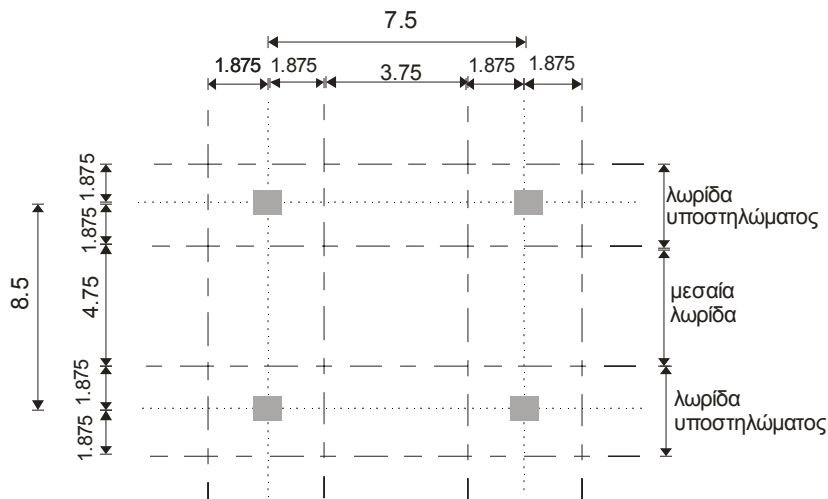
$$V_s = -717.5 kN$$

$$V_f = V_s - q \frac{0.45}{2} = -717.5 - 32.7 = -749.85 kN$$

$$\Delta M = \frac{-749.85 - 717.15}{2} \times \frac{0.45}{2} = -165.02$$

$$M_f = M_s - \Delta M = -1059.18 + 165.02 = -894.16 kNm$$

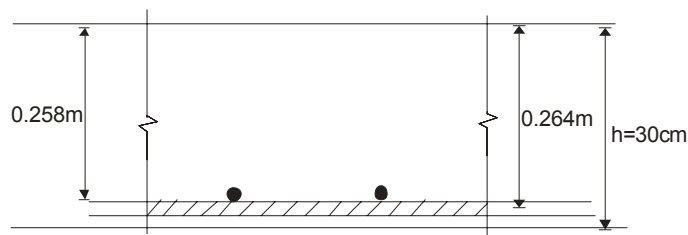
Όμοια υπολογίζονται και τα υπόλοιπα.



Σχήμα 4-5 : Χωρισμός λωρίδων για υπολογισμό του οπλισμού

$$d_y = 264 - \frac{12}{2} = 258mm$$

$$d_x = 300 - 30 - \frac{12}{2} = 264mm$$



Σχήμα 4-6 : Υπολογισμός d_x, d_y

Η διαδικασία σχεδιασμού δείχνεται στους παρακάτω πίνακες. Τα εξωτερικά φατνώματα 10-11-15-14 (μεγάλη διεύθυνση), 5-6-10-9 (μικρή διεύθυνση) αντιμετωπίζονται ως εξωτερικά, ενώ τα 10-11-15-14 (μικρή διεύθυνση), 5-6-10-9 (μεγάλη διεύθυνση) αντιμετωπίζονται ως εσωτερικά, γιατί περιβάλλονται από φατνώματα δεξιά κ αριστερά.

Στον υπολογισμό με Ευρωκώδικα οι ροπές πολλαπλασιάζονται με 1.05, καθώς $n/w = 1.05$ όπου $n = 1.35 \times 9.5 + 1.5 \times 5.0 = 20.32 kN/m^2$. Δεν απαιτείται ο υπολογισμός του οπλισμού στις λωρίδες των ακριανών υποστηλωμάτων, καθώς

θεωρούνται ως δυσμενέστερες περιπτώσεις αυτές που εξετάστηκαν. Η τοποθέτηση του οπλισμού δείχνεται σε σχέδια που ακολουθούν στο Παράρτημα.

Πίνακας 1.2: Εσωτερικό φάτνωμα (μεγάλη διεύθυνση)-ACI 318

			$M_n = -894.16 \text{ kNm}$	
			$M_p = 341.33 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	60	25	40
M_u (kNm)	-670.62	204.80	-223.54	135.6
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ (kNm)	2566	783.6	855.3	518.8
ρ %	0.6	0.17	0.19	0.12
$A_s = \rho bd$	15.84 cm^2	4.48 cm^2	5 cm^2	3.17 cm^2
$Min A_s = 0.0018bh_s$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2
οπλισμός	Φ12/7	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Πίνακας 1.3: Εσωτερικό φάτνωμα (μικρή διεύθυνση) -ACI 318

			$M_n = -769.21 \text{ kNm}$	
			$M_p = 286.71 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	60	25	40
M_u (kNm)	-576.9	172	-192.3	114.68
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	4.75	4.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ (kNm)	2311	689	608.2	362.7
ρ %	0.54	0.15	0.14	0.08
$A_s = \rho bd$	14 cm^2	3.87 cm^2	3.61 cm^2	2.06 cm^2
$Min A_s = 0.0018bh_s$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2
οπλισμός	Φ14/10.5	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Πίνακας 1.4: Εξωτερικό φάτνωμα 10-11-15-14 (μεγάλη διεύθυνση) -ACI 318

				$M_n = -894.16 \text{ kNm}$		
				$M_p = 674.65 \text{ kNm}$		
	λωρίδα υποστηλώματος			ενδιάμεση λωρίδα		
Μικρή διεύθυνση	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό
Διανομή ροπών(%)	26	60	75		40	25
M_u (kNm)	-304.5	404.8	-670.6	0	270	-223.54
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$	1165	1585	2565.8	0	1033	855.3
ρ %	0.26	0.36	0.61	0	0.23	0.19
$A_s = \rho bd$	6.9 cm^2	9.5 cm^2	16.1 cm^2	0	6.1 cm^2	5 cm^2
$Min A_s = 0.0018bh$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2
οπλισμός	Φ12/16	Φ12/11.5	Φ12/7	Φ12/20	Φ12/18.5	Φ12/20

Πίνακας 1.5: Εξωτερικό φάτνωμα 10-11-15-14 (μικρή διεύθυνση) -ACI 318

			$M_n = -769.21 \text{ kNm}$	
			$M_p = 286.71 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	60	25	40
M_u (kNm)	-576.9	172	-192.3	114.68
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	4.75	4.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ (kNm)	2311	689	608.2	362.7
ρ %	0.54	0.15	0.14	0.08
$A_s = \rho bd$	14 cm^2	3.87 cm^2	3.61 cm^2	2.06 cm^2
$Min A_s = 0.0018bh_s$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2
οπλισμός	Φ14/89	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Πίνακας 1.6: Εξωτερικό φάτνωμα 5-6-10-9 (μεγάλη διεύθυνση)-ACI 318

				$M_n = -894.16 \text{ kNm}$	
				$M_p = 341.33 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα		
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική	
Διανομή ροπών(%)	75	60	25	40	
M_u (kNm)	-670.62	204.80	-223.54	135.6	
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75	
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264	
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ (kNm)	2566	783.6	855.3	518.8	
ρ %	0.6	0.17	0.19	0.12	
$A_s = \rho bd$	15.84 cm^2	4.48 cm^2	5 cm^2	3.17 cm^2	
$Min A_s = 0.0018bh_s$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	
οπλισμός	Φ12/7	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20	

Πίνακας 1.7: Εξωτερικό φάτνωμα 5-6-10-9 (μικρή διεύθυνση) -ACI 318

						$M_n = -769.21 \text{ kNm}$
						$M_p = 617.81 \text{ kNm}$
	λωρίδα υποστηλώματος			ενδιάμεση λωρίδα		
Μικρή διεύθυνση	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό
Διανομή ροπών(%)	26	60	75		40	25
M_u (kNm)	-285.5	371	-577	0	247.12	-192.3
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	4.75	4.75	4.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$	1144	1486	2311.5	0	990	770.4
ρ %	0.26	0.34	0.54	0	0.18	0.14
$A_s = \rho bd$	6.8 cm^2	8.8 cm^2	14 cm^2	0	4.6 cm^2	3.6 cm^2
$Min A_s = 0.0018bh_s$	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2	5.4 cm^2
οπλισμός	Φ12/16	Φ12/12.5	Φ12/8	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Πίνακας 1.8: Εσωτερικό φάτνωμα (μεγάλη διεύθυνση)-EC2

			$M_n = -939 \text{ kNm}$	
			$M_p = 358.4 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	55	25	45
M_{Ed} (kNm)	-704.25	197.12	-234.7	161.28
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.09	0.03	0.03	0.02
z/d	0.913	0.950	0.950	0.950
z	241	251	251	251
$MinA_s = 1.5 \cdot \frac{0}{100} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	17.9 cm^2	4.8 cm^2	5.7 cm^2	3.94 cm^2
οπλισμός	Φ14/8.5	Φ12/23	Φ12/19.5	Φ12/28
ρ %	0.68			

Πίνακας 1.9: Εσωτερικό φάτνωμα (μικρή διεύθυνση) -EC2

			$M_n = -807.7 \text{ kNm}$	
			$M_p = 301 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	55	25	45
M_{Ed} (kNm)	-605.8	165.55	-202	135.45
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	4.75	4.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.08	0.02	0.02	0.01
z/d	0.891	0.950	0.950	0.950
z	230	245	245	245
$MinA_s = 1.5 \cdot \frac{0}{100} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.87 cm^2	3.87 cm^2
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	16.15 cm^2	4.14 cm^2	4 cm^2	2.67 cm^2
οπλισμός	Φ12/7	Φ12/27	Φ12/28	Φ12/28
ρ %	0.63			

Πίνακας 1-10: Εξωτερικό φάτνωμα 10-11-15-14 (μεγάλη διεύθυνση) -EC2

						$M_n = -939 \text{ kNm}$
						$M_p = 708.39 \text{ kNm}$
λωρίδα υποστηλώματος			ενδιάμεση λωρίδα			
Μικρή διεύθυνση	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό
Διανομή ροπών(%)	26	55	75		45	25
M_{Ed} (kNm)	-320	389.6	-704.25	0	319	-234
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.04	0.05	0.09	0	0.04	0.03
z/d	0.950	0.950	0.913	0	0.950	0.950
z	251	251	241	0	251	251
$Min A_s = 1.5 \text{ }^0/_{00} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	7.8 cm^2	9.5 cm^2	18 cm^2	0	7.8 cm^2	5.7 cm^2
οπλισμός	Φ12/14.5	Φ12/1 1.5	Φ14/8.5	Φ12/28	Φ12/14.5	Φ12/19.5

Πίνακας 1-11: Εξωτερικό φάτνωμα 10-11-15-14 (μικρή διεύθυνση)-EC2

					$M_n = -807.7 \text{ kNm}$
					$M_p = 301 \text{ kNm}$
λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα			
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική	
Διανομή ροπών(%)	75	55	25	45	
M_{Ed} (kNm)	-605.8	165.55	-202	135.45	
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	4.75	4.75	
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258	
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.08	0.02	0.02	0.01	
z/d	0.891	0.950	0.950	0.950	
z	230	245	245	245	
$Min A_s = 1.5 \text{ }^0/_{00} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.87 cm^2	3.87 cm^2	
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	16.15 cm^2	4.14 cm^2	4 cm^2	2.67 cm^2	
οπλισμός	Φ12/7	Φ12/27	Φ12/28	Φ12/28	
$\rho \%$	0.63				

Πίνακας 1-12: Εξωτερικό φάτνωμα 5-6-10-9 (μεγάλη διεύθυνση) -EC2

			$M_n = -939 \text{ kNm}$	
			$M_p = 358.4 \text{ kNm}$	
	λωρίδα υποστηλώματος		ενδιάμεση λωρίδα	
μεγάλη διεύθυνση	αρνητική	θετική	αρνητική	θετική
Διανομή ροπών(%)	75	55	25	45
M_{Ed} (kNm)	-704.25	197.12	-234.7	161.28
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	3.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.264	0.264	0.264	0.264
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.09	0.03	0.03	0.02
z/d	0.913	0.950	0.950	0.950
z	241	251	251	251
$Min A_s = 1.5 \cdot \frac{0}{100} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	17.9 cm^2	4.8 cm^2	5.7 cm^2	3.94 cm^2
οπλισμός	Φ14/8.5	Φ12/23	Φ12/19.5	Φ12/28
ρ %	0.68			

Πίνακας 1.13: Εξωτερικό φάτνωμα 5-6-10-9 (μικρή διεύθυνση) -EC2

				$M_n = -808 \text{ kNm}$		
				$M_p = 648.7 \text{ kNm}$		
	λωρίδα υποστηλώματος			ενδιάμεση λωρίδα		
Μικρή διεύθυνση	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό	εξωτερικό	θετικό	εσωτερικό
Διανομή ροπών(%)	26	55	75		45	25
M_{Ed} (kNm)	-210	357	-605.77	0	219	-202
Πλάτος λωρίδας b (m)	3.75	3.75	3.75	4.75	4.75	4.75
Ισοδύναμο πλάτος d (m)	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.03	0.05	0.08	0	0.02	0.02
z/d	0.950	0.950	0.936	0	0.950	0.950
z	245	245	241.4	0	245	245
$Min A_s = 1.5 \cdot \frac{0}{100} bd$	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2	3.96 cm^2
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$	5.25 cm^2	9 cm^2	15.4 cm^2	0	4.3 cm^2	4 cm^2
οπλισμός	Φ12/21	Φ12/12.5	Φ12/7	Φ12/28	Φ12/26	Φ12/28

4.3 Έλεγχοι σε διάτρηση

Έλεγχος σε διάτρηση –κεντρικό υποστήλωμα (10)

Στο υποστήλωμα 10 εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = (7.5 \times 8.5 - 0.450^2) \times 20.32 = 1291 kN$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_i d < V_{Rd,max}$$

όπου

β = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.15)

V_{Ed} = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

u_i = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση δίπλα στο εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

$$u_0 = 2(c_x + c_y) = 1800 mm$$

$$d = \text{κύριο ισοδύναμο πλάτος} = (264 + 258) / 2 = 261 mm$$

$$v_{Ed} = 1.15 \times 1291 \times 10^3 / 1800 \times 261 = 3.16 MPa$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 v f_{cd}$$

όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.53$$

$$f_{cd} = a_{cc} \lambda f_{ck} / \gamma_c = 1.0 \times 1.0 \times 30 / 1.5 = 20$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 v f_{cd} = 0.5 \times 0.53 \times 20 = 5.3 MPa$$

Έλεγχος της διατμητικής τάσης στη βασική περίμετρο u_1 ($2d$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος):

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_1 d < V_{Rd,c}$$

όπου

β, V_{Ed}, d όπως προηγουμένως

u_1 = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση σε απόσταση $2d$ από το εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

$$u_1 = 2(c_x + c_y) + 2\pi \times 2d = 5079mm$$

$$v_{Ed} = 1.15 \times 1291 \times 10^3 / 5079 \times 261 = 1.12MPa$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \times k \times (100\rho_l f_{ck})^{0.333}$$

όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

$$k = 1 + (200/d)^{0.5} \leq 2$$

$$k = 1 + (200/261)^{0.5} = 1.87$$

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} = (0.0068 \times 0.0063)^{0.5} = 0.0065$$

όπου

ρ_{lx}, ρ_{ly} = περιοχές σιδερών σε ένα πλάτος του υποστηλώματος αυξημένο κατά $3d$ σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος .

$$f_{ck} = 25$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0065 \times 30)^{0.333} = 0.60MPa$$

Απαιτείται οπλισμός διάτρησης

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times v_{Rd,c}) = 1291 \times 1.15 \times 10^3 / (261 \times 0.60) = 9480mm$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

$$l = 4 \times 450 = 1800mm$$

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (9480 - 1800) / 2\pi = 1222mm$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτρησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση

$$1222 - 1.5 \times 261 = 830.5mm \text{ από το πρόσωπο του υποστηλώματος}$$

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

$$s_{r,max} = 0.75 \times 261 = 196 \approx 180mm$$

Εντός $2d$ της περιμέτρου ελέγχου, $s_{t,max} = 261 \times 1.5 = 391 \approx 380mm$

Εκτός της βασικής περιμέτρου, $s_{t,max} = 261 \times 2 = 522mm \approx 500mm$

Θεωρώντας οπλισμό κατά την κατακόρυφη διεύθυνση στη βασική περίμετρο ελέγχου

$u_1, 2d$ από το υποστήλωμα:

$$A_{sw} \geq (v_{Ed} - 0.75v_{Rd,c})s_r u_1 / (1.5f_{ywd,ef})$$

Όπου $f_{ywd,ef}$ = ενεργή σχεδιαστική δύναμη αντοχής του οπλισμού

$$= (250 + 0.25d) < f_{yd} = 315MPa$$

Για περίμετρο u_1 :

$$A_{sw} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 5079 / (1.5 \times 315) = 1296mm^2 \text{ ανά περίμετρο}$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08f_{ck}^{0.5}(s_r s_t) / (1.5f_{yk} \sin a + \cos a)$$

όπου

$$A_{sw,min} = \text{εμβαδόν του σκέλους του συνδετήρα}$$

a = γωνία μεταξύ κύριου και διατμητικού οπλισμού , για κάθετο οπλισμό

$$a = 90^0$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08f_{ck}^{0.5}(s_r s_t) / [(1.5 \sin a + \cos a)f_{yk}] = 0.08 \times 30^{0.5} \times (180 \times 380) / (1.5 \times 500) = 40mm^2$$

Δοκιμάζουμε Φ10 σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180mm.

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.26; 1.5d] = \min[301, 392] = 301mm$$

Για να ελαττώσουμε το πλήθος των συνδετήρων, τοποθετούμε 17Φ10 σκέλη συνδετήρων (1335 mm²) με πυκνότητα συνδετήρων

$$A_{sw} / u_1 \geq \frac{10^2 \pi}{4} \times 17 / 5079 = 1335 / 5079 = 0.26mm^2 / m$$

Η 1^η περίμετρος πρέπει να είναι μεταξύ των 0.3d και 0.5d από το πρόσωπο του υποστηλώματος. Επιλέγουμε $0.4d = 105mm$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος.

Η απόσταση των συνδετήρων πάνω στη περίμετρο επιλέγεται $300 < 301mm$ που είναι το μέγιστο.

Λεπτομέρειες όπλισης

- Χρήση Φ10 σκέλη συνδετήρων σε περιμέτρους, οι οποίες απέχουν ακτινική απόσταση ίση με 180 mm.
- Τελευταία περίμετρος από το πρόσωπο του υποστηλώματος $r_{out} = 1222mm$
- Έλεγχοι για οπλισμό εντός της βασικής περιμέτρου(2d από πρόσωπο του υποστηλώματος

$$u_a = 450 \times 4 + 2\pi 105 = 2460 \text{ mm}$$

$$Asw_{,ua} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 2460 / (1.5 \times 315) = 628 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 9\Phi 10 = 706.5 \text{ mm}^2 > Asw_{,ua}$$

$$\frac{Asw_{,ua}}{u_a} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_\beta = 450 \times 4 + 2\pi \times (105 + 180) = 3591 \text{ mm}$$

$$Asw_{,u\beta} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 3591 / (1.5 \times 315) = 916.56 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 13\Phi 10 = 1021 \text{ mm}^2 > Asw_{,u\beta}$$

$$\frac{Asw_{,u\beta}}{u_\beta} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_c = 450 \times 4 + 2\pi 465 = 4722 \text{ mm}$$

$$Asw_{,uc} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 4722 / (1.5 \times 315) = 1205 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 16\Phi 10 = 1256 \text{ mm}^2 > Asw_{,uc}$$

$$\frac{Asw_{,uc}}{u_c} = 0.265 > 0.26, \text{ OK}$$

- Έλεγχοι για οπλισμό εκτός της βασικής περιμέτρου (2d από πρόσωπο του υποστηλώματος)

$$u_a = 450 \times 4 + 2\pi 645 = 5853 \text{ mm}$$

$$Asw_{,ua} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 5853 / (1.5 \times 315) = 1494 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 20\Phi 10 = 1570 \text{ mm}^2 > Asw_{,ua}$$

$$\frac{Asw_{,ua}}{u_a} = 0.268 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_{\beta} = 450 \times 4 + 2\pi 825 = 6984 \text{ mm}$$

$$A_{sw,u\beta} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 6984 / (1.5 \times 315) = 1783 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 24\Phi 10 = 1884 \text{ mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_{\beta}} = 0.27 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_c = 450 \times 4 + 2\pi 1005 = 8115 \text{ mm}$$

$$A_{sw,u\beta} = (1.12 - 0.75 \times 0.60) \times 180 \times 8115 / (1.5 \times 315) = 2071 \text{ mm}^2$$

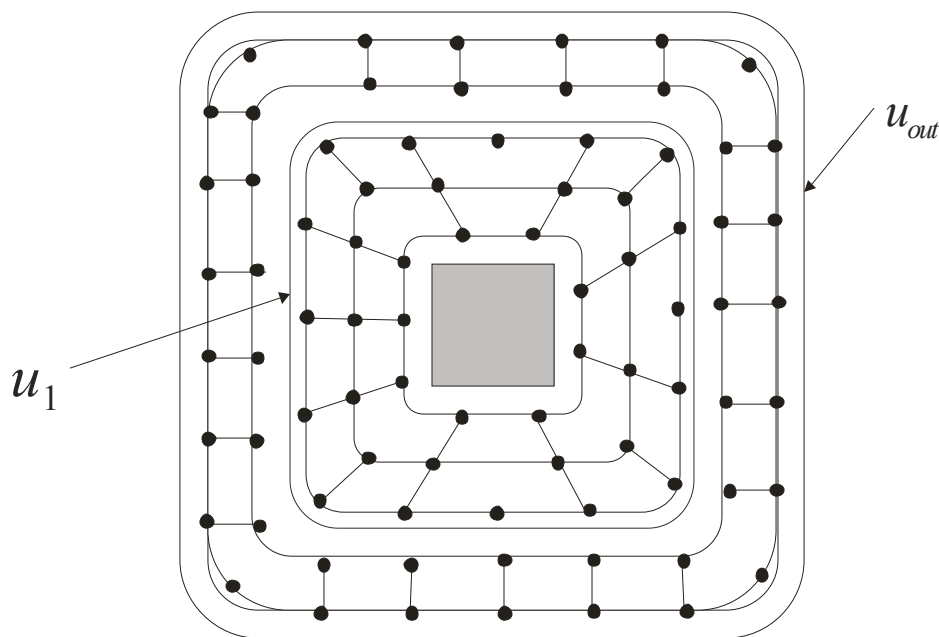
$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 27\Phi 10 = 2119 \text{ mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_{\beta}} = 0.261 > 0.26, \text{ OK}$$

Παρατηρήσεις

- Οι τιμές που χρησιμοποιούνται εδώ για τα ρ_{lx}, ρ_{ly} δε λαμβάνουν υπόψη το ότι ο οπλισμός είναι συγκεντρωμένος πάνω από τη στήριξη.
- Η παράγραφος 6.4.5 του Ευρωκώδικα δίνει την σχέση 6.52 του Ευρωκώδικα η οποία αντικαθιστώντας το V_{Ed} με το $V_{Rd,c}$ επιτρέπει τον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού διάτρησης, A_{sw} , για τη βασική περίμετρο, u_1 . Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι η απαιτούμενη πυκνότητα του οπλισμού διάτρησης. Η περιοχή του απαιτούμενου οπλισμού διάτρησης για οποιαδήποτε άλλη περίμετρο θα πρέπει να βασιστεί πάνω σ' αυτή τη τιμή, A_{sw}/u_1 λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του ελάχιστου οπλισμού και διαστήματος του οπλισμού διάτρησης.



Σχήμα 4-7: Οπλισμός διάτρησης σε κεντρικό υποστήλωμα

Έλεγχος σε διάτρηση – ακριανό υποστήλωμα (5)

Στο υποστήλωμα 5 εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = 20.32 \left(\frac{7.5}{2} \times 8.5 - 0.581 \times 0.450 \right) = 642 \text{ kN}$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_i d < V_{Rd, \max}$$

Όπου

β = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.4)

V_{Ed} = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

u_i = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση δίπλα στο ακριανό υποστήλωμα ισχύει:

$$\begin{aligned} u_0 &= c_2 + 3d < c_2 + 2c_1 \\ &= 450 + 783 < 3 \times 450 \\ &= 1233 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = \text{κύριο ισοδύναμο πλάτος} = (264 + 258) / 2 = 261 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = 1.4 \times 642 \times 10^3 / (1233 \times 261) = 2.8 \text{MPa}$$

$$V_{Rd,max} = 0.5v f_{cd}$$

όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.53$$

$$f_{cd} = a_{cc} \lambda f_{ck} / \gamma_c = 1.0 \times 1.0 \times 30 / 1.5 = 20$$

$$V_{Rd,max} = 0.5v f_{cd} = 0.5 \times 0.53 \times 20 = 5.3 \text{MPa}$$

Έλεγχος της διατμητικής τάσης στη βασική περίμετρο u_1 ($2d$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος):

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_1 d < V_{Rd,c}$$

όπου

β, V_{Ed}, d όπως προηγουμένως

u_1 = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση σε απόσταση $2d$ από το εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

$$u_1 = c_2 + 2c_1 + \pi \times 2d = 2990 \text{mm}$$

$$v_{Ed} = 1.4 \times 642 \times 10^3 / (2990 \times 261) = 1.15 \text{MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \times k \times (100 \rho_l f_{ck})^{0.333}$$

όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

$$k = 1 + (200 / d)^{0.5} \leq 2$$

$$k = 1 + (200 / 261)^{0.5} = 1.87$$

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} = (0.0068 \times 0.01)^{0.5} = 0.0082$$

$$\rho_{lx} = (7.5 + 18.3) / 100 \times 25.8 = 0.01$$

όπου

ρ_{lx}, ρ_{ly} = περιοχές σιδέρων σε ένα πλάτος του υποστηλώματος αυξημένο κατά $3d$ σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

$$f_{ck} = 25$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0082 \times 30)^{0.333} = 0.65 \text{MPa}$$

Απαιτείται οπλισμός διάτρησης

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times V_{Rd,c}) = 642 \times 1.4 \times 10^3 / (261 \times 0.65) = 5398mm$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

$$l = 3 \times 450 = 1350mm$$

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (5398 - 1350) / \pi = 1288mm$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτρησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση $1288 - 1.5 \times 261 = 897mm$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

$$s_{r,max} = 0.75 \times 261 = 195.75 \approx 180mm$$

Εντός $2d$ της περιμέτρου ελέγχου, $s_{t,max} = 261 \times 1.5 = 391 \approx 380mm$

Εκτός της βασικής περιμέτρου, $s_{t,max} = 261 \times 2 = 522 \approx 500mm$

Θεωρώντας οπλισμό κατά την κατακόρυφη διεύθυνση στη βασική περίμετρο ελέγχου $u_1, 2d$ από το υποστήλωμα:

$$A_{sw} \geq (v_{Ed} - 0.75v_{Rd,c})s_r u_1 / (1.5f_{ywd,ef})$$

$$\begin{aligned} \text{Όπου } f_{ywd,ef} &= \text{ενεργή σχεδιαστική δύναμη αντοχής του οπλισμού} \\ &= (250 + 0.25d) < f_{yd} = 315MPa \end{aligned}$$

Για περίμετρο u_1 :

$$A_{sw} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 2990 / (1.5 \times 312) = 754.6mm^2 \text{ ανά περίμετρο}$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08f_{ck}^{0.5}(s_r s_t) / (1.5f_{yk} \sin a + \cos a)$$

όπου

$$A_{sw,min} = \text{εμβαδόν του σκέλους του συνδετήρα}$$

$a =$ γωνία μεταξύ κύριου και διατμητικού οπλισμού, για κάθετο οπλισμό

$$a = 90^\circ$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08f_{ck}^{0.5}(s_r s_t) / [(1.5 \sin a + \cos a)f_{yk}] = 0.08 \times 30^{0.5} \times (180 \times 380) / (1.5 \times 500) = 39.96mm^2$$

Δοκιμάζουμε Φ10 σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180 mm.

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.26; 1.5d] = \min[301, 392] = 301mm$$

Για να ελαττώσουμε το πλήθος των συνδετήρων, τοποθετούμε 10Φ10 σκέλη συνδετήρων (785 mm²) με πυκνότητα συνδετήρων

$$A_{sw} / u_1 \geq \frac{10^2 \pi}{4} \times 10 / 2990 = 785 / 5079 = 0.26 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Η 1^η περίμετρος πρέπει να είναι μεταξύ των 0.3d και 0.5d από το πρόσωπο του υποστηλώματος. Επιλέγουμε 0.4d = 105mm από το πρόσωπο του υποστηλώματος.

Η απόσταση των συνδετήρων πάνω στη περίμετρο επιλέγεται 300<301mm που είναι το μέγιστο.

Λεπτομέρειες όπλισης

- Χρήση Φ10 σκέλη συνδετήρων σε περιμέτρους, οι οποίες απέχουν ακτινική απόσταση ίση με 180 mm.
- Τελευταία περίμετρος από το πρόσωπο του υποστηλώματος $r_{out} = 1288 \text{ mm}$
- Έλεγχοι για οπλισμό εντός της βασικής περιμέτρου(2d από πρόσωπο του υποστηλώματος

$$u_a = 450 \times 3 + \pi 105 = 1679 \text{ mm}$$

$$A_{sw,ua} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 1679 / (1.5 \times 315) = 423.7 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 6\Phi 10 = 471 \text{ mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,ua}}{u_a} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_b = 450 \times 3 + \pi 285 = 2245 \text{ mm}$$

$$A_{sw,ub} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 2245 / (1.5 \times 315) = 566.6 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 8 \Phi 10 = 628 \text{ mm}^2 > A_{sw,ub}$$

$$\frac{A_{sw,ub}}{u_b} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_c = 450 \times 3 + \pi 465 = 2811 \text{ mm}$$

$$A_{sw,uc} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 2811 / (1.5 \times 315) = 709.4 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 10\Phi 10 = 785\text{mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_\beta} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

- Έλεγχοι για οπλισμό εκτός της βασικής περιμέτρου (2d από πρόσωπο του υποστηλώματος)

$$u_a = 450 \times 3 + \pi 645 = 3376\text{mm}$$

$$A_{sw,ua} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 3376 / (1.5 \times 315) = 852\text{mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5\text{mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 12\Phi 10 = 942\text{mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,ua}}{u_a} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$

$$u_\beta = 450 \times 3 + \pi 825 = 3942\text{mm}$$

$$A_{sw,u\beta} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 3942 / (1.5 \times 315) = 995\text{mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5\text{mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 14\Phi 10 = 1099\text{mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_\beta} = 0.31 > 0.26, \text{ OK}$$

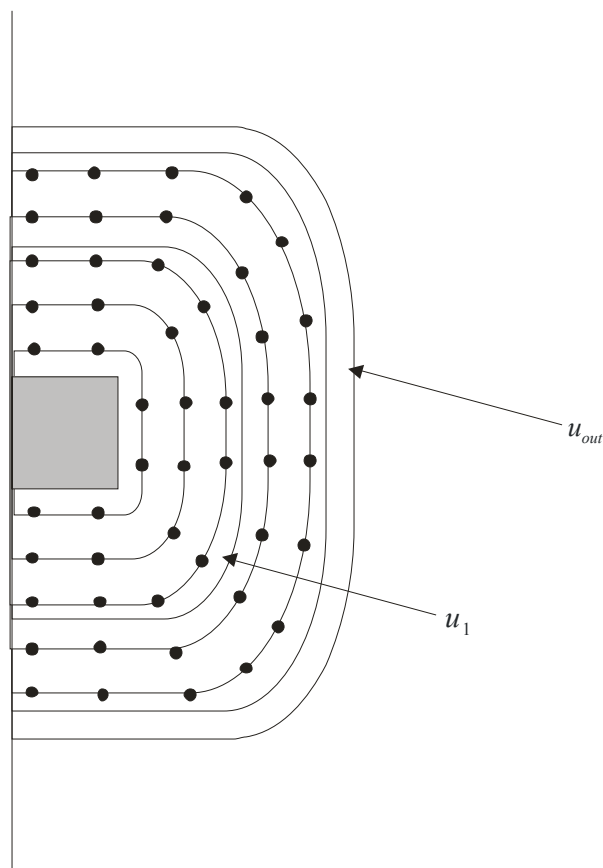
$$u_c = 450 \times 3 + \pi 1005 = 4507\text{mm}$$

$$A_{sw,u\beta} = (1.15 - 0.75 \times 0.65) \times 180 \times 4507 / (1.5 \times 315) = 1137\text{mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5\text{mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 16\Phi 10 = 1256\text{mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_\beta} = 0.28 > 0.26, \text{ OK}$$



Σχήμα 4-8: Οπλισμός διάτρησης σε ακριανό υποστήλωμα

Έλεγχος σε διάτρηση – γωνιακό υποστήλωμα

Στο υποστήλωμα 1 εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = 20.32 \left(\frac{7.5}{2} \times \frac{8.5}{2} - 0.450^2 \right) = 320 \text{ kN}$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_i d < V_{Rd,max}$$

Όπου

β = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.5)

V_{Ed} = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

u_i = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση δίπλα στο γωνιακό υποστήλωμα ισχύει:

$$u_0 = 3d = 783 \text{ mm} < c_2 + c_1$$

$$d = \text{κύριο ενεργό πλάτος} = (264 + 258) / 2 = 261 \text{ mm}$$

$$v_{Ed} = 1.5 \times 10^3 \times 320 / (783 \times 261) = 2.3 \text{MPa}$$

$$V_{Rd,max} = 0.5v f_{cd}$$

όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.53$$

$$f_{cd} = a_{ce} \lambda f_{ck} / \gamma_c = 1.0 \times 1.0 \times 30 / 1.5 = 20$$

$$V_{Rd,max} = 0.5v f_{cd} = 0.5 \times 0.53 \times 20 = 5.3 \text{MPa}$$

Έλεγχος της διατμητικής τάσης στη βασική περίμετρο

u_1 (2d από το πρόσωπο του υποστηλώματος):

$$v_{Ed} = \beta V_{Ed} / u_1 d < V_{Rd,c}$$

όπου

β, V_{Ed}, d όπως προηγουμένως

u_1 = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

όπου για διάτρηση σε απόσταση 2d από το εσωτερικό του υποστηλώματος

ισχύει:

$$u_1 = c_2 + c_1 + \pi d = 1720 \text{mm}$$

$$v_{Ed} = 1.5 \times 320 \times 10^3 / (1720 \times 261) = 1.06 \text{MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \times k \times (100 \rho_l f_{ck})^{0.333}$$

Όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

$$k = 1 + (200 / d)^{0.5} \leq 2$$

$$k = 1 + (200 / 261)^{0.5} = 1.87$$

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} = (0.0098 \times 0.01)^{0.5} = 0.0099$$

$$\rho_l = ((7.8 + 18) / 100 \times 26.4 \times (7.5 + 18.3) / 100 \times 25.8)^{0.5}$$

όπου

ρ_{lx}, ρ_{ly} = περιοχές σιδέρων σε ένα πλάτος του υποστηλώματος αυξημένο κατά 3d σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

$$f_{ck} = 25$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0099 \times 30)^{0.333} = 0.69 \text{MPa}$$

Απαιτείται οπλισμός διάτρησης.

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times V_{Rd,c}) = 320 \times 1.5 \times 10^3 / (261 \times 0.69) = 2665 \text{ mm}$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

$$l = 2 \times 450 = 900 \text{ mm}$$

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (2665 - 900) / \pi = 562 \text{ mm}$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτρησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση $562 - 1.5 \times 261 = 170.5 \text{ mm}$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

$$s_{r,max} = 0.75 \times 261 = 196 \approx 180 \text{ mm}$$

Εντός $2d$ της περιμέτρου ελέγχου, $s_{t,max} = 261 \times 1.5 = 391.5 \approx 380 \text{ mm}$

Εκτός της βασικής περιμέτρου, $s_{t,max} = 261 \times 2 = 522 \approx 500 \text{ mm}$

Θεωρώντας οπλισμό κατά την κατακόρυφη διεύθυνση στη βασική περίμετρο ελέγχου

$u_1, 2d$ από το υποστήλωμα:

$$A_{sw} \geq (v_{Ed} - 0.75v_{Rd,c})s_r u_1 / (1.5f_{ywd,ef})$$

Όπου $f_{ywd,ef}$ = ενεργή σχεδιαστική δύναμη αντοχής του οπλισμού

$$= (250 + 0.25d) < f_{yd} = 315 \text{ MPa}$$

Για περίμετρο u_1 :

$$A_{sw} = (1.06 - 0.75 \times 0.69) \times 180 \times 1720 / (1.5 \times 315) = 355.5 \text{ mm}^2 \text{ ανά περίμετρο}$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08 f_{ck}^{0.5} (s_r s_t) / (1.5 f_{yk} \sin a + \cos a)$$

όπου

$$A_{sw,min} = \text{εμβαδόν του σκέλους του συνδετήρα}$$

a = γωνία μεταξύ κύριου και διατμητικού οπλισμού, για κάθετο οπλισμό

$$a = 90^\circ$$

$$A_{sw,min} \geq 0.08 f_{ck}^{0.5} (s_r s_t) / [(1.5 \sin a + \cos a) f_{yk}] = 0.08 \times 30^{0.5} \times (180 \times 380) / (1.5 \times 500) = 39.96 \text{ mm}^2$$

Δοκιμάζουμε Φ10 σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180 mm.

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.23; 1.5d] = \min[341, 392] = 341 \text{ mm}$$

Για να ελαττώσουμε το πλήθος των συνδετήρων, τοποθετούμε 5Φ10 σκέλη συνδετήρων (392.5 mm^2) με πυκνότητα συνδετήρων

$$A_{sw} / u_1 \geq \frac{10^2 \pi}{4} \times 5 / 1720 = 392.5 / 1720 = 0.23 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Η 1^η περίμετρος πρέπει να είναι μεταξύ των 0.3d και 0.5d από το πρόσωπο του υποστηλώματος. Επιλέγουμε $0.4d = 105 \text{ mm}$ από το πρόσωπο του υποστηλώματος.

Η απόσταση των συνδετήρων πάνω στη περίμετρο επιλέγεται $300 < 341 \text{ mm}$ που είναι το μέγιστο.

Λεπτομέρειες όπλισης

- Χρήση Φ10 σκέλη συνδετήρων σε περιμέτρους, οι οποίες απέχουν ακτινική απόσταση ίση με 180 mm.
- Τελευταία περίμετρος από το πρόσωπο του υποστηλώματος $r_{out} = 563 \text{ mm}$
- Έλεγχοι για οπλισμό εντός της βασικής περιμέτρου(2d από πρόσωπο του υποστηλώματος

$$u_a = 450 \times 2 + \pi 105 = 1229 \text{ mm}$$

$$A_{sw,ua} = (1.06 - 0.75 \times 0.69) \times 180 \times 1229 / (1.5 \times 315) = 254 \text{ mm}^2$$

$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 4\Phi 10 = 314 \text{ mm}^2 > A_{sw,ua}$$

$$\frac{A_{sw,ua}}{u_a} = 0.25 > 0.23, \text{ OK}$$

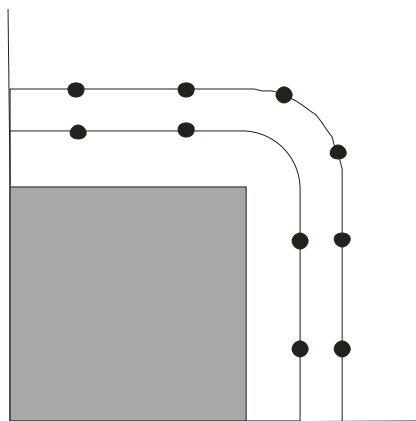
$$u_\beta = 450 \times 2 + \pi 285 = 1795 \text{ mm}$$

$$A_{sw,u\beta} = (1.06 - 0.75 \times 0.69) \times 180 \times 1795 / (1.5 \times 315) = 371 \text{ mm}^2$$

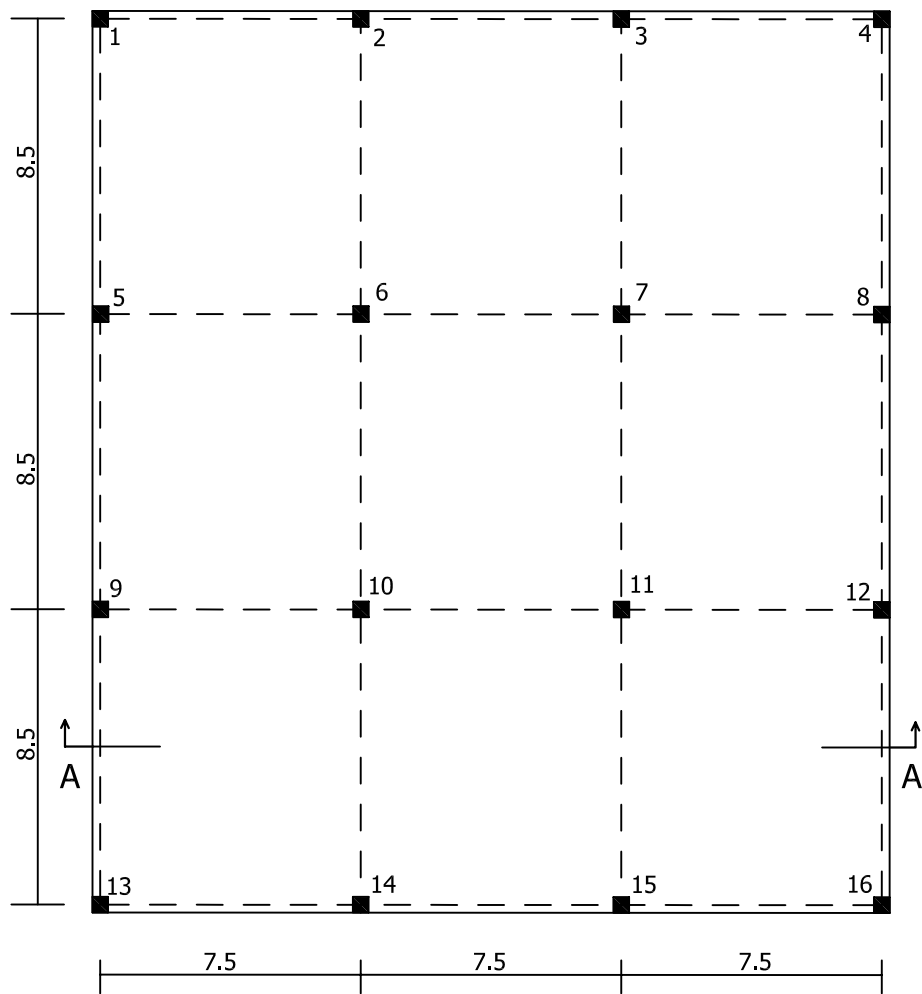
$$\Phi 10 = 78.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Τοποθετώ } 6 \Phi 10 = 471 \text{ mm}^2 > A_{sw,ua}$$

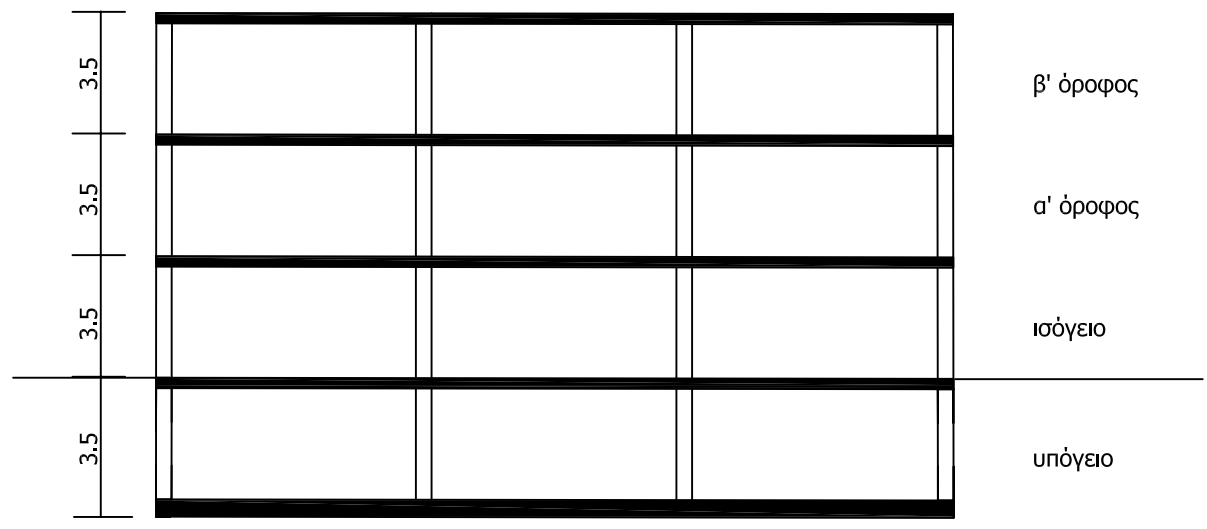
$$\frac{A_{sw,u\beta}}{u_\beta} = 0.26 > 0.23, \text{ OK}$$



Σχήμα 4-9: Οπλισμός διάτρησης σε ακριανό υποστήλωμα



Τυπική κάτοψη ορόφου



Τομή Α-Α

Σχήμα 4-1: Τυπική κάτοψη ορόφου και τομή

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1. Οι μέθοδοι ανάλυσης πλακών από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς δοκούς, γνωστές στη βιβλιογραφία ως μέθοδος ισοδύναμου πλαισίου και ως άμεση μέθοδος, προσαρμόστηκαν στη φιλοσοφία που διέπει τον EC2.
2. Οι δύο αυτές μέθοδοι ανάλυσης συζητήθηκαν μαζί με τις αρχές ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών έναντι διάτρησης που προτείνει ο EC2 και προτάθηκε μια συστηματική μεθοδολογία ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς με τον EC2.
3. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε υποδειγματικά στο σχεδιασμό μιας πλάκας χωρίς δοκούς ενός βιομηχανικού κτιρίου με τις δύο μεθόδους ανάλυσης. Δείχτηκε ότι οι δύο μέθοδοι παρέχουν συγκλίνοντα αποτελέσματα.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : Πίνακες για τον καμπτικό σχεδιασμό
δομικών στοιχείων σύμφωνα με τον EC2
(NEN-EN 1992-1-1)**

Πίνακας Π1 : Τιμές του K (υποθέτοντας τις συνιστώμενες τιμές για το δ και τις συνιστώμενες τιμές για το γ_c)

% αναδιανομή	δ (λόγος αναδιανομής)	K'
0	1.00	0.196
10	0.90	0.182
15	0.85	0.168
20	0.80	0.153
25	0.75	0.137
30	0.70	0.102

Συχνά συνιστάται το K' να περιορίζεται στη τιμή 0.168 για να εξασφαλιστεί η πλάστιμη αστοχία.

Πίνακας Π2 : Συντελεστές ροπών κάμψης για πλάκες χωρίς δοκούς

	Σύνδεση ακραίας στήριξης/πλάκας				Πρώτη Εσωτερική στήριξη	Εσωτερικά ανοίγματα	Εσωτερικές στηρίξεις
	Αρθρωτό		Συνεχές				
	Ακριανή στήριξη	Ακριανό άνοιγμα	Ακριανή στήριξη	Ακριανό άνοιγμα			
ροπή	0	0.86F _l	-0.04F _l	0.075F _l	-0.086F _l	0.063F _l	-0.063F _l

Παρατηρήσεις:

1. Τα παραπάνω εφαρμόζονται για πλάκες όπου το εμβαδόν κάθε φατνώματος ξεπερνάει τα 30 m², $Q_k \leq 1.25G_k$ και $q_k \leq 5kN/m^2$
2. Το F είναι το ολικό φορτίο αντοχής, το l είναι το ισοδύναμο άνοιγμα
3. Το ελάχιστο άνοιγμα > 0.85 μεγαλύτερου ανοίγματος, ελάχιστο 3 ανοίγματα.
4. Βασίζεται στο 15% της αναδιανομής στις στηρίξεις και σε καμία μείωση στις ροπές των ανοιγμάτων.

Πίνακας Π3: z/d για ορθογωνικές διατομές με μονό οπλισμό (υποθέτοντας τις συνιστώμενες τιμές του γ_c)

K	z/d	K	z/d
0.07	0.944	0.15	0.871
0.08	0.936	0.16	0.861
0.09	0.927	0.17	0.85
0.10	0.918	0.18	0.839
0.11	0.909	0.19	0.828
0.12	0.900	0.196	0.821
0.13	0.891		
0.14	0.881		

Πίνακας Π4: Τιμές του $f_{ywd,ef}$

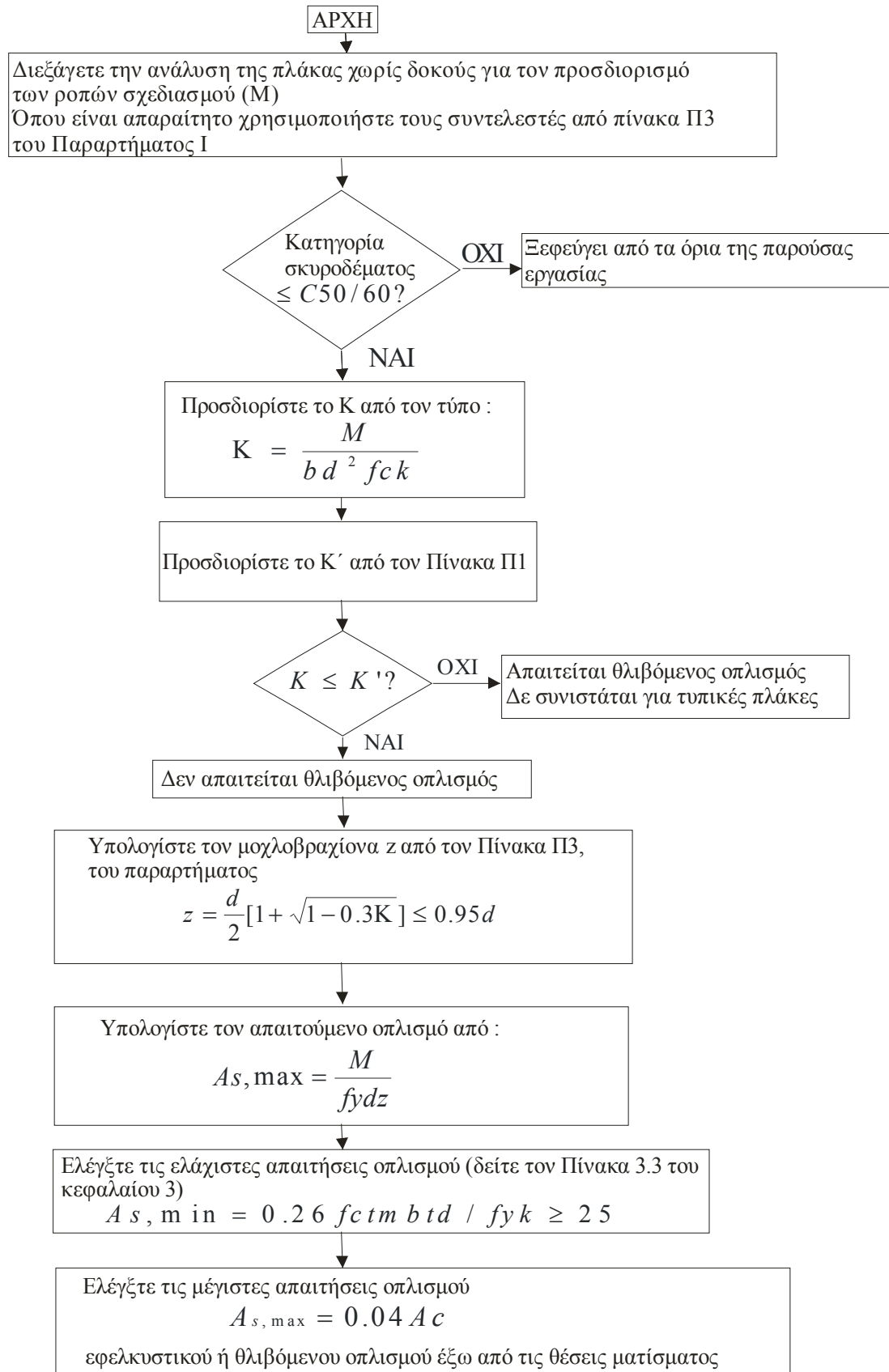
d_{eff}	$f_{ywd,ef}$
150	288
175	294
200	300
225	306
250	313
275	319
300	325
325	331
350	338

Πίνακας Π5: Τιμές του $V_{Rd,max}$ (υποθέτοντας ότι είναι γνωστές οι συνιστώμενες τιμές των ν, a_{cc}, γ_c)

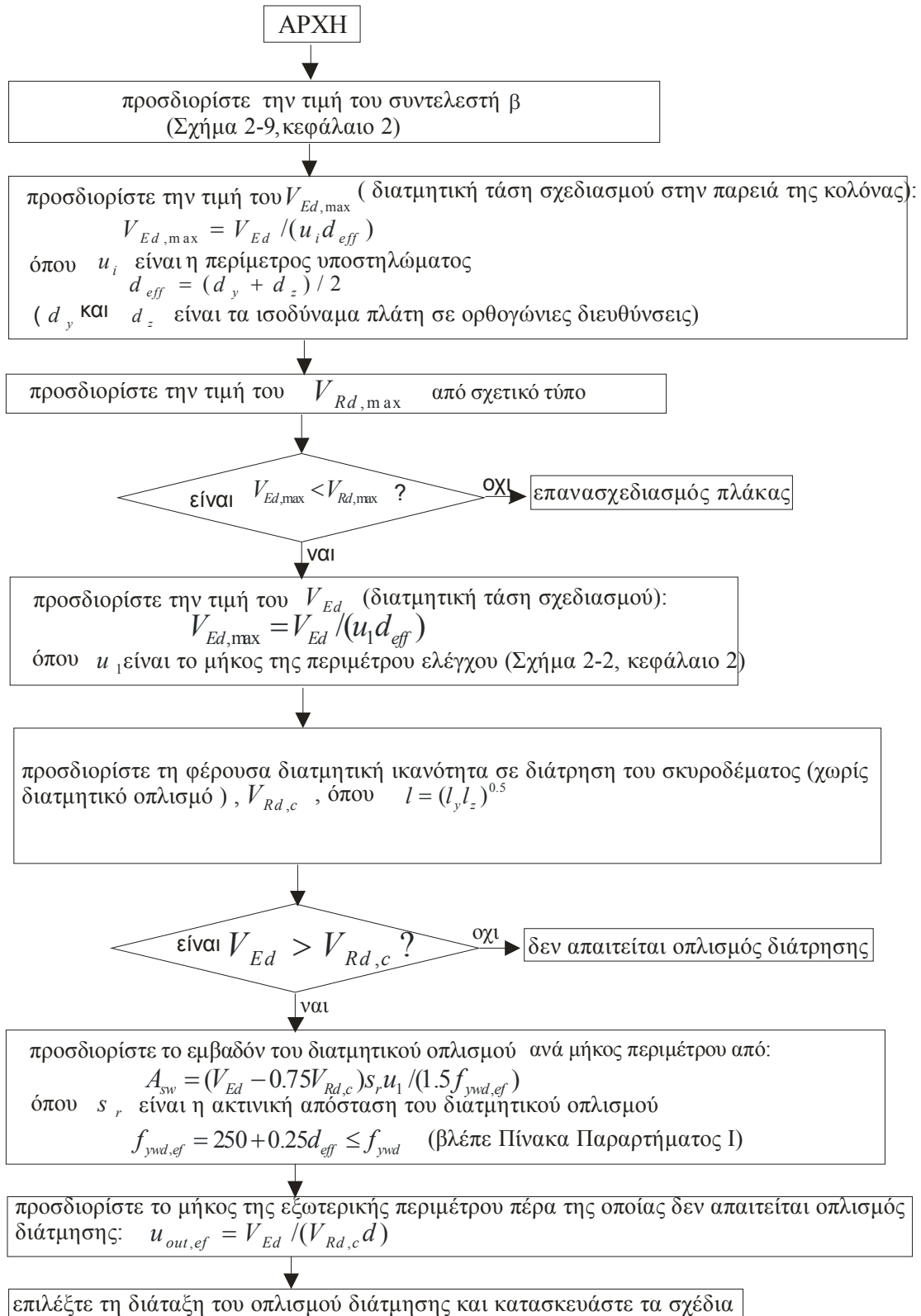
f_{ck}	$V_{Rd,max}$
20	3.68
25	4.50
28	4.97
30	5.28
32	5.58
35	6.02
40	6.72
45	7.38
50	8.00

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : Διάγραμμα ροής για τον σχεδιασμό
πλακών χωρίς δοκούς (κάμψη και
διάτρηση)**

Διάγραμμα ροής 1 : Διαδικασία προσδιορισμού καμπτικού οπλισμού

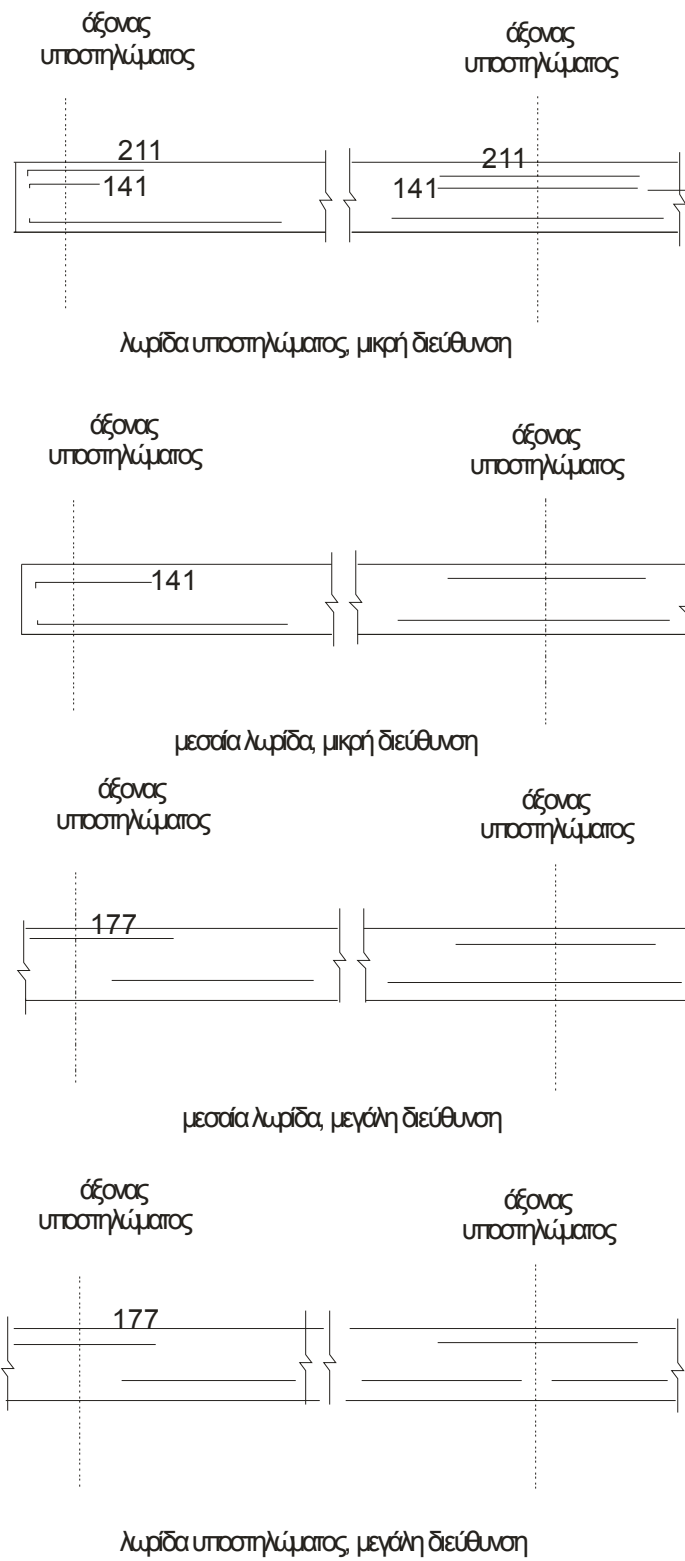


Διάγραμμα ροής 2 : Διαδικασία προσδιορισμού οπλισμού διάτρησης



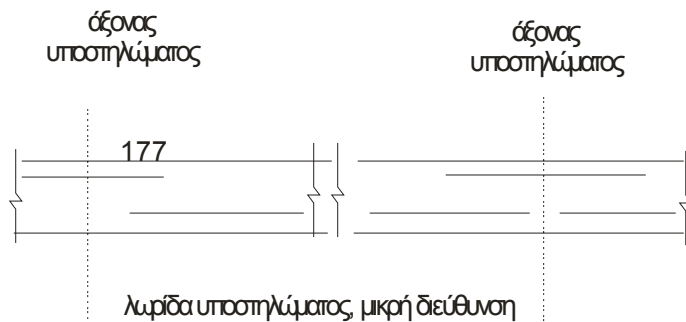
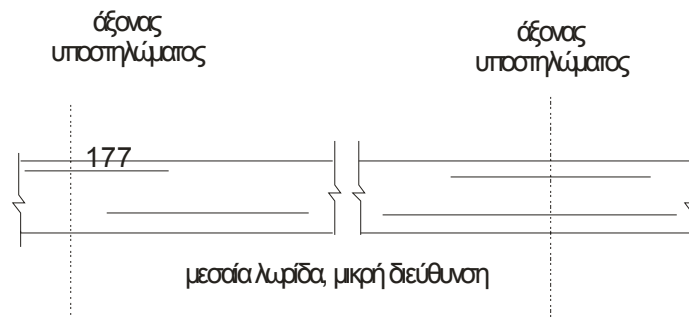
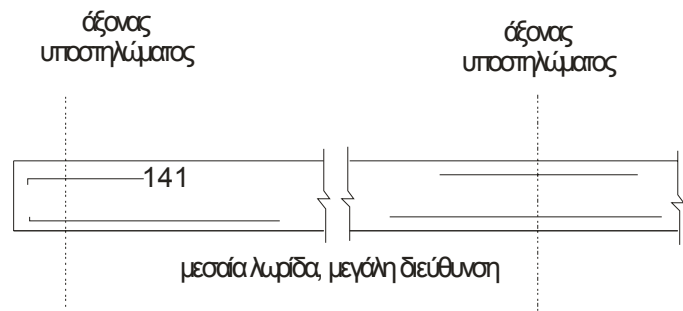
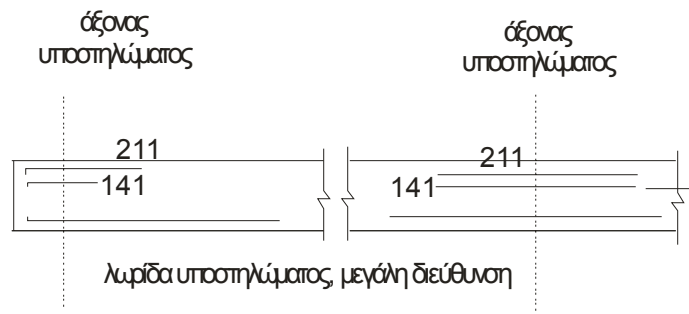
Λεπτομέρειες όπλισης

Εξωτερικό φάνωμα (5-6-10-9)



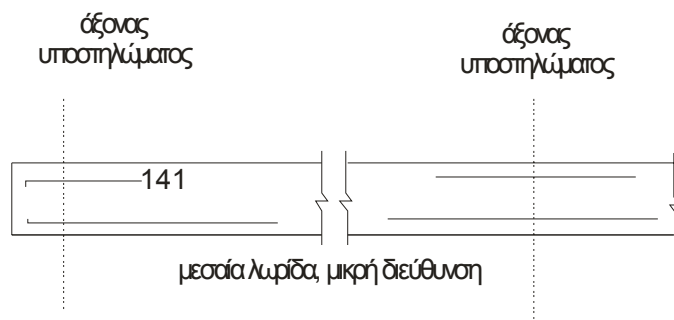
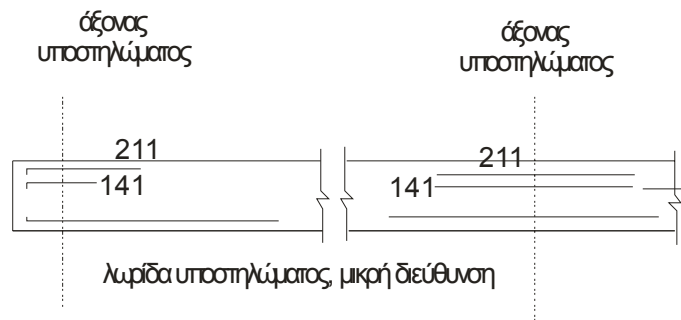
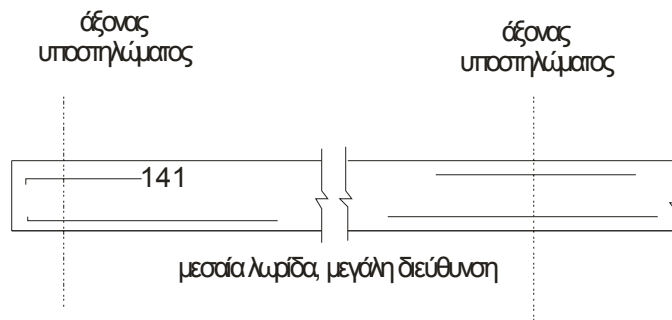
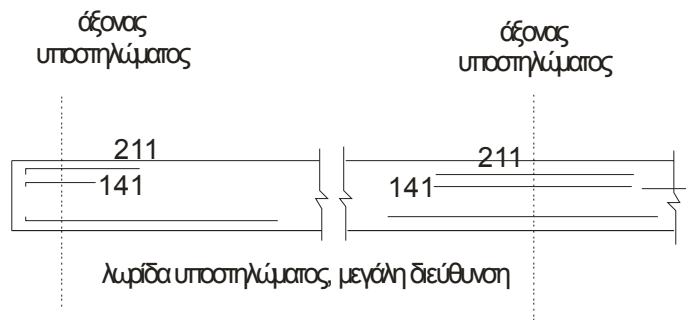
Σχήμα Π-11: Αποστάσεις οπλισμού

Εξωτερικό φάτνωμα (2-3-7-6)



Σχήμα Π-12: Αποστάσεις οπλισμού

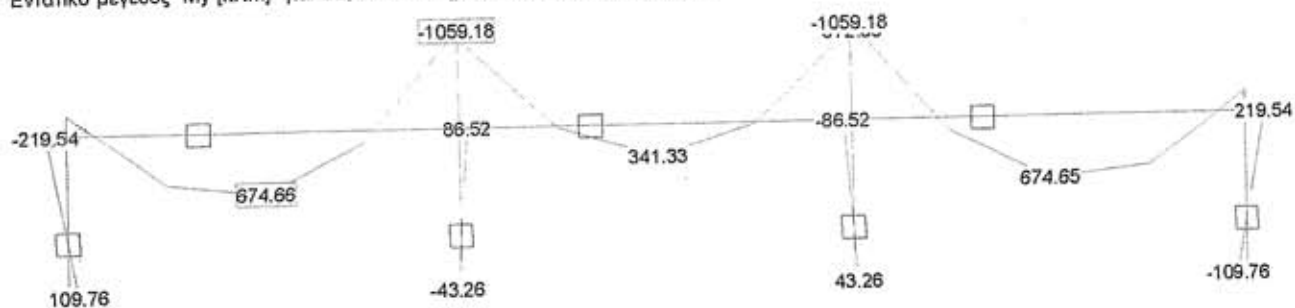
Γωνιακό φάτνωμα (1-2-5-6)



Σχήμα Π-13: Αποστάσεις οπλισμού

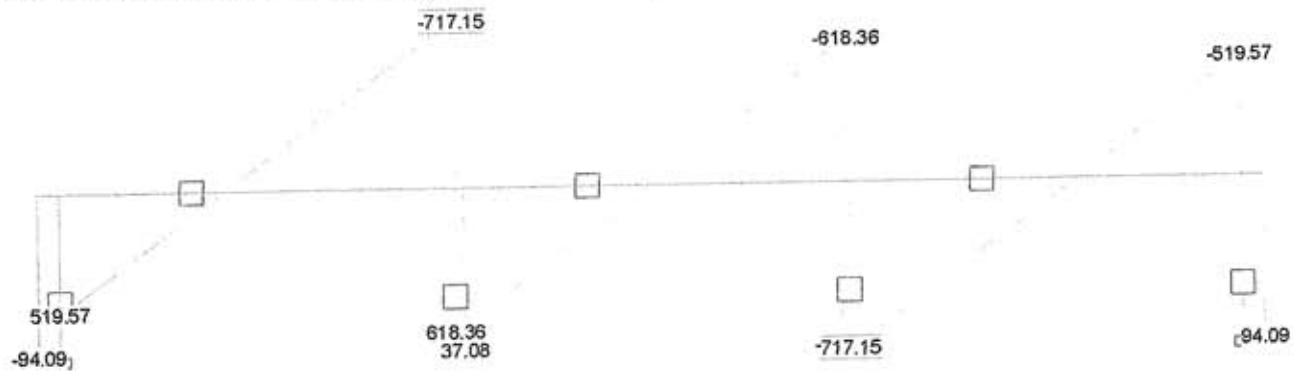
Εντατικό μέγεθος M_y [kNm] για: B2, Υποσύστημα: σε κανένα υποσύστημα

Κλίμ. 1 : 163.3



Εντατικό μέγεθος V_z [kN] για: Β2, Υποσύστημα: σε κανένα υποσύστημα

Κλίμ. 1 : 162.2



Εντατικό μέγεθος M_y [kNm] για: B2

Κλίμ. 1 :142.9



Εντατικό μέγεθος V_z [kN] για: B2

Κλίμ. 1 : 139.8



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ACI Committee 318 (2005), 'Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-05),' American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich

BSI (1985), 'Structural Use of Concrete-Part 2: Code of Practice for Special Circumstances (BS8110-2:1985), including ammendments No.1 (1989) And 2 (2001),' British Standard Education,1985

CEN (1992), 'Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1: General rules and rules for buildings (ENV 1992-1-1:1992),' Comite Europeen de Normalisation, Brussels

Mac Gregor James, 'Reinforced Concrete: Mechanics and Design', Pearson Prentice Hall Inc, 1997

Ray S.S., 'Reinforced Concrete: Analysis and Design', Blackwell Science Ltd, 1995

Nawy Edward G , 'Reinforced Concrete: A fundamental approach ACI 318-05 Code Edition', Pearson Prentice Hall Inc ,2005

Hassoun M. Nadim, Al-Manaseer Akthem, ' Structural Concrete : Theory and Design' , John Wiley & Sons Inc, 2005