



**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 ΚΩΔΙΚΑ EC2 (NEN-EN 1992-1-1) ΜΕ ΤΗΝ ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**Κελλάρη Ιωάννα**

**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 DIRECT 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 μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου" , είναι να αξιοποιήσει την υπάρχουσα εμπειρία άλλων χωρών πάνω στην ανάλυση και σχεδιασμό πλακών χωρίς δοκούς. Η άμεση μέθοδος, όπως αυτή περιγράφεται στον κανονισμό του ACI 318-05, 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 direct 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.....	3
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η άμεση μέθοδος.....</b>	<b>6</b>
1.1 Η άμεση μέθοδος σύμφωνα με τον κώδικα ACI 318.....	6
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Διάτρηση πλακών χωρίς δοκούς.....</b>	<b>16</b>
2.1 Διάτρηση πλακών σύμφωνα με τον EC2(NEN-EN 1992-1-1).....	16
2.2 Διατμητική αντοχή σε διάτρηση πλακών των βάσεων υποστηλωμάτων χωρίςδιατμητικοπλισμό.....	29
2.3 Διατμητική αντοχή σε διάτρηση πλακών των βάσεων υποστηλωμάτων με διατμητικό οπλισμό.....	32
2.4 Η πλάκα στα εσωτερικά υποστηλώματα.....	35
2.5 Η πλάκα στα ακριανά και γωνιακά υποστηλώματα.....	36
2.6 Διατμητικός οπλισμός διάτρησης.....	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Διαδικασία ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον EC2(NEN-EN 1992-1-1).....</b>	<b>39</b>
3.1 Τα βήματα της ανάλυσης και του σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς....	39
3.2 Σχεδιασμός έναντι οριακών καταστάσεων και λειτουργικότητας.....	41
3.3 Λεπτομέρειες όπλισης.....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Εφαρμογή της προτεινόμενης διαδικασίας ανάλυσης και σχεδιασμού πλακών χωρίς δοκούς σε πλάκα βιομηχανικού κτιρίου.....</b>	<b>47</b>
4.1 Δεδομένα βιομηχανικού κτιρίου .....	47
4.2 Ανάλυση και σχεδιασμός.....	48
4.2.1 Ανάλυση και σχεδιασμός με τον κώδικα ACI 318.....	48
4.2.2 Ανάλυση και σχεδιασμός με τον κώδικα EC2 (NEN-EN 1992-1-1).....	60

4.3 Έλεγχος διάτρησης .....	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93

## 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 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 μέθοδο ισοδύναμου πλαισίου' εστιάζει στην άμεση μέθοδο. Στις δύο αυτές εργασίες παρουσιάζονται και αναλύονται οι δύο βασικές μέθοδοι σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται στους Κώδικες του ACI 318-05: 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 άμεση μέθοδος, έτσι όπως αυτή χρησιμοποιείται στον κανονισμό του ACI 318-05, 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 άμεση μέθοδος πλαισίου, έτσι όπως αυτή περιγράφεται στους δύο Κώδικες: ACI 318-05, 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 ΑΜΕΣΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

#### 1.1 Η άμεση μέθοδος σύμφωνα με τον κώδικα ACI 318

*Απαιτούμενοι περιορισμοί για την εφαρμογή της μεθόδου*

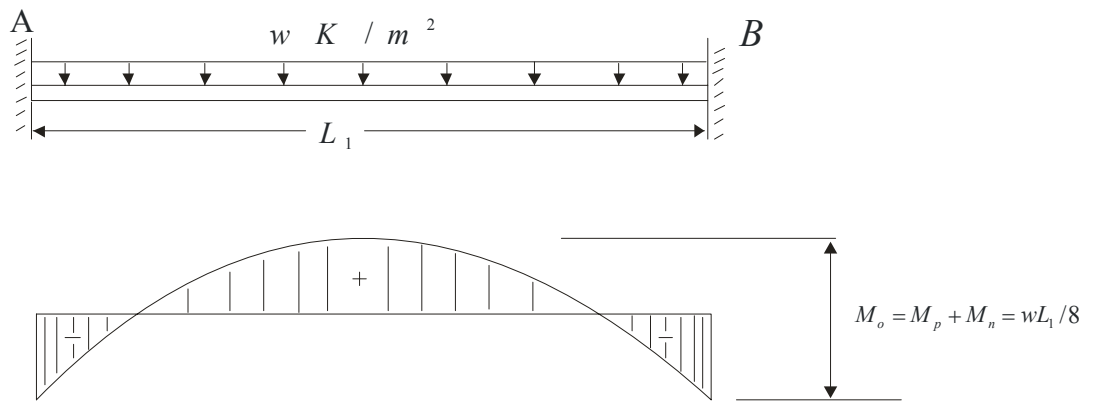
Η άμεση μέθοδος είναι μια προσεγγιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των ροπών σχεδιασμού σε ομοιόμορφα φορτισμένες πλάκες δύο διευθύνσεων. Σύμφωνα με τον κώδικα ACI 318, για την χρήση της μεθόδου, θα πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω περιορισμοί:

- Θα πρέπει να υπάρχουν το λιγότερο τρία συνεχή ανοίγματα σε κάθε διεύθυνση.
- Το φάτνωμα μπορεί να είναι είτε τετράγωνο είτε ορθογώνιο. Ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο άνοιγμα, μέσα στο φάτνωμα, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 2.0 .
- Τα γειτονικά ανοίγματα σε κάθε διεύθυνση, δεν θα πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από το 1/3 του μεγαλύτερου ανοίγματος.
- Τα υποστηλώματα δεν θα πρέπει να είναι μετατοπισμένα πιο πολύ από το 10% του μήκους του ανοίγματος, στην διεύθυνση της μετάθεσης, από κάθε άξονα που βρίσκεται μεταξύ κεντρικών γραμμών των διαδοχικών υποστηλωμάτων.
- Όλες οι φορτίσεις θα πρέπει να είναι ομοιόμορφες, και ο λόγος του κινητού προς το μόνιμο φορτίο, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 2.0 .
- Εάν υπάρχουν δοκάρια κατά μήκος των πλευρών της πλάκας, τότε ο λόγος της ακαμψίας των δοκών στις κάθετες διευθύνσεις,  $a_{f1}l_1^2 / a_{f2}l_1^2$ , θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.2 και 5.0 .

Προσδιορισμός της ολικής καμπτικής ροπής

Εάν μια αμφιέριστη δοκός φέρει ένα ομοιόμορφα καταναμημένο φορτίο, τότε η μέγιστη θετική καμπτική ροπή αναπτύσσεται στο μεσαίο άνοιγμα, και ισούται με  $M_o = wl_1^2 / 8$ , όπου  $l_1$  είναι το μήκος του ανοίγματος. Εάν η δοκός είναι αμφίπακτη, ή είναι συνεχής με ίσες αρνητικές ροπές στις δύο άκρες, τότε η ολική ροπή  $M_o = M_p$  (θετική ροπή στο μεσαίο άνοιγμα) +  $M_n$  (αρνητική ροπή στη στήριξη) =  $wl_1^2 / 8$  (Σχήμα 17.10). Τώρα, εάν η δοκός AB, φέρει φορτίο  $W$  από μια πλάκα που έχει ένα πλάτος  $l_2$  κάθετα στο  $l_1$ , τότε  $W = w_u l_2$ , και η ολική ροπή είναι η  $M_o = \frac{w_u l_2 l_1^2}{8}$ , όπου  $w_u$  το φορτίο με διανομή σε  $kN/m^2$ . Στην έκφραση αυτή, η πραγματική ροπή συμβαίνει όταν το  $l_1$  ισούται με το καθαρό άνοιγμα μεταξύ της στήριξης A και B. Εάν το καθαρό άνοιγμα δηλωθεί με το  $l_n$ , τότε:

$$M_o = \frac{w_u l_2 l_n^2}{8} \tag{1.1}$$



Σχήμα 1-1: Καμπτική ροπή σε μία πακτωμένη δοκό.

Το καθαρό άνοιγμα  $l_n$  μετριέται από παρειά σε παρειά των στηρίξεων, στην διεύθυνση στην οποία θεωρούνται οι ροπές, και δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από 0.65 φορές το μήκος του ανοίγματος από κέντρο σε κέντρο των στηρίξεων. Η παρειά της στήριξη, όπου θα πρέπει να υπολογιστούν οι αρνητικές ροπές, δείχνεται στο Σχήμα 1-1. Το μήκος  $l_2$  μετριέται σε μια διεύθυνση κάθετη με αυτήν στην  $l_n$ , και ισούται με την απόσταση από κέντρο σε κέντρο των στηρίξεων (πλάτος πλάκας). Η ολική ροπή  $M_o$ , που υπολογίζεται στην μεγαλύτερη διεύθυνση, θα αναφέρεται εδώ ως  $M_{ol}$ , και αυτή που υπολογίζεται στην μικρή διεύθυνση, ως  $M_{os}$ .

Μόλις η ολική ροπή,  $M_o$ , μπορεί να υπολογισθεί σε μια διεύθυνση, διαιρείται σε μια θετική ροπή  $M_p$  και σε μια αρνητική ροπή  $M_n$ , έτσι ώστε  $M_o = M_p + M_n$  (Σχήμα 1-1). Έτσι κάθε ροπή  $M_p$  και  $M_n$ , διανέμεται δια μέσου του πλάτους της πλάκας, ανάμεσα στις μεσαίες λωρίδες και το υποστήλωμα, όπως εξηγείται παρακάτω.

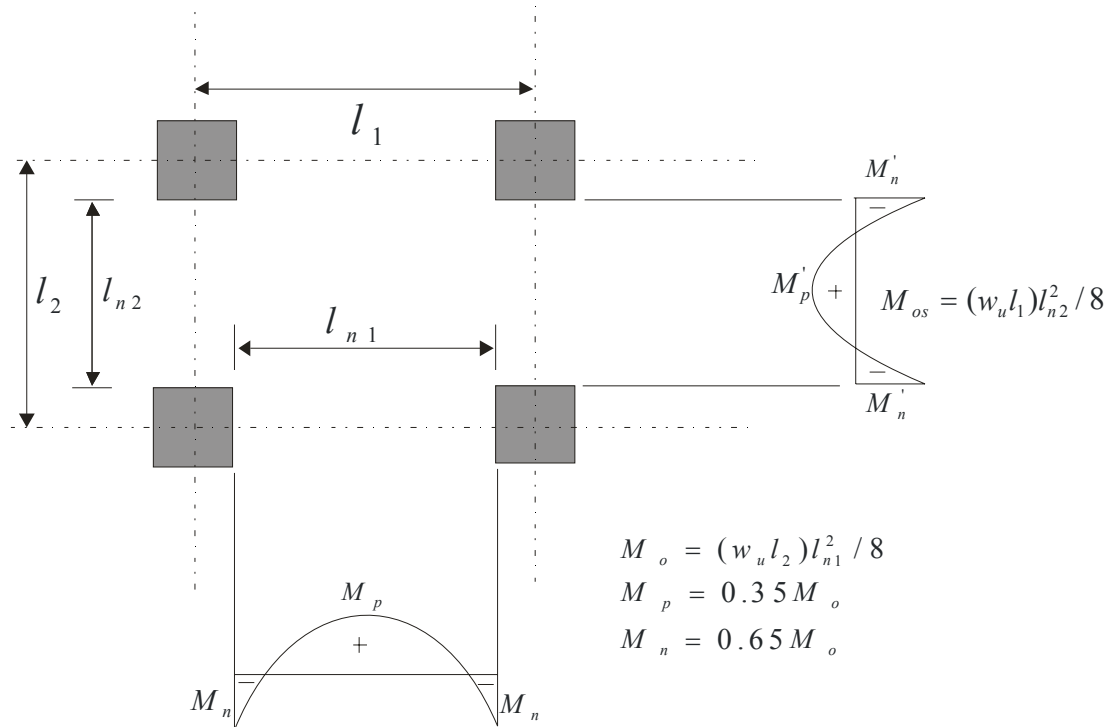
#### *Διαμήκης κατανομή των ροπών στις πλάκες*

Σε ένα τυπικό εσωτερικό φάτνωμα, η ολική καμπτική ροπή,  $M_o$ , διαιρείται σε δύο ροπές, την θετική  $M_p$ , στα μεσαία ανοίγματα, που ισούται με το  $0.35M_o$ , και την αρνητική ροπή  $M_n$ , σε κάθε στήριξη, που ισούται με το  $0.65M_o$ , όπως δείχνεται στο Σχήμα 1-2. Αυτές οι τιμές της ροπής βασίζονται στην υπόθεση ότι το εσωτερικό φάτνωμα είναι συνεχές στις δύο διευθύνσεις, με κατά προσέγγιση, ίσα ανοίγματα και φορτία, έτσι ώστε οι εσωτερικοί κόμβοι να μην έχουν σημαντική περιστροφή. Επιπλέον, οι τιμές των ροπών είναι κατά προσέγγιση οι ίδιες όπως αυτές σε μια αμφίπακτη δοκό, που φορτίζεται ομοιόμορφα, όπου η αρνητική ροπή στην στήριξη είναι διπλάσια της θετικής ροπής στο μεσαίο άνοιγμα.

Εάν το μέγεθος των αρνητικών ροπών στις αντίθετες πλευρές ενός υποστηρίγματος, είναι διαφορετικές εξαιτίας του άνισου μήκους των ανοιγμάτων, ο κώδικας ACI 318,

καθορίζει ότι η μεγαλύτερη ροπή θα πρέπει να θεωρείται στον υπολογισμό του απαιτούμενου οπλισμού.

Στο Σχήμα 1-2, εάν  $l_1 > l_2$ , το μέγεθος των ροπών στην μεγάλη και μικρή διεύθυνση είναι όπως παρακάτω:



**Σχήμα 1-2: Διανομή των ροπών σε εσωτερικό φάτνωμα**

$$M_{o1} = (w_u l_2) \frac{l_{n1}^2}{8} \quad M_{p1} = 0.35 M_{o1} \quad M_{n1} = 0.65 M_{o1} \quad (1.2)$$

$$M_{os} = (w_u l_1) \frac{l_{n2}^2}{8} \quad M_{ps} = 0.35 M_{os} \quad M_{ns} = 0.65 M_{os}$$

Σε ένα εξωτερικό φάτνωμα, το φορτίο της πλάκας εφαρμόζεται στο εξωτερικό υποστήλωμα από την μία πλευρά μόνο, προξενώντας μια μη ισορροπούσα ροπή και μια περιστροφή στον εξωτερικό κόμβο. Συνεπώς, για να υπάρξει μια αύξηση στη

θετική ροπή του μεσαίου ανοίγματος, και στην αρνητική ροπή στο πρώτο εσωτερικό στήριγμα. Το μέγεθος της περιστροφής του εξωτερικού κόμβου, προσδιορίζει την αύξηση των ροπών του μεσαίου ανοίγματος και του εσωτερικού στηρίγματος. Για παράδειγμα, εάν η εξωτερική άκρη είναι μία απλή στήριξη, όπως στην περίπτωση όπου μια πλάκα στηρίζεται σε ένα τοίχο, η ροπή της πλάκας στη παρειά του τοίχου είναι 0, η θετική ροπή στο μεσαίο άνοιγμα μπορεί να ληφθεί ίση με  $M_p = 0.63M_o$ , και η αρνητική ροπή στην εσωτερική στήριξη είναι  $M_n = 0.75M_o$ . Αυτές οι τιμές ικανοποιούν την στατική εξίσωση ισορροπίας

$$M_o = M_p + \frac{1}{2}M_n = 0.63M_o + \frac{1}{2}(0.75M_o) \quad (1.3)$$

Σε ένα σύστημα ορόφων πλάκας-υποστηλώματος, υπάρχει κάποιος περιορισμός στον εξωτερικό κόμβο που παρέχεται από την καμπτική ακαμψία της πλάκας από την καμπτική ακαμψία και των εξωτερικών υποστηλωμάτων. Σύμφωνα με τον κώδικα ACI 318, η ολική στατική ροπή  $M_o$ , σε ένα ακριανό άνοιγμα, διανέμεται με διαφορετικούς λόγους, σύμφωνα με τον Σχήμα 1-3.

#### *Εγκάρσια διανομή των ροπών*

Οι τιμές των διαμήκων ροπών που παρουσιάστηκαν προηγούμενα, είναι για πλήρες πλάτος του ισοδύναμου κατασκευαστικού πλαισίου. Αυτό το πλάτος πλαισίου είναι το άθροισμα των πλατών των δύο μισών λωρίδων υποστηλώματος, και των δύο μισών μεσαίων λωρίδων, των γειτονικών φατνωμάτων. Η εγκάρσια διανομή των διαμήκων ροπών στη μεσαία λωρίδα και στην λωρίδα υποστηλώματος, είναι μια συνάρτηση των λόγων  $I_2 / I_1$ ,

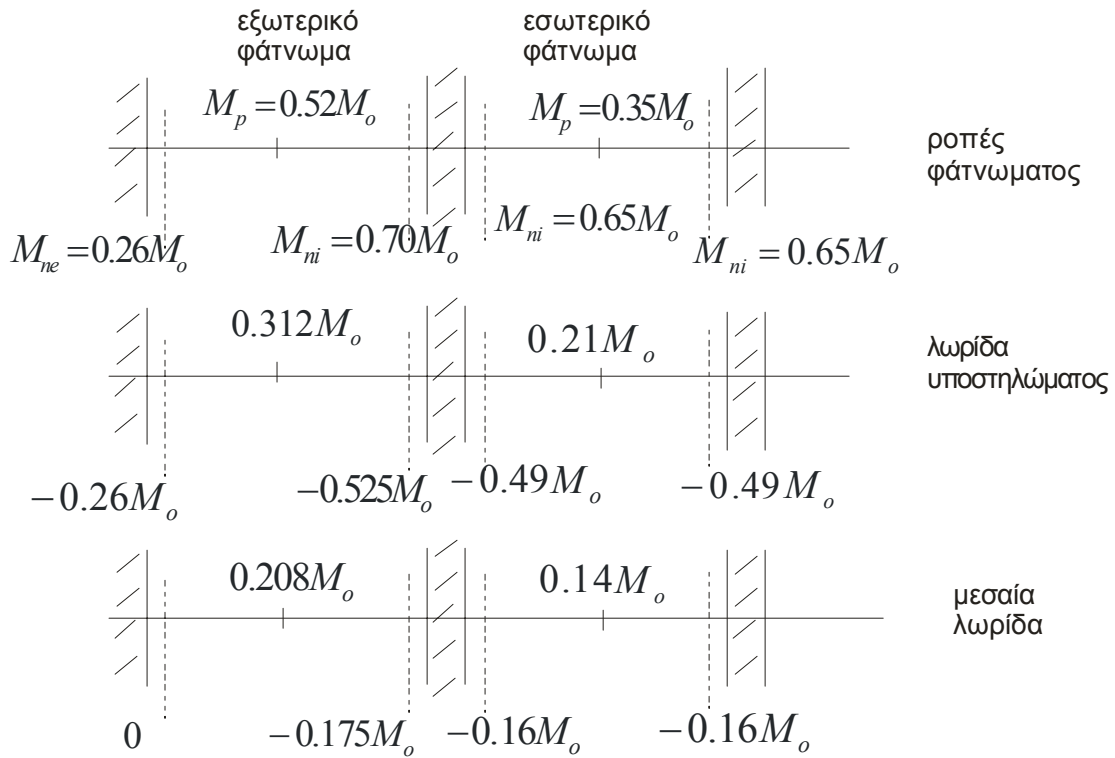
$$a_f = \frac{E_{cb}I_b}{E_{cs}I_s} = \frac{\text{ακαμψία δοκού}}{\text{ακαμψία πλάκας}} \quad (1.4)$$

$$\beta_t = \frac{E_{cb}C}{2E_{cs}I_s} \quad (1.5)$$

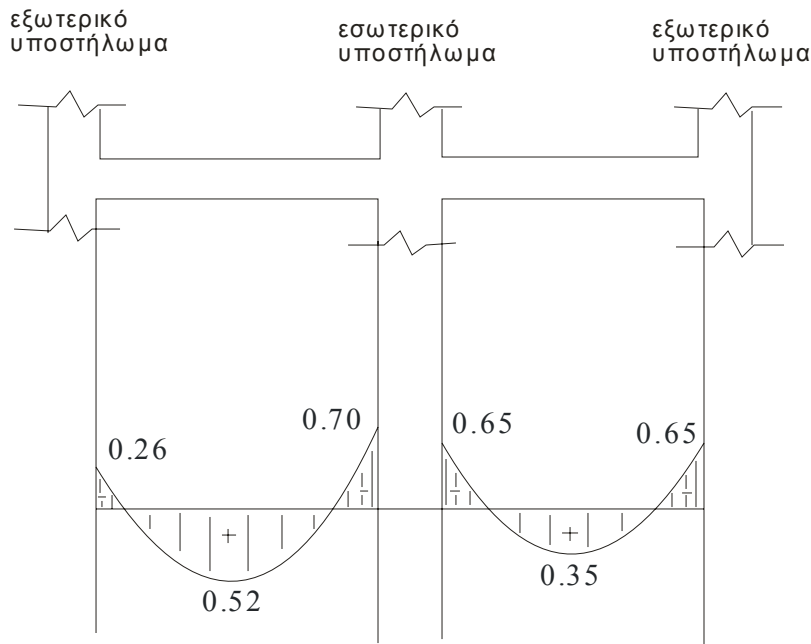
όπου

$$C = \sum \left( 1 - \frac{0.63x}{y} \right) \left( \frac{x^3 y}{3} \right) \quad (1.6)$$

και  $x$  και  $y$  η μικρότερη και η μεγαλύτερη διάσταση για κάθε ορθογωνική συνιστώσα της διατομής. Τα ποσοστά για κάθε ροπή σχεδιασμού που πρέπει να διανεμηθεί στο υποστηλώμα, και τις μεσαίες λωρίδες, για εξωτερικά και εσωτερικά φατνώματα, δίνονται από το Σχήμα 1-3 και Σχήμα 1-4.



Σχήμα 1-3: Διανομή των ροπών σε εσωτερικό και εξωτερικό φατνώμα.



**Σχήμα 1-4: Διανομή ολικής στατικής ροπής σε αρνητικές και θετικές ροπές ανοιγμάτων.**

*Διατάξεις του ACI 318 για τις επιδράσεις των πρότυπων φορτίσεων*

Σε συνεχείς δοκούς οι μέγιστες και οι ελάχιστες καμπτικές ροπές στις κρίσιμες διατομές, αποκτώνται από την τοποθέτηση των ενεργών φορτίων σε ειδικές διατάξεις, ώστε να προκύψουν οι ακραίες τιμές. Η τοποθέτηση των κινητών φορτίων σε όλα τα ανοίγματα δεν θα παρήγαν ούτε τις μέγιστες θετικές ούτε τις αρνητικές καμπτικές ροπές. Οι μέγιστες και οι ελάχιστες ροπές εξαρτώνται κυρίως από τα ακόλουθα:

- Ο λόγος του κινητού φορτίου προς το μόνιμο φορτίο. Α μεγάλος λόγος θα αυξήσει τις επιπτώσεις των πρότυπων φορτίσεων.
- Ο λόγος της ακαμψίας του υποστηλώματος προς αυτήν της δοκού. Α μικρός λόγος θα αυξήσει τις επιπτώσεις των πρότυπων φορτίσεων.
- Πρότυπες φορτίσεις. Μέγιστες θετικές ροπές μέσα στα ανοίγματα επηρεάζονται λιγότερο από τις πρότυπες φορτίσεις.



Για τον προσδιορισμό των φερόμενων ροπών σχεδιασμού σε συνεχή ανοίγματα πλαισίου, ο κώδικας ACI 318, ορίζει τα ακόλουθα:

- Όταν η μορφή των φορτίσεων είναι γνωστή, η ισοδύναμη μέθοδος πλαισίου μπορεί να προσδιορίσει αυτό το φορτίο.
- Όταν το κινητό φορτίο είναι μεταβαλλόμενο, αλλά δεν ξεπερνά τα  $\frac{3}{4}$  του σταθερού φορτίου,  $w_L \leq 0.75w_D$ , ή όταν όλα τα φατνώματα είναι σχεδόν ταυτόχρονα φορτισμένα με το κινητό φορτίο, επιτρέπεται να αναλυθεί το πλαίσιο με το ολικό φερόμενο κινητό φορτίο σε ολόκληρο το σύστημα της πλάκας.
- Για άλλες συνθήκες φόρτισης, επιτρέπεται η υπόθεση ότι η μέγιστη φερόμενη θετική ροπή κοντά σε ένα μεσαίο άνοιγμα, παρουσιάζεται ως το 0.75 της ολικής φερόμενης ενεργής φόρτισης που εφαρμόζονται στο φάτνωμα και στα εναλλακτικά φατνώματα. Για την μέγιστη αρνητική φερόμενη ροπή της πλάκας στα σημεία των υποστηλωμάτων, επιτρέπεται η υπόθεση ότι το 0.75 της ολικής φερόμενης ενεργής φόρτισης, εφαρμόζεται μόνο στα γειτονικά φατνώματα.
- Οι φερόμενες φορτίσεις δεν μπορούν να είναι λιγότερες από τις ροπές που παρατηρούνται με την ολικό φερόμενο κινητό φορτίο, σε όλα τα συνεχή φατνώματα.

#### *Λεπτομέρειες όπλισης*

Μετά από τον προσδιορισμό όλων των ποσοστών των καμπτικών ροπών στις λωρίδες των υποστηλωμάτων και στις μεσαίες λωρίδες, ο οπλισμός μπορεί να υπολογιστεί για τις θετικές και αρνητικές ροπές σε κάθε λωρίδα, όπως γίνεται για τις διατομές των δοκών με τις σχέσεις:

$$M_u = \phi A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = R_u b d^2 \quad (1.7)$$

$$R_u = \phi \rho f_y \left( 1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f_c'} \right) \quad (1.8)$$

όπου  $\phi = 0.9$ . Η διατομή του οπλισμού είναι  $A_s = \rho db$ . Όταν το πάχος της πλάκας περιορίζεται, μπορεί να απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός. Η απόσταση των ράβδων στις πλάκες δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα όρια που καθορίζονται στον κώδικα ACI 318, σχετικά με τις μέγιστες αποστάσεις :  $450mm$ , ή το διπλάσιο του πάχους της πλάκας, στις περιπτώσεις που είναι μικρότερη.

#### *Συνοπτική παρουσίαση της άμεσης σχεδιαστικής μεθόδου*

- Έλεγχος των περιορισμών που παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Εάν οι περιορισμοί δεν ικανοποιούνται, τότε η άμεση σχεδιαστική μέθοδος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.
- Καθορισμός του ελάχιστου πάχους πλάκας  $h_{min}$ , ώστε να ελεγχθεί το βέλος κάμψης, χρησιμοποιώντας τις τιμές του Πίνακα 4.1. Εξωτερικά φατνώματα χωρίς ακριανές δοκούς, δίνουν το μεγαλύτερο  $h_{min}$  ( $l_n/30$  για  $f_y = 60ksi$ ). Συνήθως πρακτική είναι η χρήση του ίδιου πάχους της πλάκας σε όλα τα εξωτερικά και εσωτερικά φατνώματα.
- Υπολογισμός των φερόμενων φορτίων,  $W_u = 1.35W_D + 1.5W_L$ , σύμφωνα με τον ACI 318.
- Έλεγχος του πάχους της πλάκας,  $h$ , όπως επιτάσσει η μονοδιάστατη και δισδιάστατη διάτμηση. Εάν το πάχος της πλάκας,  $h$ , δεν είναι επαρκές, τότε είτε αυξάνεται το  $h$ , είτε παρέχεται διατμητικός οπλισμός.
- Υπολογισμός της ολικής στατικής ροπής,  $M_o$ , και στις δύο διευθύνσεις εξίσωση (1.2).
- Καθορισμός της διανομής των συντελεστών των θετικών και αρνητικών ροπών στην διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση, για κάθε μεσαία λωρίδα και λωρίδα υποστηλώματος, στα εσωτερικά και στα εξωτερικά φατνώματα ως εξής:
  - Για εσωτερικά φατνώματα χρησιμοποιούνται οι συντελεστές ροπής που δίνονται στο Σχήμα 1-3.
  - Για εξωτερικά φατνώματα χωρίς ακριανές δοκούς, οι συντελεστές ροπής του φατνώματος δίνονται στον Σχήμα 1-4. Για την διανομή των ροπών

στην εγκάρσια διεύθυνση, χρησιμοποιείται το Σχήμα 1-3 για την λωρίδα υποστηλώματος. Η μεσαία λωρίδα μπορεί να ανθίσταται στο τμήμα της ροπής που δεν συμμετέχει στη λωρίδα υποστηλώματος.

- Καθορισμός του οπλισμού σε όλες τις κρίσιμες διατομές των λωρίδων υποστηλώματος και των μεσαίων λωρίδων, και επέκταση των ράβδων διαμέσου της πλάκας σύμφωνα τις απαιτήσεις του ACI 318.
- Υπολογισμός της μη ισορροπημένης ροπής, και έλεγχος εάν επαρκεί η μεταφορά της μη ισορροπούσας ροπής λόγω κάμψης. Εάν όχι, καθορίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός στο κρίσιμο πλάτος
- Έλεγχος εάν επαρκεί η μεταφορά της μη ισορροπούσας ροπής λόγω διάτμησης. Εάν όχι, αυξάνεται το  $h$  ή παρέχεται διατμητικός οπλισμός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΠΛΑΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ

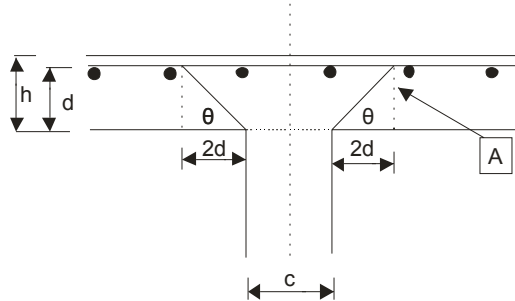
#### 2.1 Διάτρηση πλακών σύμφωνα με τον EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

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.

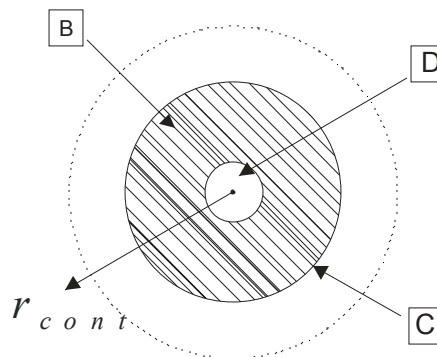
α. τομή



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**

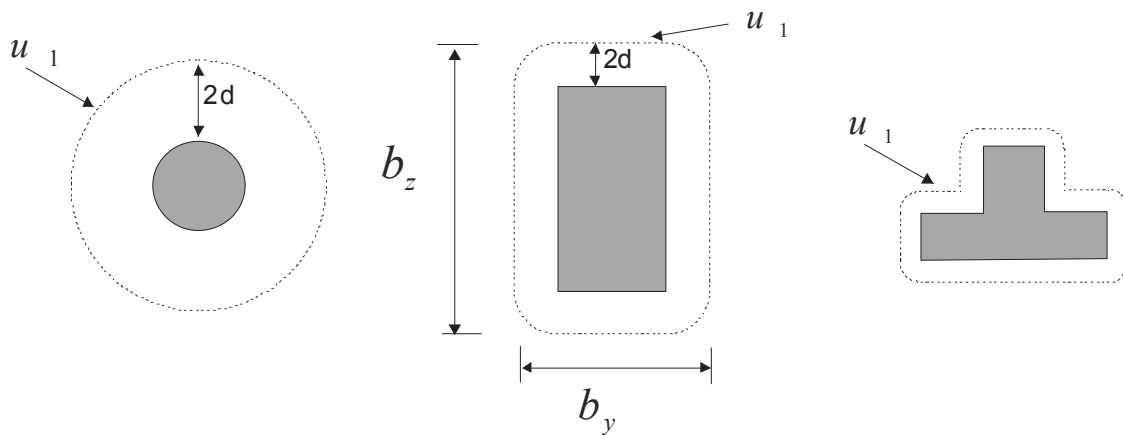
*Διανομή φορτίων και περίμετρος ελέγχου*

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.

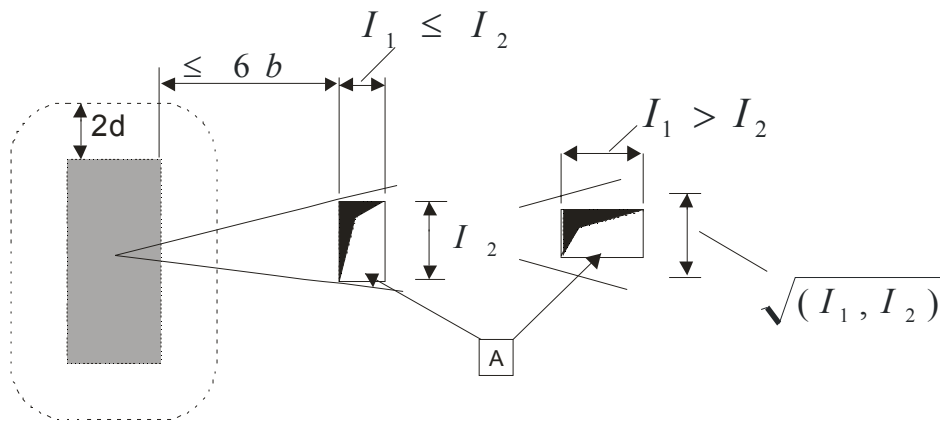


**Σχήμα 2-2: Τυπικές βασικές περίμετροι ελέγχου γύρω από τις φορτισμένες περιοχές σύμφωνα με τον EC2**

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 Α- το άνοιγμα

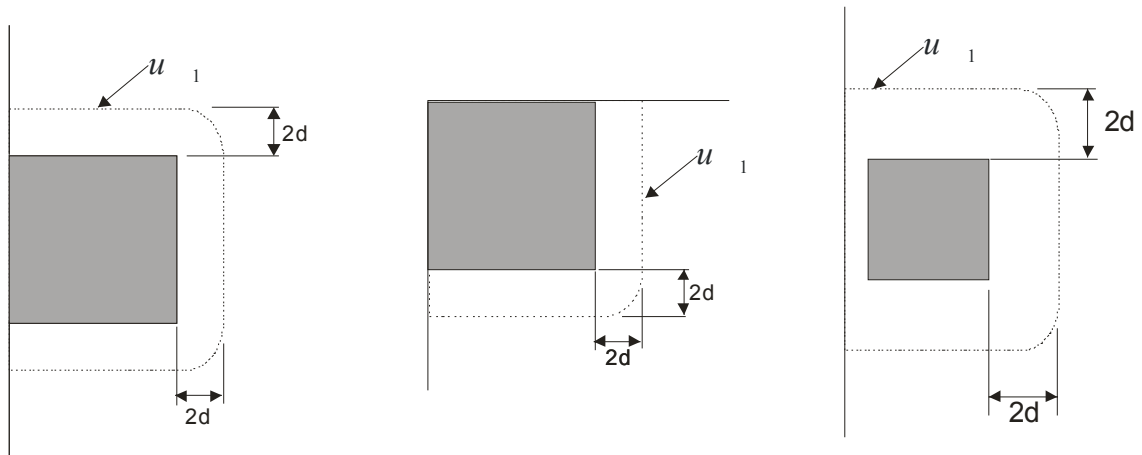
### Σχήμα 2-3: Περίμετρος ελέγχου κοντά σε άνοιγμα σύμφωνα με τον EC2

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.

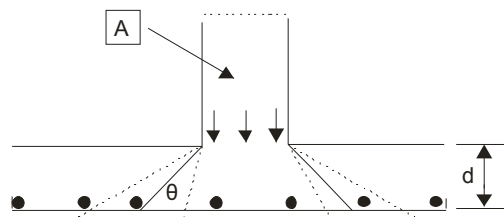
Η διατομή ελέγχου είναι αυτή που ακολουθεί την περίμετρο ελέγχου και εκτείνεται πέρα από το ισοδύναμο πλάτος  $d$ . Για πλάκες με σταθερό πάχος, η διατομή ελέγχου είναι κάθετη στο μεσαίο επίπεδο της πλάκας. Για πλάκες ή πέδιλα μεταβλητού

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 δε 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:

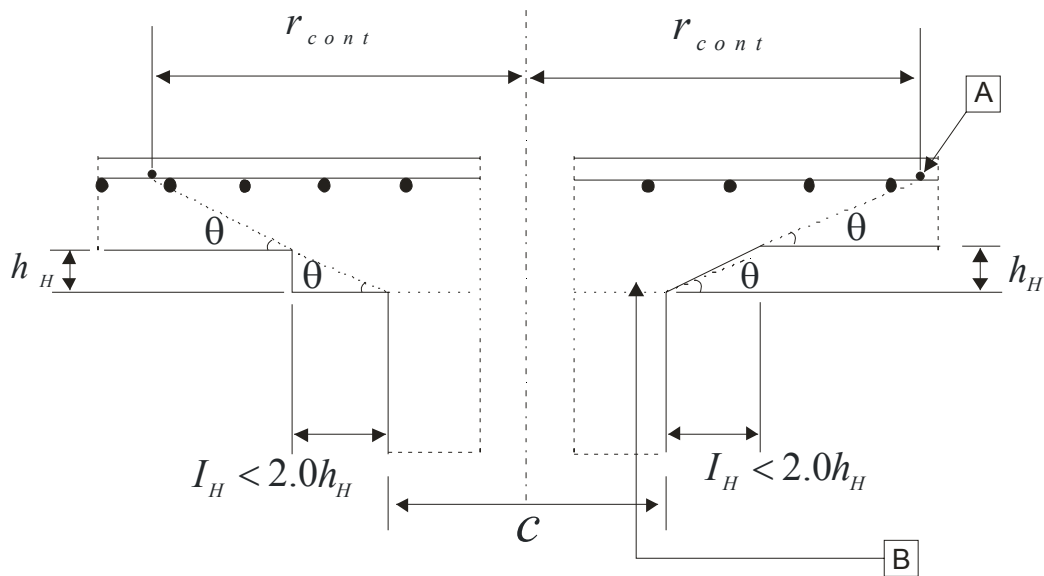
$$r_{cont} = 2d + 0.56\sqrt{I_1 I_2} \quad (2.3)$$

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

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

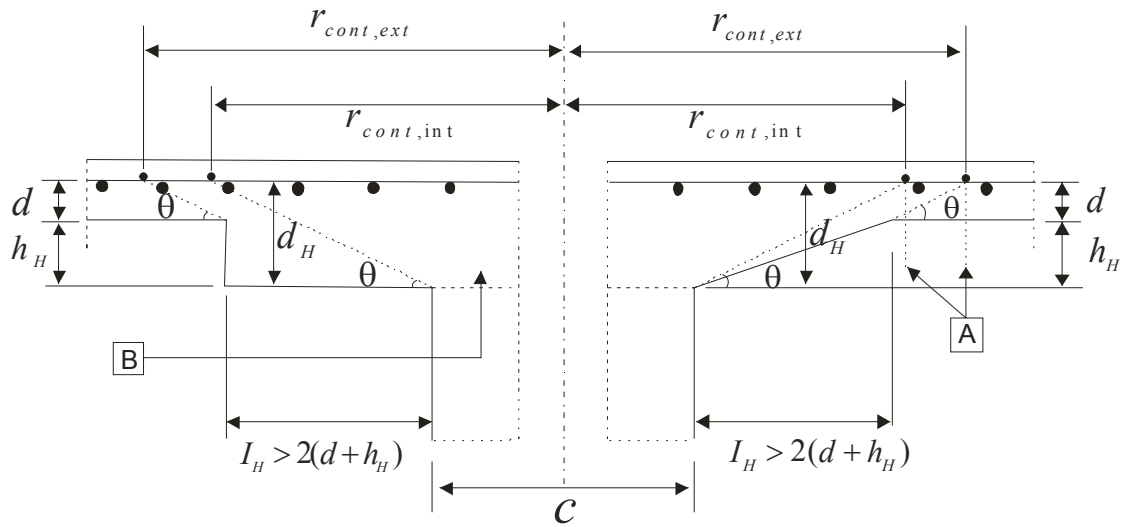
A- Βασικό τμήμα ελέγχου

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  $\beta$  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**

$c_1/c_2$	$\leq 0.5$	1.0	2.0	$\geq 3.0$
$k$	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  $\beta$  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  $\beta$  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

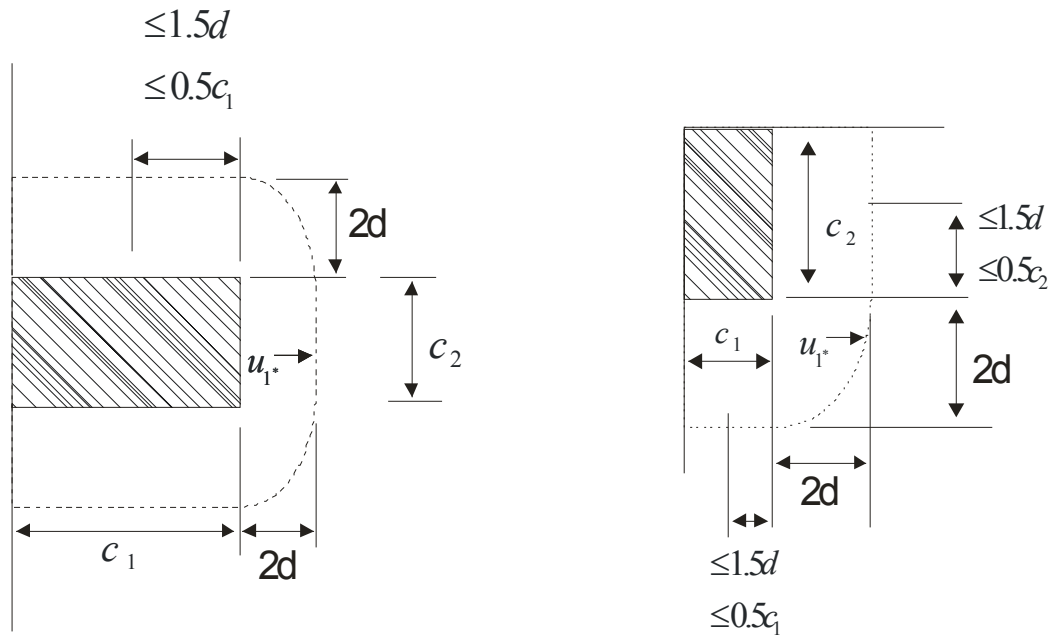
$e_y$  και  $e_z$  είναι οι εκκεντρότητες  $M_{Ed} / V_{Ed}$  κατά μήκος των  
αξόνων y και z αντίστοιχα

$b_y$  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:



α) ακριανό υποστήλωμα

β) γωνιακό υποστήλωμα

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

Όπου υπάρχουν εκκεντρότητες στις δύο ορθογώνιες διευθύνσεις, το  $\beta$  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 περιμέτρος ελέγχου (βλέπε Σχήμα 2-4)

$u_{1*}$  είναι η μειωμένη βασική περιμέτρος 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  $\beta$  μπορεί να θεωρηθεί ως εξής:

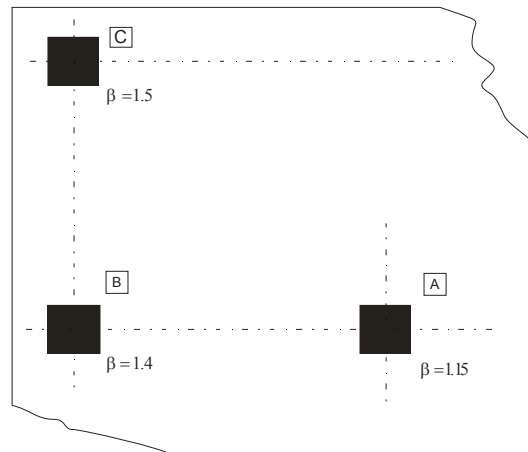
$$\beta = \frac{u_1}{u_1^*} \quad (2.15)$$

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  $\beta$ .



Σημείωση: Οι τιμές του  $\beta$  σε μια χώρα μπορούν να βρεθούν σε Εθνικό Προσάρτημα. Οι τιμές που συνιστά ο EC2 δείχνονται στο Σχήμα 2-9.



**Σχήμα 2-9: Προτεινόμενες τιμές του  $\beta$  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:

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \geq (V_{\min} + k_1 \sigma_{cp}), \quad (2.16)$$

όπου

$f_{ck}$  σε MPa

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

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{iy} \rho_{iz}} \leq 0.02, \quad (2.18)$$

$\rho_{iy}, \rho_{iz}$  σχετίζονται με τον εφελκυσμένο 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

$\sigma_{cy}, \sigma_{cz}$  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 φαντώματος 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:

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

όπου

$V_{Ed}$  είναι η διατμητική δύναμη που εφαρμόζεται  
 $\Delta V_{Ed}$  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).

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

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

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 :

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

όπου

$A_{sw}$  είναι το εμβαδόν της μιας περιμέτρου διατμητικού οπλισμού γύρω από το υποστήλωμα [ $\text{mm}^2$ ]

$s_r$  είναι η ακτινική απόσταση της περιμέτρου του διατμητικού οπλισμού [ $\text{mm}$ ]

$f_{ywd,ef}$  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

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

$\beta$  βλέπε (2.11), (2.12), (2.13).

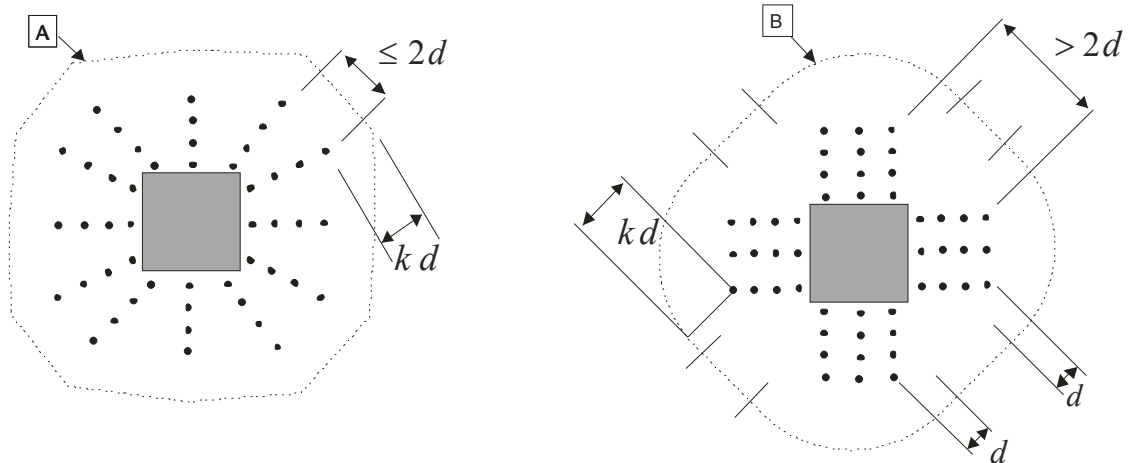
Σημείωση: Η προτεινόμενη τιμή του  $V_{Rd,max}$  είναι η  $0.5vf_{cd}$ .

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  $u_{out}$

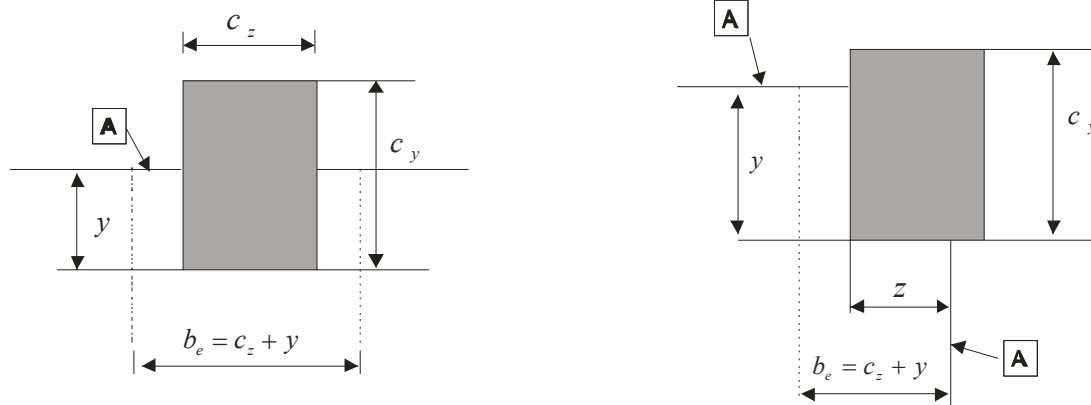
B - περίμετρος  $u_{out,ef}$

**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 πάνελ, 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 πάνελ σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

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

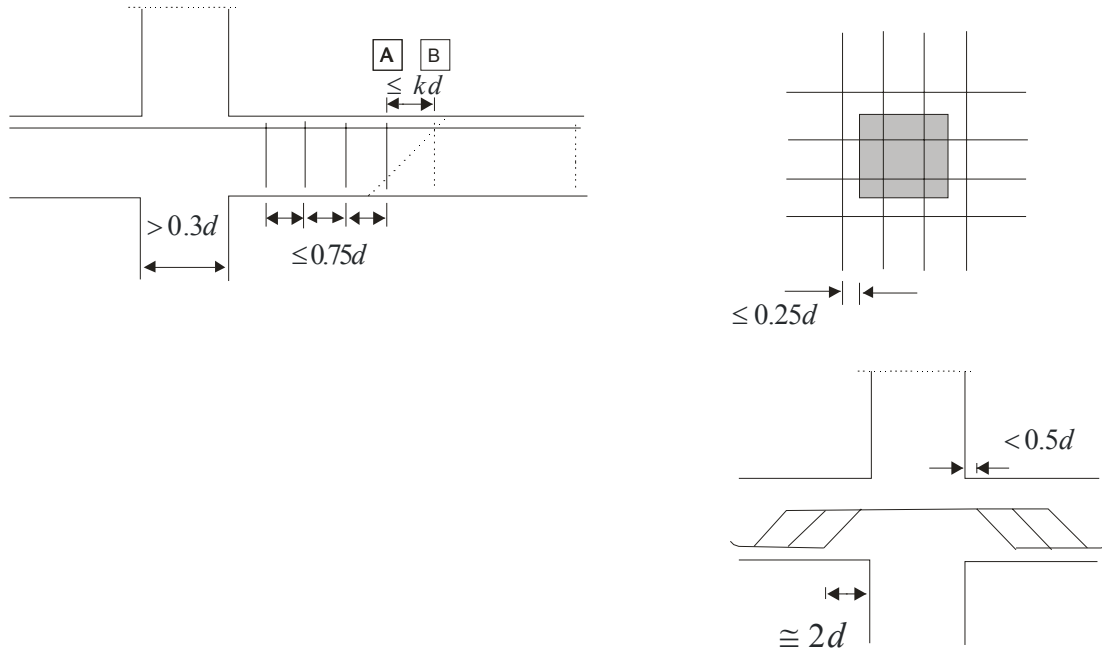
## 2.6 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

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

**Σχήμα 2-12 : Αποστάσεις οπλισμού διάτρησης**

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  $30^\circ$ .



## **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 μπορείν να χρησιμοποιηθεί πέρα της μεθόδου που αναπτύσσεται στο προηγούμενο κεφάλαιο :

- η μέθοδος του ισοδύναμου πλαισίου
- 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 1 του Παραρτήματος II).

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  $f_{yk} = 500$  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:

$$A_{s, \max} = 0,4A_c$$

- 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 Σχήμα 2-12)
- 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  $0,5d$





## 4.2 Ανάλυση και σχεδιασμός

### 4.2.1 Ανάλυση πλάκας με τον κώδικα ACI 318

#### *Εσωτερικό φάτνωμα*

*Έλεγχος εάν ικανοποιούνται οι περιορισμοί χρήσης της μεθόδου*

- Υπάρχουν 3 συνεχή ανοίγματα τουλάχιστον, και στις δύο διευθύνσεις
- Το φάτνωμα είναι ορθογωνικό, όπως και όλα τα υπόλοιπα της κατασκευής

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{8.5}{7.5} = 1.13 < 2.0 \text{ άρα OK}$$

- Τα γειτονικά ανοίγματα δεν διαφέρουν περισσότερο από το  $\frac{1}{3} \times 8.5 = 2.8m$ . Στην συγκεκριμένη εφαρμογή δεν διαφέρουν καθόλου και στις δύο διευθύνσεις  $8.5 - 8.5 = 0$  και  $7.5 - 7.5 = 0$ .
- Δεν υπάρχουν μετατεθειμένα υποστηλώματα. Είναι όλα ευθυγραμμισμένα, συνεπώς δεν παρουσιάζεται πρόβλημα σχετικά με την επιτρεπόμενη μετατόπισή τους. Επιτρεπόμενο όριο είναι το 10% του μήκους τους ανοίγματος.
- Κινητό φορτίο:  $W_L = 5 \text{ kN} / \text{m}^2$  λόγω βιομηχανικού κτιρίου  
Μόνιμο φορτίο: ιδίον βάρος πλάκας =  $0.30 \times 25 = 7.5 \text{ kN} / \text{m}^2$   
επίστρωση =  $2 \text{ kN} / \text{m}^2$

$$\text{Άρα } W_D = 2 + 0.21 \times 30 = 9.5 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\frac{W_L}{W_D} = \frac{5}{9.5} = 0.53 < 2.0 \text{ Άρα OK}$$

Μετά τους παραπάνω ελέγχους, και αφού οι περιορισμοί ικανοποιούνται, επιτρέπεται η χρήση της ‘Άμεσης Μεθόδου’.

*Εκτίμηση πάχους πλάκας*

Έχει επιλεγθεί ένα πάχος πλάκας ίσο με  $300mm$ . Το πάχος της πλάκας θα πρέπει να ελεγχθεί ώστε να μπορέσει η όχι να γίνει αποδεκτό. Από τον ακόλουθο πίνακα και με χειρότερη περίπτωση αυτή του ακριανού φατνώματος, στην μεγάλη διεύθυνσή του, με καθαρό άνοιγμα

$$l_{n1} = 8.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 8.05m, \text{ δίνεται:}$$

**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	$l_n / 28$	$l_n / 31$

Άρα για  $S_{500}$  χρήση  $l_n / 28 = 28.75cm < 30cm$  που είναι το επιλεγμένο πάχος της πλάκας. Συνεπώς το επιλεγμένο πάχος γίνεται δεκτό.

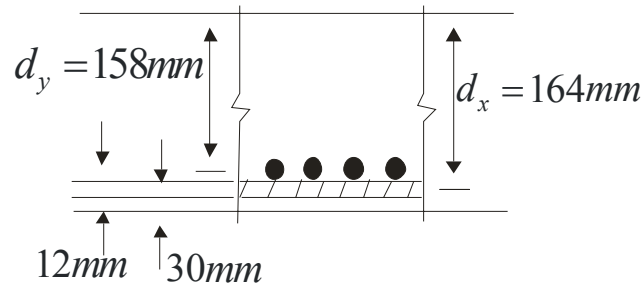
*Υπολογισμός φορτίων πλάκας*

$$W_u = 1.2W_D + 1.6W_L = 1.2 \times 9.5 + 1.6 \times 5 = 19.4kN / m^2$$

*Έλεγχος διάτρησης*

Ο έλεγχος για την διάτρηση θα πραγματοποιηθεί στην ανάλυση της πλάκας με τον EC2 που ακολουθεί. Όπου  $d$  στατικό ύψος, και το υποστήλωμα τετραγωνικό ( $450 \times 450 \text{mm}$ ).

Επικάλυψη =  $30 \text{mm}$  και γίνεται χρήση ράβδων διαμέτρου  $12 \text{mm}$ .



**Σχήμα 4-1: Στατικό ύψος οπλισμού στην μικρή και μεγάλη διεύθυνση**

Στην διεύθυνση:  $d_x = 300 - 30 - 12/2 = 264 \text{mm}$

$d_y = 300 - 30 - 12/2 - 12/2 = 258 \text{mm}$

$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 261 \text{mm}$

*Υπολογισμός των ροπών και του απαιτούμενου οπλισμού*

Αφού  $l_2 < l_1 \Rightarrow 7.5 < 8.5 \text{m}$ , η μισή λωρίδα υποστηλώματος στην μεγάλη διεύθυνση

είναι:  $\frac{1}{4} \times 7.5 = 1.875 \text{m}$

λωρίδα υποστηλώματος :  $2 \times 1.875 = 3.75 \text{m}$

μεσαία λωρίδα : στην μεγάλη διεύθυνση :  $7.5 - 2 \times 1.875 = 3.75 \text{m}$

στην μικρή διεύθυνση :  $8.5 - 2 \times 1.875 = 4.75 \text{m}$



καθαρό άνοιγμα :  $l_{n1} = 8.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 8.05m$  στην μεγάλη διεύθυνση

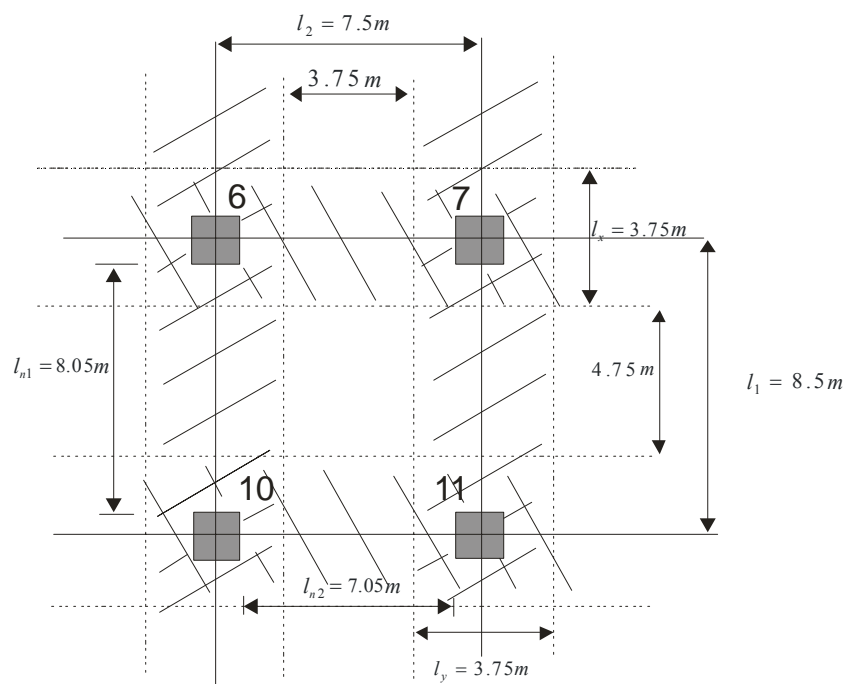
$$l_{n2} = 7.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 7.05m \text{ στην μικρή διεύθυνση}$$

$$M_{ol} = \frac{(w_u l_2) l_{n1}^2}{8} = 19.4 \times 7.5 \times 8.05^2 / 8 = 1178.6 kNm$$

$$M_{os} = \frac{(w_u l_1) l_{n2}^2}{8} = 19.4 \times 8.5 \times 7.05^2 / 8 = 1024.5 kNm$$

Το  $A_s = \rho b d$  που υπολογίζεται στον πίνακα που ακολουθεί, αποτελεί τον απαιτούμενο οπλισμό που θα πρέπει να τοποθετηθεί σε όλη την λωρίδα που εξετάζεται. Για τον προσδιορισμό του οπλισμού σε λωρίδα 1 m, διαιρείται το  $A_s = \rho b d$  με το μήκος της εκάστοτε εξεταζόμενης λωρίδας. Η παραπάνω επισήμανση ισχύει για όλους τους ακόλουθους πίνακες.

Εσωτερικό φάτνωμα (6-7-11-10)



Σχήμα 4-2: Εσωτερικό φάτνωμα

Στην μεγάλη διεύθυνση :

$$M_{ol} = 1178.6kNm$$

$$M_n = 0.65M_{ol} = 766.09kNm$$

$$M_p = 0.35M_{ol} = 412.51kNm$$

**Πίνακας 4.2 : Οπλισμός εσωτερικού φατνώματος στην μεγάλη διεύθυνση**

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ		ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	
	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ
Διανομή ροπής	75	60	25	40
$M_u$	574.57	247.51	191.52	165
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	3.75	3.75
Ενεργό $d$	0.264	0.264	0.264	0.264
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$	2198.4	947	732.8	631.3
Ποσοστό $\rho$	0.51	0.215	0.165	0.142
$A_s = \rho b d$ $cm^2 / m$	13.46	5.67	4.35	3.75
$Min A_s$ $cm^2 / m$	5.4	5.4	5.4	5.4
Επιλογή οπλισμού	Φ12/8	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Στην μικρή διεύθυνση:

$$M_{os} = 1024.5kNm$$

$$M_n = 0.65M_{os} = 665.92kNm$$

$$M_p = 0.35M_{os} = 358.57kNm$$

Πίνακας 4.3 : Οπλισμός εσωτερικού φατνώματος στην μικρή διεύθυνση

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ		ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	
	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ
Διανομή ροπής	75	60	25	40
$M_u$	499.44	215.14	166.48	143.43
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	4.75	4.75
Ενεργό $d$	0.258	0.258	0.258	0.258
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$	2000	861.89	526.54	453.63
Ποσοστό $\rho$	0.466	0.195	0.118	0.102
$A_s = \rho bd$ $cm^2 / m$	12.02	18.67	14.46	12.5
$Min A_s cm^2 / m$	5.4	5.4	5.4	5.4
Επιλογή οπλισμού	Φ12/9	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

**Εξωτερικό φάτνωμα**

*Έλεγχος εάν ικανοποιούνται οι περιορισμοί χρήσεις της μεθόδου*

Επειδή το εξωτερικό φάτνωμα ανήκει στην πλάκα που εξετάζεται, και τα γεωμετρικά στοιχεία του είναι ίδια με αυτά του εσωτερικού φατνώματος που εξετάστηκε προηγουμένως, ισχύουν οι περιορισμοί που απαιτούνται για την χρήση της Άμεσης Μεθόδου.

*Εκτίμηση πάχους πλάκας*

Το ύψος της πλάκας των 300mm, παραμένει ίδιο.

*Υπολογισμός φορτίων πλάκας*

$$W_u = 1.2W_D + 1.6W_L = 1.2 \times 9.5 + 1.6 \times 5 = 19.4 \text{ kN/m}^2 \text{ ομοίως με πριν.}$$

Έλεγχος διάτρησης

Ο έλεγχος για την διάτρηση πραγματοποιείται με τον EC2 παρακάτω.

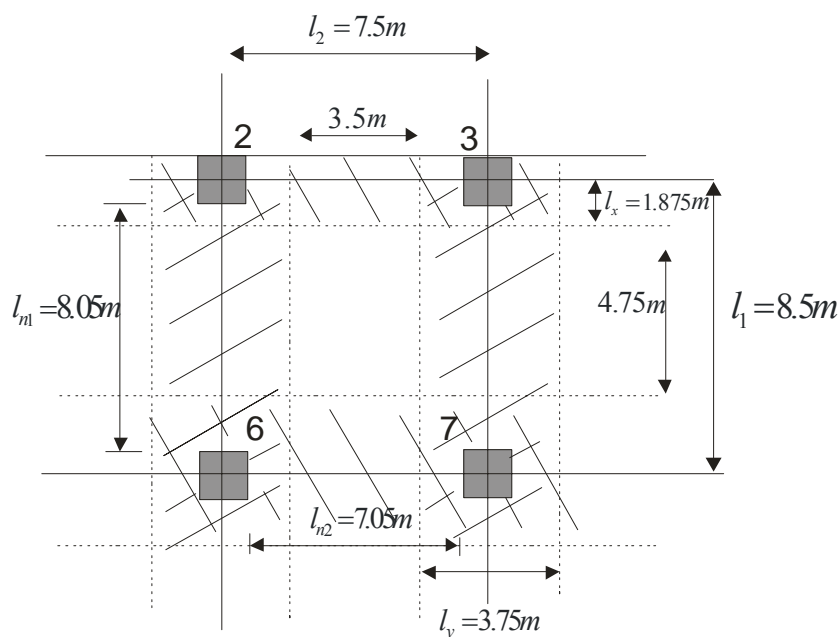
Υπολογισμών των ροπών και του απαιτούμενου σπλισμού

Ισχύουν τα προηγούμενα, συνεπώς

$$M_{ol} = \frac{(w_u l_2) l_{n1}^2}{8} = 19.4 \times 7.5 \times 8.05^2 / 8 = 1178.6 \text{ kNm}$$

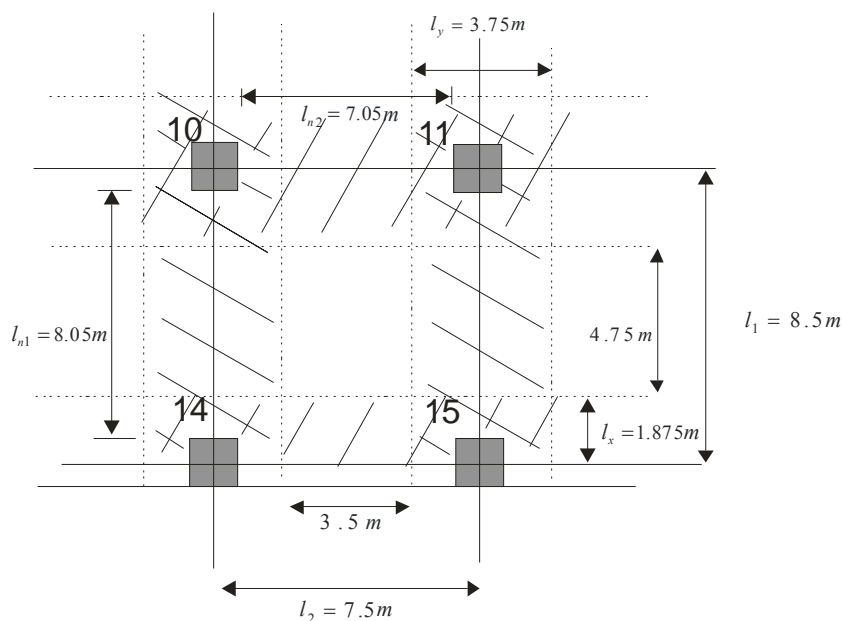
$$M_{os} = \frac{(w_u l_1) l_{n2}^2}{8} = 19.4 \times 8.5 \times 7.05^2 / 8 = 1024.5 \text{ kNm}$$

Για τα εξωτερικά φανώματα (2-3-7-6), (10-11-15-14), υπολογίζονται οι ροπές σχεδιασμού στην μεγάλη διεύθυνση. Η διανομή της ολικής ροπής  $M_{ol}$ , στις λωρίδες υποστηλώματος και τις μεσαίες, υπολογίζονται ως εξής:



Σχήμα 4-3: Εξωτερικό φάνωμα (2-3-6-7)

Τα ίδια ισχύουν και για το φάτνωμα (10-11-15-14)



Σχήμα 4-4: Εξωτερικό φάτνωμα (10-11-15-14)

a. Λωρίδα υποστηλώματος :

$$\text{Εσωτερική αρνητική ροπή} : -0.75 \times 0.70 M_{ol} = -618.76 \text{ kNm}$$

$$\text{Θετική ροπή ανοίγματος} : +0.60 \times 0.52 M_{ol} = 367.72 \text{ kNm}$$

$$\text{Εξωτερική αρνητική ροπή} : -0.26 M_{ol} = -306.44 \text{ kNm}$$

b. Μεσαία λωρίδα :

$$\text{Εσωτερική αρνητική ροπή} : -0.25 \times 0.70 M_{ol} = -206.26 \text{ kNm}$$

$$\text{Θετική ροπή ανοίγματος} : +0.40 \times 0.52 M_{ol} = 245.15 \text{ kNm}$$

$$\text{Εξωτερική αρνητική ροπή} : 0 \text{ kN/m}$$

Πίνακας 4.4 : Οπλισμός εξωτερικού φατνώματος στην μεγάλη διεύθυνση

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛ ΩΜΑΤΟΣ			ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ		
	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική
$M_u$	-306.44	367.72	-618.76	0	245.15	-206.26
Πλάτος λωρίδας $b (m)$	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Ενεργό $d (m)$	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ $kN / m^2$	1172.48	1406.95	2367.46	0	937.98	789.26
Ποσοστό $\rho\%$	0.267	0.323	0.556	0	0.213	0.178
$A_s = \rho bd$ $cm^2 / m$	7.05	8.53	14.68	5.4	5.62	4.70
$MinA_s$ $cm^2 / m$	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Επιλογή οπλισμού	Φ12/16	Φ12/13	Φ12/7.5	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20

Στην μικρή διεύθυνση τα φατνώματα χαρακτηρίζονται ως εσωτερικά, και ο οπλισμός τους είναι ο ίδιος με αυτόν που υπολογίστηκε προηγουμένως, στην μικρή διεύθυνση του εσωτερικού φατνώματος. Αυτό συμβαίνει διότι το εσωτερικό φάτνωμα αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση, αφού είναι αυτό που καταπονείται περισσότερο από κάθε άλλο φάτνωμα. Έτσι ο οπλισμός που προκύπτει από τον έλεγχο του, επαρκεί και για την περίπτωση που εξετάζεται.

Για τα εξωτερικά φατνώματα (5-6-10-9),(7-8-12-11), υπολογίζονται οι ροπές σχεδιασμού στην μικρή διεύθυνση. Η διανομή της ολικής ροπής  $M_{os}$ , στις λωρίδες υποστηλώματος και τις μεσαίες, υπολογίζονται ως εξής:

a. Λωρίδα υποστηλώματος :

$$\text{Εσωτερική αρνητική ροπή} \quad : -0.525M_{os} = -537.86kNm$$

Θετική ροπή ανοίγματος :  $+ 0.312M_{os} = 319.64kNm$

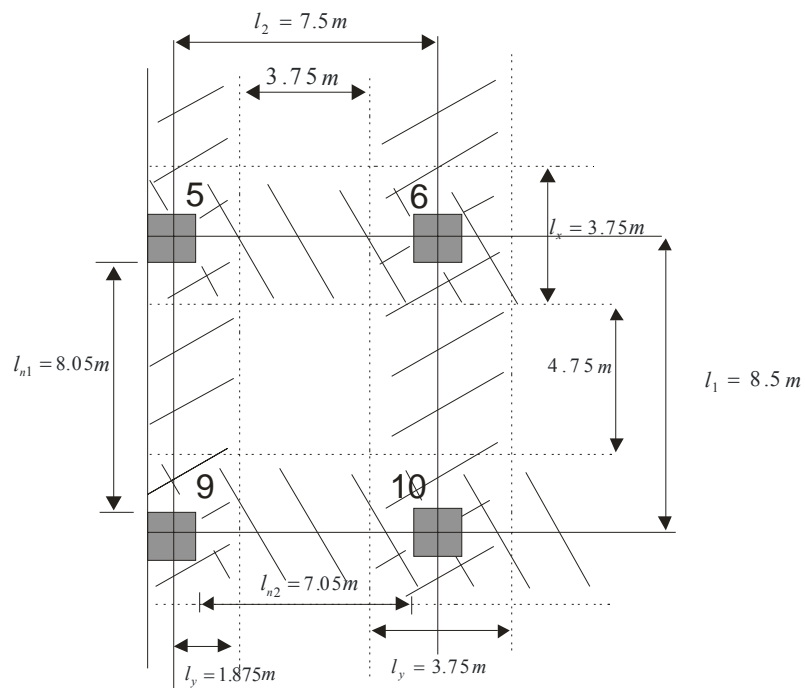
Εξωτερική αρνητική ροπή :  $- 0.26M_{os} = -266.37kNm$

b. Μεσαία λωρίδα :

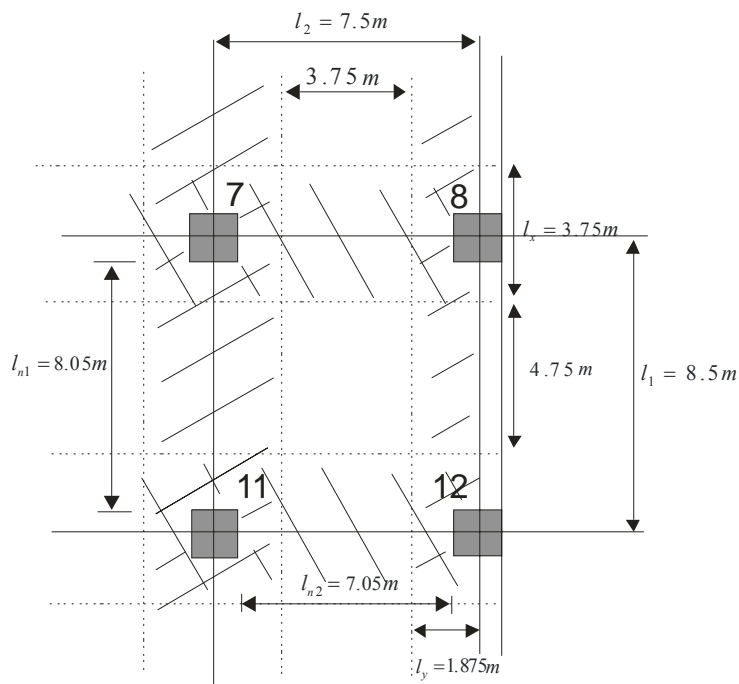
Εσωτερική αρνητική ροπή :  $- 0.175M_{os} = -179.29kNm$

Θετική ροπή ανοίγματος :  $+ 0.208M_{os} = 213.1kNm$

Εξωτερική αρνητική ροπή :  $0 \text{ kN} / m$



Σχήμα 4-5: Εξωτερικό φάτνωμα (5-6-10-9)



Σχήμα 4-6: Εξωτερικό φάτνωμα (7-8-12-11)

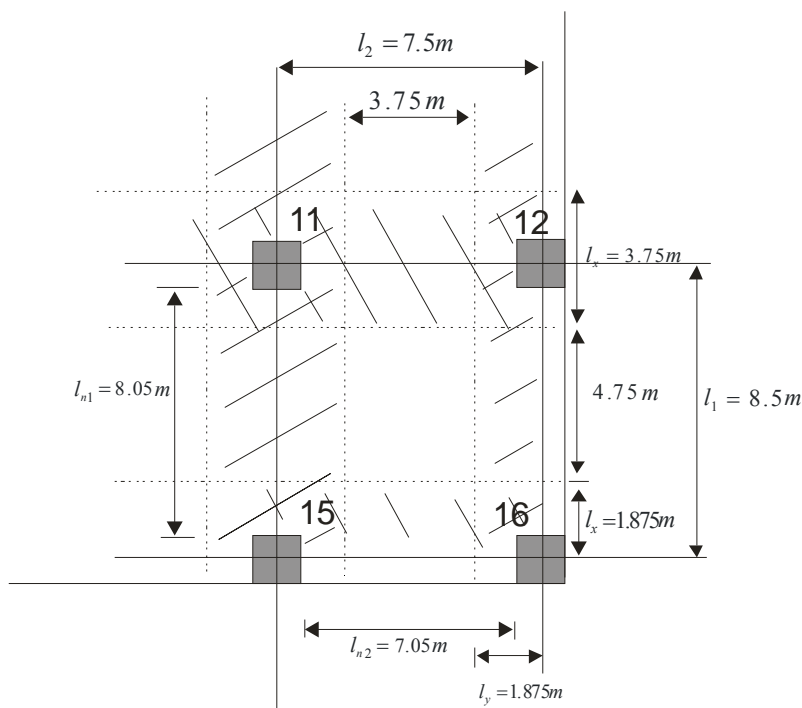
Πίνακας 4.5 : Οπλισμός εξωτερικού φαντώματος στην μικρή διεύθυνση

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ			ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ		
	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική
$M_u$	-266.37	319.64	537.86	0	213.1	179.29
Πλάτος λωρίδας $b$ (m)	3.75	3.75	3.75	4.75	4.75	4.75
Ενεργό $d$ (m)	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
$R_u = \frac{M_u}{bd^2}$ $kN/m^2$	1067.12	1280.53	2154.76	0	637.98	567.05
Ποσοστό $\rho\%$	0.243	0.293	0.504	0	0.152	0.128
$A_s = \rho bd$ $cm^2/m$	6.02	7.56	13	5.4	4	3.3
$Min A_s$ $cm^2/m$	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
Επιλογή οπλισμού	Φ12/16	Φ12/14.5	Φ12/8.5	Φ12/20	Φ12/20	Φ12/20



Στην μεγάλη διεύθυνση τα φανώματα χαρακτηρίζονται ως εσωτερικά, και ο οπλισμός τους είναι ο ίδιος με αυτόν που υπολογίστηκε προηγουμένως, στην μεγάλη διεύθυνση του εσωτερικού φανώματος. Αυτό συμβαίνει διότι το εσωτερικό φάνωμα αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση, αφού είναι αυτό που καταπονείται περισσότερο από κάθε άλλο φάνωμα. Έτσι ο οπλισμός που προκύπτει από τον έλεγχο του, επαρκεί και για την περίπτωση που εξετάζεται.

Τέλος σε ότι αφορά τον έλεγχο και προσδιορισμό του οπλισμού στα γωνιακά φανώματα (1-2-6-5), (3-4-8-7), (11-12-16-15), (9-10-14-13), ο οπλισμός στην μεγάλη διεύθυνση ταυτίζεται με τον οπλισμό της μεγάλης διεύθυνσης των εξωτερικών φανωμάτων, αντίστοιχα, (φανώματα 2-3-7-6, 10-11-15-14) και της μικρής διεύθυνσης ταυτίζεται με τον οπλισμό της μικρής διεύθυνσης των εξωτερικών φανωμάτων αντίστοιχα, (φανώματα 5-6-10-9, 7-8-12-11).



**Σχήμα 4-7: Γωνιακό φάνωμα (11-12-16-15)**

## 4.2.2 Ανάλυση πλάκας με τον EC2 (NEN-EN 1992-1-1)

### Εσωτερικό φάτνωμα

*Έλεγχος εάν ικανοποιούνται οι περιορισμοί χρήσης της μεθόδου*

Ο έλεγχος των απαιτήσεων σχετικά με την αποδοχή χρήσης της Άμεσης Μεθόδου, έχει γίνει κατά την ανάλυση της πλάκας με τον κώδικα ACI προηγουμένως. Συνεπώς η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση με τον κώδικα NEN-EN 1992-1-1, αφού τα χαρακτηριστικά της κατασκευής είναι ίδια.

*Υπολογισμός φορτίων πλάκας*

$$W_u = 1.35W_D + 1.5W_L = 1.35 \times 9.5 + 1.5 \times 5 = 20.33 \text{ kN/m}^2$$

*Υπολογισμών των ροπών και του απαιτούμενου σπλισμού*

Όπου  $d$  στατικό ύψος, και το υποστήλωμα τετραγωνικό ( $450 \times 450 \text{ mm}$ ).

Επικάλυψη =  $30 \text{ mm}$  και γίνεται χρήση ράβδων διαμέτρου  $12 \text{ mm}$

Στην διεύθυνση:  $d_x = 300 - 30 - 12/2 = 264 \text{ mm}$

$$d_y = 300 - 30 - 12/2 - 12/2 = 258 \text{ mm}$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} = 261 \text{ mm}$$

Αφού  $l_2 < l_1 \Rightarrow 7.5 < 8.5 \text{ m}$  η μισή λωρίδα υποστηλώματος στην μεγάλη διεύθυνση

είναι:  $\frac{1}{4} \times 7.5 = 1.875 \text{ m}$

λωρίδα υποστηλώματος :  $2 \times 1.875 = 3.75 \text{ m}$

μεσαία λωρίδα: στην μεγάλη διεύθυνση :  $7.5 - 2 \times 1.875 = 3.75m$

στην μικρή διεύθυνση :  $8.5 - 2 \times 1.875 = 4.75m$

καθαρό άνοιγμα :  $l_{n1} = 8.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 8.05m$  στην μεγάλη διεύθυνση

$l_{n2} = 7.5 - \frac{0.45}{2} - \frac{0.45}{2} = 7.05m$  στην μικρή διεύθυνση

$$M_{ol} = \frac{(w_u l_2) l_{n1}^2}{8} = 20.33 \times 7.5 \times 8.05^2 / 8 = 1235.1 kNm$$

$$M_{os} = \frac{(w_u l_1) l_{n2}^2}{8} = 20.331 \times 8.5 \times 7.05^2 / 8 = 1073.6 kNm$$

Στην μεγάλη διεύθυνση για εσωτερικό φάτνωμα (6-7-11-10), βλέπε Σχήμα 4-2:

$$M_{ol} = 1235.1 kNm$$

$$M_n = 0.65 M_{ol} = 802.75 kNm$$

$$M_p = 0.35 M_{ol} = 432.25 kNm$$

Στην μικρή διεύθυνση:

$$M_{os} = 1073.6 kNm$$

$$M_n = 0.65 M_{os} = 697.84 kNm$$

$$M_p = 0.35 M_{os} = 375.76 kNm$$

Πίνακας 4.6 : Οπλισμός εσωτερικού φατνώματος στην μεγάλη διεύθυνση

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ		ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	
	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ
Διανομή ροπής	75	55	25	45
$M_{Ed}$	602.1	237.74	200.69	194.51
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	3.75	3.75
Ενεργό $d$	264	264	264	264
$k = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.076	0.030	0.026	0.025
$z/d$	0.931	0.950	0.950	0.950
$z$ (mm)	246	251	251	251
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z} \text{ cm}^2 / m$	15.01	5.81	4.90	4.75
$A_{s,min} = 1.5\%_0 bd \text{ cm}^2 / m$	3.96	3.96	3.96	3.96
Επιλογή οπλισμού	Φ12/7.5	Φ12/19	Φ12/23	Φ12/28
Ποσοστό $\rho = \frac{A_{s,req}}{bd}$ , όπου $b = 1m$	0.0057	0.0022	0.0018	0.0018

Πίνακας 4.7 : Οπλισμός εσωτερικού φατνώματος στην μεγάλη διεύθυνση

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ		ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ	
	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ	ΑΡΝΗΤΙΚΗ	ΘΕΤΙΚΗ
Διανομή ροπής	75	55	25	45
$M_{Ed}$	523.38	206.67	174.46	169.10
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	4.75	4.75
Ενεργό $d$	258	258	258	258
$k = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.071	0.027	0.018	0.018
$z/d$	0.933	0.950	0.950	0.950
$z$ (mm)	241	245	245	245
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z} \text{ cm}^2 / m$	13.31	5.17	3.44	3.34
$A_{s,min} = 1.5\%_0 bd \text{ cm}^2 / m$	3.87	3.87	3.87	3.87
Επιλογή οπλισμού	Φ12/8.5	Φ12/21	Φ12/29	Φ12/29
Ποσοστό $\rho = \frac{A_{s,req}}{bd}$ , όπου $b = 1m$	0.0052	0.0020	0.0015	0.0015

**Εξωτερικό φάτνωμα**

*Ελεγχος εάν ικανοποιούνται οι περιορισμοί χρήσης της μεθόδου*

Αφού το εξωτερικό φάτνωμα ανήκει στην πλάκα που εξετάζεται, και τα γεωμετρικά στοιχεία του είναι ίδια με αυτά του εσωτερικού φατνώματος που εξετάστηκε προηγουμένως, ισχύουν οι περιορισμοί που απαιτούνται για την χρήση της Άμεσης Μεθόδου.

*Εκτίμηση πάχους πλάκας*

Το ύψος της πλάκας των  $300mm$ , παραμένει ίδιο.

*Υπολογισμός των ροπών και του απαιτούμενου οπλισμού*

$W_u = 1.35W_D + 1.5W_L = 1.35 \times 9.5 + 1.5 \times 5 = 20.33 N/m^2$  ομοίως με προηγούμενα

Υπολογισμός των ολικών στατικών ροπών. Ισχύουν τα προηγούμενα, συνεπώς

$$M_{ol} = \frac{(w_u l_2) l_{n1}^2}{8} = 20.33 \times 7.5 \times 8.05^2 / 8 = 1235.1 kNm$$

$$M_{os} = \frac{(w_u l_1) l_{n2}^2}{8} = 20.331 \times 8.5 \times 7.05^2 / 8 = 1073.6 kNm$$

Για τα εξωτερικά φατνώματα (2-3-7-6),(10-11-15-14),βλέπε Σχήμα 4-3 και Σχήμα 4-4, υπολογίζονται οι ροπές σχεδιασμού στην μεγάλη διεύθυνση. Η διανομή της ολικής ροπής  $M_{ol}$ , στις λωρίδες υποστηλώματος και τις μεσαίες, ως εξής:

a. Λωρίδα υποστηλώματος :

$$\text{Εσωτερική αρνητική ροπή} \quad : \quad -0.75 \times 0.70 M_{ol} = -648.42 kNm$$

Θετική ροπή ανοίγματος :  $+ 0.55 \times 0.52 M_{ol} = 353.24 kNm$

Εξωτερική αρνητική ροπή :  $- 0.26 M_{ol} = -321.13 kNm$

b. Μεσαία λωρίδα :

Εσωτερική αρνητική ροπή :  $- 0.25 \times 0.70 M_{ol} = 216.14 kNm$

Θετική ροπή ανοίγματος :  $+ 0.45 \times 0.52 M_{ol} = 289.01 kNm$

Εξωτερική αρνητική ροπή :  $0 kN / m$

**Πίνακας 4.8 : Οπλισμός εξωτερικού φατώματος στην μεγάλη διεύθυνση**

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ			ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ		
	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική
$M_{Ed}$	-321.13	353.24	-648.42	0	289.01	216.14
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75	3.75
Ενεργό $d$	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264	0.264
$k = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.041	0.045	0.082	0	0.037	0.027
$z / d$	0.950	0.950	0.922	0	0.950	0.950
$z (mm)$	251	251	243	0	251	251
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$ $cm^2 / m$	7.84	8.63	16.37	3.96	7.06	5.28
$A_{s,min} = 1.5 \text{‰} bd$	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96
Επιλογή οπλισμού	Φ12/14	Φ12/13	Φ14/9	Φ12/28	Φ12/16	Φ12/21
Ποσοστό $\rho = \frac{A_{s,req}}{bd}$ , όπου $b = 1m$	0.0030	0.0033	0.0062	0.0015	0.0027	0.0020

Στην μικρή διεύθυνση τα φαινόμενα χαρακτηρίζονται ως εσωτερικά, και ο οπλισμός τους είναι ο ίδιος με αυτόν που υπολογίστηκε προηγουμένως, στην μικρή διεύθυνση του εσωτερικού φαινόμενου. Αυτό συμβαίνει διότι το εσωτερικό φαινόμενο αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση, αφού είναι αυτό που καταπονείται περισσότερο από κάθε άλλο φαινόμενο. Έτσι ο οπλισμός που προκύπτει από τον έλεγχο του, επαρκεί και για την περίπτωση που εξετάζεται.

Για τα εξωτερικά φαινόμενα (5-6-10-9),(7-8-12-11),βλέπε Σχήμα 4-5 και Σχήμα 4-6, υπολογίζονται οι ροπές σχεδιασμού στην μικρή διεύθυνση. Η διανομή της ολικής ροπής  $M_{os}$ , στις λωρίδες υποστηλώματος και τις μεσαίες, υπολογίζονται ως εξής:

Στην μικρή διεύθυνση το φαινόμενο χαρακτηρίζεται πάλι ως εξωτερικό, και ο οπλισμός του υπολογίζεται ομοίως με τα προηγούμενα. Δηλαδή:

a. Λωρίδα υποστηλώματος :

$$\begin{aligned} \text{Εσωτερική αρνητική ροπή} & : -0.75 \times 0.70 M_s = -563.64 \text{ kNm} \\ \text{Θετική ροπή ανοίγματος} & : +0.55 \times 0.52 M_{os} = 307.05 \text{ kNm} \\ \text{Εξωτερική αρνητική ροπή} & : -0.26 M_{os} = -279.14 \text{ kNm} \end{aligned}$$

b. Μεσαία λωρίδα :

$$\begin{aligned} \text{Εσωτερική αρνητική ροπή} & : -0.25 \times 0.70 M_{os} = -187.88 \text{ kNm} \\ \text{Θετική ροπή ανοίγματος} & : +0.45 \times 0.52 M_{os} = 251.22 \text{ kNm} \\ \text{Εξωτερική αρνητική ροπή} & : 0 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Στην μεγάλη διεύθυνση τα φαινόμενα χαρακτηρίζονται ως εσωτερικά, και ο οπλισμός τους είναι ο ίδιος με αυτόν που υπολογίστηκε προηγουμένως, στην μεγάλη διεύθυνση του εσωτερικού φαινόμενου. Αυτό συμβαίνει διότι το εσωτερικό φαινόμενο αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση, αφού είναι αυτό που καταπονείται

περισσότερο από κάθε άλλο φάτνωμα. Έτσι ο οπλισμός που προκύπτει από τον έλεγχο του, επαρκεί και για την περίπτωση που εξετάζεται.

Τέλος σε ότι αφορά τον έλεγχο και προσδιορισμό του οπλισμού στα γωνιακά φαντώματα (1-2-6-5), (3-4-8-7), (11-12-16-15), (9-10-14-13), ο οπλισμός στην μεγάλη διεύθυνση ταυτίζεται με τον οπλισμό της μεγάλης διεύθυνσης των εξωτερικών φαντωμάτων, αντίστοιχα, (φαντώματα 2-3-7-6, 10-11-15-14) και της μικρής διεύθυνσης ταυτίζεται με τον οπλισμό της μικρής διεύθυνσης των εξωτερικών φαντωμάτων αντίστοιχα, (φαντώματα 5-6-10-9, 7-8-12-11).

**Πίνακας 4.9 : Οπλισμός εξωτερικού φαντώματος στην μικρή διεύθυνση**

	ΛΩΡΙΔΑ ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΟΣ			ΜΕΣΑΙΑ ΛΩΡΙΔΑ		
	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική	Εξωτερική	Θετική	Εσωτερική
$M_{Ed}$	-279.14	307.05	-563.64	0	251.22	187.88
Πλάτος λωρίδας $b$	3.75	3.75	3.75	4.75	4.75	4.75
Ενεργό $d$	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258	0.258
$k = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}}$	0.037	0.041	0.041	0	0.026	0.020
$z/d$	0.950	0.950	0.950	0	0.950	0.950
$z$ (mm)	251	251	251	0	251	251
$A_s = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \times z}$ $cm^2 / m$	6.82	7.50	13.77	3.87	4.85	3.62
$A_{s,min} = 1.5\%_{00} bd$	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87
Επιλογή οπλισμού	Φ12/16.5	Φ12/15	Φ12/8	Φ12/29	Φ12/23	Φ12/29
Ποσοστό $\rho = \frac{A_{s,req}}{bd}$ , όπου $b = 1m$	0.0026	0.0029	0.0053	0.0015	0.0019	0.0015



### 4.3 Έλεγχος διάτρησης

*Κεντρικό υποστήλωμα*

Στο υποστήλωμα εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = (7.8 \times 8.5 - 0.450^2) \times 20.33 = 1291 kN$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

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

Όπου

$\beta$  = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.15)

$V_{Ed}$  = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

$u_i$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση δίπλα στο εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

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

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

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

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

Όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.528$$

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 v f_{cd} = 0.5 \times 0.528 \times 20 = 5.28 MPa$$

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

$\beta, V_{Ed}, d$  όπως προηγουμένως

$u_1$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση σε απόσταση  $2d$  από την παρειά 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

$$\gamma_c = 1.5$$

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

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

$$\rho_l = (\rho_{lx}\rho_{ly})^{0.5} = (0.0057 \times 0.0052)^{0.5} = 0.0054$$

Όπου  $\rho_{lx}, \rho_{ly}$  = περιοχές συγκολλημένων μεταλλικών ράβδων σε πλάτος μεγαλύτερο των  $3d$  σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

$$f_{ck} = 30$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0054 \times 30)^{0.333} = 0.57MPa$$

Απαιτείται οπλισμός διάτρησης

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times v_{Rd,c}) = 1291 \times 1.15 \times 10^3 / (261 \times 0.57) = 9979mm$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

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

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (9979 - 1800) / 2\pi = 1302mm$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτμησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση

$$1302 - 1.5 \times 261 = 911mm \text{ από το πρόσωπο του υποστηλώματος}$$

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

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

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

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

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

Για περίμετρο  $u_1$  :

$$A_{sw} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 5079 / (1.5 \times 315) = 1340mm^2 \text{ ανά περίμετρο}$$

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

Όπου

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

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

$$a = 90^\circ$$

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

Δοκιμάζουμε Φ10 σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180 mm.

Η πυκνότητα του οπλισμού σε κάθε περίμετρο δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από την πυκνότητα  $A_{sw} / u_1 = 1340 / 5079 = 0.26mm^2 / m$  .

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.26; 1.5d] = \min[302, 391.5] = 302mm$$

Τοποθετούμε 18Φ10 σκέλη συνδετήρων ( $1413 \text{ mm}^2$ ) με πυκνότητα συνδετήρων  $0.26mm^2 / m$ . Η απόσταση των συνδετήρων πάνω στην περίμετρο επιλέγεται  $280mm < 302mm$  που είναι το μέγιστο.

Η 1<sup>η</sup> περίμετρος πρέπει να είναι μεταξύ των  $0.3d$  κ κα  $0.5d$  από το πρόσωπο του υποστηλώματος. Επιλέγουμε  $0.4d = 104.4 \approx 105mm$  από το πρόσωπο του υποστηλώματος.

Λεπτομέρειες όπλισης:

- Χρήση Φ10 σκέλη συνδετήρων σε περιμέτρους, οι οποίες απέχουν ακτινική απόσταση ίση με 180 mm.
- Τελευταία περίμετρος από το πρόσωπο του υποστηλώματος  $r_{out} = 1303mm$
- Έλεγχοι για οπλισμό εντός της βασικής περιμέτρου ( $2d$  από πρόσωπο του υποστηλώματος)

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

$$Asw_{,ua} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 2460 / (1.5 \times 315) = 649 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Τοποθετώ } 9\Phi 10 = 707 \text{ mm}^2 > Asw_{,ua}$$

$$\frac{Asw_{,ua}}{u_a} = 0.29 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

$$Asw_{,u\beta} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 3591 / (1.5 \times 315) = 947 \text{ mm}^2$$

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

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

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

Άρα ΟΚ

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

$$Asw_{,uc} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 4722 / (1.5 \times 315) = 1246 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{Asw_{,ua}}{u_a} = 0.27 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

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

$$A_{sw,ua} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 5853 / (1.5 \times 315) = 1544 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{A_{sw,ua}}{u_a} = 0.27 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα OK

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

$$A_{sw,u\beta} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 6984 / (1.5 \times 315) = 1843 \text{ mm}^2$$

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

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

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

Άρα OK

$$u_c = 450 \times 4 + 2\pi 1005 = 8114 \text{ mm}$$

$$A_{sw,uc} = (1.12 - 0.75 \times 0.57) \times 180 \times 8114 / (1.5 \times 315) = 2141 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Τοποθετώ } 27\Phi 10 = 2277 \text{ mm}^2 > A_{sw,uc}$$

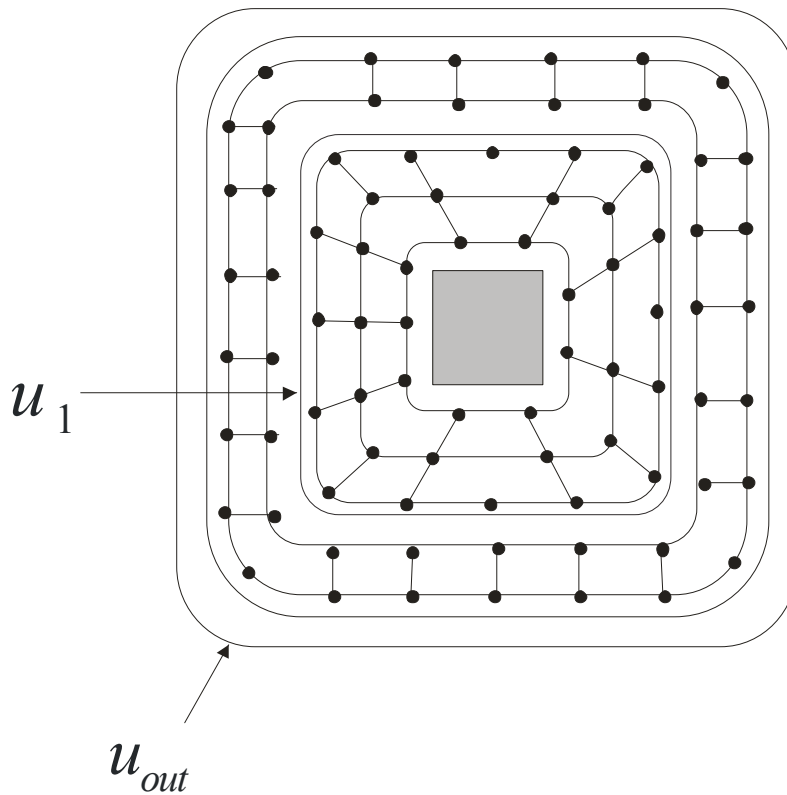
$$\frac{A_{sw,uc}}{u_c} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα OK

Παρατηρήσεις:

- Οι τιμές που χρησιμοποιούνται εδώ για τα  $\rho_{lx}, \rho_{ly}$  δε λαμβάνουν υπόψη το ότι ο οπλισμός είναι συγκεντρωμένος πάνω από τη στήριξη.
- Στο κεφάλαιο 2 δίνεται η σχέση 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 σε αυτή τη τιμή,  $A_{sw}/u_1$  λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις του ελάχιστου οπλισμού και διαστήματος του οπλισμού διάτρησης.



**Σχήμα 4-8: Διάταξη οπλισμού διάτρησης στο κεντρικό υποστήλωμα**

*Ακριανό υποστήλωμα*

Στο υποστήλωμα εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = \left(\frac{7.5}{2} \times 8.5 - 0.450^2\right) \times 20.33 = 644kN$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

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

Όπου

$\beta$  = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.4)

$V_{Ed}$  = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

$u_i$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση δίπλα στο ακριανό υποστήλωμα ισχύει:

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

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

$$v_{Ed} = 1.4 \times 644 \times 10^3 / (1233 \times 261) = 2.80MPa$$

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

Όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.528$$

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

$$V_{Rd,max} = 0.5v f_{cd} = 0.5 \times 0.528 \times 20 = 5.28MPa$$

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

$\beta, V_{Ed}, d$  όπως προηγουμένως

$u_1$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση σε απόσταση 2d από το εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

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

$$v_{Ed} = 1.4 \times 644 \times 10^3 / (2990 \times 261) = 1.15MPa$$

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

Όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

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

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

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} = (0.0092 \times 0.0052)^{0.5} = 0.0070$$

Όπου  $\rho_{lx}, \rho_{ly}$  = περιοχές συγκολλημένων μεταλλικών ράβδων σε πλάτος μεγαλύτερο των  $3d$  σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

$$\rho_{lx} = 0.0092$$

$$\rho_{ly} = 0.0052$$

$$\rho_l = (0.0092 \times 0.0052)^{0.5} = 0.0070$$

$$f_{ck} = 30$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0070 \times 30)^{0.333} = 0.62 MPa$$

Άρα απαιτείται οπλισμός διάτρησης

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times v_{Rd,c}) = 644 \times 1.4 \times 10^3 / (261 \times 0.62) = 5571 mm$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

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

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (5571 - 1350) / \pi = 1344 mm$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτμησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση

$$1344 - 1.5 \times 261 = 952.5 mm \text{ από το πρόσωπο του υποστηλώματος}$$

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

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

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

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



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

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

Όπου  $f_{ywd,ef}$  = ενεργή σχεδιαστική δύναμη αντοχής του οπλισμού  
 $= (250 + 0.25d) < f_{yd} = 315.MPa$

Για περίμετρο  $u_1$  :

$$A_{sw} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 2990 / (1.5 \times 315) = 780mm^2$$

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

Όπου

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

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

$$a = 90^\circ$$

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

$$A_{sw} / u_1 \geq 780 / 2990 = 0.26mm^2 / mm$$

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.26; 1.5d] = \min[302, 375] = 302mm$$

Δοκιμάζουμε  $\Phi 10$  σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180 mm.

Δοκιμάζουμε  $10\Phi 10(785) mm^2$  με απόσταση των οπλισμών μεταξύ τους 300mm.

Η 1<sup>η</sup> 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.

Έλεγχοι για τον οπλισμό εντός της βασικής περιμέτρου (2d από πρόσωπο του υποστηλώματος)

$$u_a = 450 \times 3 + \pi 105 = 1680mm$$

$$A_{sw,ua} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 1680 / (1.5 \times 315) = 439mm^2$$

$$\Phi 10 = 78.5mm^2$$

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

$$\frac{Asw_{ua}}{u_a} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

$$Asw_{u\beta} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 2245 / (1.5 \times 315) = 586 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Τοποθετώ } 8 \Phi 10 = 628 \text{ mm}^2 > Asw_{u\beta}$$

$$\frac{Asw_{u\beta}}{u_\beta} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

$$Asw_{uc} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 2811 / (1.5 \times 315) = 733 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Τοποθετώ } 10 \Phi 10 = 785 \text{ mm}^2 > Asw_{uc}$$

$$\frac{Asw_{uc}}{u_c} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

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

$$Asw_{ua} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 3376 / (1.5 \times 315) = 881 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{Asw_{ua}}{u_a} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

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

$$A_{sw,u\beta} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 3942 / (1.5 \times 315) = 1029 \text{ mm}^2$$

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

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

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

Άρα ΟΚ

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

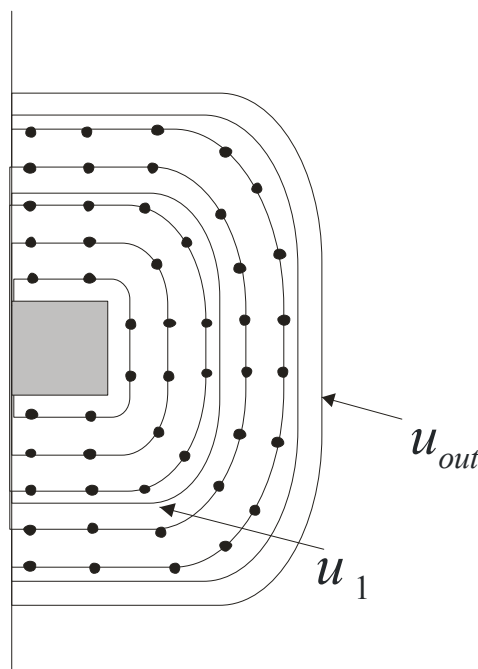
$$A_{sw,u_c} = (1.15 - 0.75 \times 0.62) \times 180 \times 4507 / (1.5 \times 315) = 1176 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{A_{sw,u_c}}{u_c} = 0.28 > 0.26 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ



Σχήμα 4-9 : Διάταξη οπλισμού διάτρησης στο ακριανό υποστήλωμα

*Γωνιακό υποστήλωμα*

Στο υποστήλωμα εφαρμόζεται διατμητική δύναμη

$$V_{Ed} = \left( \frac{8.5}{2} \times \frac{7.5}{2} - 0.450^2 \right) \times 20.33 = 320 \text{ kN}$$

Έλεγχος στην περίμετρο του υποστηλώματος:

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

Όπου

$\beta$  = συντελεστής με βάση την εκκεντρότητα

(συνιστώμενη τιμή 1.5)

$V_{Ed}$  = εφαρμοσμένη διατμητική δύναμη

$u_i$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση δίπλα στο γωνιακό υποστήλωμα ισχύει:

$$u_0 = 3d = 783 \text{ mm}$$

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

$$v_{Ed} = 1.5 \times 320 \times 10^3 / (783 \times 261) = 2.34 \text{ MPa}$$

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

Όπου

$$v = 0.6(1 - f_{ck} / 250) = 0.528$$

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

$$V_{Rd,max} = 0.5 v f_{cd} = 0.5 \times 0.528 \times 20 = 5.28 \text{ MPa}$$

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

$\beta, V_{Ed}, d$  όπως προηγουμένως

$u_1$  = περίμετρος ελέγχου με βάση κάποιες θεωρήσεις

Για διάτρηση σε απόσταση 2d από το εσωτερικό του υποστηλώματος ισχύει:

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

$$v_{Ed} = 1.5 \times 320 \times 10^3 / (1720 \times 261) = 1.07 MPa$$

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

Όπου

$$\gamma_c = 1.5$$

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

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

$$\rho_l = (\rho_{lx} \rho_{ly})^{0.5} = (0.0057 \times 0.0052)^{0.5} = 0.0054$$

Όπου  $\rho_{lx}, \rho_{ly}$  = περιοχές συγκολλημένων μεταλλικών ράβδων σε πλάτος μεγαλύτερο των  $3d$  σε κάθε πλευρά του υποστηλώματος.

$$\rho_{lx} = 0.0092$$

$$\rho_{ly} = 0.0080$$

$$\rho_l = (0.0092 \times 0.0080)^{0.5} = 0.0085$$

$$f_{ck} = 30$$

$$v_{Rd,c} = 0.18 / 1.5 \times 1.87 \times (100 \times 0.0085 \times 30)^{0.333} = 0.66 MPa$$

Απαιτείται οπλισμός διάτρησης

Εύρεση περιμέτρου πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης:

$$u_{out} = V_{Ed} \times \beta / (d \times V_{Rd,c}) = 320 \times 1.5 \times 10^3 / (261 \times 0.66) = 2789 mm$$

Μήκος προσώπων υποστηλώματος:

$$l = 2 \times 450 = 900 mm$$

Ακτινωτά από το πρόσωπο του υποστηλώματος:

$$r_{out} = (2786 - 900) / \pi = 600 mm$$

Οι περίμετροι του οπλισμού διάτρησης μπορούν να σταματήσουν σε απόσταση

$$600 - 1.5 \times 261 = 209 mm \text{ από το πρόσωπο του υποστηλώματος}$$

Διατμητικός οπλισμός (με βάση ορθογωνική διάταξη συνδετήρων):

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

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

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

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

Για περίμετρο  $u_1$  :

$$A_{sw} = (1.07 - 0.75 \times 0.66) \times 180 \times 1720 / (1.5 \times 315) = 377mm^2 \text{ ανά περίμετρο}$$

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

Όπου

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

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

$$a = 90^\circ$$

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

$$A_{sw} / u_1 \geq 377 / 1720 = 0.22mm^2 / mm$$

$$\text{Μέγιστη απόσταση} = \min[78.5 / 0.22; 1.5d] = \min[327, 392] = 357mm$$

Επιλέγεται η μέγιστη απόσταση να είναι 280mm.

Δοκιμάζουμε  $\Phi 12$  σκέλη συνδετήρα σε περιμέτρους των 180 mm.

$$\text{Επιλέγεται } 6\Phi 12 = 393mm^2$$

Η 1<sup>η</sup> περίμετρος πρέπει να είναι μεταξύ των 0.3d και 0.5d από το πρόσωπο του υποστηλώματος. Επιλέγουμε  $0.4d = 100mm$  από το πρόσωπο του υποστηλώματος.

- Έλεγχοι εντός της βασικής περιμέτρου

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

$$Asw_{ua} = (1.07 - 0.75 \times 0.66) \times 180 \times 1229 / (1.5 \times 315) = 269mm^2$$

$$\Phi 10 = 78.5mm^2$$

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

$$\frac{Asw_{ua}}{u_a} = 0.26 > 0.22 \text{ που απαιτείται}$$

Άρα OK

$$u_{\beta} = 450 \times 2 + \pi(105 + 180) = 1795 \text{ mm}$$

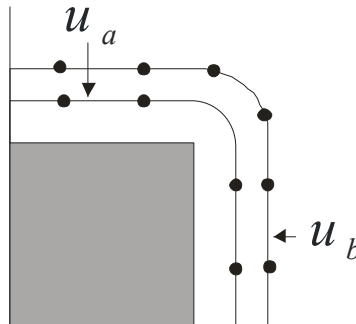
$$Asw_{,u\beta} = (1.07 - 0.75 \times 0.66) \times 180 \times 1795 / (1.5 \times 315) = 393 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{Asw_{,u\beta}}{u_{\beta}} = 0.25 > 0.22 \text{ απαιτείται}$$

Άρα ΟΚ

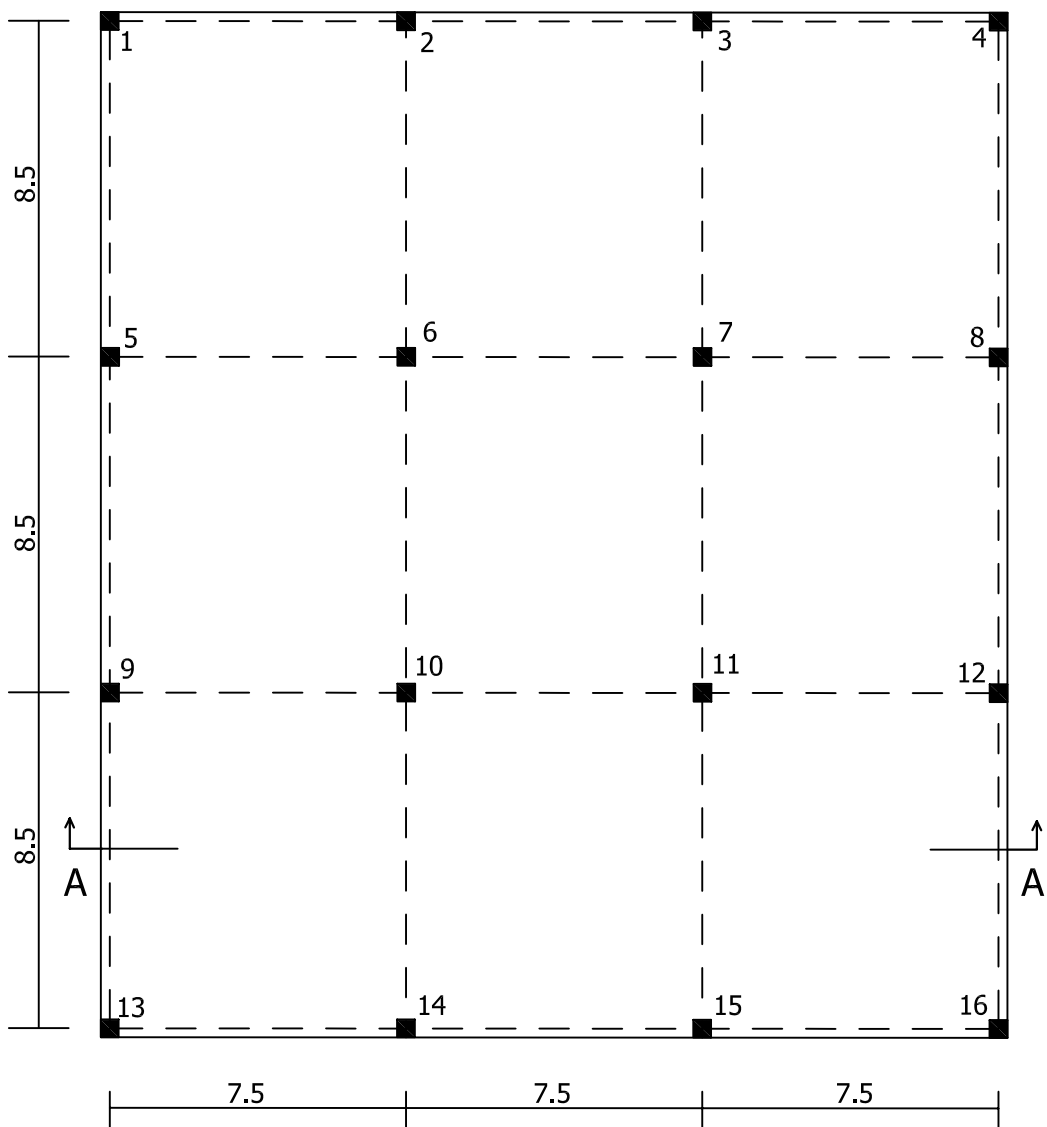


Σχήμα 4-10 : Διάταξη οπλισμού διάτρησης στο γωνιακό υποστήλωμα

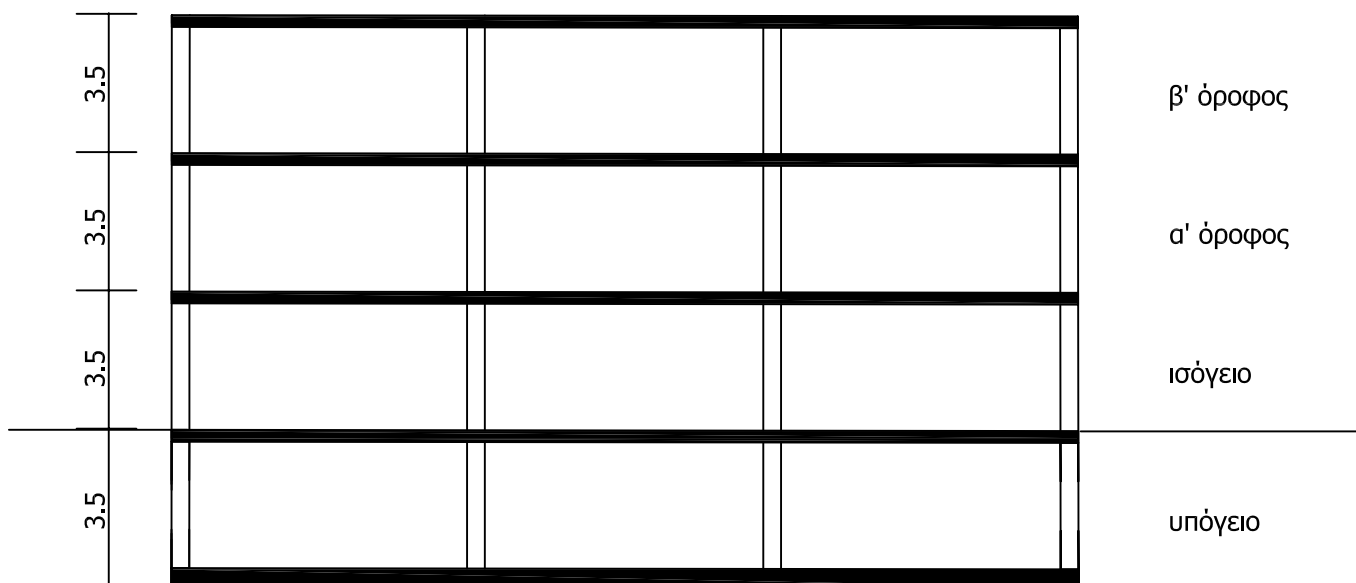








ΤΥΠΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ ΟΡΟΦΟΥ



ΤΟΜΗ Α-Α

## 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  $\delta$  και τις συνιστώμενες τιμές για το  $\gamma_c$ )**

% αναδιανομή	$\delta$ (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 <sub>l</sub>	-0.04F <sub>l</sub>	0.075F <sub>l</sub>	-0.086F <sub>l</sub>	0.063F <sub>l</sub>	-0.063F <sub>l</sub>

Παρατηρήσεις:

1. Τα παραπάνω εφαρμόζονται για πλάκες όπου το εμβαδόν κάθε φατώματος ξεπερνάει τα 30 m<sup>2</sup>,  $Q_k \leq 1.25G_k$  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  $\gamma_c$ )**

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  $\nu, a_{cc}, \gamma_c$  )**

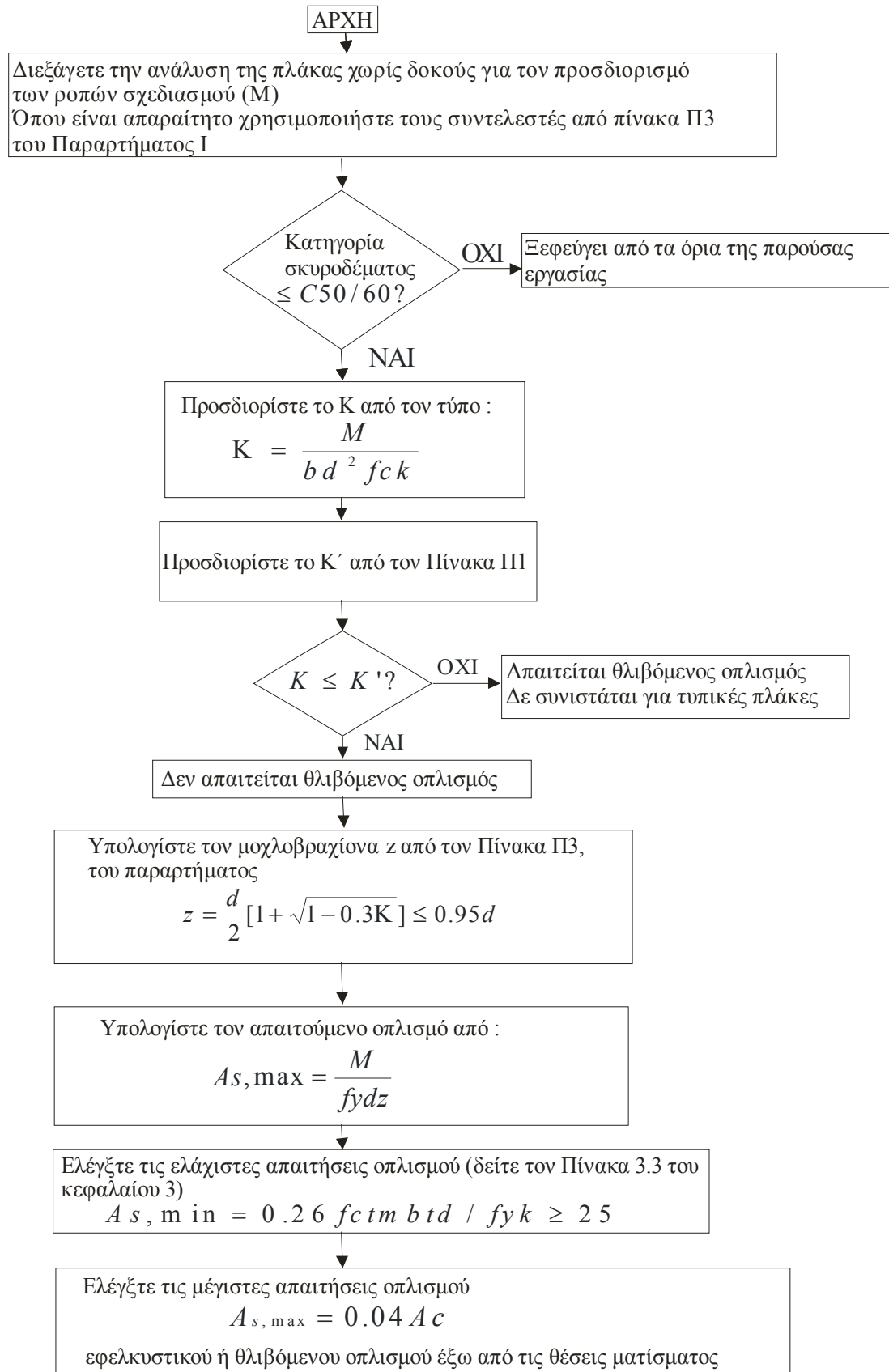
$f_{ck}$	$V_{Rd,max}$
20	3.68
25	4.50
28	4.97
30	5.28
32	5.58
35	6.02
40	6.72
45	7.38
50	8.00



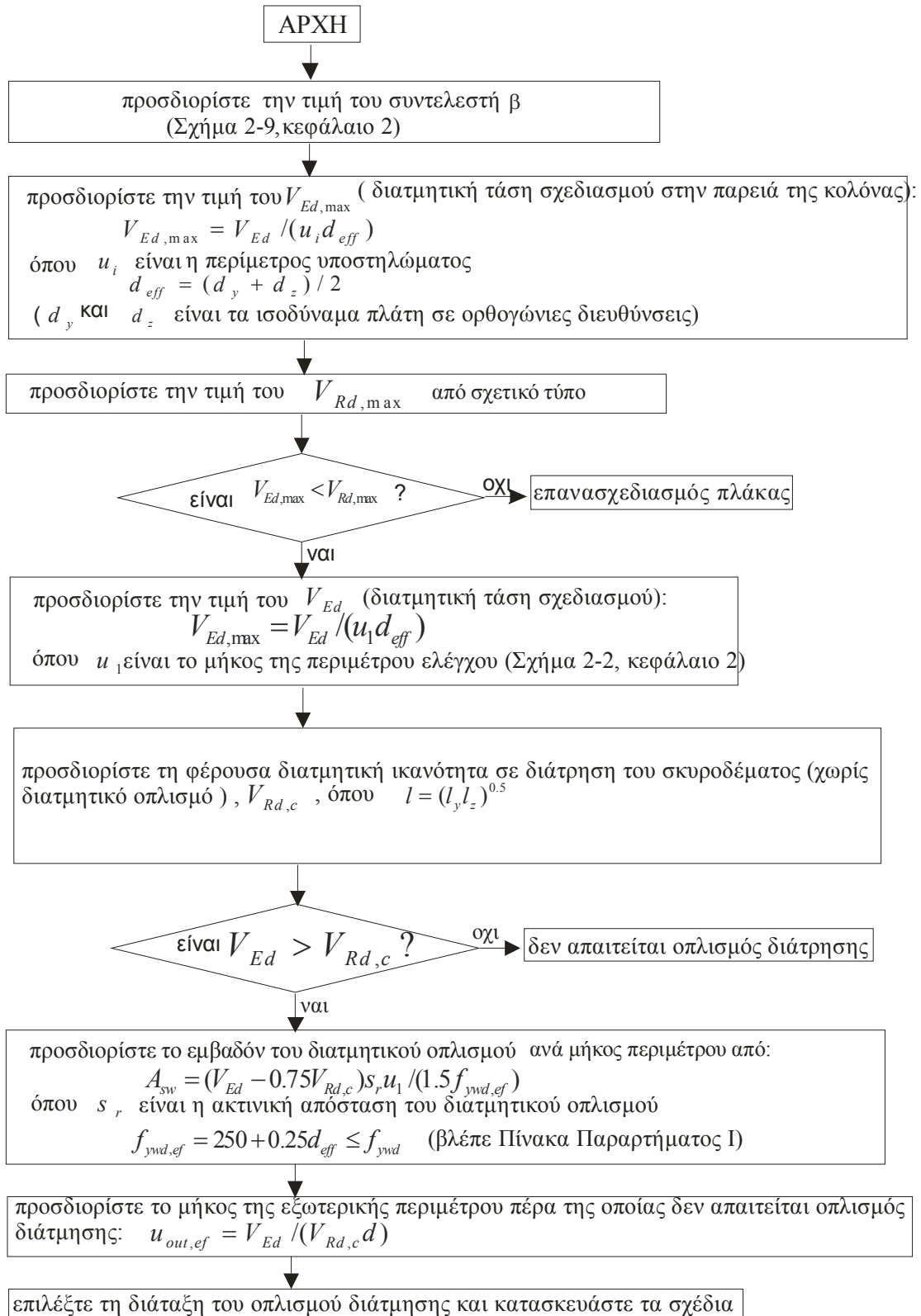
**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II : Διάγραμμα ροής για τον σχεδιασμό  
πλακών χωρίς δοκούς (κάμψη και  
διάτρηση)**



**Διάγραμμα ροής 1 : Διαδικασία προσδιορισμού καμπτικού οπλισμού**

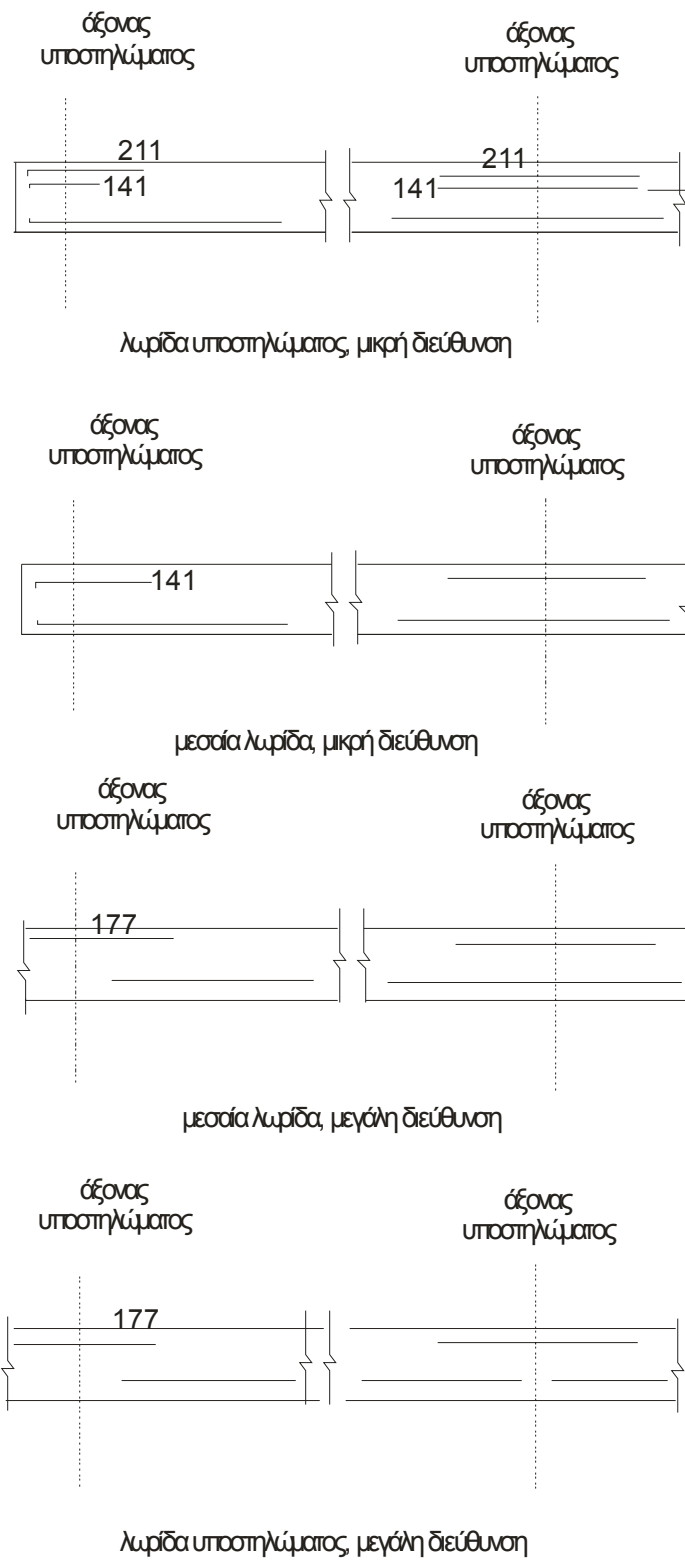


**Διάγραμμα ροής 2 : Διαδικασία προσδιορισμού οπλισμού διάτρησης**



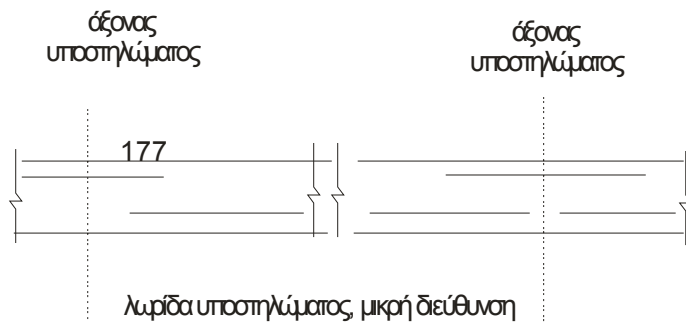
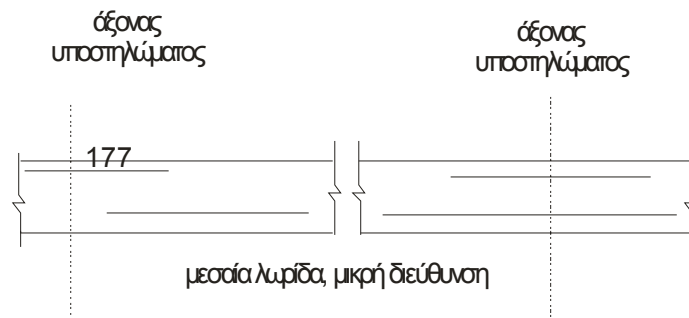
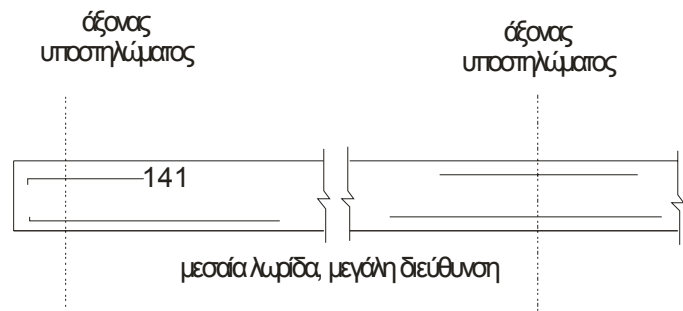
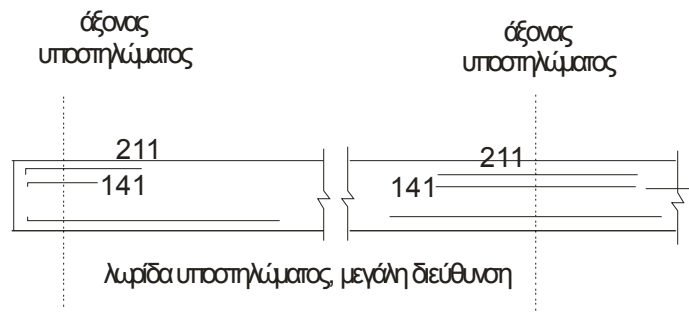
Λεπτομέρειες όπλισης

Εξωτερικό φάνωμα (5-6-10-9)



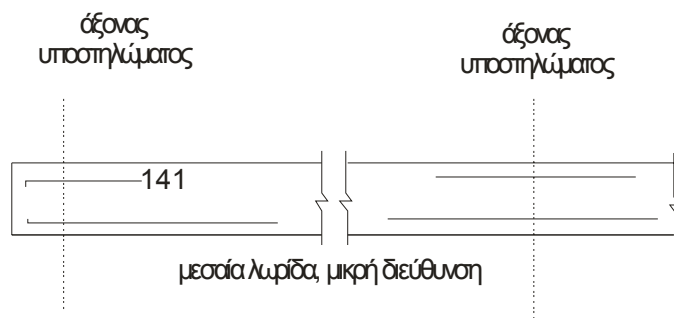
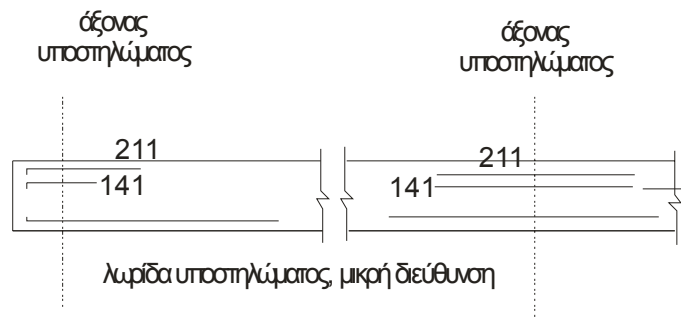
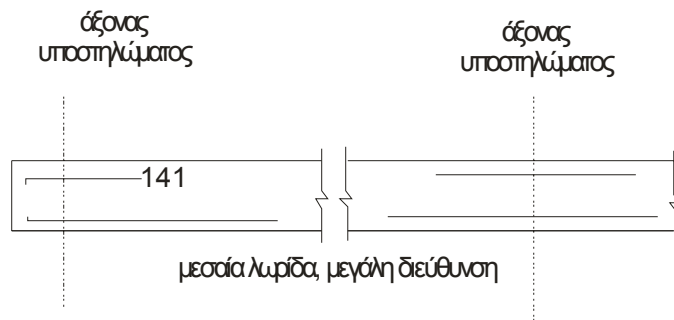
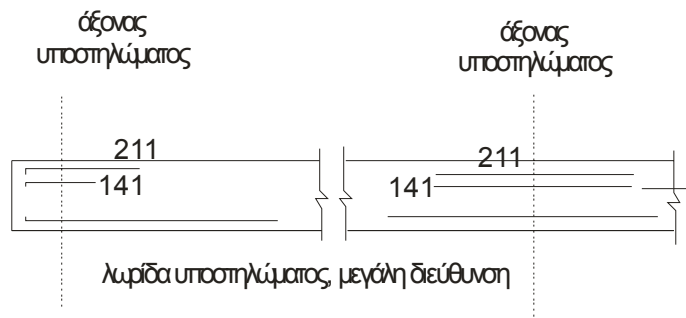
Σχήμα Π-11: Αποστάσεις οπλισμού

Εξωτερικό φάτνωμα (2-3-7-6)



Σχήμα Π-12: Αποστάσεις οπλισμού

Γωνιακό φάτνωμα (1-2-5-6)



Σχήμα Π-13: Αποστάσεις οπλισμού





## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

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

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