



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Σεισμική Μηχανική & Αντισεισμικές Κατασκευές

Διπλωματική Εργασία

**Διερεύνηση της σεισμικής συμπεριφοράς πολυώροφου κτιρίου
από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς δοκούς, βάσει της 2ης γενιάς
των Ευρωκωδίκων**

Νικόλαος Α. Βαρύτης

Επιβλέπων καθηγητής: Τηλέμαχος Παναγιωτάκος

Αθήνα, Μάιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Νικολάος Α. Βαρύτη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του δημιουργού. Ο δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Αφιερωμένο στη μητέρα μου»

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα μελετήσουμε την απόκριση κτιρίων χωρίς δοκούς (flat slabs) λόγω σεισμικών δυνάμεων. Η ιδιαιτερότητα των κατασκευών αυτών είναι η απουσία εσωτερικών κυρίως πλαισίων για την παραλαβή των σεισμικών δράσεων και λόγω της ανεπαρκούς πλαισιακής λειτουργίας τους το σύστημα έχει μικρότερη δυσκαμψία και πλαστιμότητα. Η χρήση τέτοιων πλακών με βάση πιο πρόσφατη βιβλιογραφία προτείνεται να αποφεύγεται σε σεισμογενείς περιοχές καθώς και ο Ευρωκώδικας 8 μέχρι προσφάτως δεν κάλυπτε πλήρως τη συμπεριφορά του συστήματος πλάκας-υποστυλώματα ως κύρια σεισμικά στοιχεία. Για αυτόν ακριβώς το λόγο οι Ευρωκώδικες δεύτερης (2ης) γενιάς τροποποίησαν τα υφιστάμενα πρότυπα τους για τον σχεδιασμό των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς (flat slabs) και πρόσθεσαν στον Ευρωκώδικα 8 βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης των κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς.

Στην παρούσα μελέτη λοιπόν αρχικά θα αναλύσουμε τις νέες αυτές διατάξεις των Ευρωκωδίκων, και θα μελετήσουμε ένα πολυώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς δοκούς βάσει των νέων αρχών σχεδιασμού και κανόνων διαστασιολόγησης που ορίζουν ο EC8 και ο EC2. Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα ενός κτιρίου με δοκούς ίδιας γεωμετρίας. Η σύγκριση εστιάζει στις απαιτήσεις διαμήκη (καμπτικού) οπλισμού ανάμεσα στις ζώνες (ή λωρίδες) στήριξης στο σύστημα πλάκας-υποστυλώματος και με τις αντίστοιχες απαιτήσεις στο κτίριο με δοκούς.

Λέξεις – Κλειδιά

Πλάκες χωρίς δοκούς, Ευρωκώδικες δεύτερης γενιάς, EC8, EC2, διάτρησης πλακών, σεισμικός σχεδιασμός

«Seismic Performance Assessment of a multi-storey reinforced concrete flat-slab building, according to the second (2nd) generation of Eurocodes»

«NIKOLAOS VARYTIS»

Abstract

The present thesis investigates the seismic response of buildings with flat slab systems. The distinctive characteristic of these structures is the primary absence of internal frames to resist seismic actions; due to this inadequate frame action, the system exhibits reduced stiffness and ductility. According to recent literature, the use of flat slabs is generally discouraged in high-seismicity regions, particularly as Eurocode 8 did not, until recently, fully cover the behavior of the slab-column system as a primary seismic element.

For this reason, the second-generation (2nd Gen) Eurocodes have modified the existing standards for the design of reinforced concrete buildings with flat slabs, introducing fundamental design principles and detailing rules into prEN 1998-1-1:2024. Initially, this study analyzes these new provisions and examines a multi-story reinforced concrete flat-slab building based on the new design principles and detailing rules specified by prEN 1998-1-1:2024 and EN 1992-1-1:2023. Subsequently, the results are compared with those of a beamed building of the same geometry. The comparison focuses on the longitudinal (flexural) reinforcement requirements between the support zones (or strips) of the slab-column system and the corresponding requirements of the building with beams.

Keywords

Flat slabs, Eurocode 8 , seismic response of buildings

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract	v
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων.....	viii
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια	xi
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Κτίρια με πλάκες χωρίς δοκούς	1
2. Σχεδιάζοντας ένα κτίριο με πλάκες χωρίς δοκούς με τους Ευρωκώδικες δεύτερης (2ης) γενιάς	4
2.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού σύμφωνα με τον EC8.....	4
2.1.1 Σχεδιασμός του φορέα	4
2.1.2 Διαστασιολόγηση και σχεδιασμός στη στάθμη ασφαλούς ζωής (SD) ενός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς	7
2.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης με τον Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023)	13
2.2.1 Απαιτούμενοι Έλεγχοι.....	13
2.2.2 Διαδικασία Υπολογισμών	15
2.2.3 Διατάξεις κατασκευής οπλισμού έναντι διάτρησης.....	20
3. Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση τριώροφου κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς..	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Περιγραφή φορέα.....	24
3.2.1 Πάχος πλάκας.....	25
3.2.2 Ισοδύναμη δοκός	26
3.3 Φορτία.....	27
3.3.1 Κατακόρυφα φορτία	27
3.3.2 Σεισμικά φορτία	29
3.4 Προσομοίωση Κτιρίου	32
3.4.1 Περιγραφή μοντέλου	32

3.4.2	Ορισμός υλικών.....	32
3.4.3	Ορισμός διατομών	33
3.5	Διαστασιολόγηση Κτιρίου.....	36
3.5.1	Τοποθέτηση καμπτικού οπλισμού στην πλάκα.....	38
3.5.2	Οπλισμός ακεραιότητας	40
3.5.3	Υπολογισμός ροπών αντοχής υποστυλμάτων	42
3.5.4	Υπολογισμός καμπτικής αντοχής πλάκας (MRd).....	44
3.5.5	Διαστασιολόγηση σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος έναντι διάτρησης 45	
4.	Διαστασιολόγηση φορέα κτιρίου με δοκούς	53
4.1	Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά, Φορτίσεις και Προσομοίωση Φορέα.....	54
4.2	Αποτελέσματα Ανάλυσης και Απαιτήσεων Οπλισμού	55
5.	Συγκριτική αξιολόγηση και Συμπεράσματα.....	57
5.1	Συγκριτική Ανάλυση Απαιτήσεων Οπλισμού	57
5.2	Συγκριτικά Συμπεράσματα	58
6.	Γενικά Συμπεράσματα	58
6.1	Νέοι κανόνες μοντελοποίησης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8	59
6.2	Νέοι κατασκευαστικοί κανόνες διάταξης διαμήκη οπλισμού	59
6.3	Σημαντικές Αλλαγές και Τροποποιήσεις στον Ευρωκώδικα 2 (Διάτρηση Πλακών) 60	
6.4	Τελικά Συμπεράσματα	61
	Βιβλιογραφία	62

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1.1 Διάφοροι τρόποι κατασκευής πλακών χωρίς δοκούς, (πηγή: www.midasuser.com).....	2
Εικόνα 1.2 : Αποπερατωμένος φέροντας οργανισμός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς και.....	3
Εικόνα 2.1 : Σύνδεση πλάκας-υποστυλώματος σε προεξοχή (L1) ίση με το πάχος της πλάκας (d),	5
Εικόνα 2.2 : Λωρίδες στήριξης, ενδιάμεσες λωρίδες και συνεργαζόμενα πλάτη πλάκας.....	7
Εικόνα 2.3 : Οπλισμός ακεραιότητας	10
Εικόνα 2.4 : Οπλισμός διάτρησης εντός των κρίσιμων διατομών πλακών χωρίς δοκούς (flat slabs)	13
Εικόνα 2.5 : Στατικό ύψος έναντι διάτμησης της πλάκας d_n με βάση το επίπεδο της περιοχής στήριξης	15
Εικόνα 2.6 : Παραδείγματα περιμέτρων b_0 και περιμέτρων ελέγχου $b_{0,5}$	15
Εικόνα 2.7 : Περίμετροι ελέγχου σε περιοχές αύξησης του πάχους της πλάκας	16
Εικόνα 2.8 : Πίνακας προσδιορισμού του συντελεστή εκκεντρότητας β_e , πηγή: (FprEN 1992-1- 1:2023)	17
Εικόνα 2.9 : Προσδιορισμός εκκεντροτήτων του πίνακα της Εικόνας 3.4, πηγή: (FprEN 1992-1- 1:2023)	17
Εικόνα 2.10 : Περίμετροι ελέγχου για α) ακτινική διάταξη ($b_{0,5,s}$ και $b_{0,s}$ αναφέρονται στην περίπτωση της 3ης περιμέτρου του οπλισμού διάτρησης), b) σταυροειδείς διάταξη c) τοποθέτηση σε άκρα τοιχωμάτων, γωνίες τοιχωμάτων, μεγάλα και επιμήκη υποστυλώματα πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)	21
Εικόνα 2.11 : Κανόνες εφαπτομενικών αποστάσεων για πλάκες χωρίς δοκούς, πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)	22
Εικόνα 2.12 : Είδη διατμητικών οπλισμών	23
Εικόνα 3.1 : Κάτοψη τυπικού επιπέδου με αρίθμηση των κάθετων και κατακόρυφων στοιχείων	25
Εικόνα 3.2 : Ισοδύναμη δοκός για προσομοιωθεί πλάκας χωρίς δοκούς σε καμπτικά πλαίσια....	27
Εικόνα 3.3 : Φορτία επιβαλλόμενα σε δάπεδα, εξώστες και κλίμακες κτιρίων βάσει EC1 (Εκπαιδευτικές Διαφάνειες ΤΕΕ)	28
Εικόνα 3.4 : Τριγωνικό φορτίο στις δοκούς.....	29
Εικόνα 3.5 : Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου στο λογισμικό SAP2000	32
Εικόνα 3.6 : Ορισμός σκυροδέματος στο λογισμικό SAP2000	33
Εικόνα 3.7 : Ορισμός διατομής ισοδύναμης δοκού στο λογισμικό SAP2000	34

Εικόνα 3.8 : Ορισμός διατομής υποστυλώματος στο λογισμικό SAP2000	34
Εικόνα 3.9 : Ορισμός διατομής περιμετρικής δοκού στο λογισμικό SAP2000	35
Εικόνα 3.10 : Απομείωση ιδιοτήτων λόγω ρηγματωμένης διατομής	35
Εικόνα 3.11 : View/Revise Preferences - παράμετροι σχεδιασμού του EN 1998-1 και 1992-1.....	36
Εικόνα 3.12 : Διαμήκης οπλισμοί δομικών στοιχείων σε m^2	37
Εικόνα 3.13 : Οπλισμοί υποστυλωμάτων	37
Εικόνα 3.14 : Λωρίδες στήριξης συγκέντρωσης οπλισμού	38
Εικόνα 3.15 : Ενεργό πλάτος πλάκας b_{ef}	39
Εικόνα 3.16 : Παρουσίαση ισοδύναμης δοκού, λωρίδας στήριξης και πάχους b_{ef}	40
Εικόνα 3.17 : Διάταξη οπλισμού ακεραιότητας	41
Εικόνα 3.18 : Εσωτερικά υποστυλώματα που συνδέονται απευθείας στην πλάκα	42
Εικόνα 3.19 : επιφάνεια ελέγχου $b_{0.5}$ που απέχει απόσταση $0.5d_v$	46
Εικόνα 3.20 : Απόσταση b_s	49
Εικόνα 3.21 : Διάταξη τοποθέτησης οπλισμού διάτρησης (κατά FprEN 1992-1-1:2023)	53
Εικόνα 4.1 : Ορισμός του l_{ob} για τον υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους δοκού	54
Εικόνα 4.2 : Παράμετροι συνεργαζόμενου πλάτους δοκού	55
Εικόνα 4.3 : Ορισμός διατομής πλακοδοκού	55

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1: Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau R_d, c, min$	18
Πίνακας 2.2: Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau R_d, c$,	18
Πίνακας 2.3 : Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau R_d, cs$	19
Πίνακας 3.1 : Βασική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q_0	30
Πίνακας 3.2 : Ροπές αντοχής υποστυλωμάτων	43
Πίνακας 3.3 : Συντελεστές υπολογισμού ελάχιστης διατμητικής αντοχής $\tau R_d, c, min$	48
Πίνακας 5.1 : Ποσοστιαία μεταβολή απαιτούμενου οπλισμού ανά δομικό σύστημα	57

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

L_i	Προεξοχή πλάκας σκυροδέματος σε περιμετρικά υποστυλώματα χωρίς δοκούς
d	Πάχος της πλάκας σκυροδέματος
L	Άνοιγμα μεταξύ δύο υποστυλωμάτων ενός κτιρίου χωρίς δοκούς
d_v	Ωφέλιμο ύψος διάτμησης πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος
$A_{s,int}$	διατομή οπλισμού ακεραιότητας
f_{yd}	Όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα
k	ο λόγος μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ορίου διαρροής του χάλυβα f_t/f_y είναι η γωνία μεταξύ των οπλισμών ακεραιότητας και της επιφάνειας της
α_{ult}	πλάκας κατά την αστοχία (20° για οπλισμό κατηγορίας καμπτότητας B, 25° για οπλισμό κατηγορίας καμπτότητας C)
f_{yk}	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
γ_c	μερικώς συντελεστής σκυροδέματος
b_{int}	είναι η περιφέρεια ελέγχου που ενεργοποιείται ο οπλισμός ακεραιότητας
s_{int}	το πλάτος της ομάδας των οπλισμών ακεραιότητας στην παρεία στήριξης
η_{pm}	αυξητικός συντελεστής επιρροής της θλιπτικής δράσης μεμβράνης γύρω από εσωτερικά υποστυλώματα
τ_{Ed}	δρώσα διατμητική τάση
$\tau_{Rd,c,min}$	ελάχιστη διατμητικής αντοχής
$\tau_{Rd,c,min}$	ελάχιστη διατμητικής αντοχής
$\tau_{Rd,c}$	η αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης
$\tau_{Rd,cs}$	τιμή σχεδιασμού της διατρητικής αντοχής σε πλάκα με οπλισμό διάτρησης
b_0	Περίμετρος της επιφάνειας στήριξης σε πλάκα με οπλισμό διάτρησης
$b_{0,5}$	Περίμετρος ελέγχου κατά τον υπολογισμό της δρώσας διατμητική τάση
$b_{0.5,out}$	Περίμετρος όπου εκτός αυτής δεν απαιτείται πλέον οπλισμός διάτρησης
θ_e	συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης λόγω συγκεντρώσεων τεμνουσών δυνάμεων
e_{bx}	εκκεντρότητα κατά x-x της αντίδρασης των τεμνουσών δυνάμεων σε σχέση με το κέντρο της περιμέτρου ελέγχου
e_{by}	εκκεντρότητα κατά y-y της αντίδρασης των τεμνουσών δυνάμεων σε σχέση με το κέντρο της περιμέτρου ελέγχου
γ_v	μερικός συντελεστής ασφαλείας για σχεδιασμό έναντι τέμνουσας σύμφωνα με τον πίνακα τον Πίνακα 4.3 (NDP) ή Πίνακα A.1 (NDP) και A.2 (NDP)
d_{dg}	παράμετρος μεγέθους (σε mm) που περιγράφει την τραχύτητα της ζώνης αστοχίας η οποία εξαρτάται από τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών
k_{pd}	αυξητικός συντελεστής διάτρησης

η_{sys}	συντελεστής που αφορά την επίδοση των διαφόρων συστημάτων διατρητικών οπλισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν
η_c	Συντελεστής συμβολής αντοχής σκυροδέματος
η_s	Συντελεστής συμβολής αντοχής διατμητικού οπλισμού
φ_v	Διάμετρος συνδετήρων
s_r	Ακτινική απόσταση των περιμέτρων
s_t	Εφαπτομενική απόσταση οπλισμών
ρ_w	Γεωμετρικό ποσοστό απαιτούμενου διατμητικού οπλισμού
A_{sw}	Εμβαδόν ενός σκέλους οπλισμού διάτρησης
G_{IB}	Μόνιμες δράσεις κατασκευής
Q	Κινητές δράσεις κατασκευής
α_g	εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού
α_{gR}	ενεργός εδαφική επιτάχυνση
S	συντελεστής εδάφους
T_B	Περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
T_C	Περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
T_D	τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος
q	Συντελεστής συμπεριφοράς
k_w	συντελεστής αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα
α_0	λόγος ύψος δια μήκος τοιχωμάτων για τον υπολογισμό του k_w
l_b	απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης
M_{Rd}	Ροπή αντοχής πλάκας
$A_{s,bot}$	καμπτικός οπλισμός στην κάτω παρεία της πλάκας
$A_{s,top}$	καμπτικός οπλισμός στην άνω παρεία της πλάκας
F_s	Δύναμη εφελκυσμού χάλυβα
F_c	Δύναμη εφελκισμένο τμήματος σκυροδέματος
x	Βάθος θλιβόμενης ζώνης
$M_{Rd,tot.col}$	το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στις άνω και κάτω παρειές της πλάκας στην σύνδεση με το υποστυλίσμα
$M_{Rd,80\%tot,strip}$	το 80% του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής του συνολικού πάχους της πλάκας που συμμετέχει σε έναν εσωτερικό κόμβο πλάκας-υποστυλώματος, δηλαδή της λωρίδας στήριξης
$M_{Rd,1.25tot,eq-beam}$	Σε εσωτερικά υποστυλώματα το 1.25 του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού.

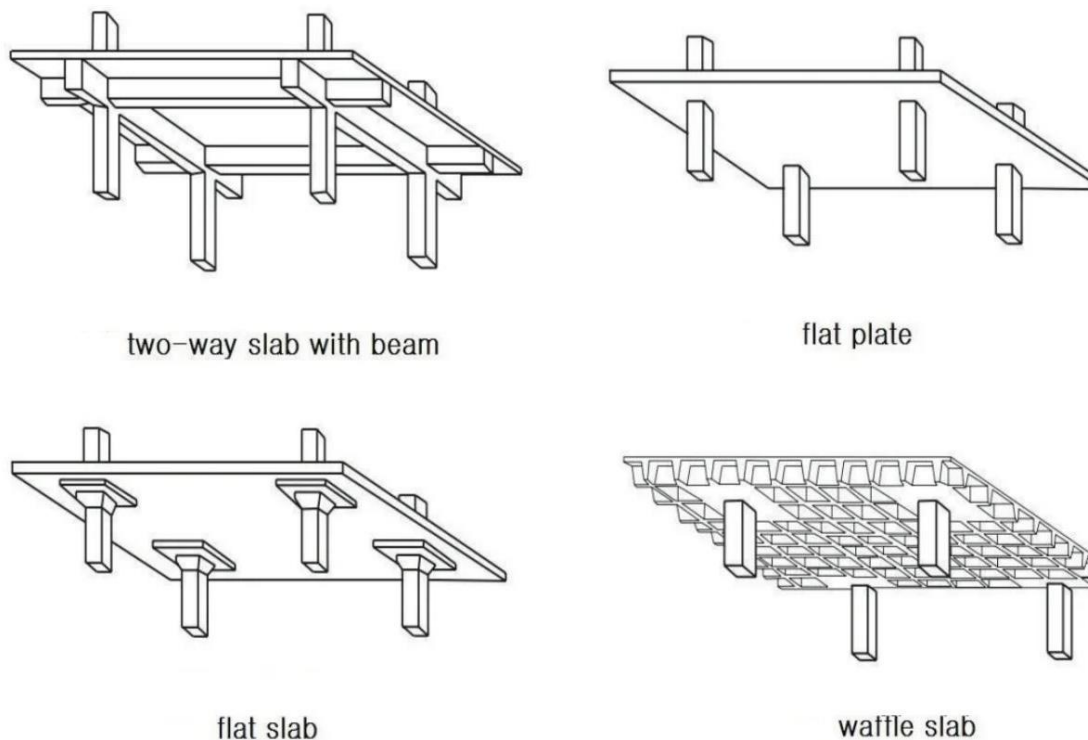
1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η ιδιαιτερότητα της σεισμικής απόκρισης ενός κτιρίου με χρήση επίπεδων πλακών χωρίς δοκούς (flat slabs), συνδυάζοντας το γεγονός ότι έχει παρατηρηθεί η αύξηση ανέγερσης τους το τελευταίο διάστημα και η τροποποίηση των υφιστάμενων προτύπων των Ευρωκωδίκων δεύτερης (2ης) γενιάς, προσθέτοντας βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης των κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς, μας οδήγησε στην επιλογή της παρούσας μελέτης. Αρχικά πραγματοποιούμε μια παρουσίαση των κτιρίων χωρίς δοκούς (flat slabs) και στη συνέχεια παρατίθενται οι κανονιστικές διατάξεις για την διαστασιολόγηση και κατασκευή τους με την ανανεωμένη έκδοση του Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023) και βασικών αρχών σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης τους για σεισμικές δράσεις με της νέας έκδοση του Ευρωκώδικα 8 (prEN 1998-1-1:2024). Έπειτα εφαρμόζουμε τις νέες αυτές διατάξεις μελετώντας ένα τριώροφο κτίριο τριών (3) ανοιγμάτων και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα ενός κτιρίου με δοκούς ίδιας γεωμετρίας.

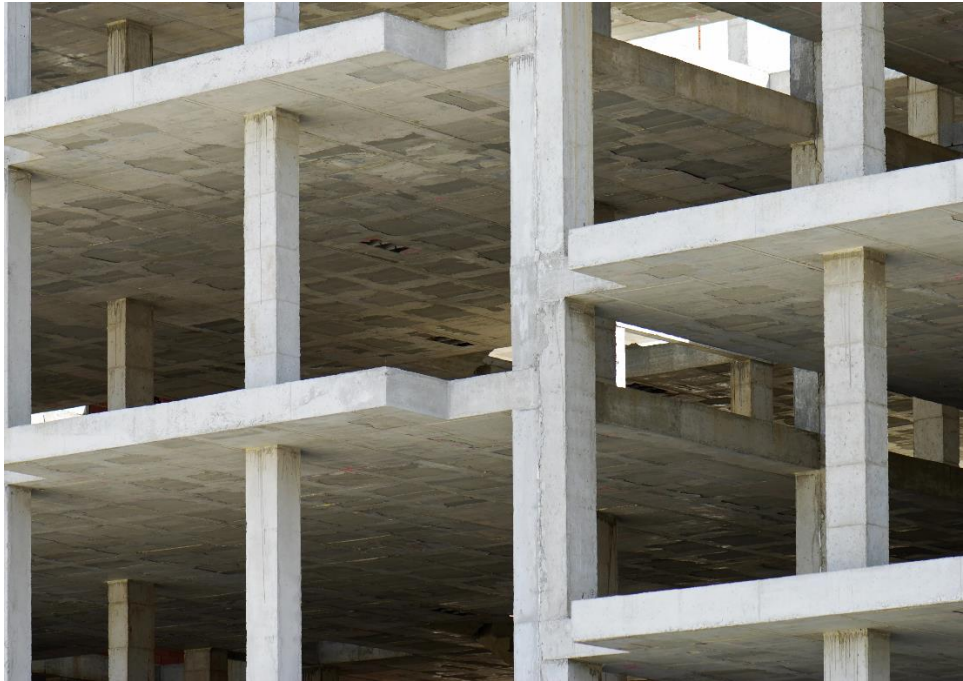
1.2 Κτίρια με πλάκες χωρίς δοκούς

Οι πλάκες οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς είναι τετραέρειςτες πλάκες που στηρίζονται απευθείας στα υποστυλώματα ή σε τοιχεία. Συνεπώς τα φορτία ενός τέτοιου συστήματος μεταβιβάζονται απευθείας από τις πλάκες στα κάθετα στοιχεία χωρίς την παρεμβολή δοκών. Οι εν λόγω πλάκες μπορεί να είναι συμπαγής ή με νευρώσεις. Στις άνω παρειές των υποστυλωμάτων η σύνδεση με τις πλάκες εκτός από απευθείας πολύ συχνά ενισχύεται με αύξηση του πάχους σε μικρή απόσταση περιμετρικά του υποστυλώματος (drop panels) καθώς και με τοπική αύξηση της διατομής του υποστυλώματος πρισματικά (κεφαλή - column capitals).



Εικόνα 1.1 Διάφοροι τρόποι κατασκευής πλακών χωρίς δοκούς, (πηγή : www.midasuser.com)

Πλάκες χωρίς δοκούς συναντάμε κυρίως σε χώρους στάθμευσης, κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα και βιομηχανικά κτίρια, όπου υπάρχει αυξημένη ανάγκη χώρων μεγάλων ανοιγμάτων με καλό φωτισμό. Το σύστημα αυτό προσδίδει στο κτίριο ελευθερία στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του με ελεύθερη τοποθέτηση των εσωτερικών κυρίως τοιχοποιιών. Η έλλειψη δοκών επιτρέπει ταυτόχρονα την ελευθερία επιλογής θέσεων για τη διέλευση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Κατασκευαστικά η μείωση του ύψους κάθε ορόφου, καθώς αφαιρείται το ύψος κρέμασης των δοκών, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συνολικού ύψους του κτιρίου, η οποία λειτουργεί ως ευνοϊκός παράγοντας στην οικονομικότητα ανεγέρσεως της κατασκευής. Τέλος η απουσία δοκών απλοποιεί τις εργασίες ξυλοτύπου (καλούπωμα) και οπλισμού, μειώνοντας σημαντικά τον χρόνο κατασκευής.



Εικόνα 1.2 : Αποπερατωμένος φέροντας οργανισμός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς και απ' ευθείας σύνδεση πλάκας-υποστυλώματος, πηγή : www.midasuser.com

Όμως η χρήση τέτοιων πλακών σε κτίρια που κατασκευάζονται σε περιοχές με αυξημένη σεισμική δραστηριότητα έχει σημαντικά μειονεκτήματα που αφορούν την στατική του λειτουργία. Η έλλειψη ουσιαστικής πλαισιακής λειτουργίας του φορέα οδηγεί σε μειωμένη αντισεισμική συμπεριφορά, καθώς δεν είναι δυνατή η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στις δοκούς, με στόχο την απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας.

2. Σχεδιάζοντας ένα κτίριο με πλάκες χωρίς δοκούς με τους Ευρωκώδικες δεύτερης (2ης) γενιάς

Οι Ευρωκώδικες δεύτερης (2ης) γενιάς τροποποίησαν τα υφιστάμενα πρότυπα τους για τον σχεδιασμό των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς (flat slabs) και πρόσθεσαν στον Ευρωκώδικα 8 βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης των κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς. Συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 10 που αφορά του ειδικούς κανόνες για τα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος προστέθηκε η ενότητα 10.10 που αφορά τις πλάκες χωρίς δοκούς (flat slabs).

2.1 Βασικές αρχές σχεδιασμού σύμφωνα με τον EC8

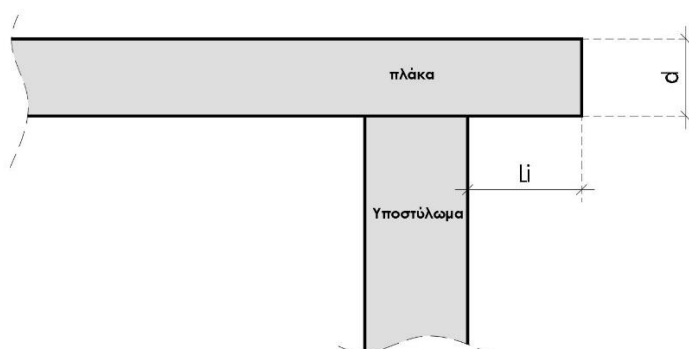
Η ενότητα αυτή περιγράφει κανόνες σχεδιασμού ενός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς που αφορούν την γεωμετρία του φορέα, τον τρόπο διάταξης των κάθετων στοιχείων, την ύπαρξη ή μη περιμετρικών δοκών, το πάχος των πλακών και τον τρόπο μοντελοποίησης τους. Επειδή οι πλάκες χωρίς δοκούς θεωρούνται κύρια μέλη ανάληψης σεισμικών δυνάμεων θα πρέπει η κατασκευή τους να υλοποιηθεί με επί τόπου σκυροδέτηση (cast-in-place). Σημειώνεται ότι σε πλάκες χωρίς δοκούς συχνά προβλέπεται η τοποθέτηση δοκών στα περιμετρικά υποστυλώματα ή σε περιοχές προβόλων, τεχνική η οποία μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά στη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς των συνδέσεων πλάκας-υποστυλώματος στους περιμετρικούς και γωνιακούς κόμβους για την αντιμετώπιση της διάτρησης και τη μείωση του διαμήκη (καμπτικού) οπλισμού.

2.1.1 Σχεδιασμός του φορέα

Σύμφωνα με την υποενότητα 10.10.1 της ενότητας 10.10 των νέων διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 οι βασικές αρχές σχεδιασμού ενός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς είναι οι παρακάτω:

1. Τα κάθετα στοιχεία (υποστυλώματα και τοιχεία) που συνδέονται με τις πλάκες χωρίς δοκούς θα πρέπει να είναι διατεταγμένα σε κανονικό κάνναβο σε δύο διευθύνσεις (x-y).

2. Στις συνδέσεις της πλάκας με τα περιμετρικά και γωνιακά υποστυλώματα θα πρέπει αρχικά να επιτυγχάνεται η χρήση όλης της διατομής του υποστυλώματος για τη μεταφορά των φορτίων από την πλάκα στα υποστυλώματα και να υπάρχουν περιμετρικοί δοκοί. Οι δοκοί μπορούν να παραληφθούν αν η πλάκα επεκτείνεται πέραν του ορίου του υποστυλώματος σε προεξοχή (L_1) ίση με το πάχος της πλάκας (d), δηλαδή $L_1 = d$. (Εικόνα 2.1)



Εικόνα 2.1 : Σύνδεση πλάκας-υποστυλώματος σε προεξοχή (L_1) ίση με το πάχος της πλάκας (d),

3. Το πάχος των πλακών (d) δεν θα πρέπει να είναι μικρότερο από το 3.5% του μεγαλύτερου ανοίγματος (L) δηλαδή $d \geq 0.035L$
4. Στις δοκιδοτές πλάκες δύο διευθύνσεων χωρίς δοκούς (waffle flat slab), θα πρέπει να προβλέπεται ένα συμπαγές τμήμα (L_i) γύρω από τα υποστυλώματα ή τα τοιχεία με μήκος τουλάχιστον τριπλάσιο του ενεργού πάχους (d_v) της πλάκας ($L_i \geq 3 \cdot d_v$)
5. Οπές (ανοίγματα) σε πλάκες χωρίς δοκούς θα πρέπει να αποφεύγονται σε απόσταση μικρότερη του ωφέλιμου ύψους διάτμησης της πλάκας (d_v) ή της πλάκας μαζί με τις τοπικές αυξήσεις του πάχους της (drop panel) από τα υποστυλώματα ή τα τοιχεία. Σε περίπτωση οπής σε απόσταση μικρότερη του 5.5 του ωφέλιμου ύψους διάτμησης της πλάκας ($L_o \leq 5.5 \cdot d_v$) θα πρέπει να μειώνονται οι περίμετροι ελέγχου έναντι διάτμησης.

Ισοδύναμη δοκός

6. Κατά την μοντελοποίηση μιας πλάκας χωρίς δοκούς το σύστημα πλάκας υποστυλωμάτων ή/και τοιχείων, μπορεί να προσομοιωθεί με καμπτικά τρισδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» οι οποίες είναι πρισματικά στοιχεία που συνδέουν τα κάθετα στοιχεία έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί γραμμική

ή μη γραμμική ανάλυση. Οι ιδιότητες τους θα πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω απαιτήσεις:

α) Το θεωρητικό άνοιγμα θα πρέπει να είναι ίσο με την αξονική απόσταση μεταξύ του κέντρου βάρους των υποστυλωμάτων ή τοιχείων

β) Το ύψος διατομής των ισοδύναμων δοκών θα πρέπει να είναι ίσο με το πάχος της πλάκας

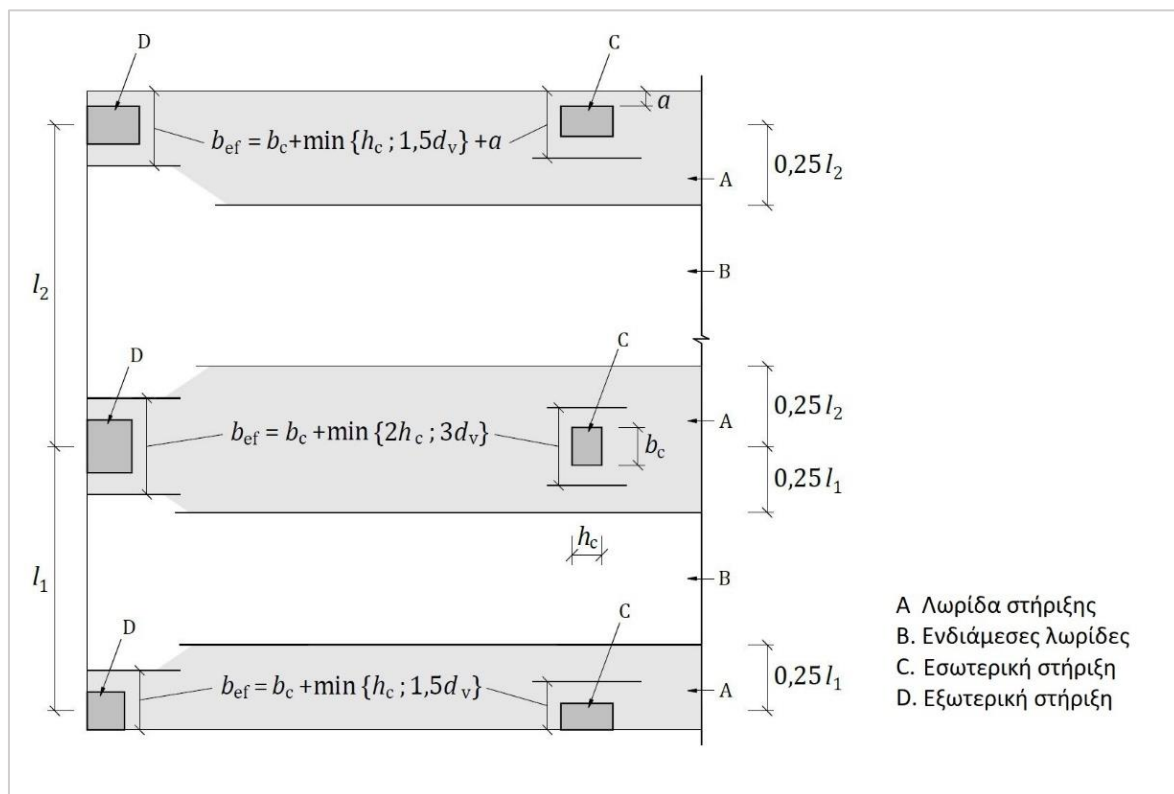
γ) Η αντοχή του σκυροδέματος θα πρέπει να είναι ίση με αυτής της πλάκας

δ) Θεωρώντας ως άξονα της «ισοδύναμης δοκού» μια ευθεία που συνδέει τα υποστυλώματα κεντροβαρικά, το πλάτος της ισοδύναμης δοκού ισούται με την μικρότερη τιμή των παρακάτω :

- την απόσταση από τον άξονα της «ισοδύναμης δοκού» ως την άκρη της πλάκας,
- την μισή κάθετη απόσταση μεταξύ των αξόνων από την πλησιέστερη παράλληλη «ισοδύναμη δοκό» και
- το άθροισμα του μισού ($1/2$) της διατομής του υποστυλώματος κάθετα στον άξονα της «ισοδύναμης δοκού», και του ($1/4$) ενός τετάρτου του καθαρού ανοίγματος μεταξύ των υποστυλωμάτων.

ε) Το ποσοστό οπλισμού (άνω και κάτω) η ποιότητα χάλυβα καθώς και η το πάχος της επικάλυψης της «ισοδύναμης δοκού» θα πρέπει να ισούται με αυτά που υπάρχουν εντός της λωρίδας μεταξύ των συνδεδεμένων υποστυλωμάτων (δείτε Εικόνα 2.2)

7. Εάν κατά την μοντελοποίηση λαμβάνεται ολόκληρη η πλάκα χωρίς δοκούς ως επιφανειακό στοιχείο τότε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι ιδιότητες σε κάμψη και διάτμηση της ρηγματωμένης διατομής
8. Η ελαστική δυσκαμψία κάμψης και διάτμησης της πλάκας χωρίς δοκούς μπορεί να ληφθεί ίση με το ένα τέταρτο ($1/4$) της δυσκαμψίας της αρηγμάτωτης διατομής.



Εικόνα 2.2 : Λωρίδες στήριξης, ενδιάμεσες λωρίδες και συνεργαζόμενα πλάτη πλάκας

2.1.2 Διαστασιολόγηση και σχεδιασμός στη στάθμη ασφαλούς ζωής (SD) ενός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς

Στην ενότητα αυτή καθορίζονται νέοι κανόνες όπλισης των πλακών χωρίς δοκούς και τροποποιούν ή/και ενισχύονται διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 κατά τον έλεγχο αντοχής των πλακών αυτών έναντι του φαινομένου της διάτρησης. Αναλυτικά σύμφωνα με την υποενότητα 10.10.2 της ενότητας 10.10 των νέων διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 κατά τον σχεδιασμό μιας πλάκας χωρίς δοκούς στη στάθμη ασφαλούς ζωής θα πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

1. Ο καμπτικός οπλισμός θα πρέπει να συγκεντρώνεται πάνω από τα υποστυλώματα ή τα τοιχεία και σε τμήματα της πλάκας μεταξύ των γειτονικών υποστυλωμάτων που ονομάζονται λωρίδες στήριξης (Εικόνα 2.2).
2. Το πλάτος μιας λωρίδας στήριξης θα πρέπει να λαμβάνεται ως το μεγαλύτερο των παρακάτω μηκών:

- α) του 25% του αθροίσματος των ανοιγμάτων l_i μεταξύ των αξόνων των υποστυλωμάτων, που είναι διατεταγμένα κάθετα στον άξονα της λωρίδας στήριξης ή
- β) της διάστασης του υποστυλώματος ή τοιχείου κάθετα στον άξονα της λωρίδας στήριξης
3. Ο άνω και κάτω διαμήκης οπλισμός της πλάκας σκυροδέματος που τοποθετείται για να παραλάβει τις εφελκόμενες δυνάμεις που προκαλούνται από την κάμψη και έχουν υπολογιστεί κατά τη σεισμική ανάλυση θα πρέπει να τοποθετηθεί εντός της λωρίδας στήριξης
4. Ο οπλισμός στις λωρίδες στήριξης θα πρέπει να ικανοποιεί τα παρακάτω:
- α) ο άνω οπλισμός σε όλο το άνοιγμα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του ενός τετάρτου ($1/4$) του άνω οπλισμού στις στήριξης
- β) ο κάτω οπλισμός σε όλο το άνοιγμα θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του ενός τρίτου ($1/3$) του άνω οπλισμού στις στήριξης
- γ) Στις στηρίξεις ο κάτω οπλισμός θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του αντίστοιχου κάτω οπλισμού στο μέσο του ανοίγματος
5. Στη ζώνη της πλάκας μεταξύ δύο λωρίδων στήριξης που ονομάζεται «ενδιάμεση λωρίδα» ο κάτω καμπτικός οπλισμός κάθετος στη λωρίδα στήριξης δεν πρέπει να είναι μικρότερος από το μισό ($1/2$) του κάτω οπλισμού στο μέσον του ανοίγματος της λωρίδας στήριξης.
6. Σε κάθε διεύθυνση, ο άνω και κάτω καμπτικός οπλισμός που παραλαμβάνει τις ροπές από την πλάκα και τις μεταφέρει στις στηρίξεις θα πρέπει να τοποθετηθεί εντός του ενεργού πλάτους της πλάκας b_{ef} , όπως αυτό ορίζεται στην παράγραφο (7).

Σημειώνεται ότι όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2 η κάθετη διάσταση του υποστυλώματος στην ισοδύναμη δοκό ορίζεται ως το πλάτος b_c ενώ η παράλληλη διάσταση του υποστυλώματος ή του τοιχείου στην ισοδύναμη δοκό ορίζεται ως το μήκος h_c .

7. Το ενεργό πλάτος της πλάκας b_{ef} θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με πλάτος b_c του υποστυλώματος προσαυξημένο σε κάθε πλευρά με το μήκος h_c ή το μήκος της προεξοχής της πλάκας a . Προσαύξηση η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει σε κάθε

πλευρά το $1.5d_v$, όπου d_v είναι το ωφέλιμο ύψος διάτμησης της πλάκας ή του drop panel. (δείτε εικόνα 2.2 για το bef)

8. Στις εσωτερικές στηρίξεις ο άνω και κάτω καμπτικός οπλισμός της πλάκας που αντιστοιχεί στο κλάσμα των θετικών και αρνητικών ροπών σχεδιασμού για σεισμό που μεταφέρονται από την πλάκα στα υποστυλώματα θα πρέπει να τοποθετείται εντός του ενεργού πλάτους της πλάκας bef. Ο συνολικός αυτός οπλισμός δεν θα πρέπει να είναι μικρότερος από το 50% του οπλισμού που απαιτείται σύμφωνα με την παράγραφο (3).
9. Στις εξωτερικές στηρίξεις ο άνω και κάτω καμπτικός οπλισμός της πλάκας που απαιτείται για να παραλάβει το σύνολο των θετικών και αρνητικών ροπών σχεδιασμού για σεισμό που θα πρέπει να τοποθετείται εντός του ενεργού πλάτους της πλάκας b_{ef} και να αγκυρώνεται σύμφωνα με την παράγραφο 10.11.2 του Ευρωκώδικα 8.
10. Πέραν των απαιτήσεων των παραγράφων (3) έως (9) ο κάτω καμπτικός οπλισμός της πλάκας πάνω από την στήριξη των υποστυλωμάτων ή των τοιχείων θα πρέπει σε κάθε διεύθυνση να ικανοποιεί τα εξής: (Εικόνα 2.3):

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Ο εν λόγω οπλισμός ονομάζεται «οπλισμός ακεραιότητας» (integrity reinforcement).

α) Θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον (4) συνεχείς ράβδοι διαμέτρου όχι μεγαλύτερης από $0,12d_v$ πάνω από το πλάτος της στήριξης, με μήκος αγκύρωσης $> d_v + l_b$, μετρούμενο από την παρειά του υποστυλώματος, όπου d_v είναι το ωφέλιμο ύψος διάτμησης της πλάκας ή του drop panel στο επίπεδο της στήριξης και l_b το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης

β) Η αντοχή σχεδιασμού για κατακόρυφα φορτία $V_{Rd,int}$ όπως υπολογίζεται από τη σχέση (1) θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κατακόρυφο φορτίο που μεταβιβάζεται στη στήριξη.

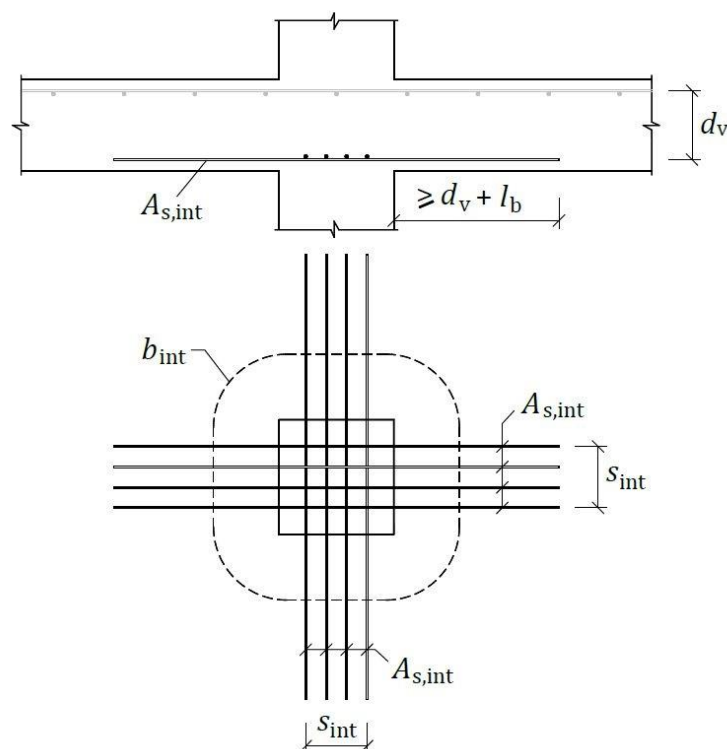
$$V_{Rd,int} = \sum A_{s,int} f_{yd} \sin \alpha \leq \frac{0.5 f_{ck}}{\gamma_c} d_v b_{int} \quad (2.1)$$

- $A_{s,int}$: διατομή οπλισμού ακεραιότητας
- f_{yd} : Όριο διαρροής σχεδιασμού του χάλυβα

- k : ο λόγος μεταξύ της εφελκυστικής αντοχής και του ορίου διαρροής του χάλυβα (f_t/f_y)
- α_{ult} : είναι η γωνία μεταξύ των οπλισμών ακεραιότητας και της επιφάνειας της πλάκας κατά την αστοχία (20° για οπλισμό κατηγορίας καμπτότητας B, 25° για οπλισμό κατηγορίας καμπτότητας C)
- f_{yk} : Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- γ_c : μερικώς συντελεστής σκυροδέματος
- b_{int} : είναι η περιφέρεια ελέγχου που ενεργοποιείται ο οπλισμός ακεραιότητας σύμφωνα με το τύπο (10.18)

$$b_{int} = \sum \left(s_{int} + \frac{\pi}{2} d_v \right) \quad (2.2)$$

s_{int} : το πλάτος της ομάδας των οπλισμών ακεραιότητας στην παρεία στήριξης (δείτε εικόνα 2.2)



Εικόνα 2.3 : Οπλισμός ακεραιότητας

11. Η αντοχή έναντι διάτρησης θα πρέπει να ελέγχεται σε όλες τις συνδέσεις της πλάκας με τα υποστυλώματα ή τα τοιχεία ή τις κεφαλές (drop panels) με βάση την περίμετρο

ελέγχου $b_{0,5}$ και το ενεργό βάθος διάτμησης της πλάκας ή της κεφαλής (drop panel) d_n όπως ορίζονται στην παρ. 2.1.2 της παρούσας (στις παρ. 8.4.2(1), (2) και (3) του EC2).

12. Κατά τον έλεγχο διάτμησης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εκκεντρότητα της διατμητικής δύναμης σύμφωνα με τις παρ. 2.1.2.1 της παρούσας (παρ. 8.4.2(6) έως (8) του EC2) χρησιμοποιώντας για όλους τους τύπους στήριξης την πιο ακριβής τιμή εκκεντρότητας e_b της δύναμης διάτμησης για εσωτερικά υποστυλώματα όπως ορίζεται στον πίνακα της εικόνας 2.4 της παρούσας (πίνακας 8.3 της παρ. 8.4.2(6) του EC2). Οι συνιστώσες της εκκεντρότητας $e_{b,x}$ και $e_{b,y}$ πρέπει να υπολογίζονται από την εφαρμογή των ροπών σχεδιασμού, σε κάθε διεύθυνση x και y , οι οποίες λαμβάνονται ίσες με τη μικρότερη από τις ακόλουθες τιμές:

α) Το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στις άνω και κάτω παρειές της πλάκας στην σύνδεση με το υποστύλωμα.

β) Η καμπτική αντοχή της πλάκας στη διατομή της στήριξης, η οποία λαμβάνεται ίση με ένα από τα παρακάτω:

- το 80% του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής του συνολικού πάχους της πλάκας που συμμετέχει σε έναν εσωτερικό κόμβο πλάκας-υποστυλώματος ή το 75% της αρνητικής ροπής αντοχής για περιμετρικά υποστυλώματα
- Σε εσωτερικά υποστυλώματα το 1,25 του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού, η οποία έχει υπολογιστεί από την παράγραφο 10.10.1(7), στο επίπεδο κάμψης της ισοδύναμης δοκού, δηλαδή κάθετα στο υποστύλωμα. Σε εξωτερικά υποστυλώματα η τιμή των αρνητικών ροπών αντοχής στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού.

13. Στους κόμβους εσωτερικών υποστυλωμάτων η αντοχή σε διάτμηση που υπολογίζεται από τον τύπο (2.9) της παρούσας (τύπος (8.94) του EC2) μπορεί να πολλαπλασιαστεί επί τον συντελεστής η_{pm} όπως δίνεται από τον τύπο (2.3).

$$\eta_{pm} = \sqrt{\frac{h}{dv}} \left(1,2 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\rho_l f_{yk}} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1 \quad (2.3)$$

14. Εναλλακτικά της παραγράφου (13) του κεφ. 8.4 του FprEN 1992-1-1:2023 όπως τροποποιήθηκε στις παραγράφους (12) έως (14) μια πλάκα χωρίς δοκούς μπορεί να ελεγχθεί σε διάτρησης στην οριακή κατάσταση σχεδιασμού σύμφωνα με τις παραγράφους (16) και (17).
15. Η αντοχή σε διάτρηση πλακών χωρίς οπλισμό διάτμησης θα πρέπει να υπολογίζεται από τον τύπο (2.3) :

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0.4(100\rho_L)^{1/3}}{\gamma_V} \sqrt{f_{ck}} \quad (2.4)$$

- όπου οι συντελεστές του καθορίζονται στην υποενότητα 2.1.2.3 της παρούσης (παρ. 8.4.3(1) του FprEN 1992-1-1:2023) με του ποσοστό του εφελκυσμένου οπλισμού να αναφέρεται στην άνω παρειά της πλάκας.
16. Για πλάκες με οπλισμό διάτμησης για τιμές η_c και η_s αντί για τους τύπους του Πίνακα 2.3 της υποενότητας 2.1.2.5 της παρούσης (τύποι (8.104) και (8.112) της παρ. 8.4.4 του FprEN 1992-1-1:2023) χρησιμοποιούνται οι τιμές: $\eta_c = 1.0$ και $\eta_s = 0.8$
17. Ο τύπος (2.5) πρέπει να αντικαταστήσει τον τύπο (2.10) της παρούσας (τον τύπο (8.109) της παρ. 8.4.4 (5) του FprEN 1992-1-1:2023

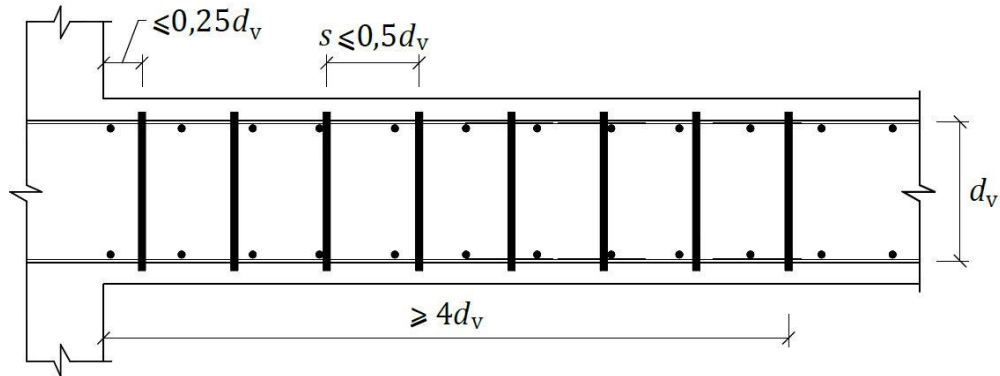
$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys}^{1/2} * \tau_{Rd,c} \quad (2.5)$$

Όπου ο συντελεστής η_{sys} δίνεται από τους τύπους (2.11) και (2.12) της παρούσας (τύποι (8.110) και (8.111) της παρ. 8.4.4(5) του FprEN 1992-1-1:2023).

Σημείωση : Γίνεται αναφορά μόνο στο κεφ. 8.4 του FprEN 1992-1-1:2022, αλλά η παρ. (14) και η εναλλακτική προσέγγιση των (15) και (16) αποτελούν μια απλούστερη προσαρμογή των διατάξεων του Παραρτήματος Ι του FprEN 1992-1-1:2023 για την διάτρηση υπό την επίδραση ροπών με αντίθετο πρόσημο,

18. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες το οπλισμού διάτρησης πρέπει να ακολουθούν της παρ. 12.5.1(1) και (2) του FprEN 1992-1-1:2023, δεν θα πρέπει όμως να χρησιμοποιούνται σπαστές ράβδοι ή άλλοι τύποι κεκλιμένων οπλισμών.
19. Ο απόσταση s των κατακόρυφων του οπλισμού (συνδετήρων) διάτρησης δεν πρέπει να υπερβαίνει το $0,5d_n$ και ο πρώτος συνδετήρας δεν θα πρέπει να

τοποθετείται σε απόσταση μικρότερη του $0,25d_v$ από την παρειά της στήριξης



Εικόνα 2.4 : Οπλισμός διάτρησης εντός των κρίσιμων διατομών πλακών χωρίς δοκούς (flat slabs)

2.2 Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης με τον Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023)

Η δεύτερη γενιά Ευρωκωδίκων τροποποίησαν τα πρότυπα τους θέλοντας να συμβαδίζουν με τον διεθνή κανονισμό Model Code που συντάσσεται από τη Διεθνή Ομοσπονδία Δομικών Σκυροδέματος FIB (International Federation for Structural Concrete) και αφορά το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη συντήρηση των κατασκευών από σκυρόδεμα. Ο διεθνής κανονισμό Model Code όσον αφορά την διάτρηση πλακών οπλισμένου σκυροδέματος βασίζεται στη Θεωρία της Κρίσιμης Διατμητικής Ρηγμάτωσης (Critical Shear Crack Theory) του Muttoni, όπου η αντοχή έναντι διάτρησης εξαρτάται από τη γωνία στροφής της πλάκας. Οι νέοι Ευρωκώδικες λοιπόν προκειμένου να διευκολύνεται η χρήση των εξισώσεων από τους μελετητές, εισήγαγαν απλοποιημένες σχέσεις κλειστής μορφής, οι οποίες έχει αποδειχτεί πως περιγράφουν ικανοποιητικά την πραγματικότητα, σύμφωνα με την προαναφερθείσα Θεωρία της Κρίσιμης Διατμητικής Ρηγμάτωσης.

2.2.1 Απαιτούμενοι Έλεγχοι

Οι κανονιστικές διατάξεις που παρουσιάζονται καλύπτουν το φαινόμενο της διάτρησης σε συμπαγείς και δοκιδωτές (με συμπαγή τμήματα στις κεφαλές των υποστυλωμάτων) πλάκες χωρίς δοκούς. Οι κανόνες έχουν εφαρμογή κατ' αναλογία και στην περίπτωση των

θεμελίων. Κατά τον σχεδιασμό έναντι διάτρησης πραγματοποιούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

- $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c,min}$

Εφόσον η δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} εκτός της περιμέτρου ελέγχου $b_{0,5}$ είναι μικρότερη ή ίση της ελάχιστης διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,c,min}$, οι λεπτομερείς υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής της σύνδεσης παραλείπονται. Η ελάχιστη διατμητική αντοχή $\tau_{Rd,c,min}$, εξασφαλίζει πως το δομικό μέλος θα φτάσει τη διατμητική αντοχή του για το ίδιο φορτίο για το οποίο θα διαρρεύσει ο εφελκυσμένος οπλισμός του

- $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,c}$

Σε περίπτωση που η δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} στην περίμετρο $b_{0,5}$ δεν ξεπερνά την τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης $\tau_{Rd,c}$ δεν απαιτείται η προσθήκη διατμητικού οπλισμού στην περιοχή της πλάκας γύρω από το υποστυλώμα.

- $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,max}$

Έχοντας ως δεδομένο ότι δεν ικανοποιείται η προαναφερθείσα σχέση (άρα ισχύει $\tau_{Ed} > \tau_{Rd,max}$) και απαιτείται τοποθέτηση διατμητικού οπλισμού, η δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} στην περίμετρο ελέγχου $b_{0,5}$ δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,max}$. Σε περίπτωση υπέρβασης συνιστάται αλλαγή των διαστάσεων της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος καθώς η προσθήκη οπλισμού θεωρείται μη αποτελεσματική.

- $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd,cs}$

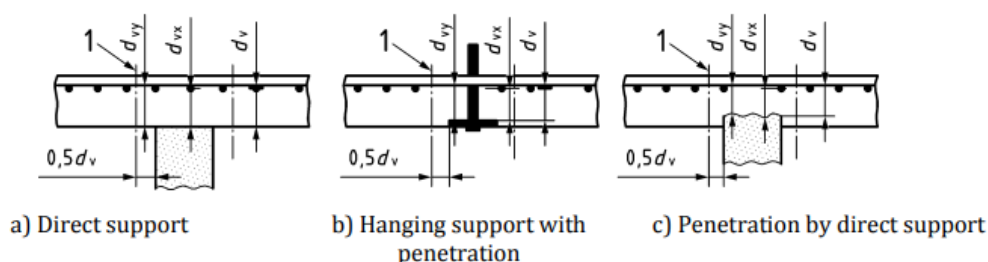
Τέλος υπολογίζεται το εμβαδόν του απαιτούμενου διατμητικού οπλισμού ώστε η τιμή σχεδιασμού της διατμητικής αντοχής σε πλάκα με οπλισμό διάτρησης $\tau_{Rd,cs}$ να είναι μεγαλύτερη της δρώσας διατμητικής τάσης τ_{Ed} . Ο οπλισμός που θα τοποθετηθεί πρέπει επίσης να ικανοποιεί της κατασκευαστικές διατάξεις που περιγράφονται στην παράγραφο στο Κεφάλαιο 12 του Ευρωκώδικα

2.2.2 Διαδικασία Υπολογισμών

Αρχικά ορίζεται το στατικό ύψος της πλάκας έναντι διάτμησης, της πλάκας d_v . Η τιμή του ισούται με την απόσταση μεταξύ της περιοχής στήριξης και του μέσου επιπέδου των στρώσεων οπλισμού και υπολογίζεται με βάση τη σχέση:

$$d_v = \frac{d_{vx} + d_{vy}}{2} \quad (2.6)$$

όπου, d_{vx} και d_{vy} τα στατικά ύψη των διαμήκων οπλισμών της πλάκας, όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.5

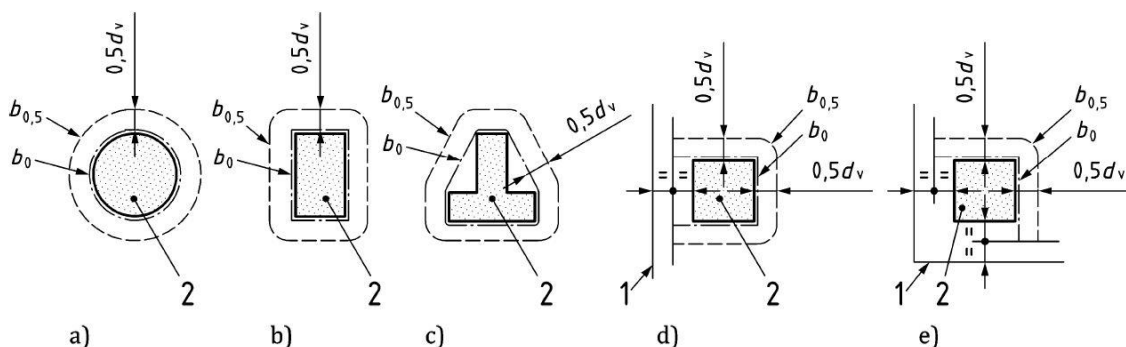


Εικόνα 2.5 : Στατικό ύψος έναντι διάτμησης της πλάκας d_v με βάση το επίπεδο της περιοχής στήριξης

Εν συνεχεία υπολογίζονται οι **περίμετροι** στην σύνδεση πλάκας υποστυλώματος που επιρεάζονται κατά το φαινόμενο της διάτμησης και εμπλέκονται στους υπολογισμούς των διατμητικών τάσεων και είναι οι:

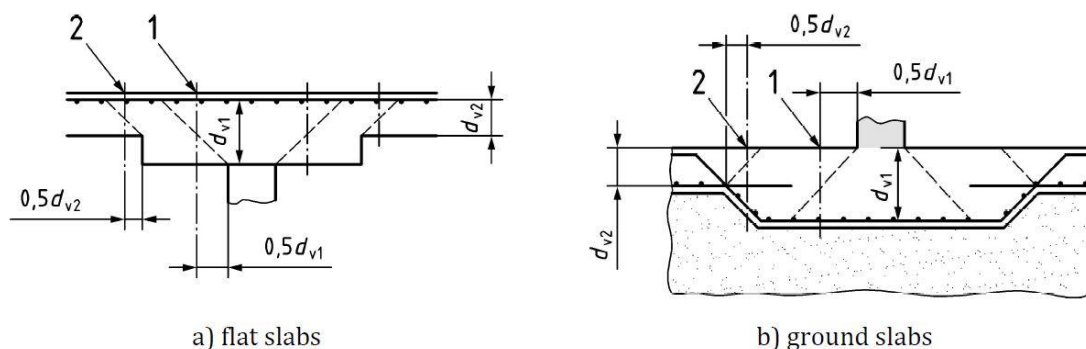
b_0 : Περίμετρος της επιφάνειας στήριξης και σχεδιάζεται έτσι ώστε το μήκος της να είναι το μικρότερο δυνατό. Για παράδειγμα, σε υποστυλώματα σχήματος Γ ή Τ δεν λαμβάνεται το περίγραμμά τους αλλά ένα κυρτό πολύγωνο (Εικόνα 2.6).

$b_{0,5}$: Περίμετρος ελέγχου η οποία απέχει από την b_0 απόσταση $0.5d_v$ και απαιτείται για τον υπολογισμό της τ_{Ed} . Σχεδιάζεται με στρογγυλεμένες γωνίες (Εικόνα 2.6), ώστε να προκύπτει το μικρότερο δυνατό μήκος της (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6 : Παραδείγματα περιμέτρων b_0 και περιμέτρων ελέγχου $b_{0,5}$

Σε περιπτώσεις όπου το πάχος της πλάκας μεταβάλλεται στην περιοχή της κεφαλής του υποστυλώματος, πρέπει να εξετάζονται δύο περίμετροι ελέγχου και να λαμβάνεται υπόψιν η δυσμενέστερη (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 : Περίμετροι ελέγχου σε περιοχές αύξησης του πάχους της πλάκας

2.2.2.1 Δρώσα Διατμητική αντοχή

Στο επόμενο βήμα υπολογίζεται η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού, ανηγμένη στην επιφάνεια ελέγχου και πολλαπλασιασμένη με έναν συντελεστή εκκεντρότητας από με τη σχέση:

$$\tau_{Ed} = \beta_e \frac{V_{Ed}}{b_{0,5}d_v} \quad (2.7)$$

Όπου :

V_{Ed} είναι η τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού στην αντίστοιχη περίμετρο ελέγχου (αφαιρουμένων όλων των ευνοϊκών φορτίων

β_e : συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψιν τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης λόγω συγκεντρώσεων τεμνουσών δυνάμεων (Εικόνας 2.4).

Support	Approximated	Refined ^a	
internal columns	$\beta_e = 1,15$	$\beta_e = 1 + 1,1 \frac{e_b}{b_b}$ $\geq 1,05$	where $e_b = \sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}$
edge columns	$\beta_e = 1,4$		where $e_b = 0,5 e_{b,x} + e_{b,y} $
corner columns	$\beta_e = 1,5$		where $e_b = 0,27(e_{b,x} + e_{b,y})$
ends of walls	$\beta_e = 1,4$		
corners of walls	$\beta_e = 1,2$		

^a $e_{b,x}, e_{b,y}$ are the eccentricities of the line of action of the support forces with respect to the centroid of the control perimeter. The line of action of the support forces should be determined accounting for the axial force and the moments in the two directions transferred by the slab to the support (including the internal forces in a column above the slab if present). The control perimeter for calculating its centroid may be simplified replacing parts of circles by corners (see Figure 8.21 a)) and where the straight segments are not limited to $3d_v$ according to (3);

b_b is the geometric mean of the minimum and maximum overall widths of the control perimeter (see Figure 8.21 b)). Where the length of straight segments of the control perimeter are limited to $3d_v$ according to (3), the overall width of the control perimeter should not be reduced):

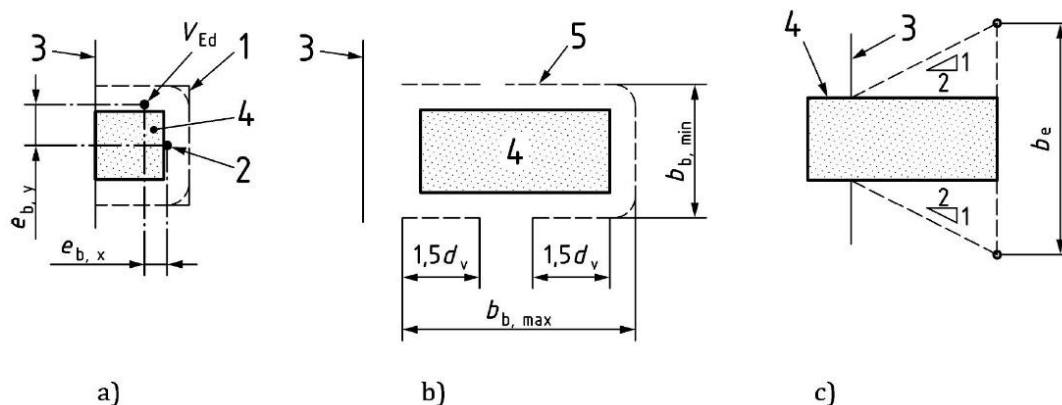
$$b_b = \sqrt{b_{b,min} \cdot b_{b,max}}$$

Εικόνα 2.8 : Πίνακας προσδιορισμού του συντελεστή εκκεντρότητας β_e , πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)

Όπου :

e_{bx} και e_{by} : οι συνιστώσες της εκκεντρότητας της αντίδρασης των τεμνουσών δυνάμεων σε σχέση με το κέντρο της περιμέτρου ελέγχου (Εικόνα 3.5)

b_b : ο γεωμετρικός μέσος του ελαχίστου και μεγίστου πλάτους της περιμέτρου ελέγχου όπως αυτά ορίζονται στην Εικόνα 3.5(b).



Εικόνα 2.9 : Προσδιορισμός εκκεντροτήτων του πίνακα της Εικόνας 3.4, πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)

(1: Απλοποιημένη περίμετρος ελέγχου για προσδιορισμό του κέντρου της, 2: κέντρο της περιμέτρου ελέγχου, 3: Άκρο πλάκας, 4: Υποστύλωμα, 5: Περίμετρος ελέγχου)

2.2.2.2 Ελάχιστη διατμητική αντοχή

Για τον έλεγχο απαλλαγής λεπτομερών υπολογισμών για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής της σύνδεσης πλάκας υποστυλώματος υπολογίζουμε την ελάχιστη διατμητική αντοχή $\tau_{Rd,c,min}$ από τη σχέση :

$$\tau_{Rd,c,min} = \frac{11}{\gamma_V} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}} \quad (2.8)$$

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές που απαιτούνται για τον υπολογισμό της ελάχιστης διατμητικής αντοχής

Πίνακας 2.1: Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,c,min}$	
Συμβολισμός	Επεξήγηση
γ_V	μερικός συντελεστής ασφαλείας για σχεδιασμό έναντι τέμνουσας σύμφωνα με τον πίνακα τον Πίνακα 4.3 (NDP) ή Πίνακα A.1 (NDP) και A.2 (NDP)
d_{dg} (mm)	παράμετρος μεγέθους (σε mm) που περιγράφει την τραχύτητα της ζώνης αστοχίας η οποία εξαρτάται από τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών
d (mm)	το μέσο στατικό ύψος της πλάκας (σε mm)
f_{ck}	χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος
f_{yd}	η τιμή σχεδιασμού της αντοχής του χάλυβα των οπλισμών κάμψης

2.2.2.3 Αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης

Η αντοχή έναντι διάτρησης της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος, χωρίς την προσθήκη εγκάρσιου διατρητικού οπλισμού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0,6}{\gamma_V} k_{pb} (100 \rho_l f_{ck} \frac{d_{dg}}{d_v})^{1/3} \leq \frac{0,5}{\gamma_V} \sqrt{f_{ck}} \quad (2.9)$$

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές που απαιτούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης

Πίνακας 2.2: Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,c}$	
Συμβολισμός	Επεξήγηση
γ_V	μερικός συντελεστής ασφαλείας για σχεδιασμό έναντι τέμνουσας σύμφωνα με τον πίνακα τον Πίνακα 4.3 (NDP) ή Πίνακα A.1 (NDP) και A.2 (NDP)

k_{pd}	αυξητικός συντελεστής διάτρησης που υπολογίζεται με βάση τη σχέση: $1 \leq k_{pb} = 3.6 \sqrt{1 - \frac{b_0}{b_{0.5}}} \leq 2.5$
ρ_l	ο γεωμετρικός μέσος ($\rho_l = \sqrt{\rho_{l,x}\rho_{l,y}}$) των γεωμετρικών ποσοστών $\rho_{l,x}, \rho_{l,y}$ των εφελκόμενων οπλισμών κάμψης, με συνάφεια, στις διευθύνσεις x και y αντίστοιχα. Οι τιμές $\rho_{l,x}$ και $\rho_{l,y}$ πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές, λαμβάνοντας υπόψη πλάτος πλάκας ίσο με b_s
d_{dg} (mm)	παράμετρος μεγέθους (σε mm) που περιγράφει την τραχύτητα της ζώνης αστοχίας η οποία εξαρτάται από τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών
d (mm)	το μέσο στατικό ύψος της πλάκας (σε mm)

2.2.2.4 Μέγιστη τιμή σχεδιασμού διατρητικής αντοχής

Έχοντας υπολογίσει την αντοχή έναντι διάτρησης υπολογίζουμε την μέγιστη αντοχή σχεδιασμού από τη σχέση :

$$\tau_{Rd,max} = \eta_{sys} \cdot \tau_{Rd,c} \quad (2.10)$$

Όπου η_{sys} συντελεστής που αφορά την επίδοση των διαφόρων συστημάτων διατρητικών οπλισμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υπολογίζεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$\eta_{sys} = 0,70 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{1/4} \geq 1.0 \text{ για ήλους} \quad (2.11)$$

$$\eta_{sys} = 0,50 + 0,63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{1/4} \geq 1.0 \text{ για συνδετήρες} \quad (2.12)$$

2.2.2.5 Αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης

Σε περιπτώσεις που απαιτείται ο οπλισμός διάτρησης υπολογίζεται η αντοχή σε διατρήσης για απαιτούμενο οπλισμό ώστε να παραλάβει την δρώσα διατμητική τάση από την σχέση :

$$\tau_{Rd,cs} = \eta_c \tau_{Rd,c} + n_s \rho_w f_{ywd} \geq \rho_w f_{ywd} \quad (2.13)$$

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντελεστές που απαιτούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης

Πίνακας 2.3 : Συντελεστές υπολογισμού διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,cs}$	
Συμβολισμός	Επεξήγηση
η_c	$\eta_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed}$

$\tau_{Rd,c}$	η αντοχή σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης
η_s	$n_s = \frac{d_v}{150\varphi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v}\right)^{1/2} \left(\frac{1}{n_c k_{pb}}\right)^{3/2} \leq 0.8$
φ_v	η διάμετρος του εγκάρσιου οπλισμού διάτρησης
ρ_w	το γεωμετρικό ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού διάτρησης στην εξεταζόμενη περίμετρο που προκύπτει από τη σχέση : $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r s_t}$
A_{sw}	το εμβαδόν ενός σκέλους συνδετήρα
s_r	η ακτινική απόσταση των διατρητικών οπλισμών
s_t	η μέση εφαπτομενική απόσταση των διατρητικών οπλισμών των περιμέτρων όπλισης, μετρημένη στην εκάστοτε εξεταζόμενη περίμετρο ελέγχου

2.2.3 Διατάξεις κατασκευής οπλισμού έναντι διάτρησης

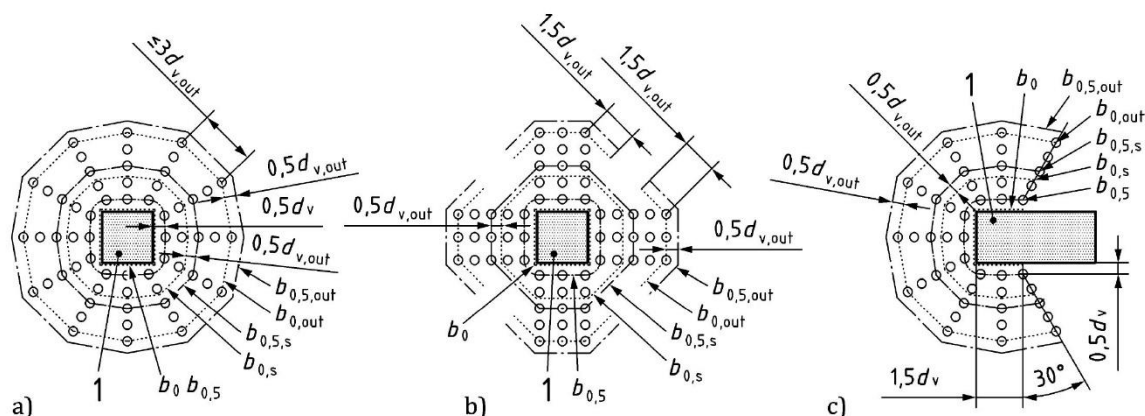
Ο απαιτούμενος οπλισμός που υπολογίζεται από την παραπάνω διαδικασία πρέπει να λάβει υπόψη του τις διατάξεις κατασκευής των οπλισμών έναντι διάτρησης που περιγράφονται στο κεφάλαιο 12.5 του Ευρωκώδικα 2. Η μέγιστη επιτρεπόμενη διάμετρος κάθε σκέλους διατμητικού οπλισμού $\varphi_{w,max}$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\varphi_{w,max} = 10\sqrt{d/200} \text{ για μονότμητους και ανοιχτούς συνδετήρες}$$

$$\varphi_{w,max} = 11\sqrt{d/200} \text{ για κλειστούς συνδετήρες}$$

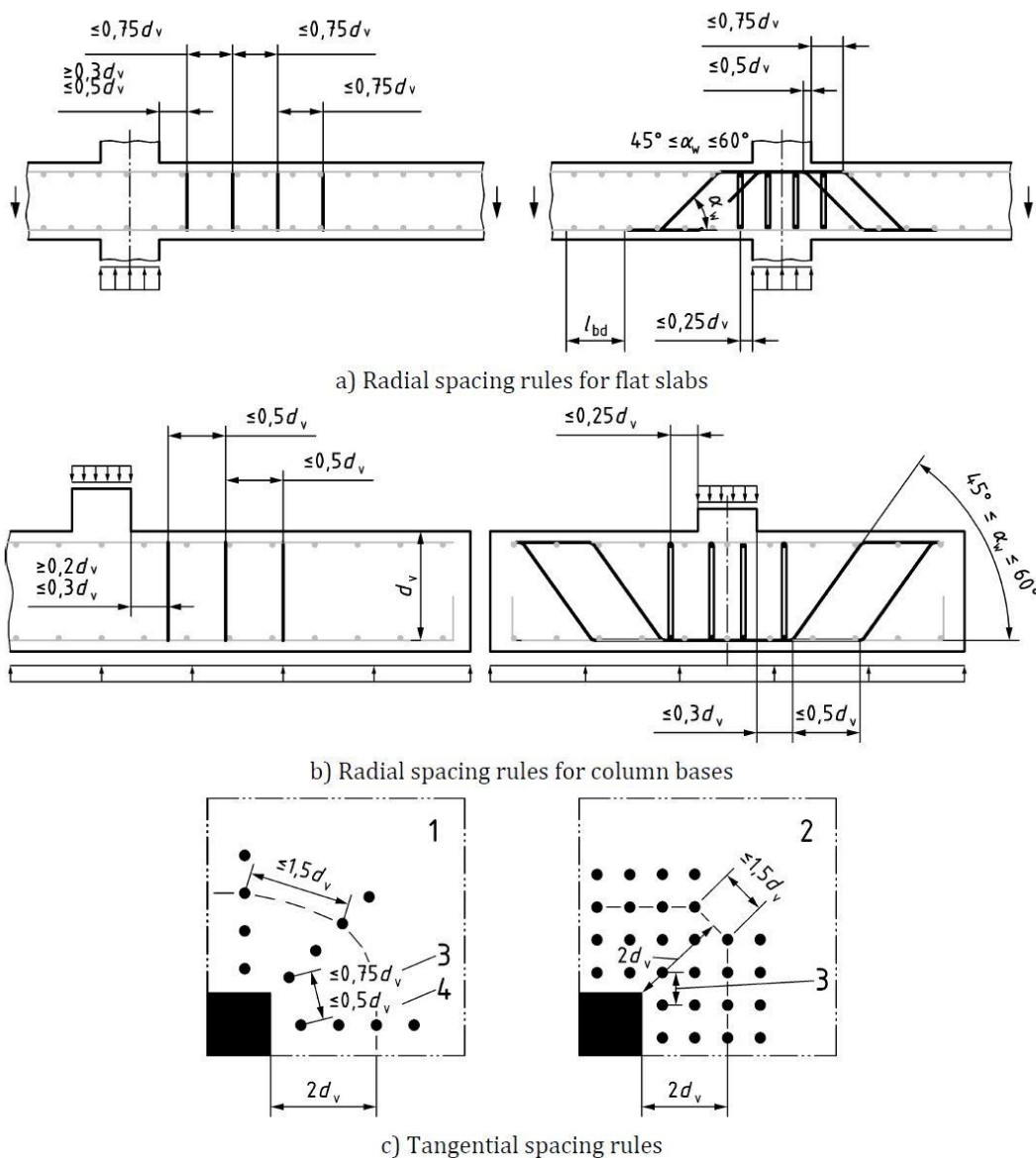
$$\varphi_{w,max} = 16\sqrt{d/200} \text{ για κεκαμμένες ράβδους και διατμητικούς ήλους}$$

Ο οπλισμός τοποθετηθεί εντός της περιμέτρου ελέγχους $b_{0.5,out}$ η οποία πρέπει να είναι μικρότερη τιμής $d_{v,out}$ και υπολογίζεται ανάλογα με την διάτξη των οπλισμών και το είδος την στήριξης όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.10



Εικόνα 2.10 : Περίμετροι ελέγχου για α) ακτινική διάταξη ($b_{0,5,s}$ και $b_{0,s}$ αναφέρονται στην περίπτωση της 3ης περιμέτρου του οπλισμού διάτρησης), β) σταυροειδείς διάταξη γ) τοποθέτηση σε άκρα τοιχωμάτων, γωνίες τοιχωμάτων, μεγάλα και επιμήκη υποστυλώματα πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)

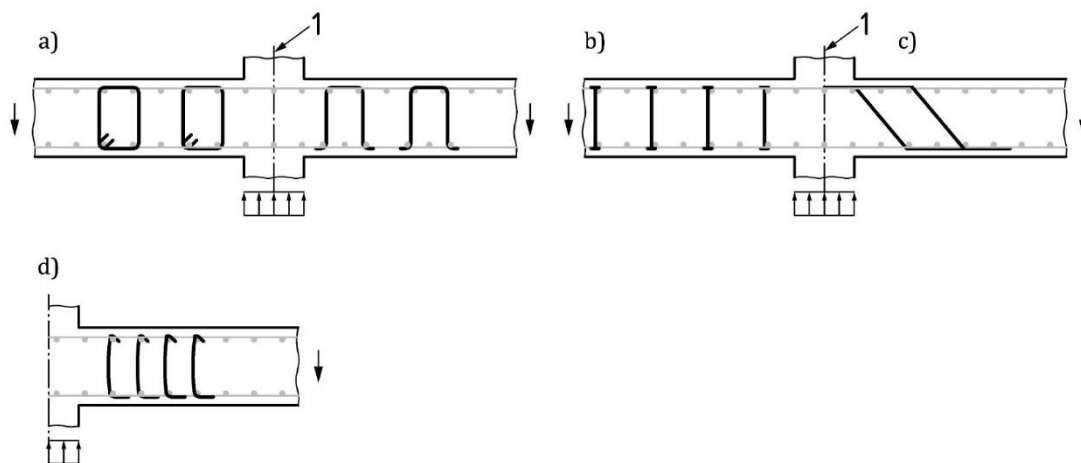
Εάν χρησιμοποιηθούν συνδετήρες ή ήλοι πρέπει να τοποθετηθούν τουλάχιστον δύο περίμετροι όπλισης, ενώ για τις κεκαμμένες ράβδους μία περίμετρος κρίνεται επαρκής. Οι απαιτούμενες ακτινικές κα εφαπτομενικές αποστάσεις των οπλισμών παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.10 και 2.11 (στην απλοποιημένη τους μορφή χωρίς λεπτομέρειες αγκύρωσης). Οι απαιτούμενες ακτινικές κα εφαπτομενικές αποστάσεις των οπλισμών παρουσιάζονται στις Εικόνες 2.11 (α,β & γ) (στην απλοποιημένη τους μορφή χωρίς λεπτομέρειες αγκύρωσης).



Εικόνα 2.11 : Κανόνες εφαπτομενικών αποστάσεων για πλάκες χωρίς δοκούς, πηγή: (FprEN 1992-1-1:2023)

Είδη διατμητικών οπλισμών

Τα συνηθέστερα είδη οπλισμών έναντι διάτρησης που επιλέγονται είναι οι συνδετήρες (μονότμητοι ή δίτμητοι), διατμητικοί ήλοι διπλής κεφαλής και κεκαμμένες ράβδοι όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.12



Εικόνα 2.12 : Είδη διατμητικών οπλισμών

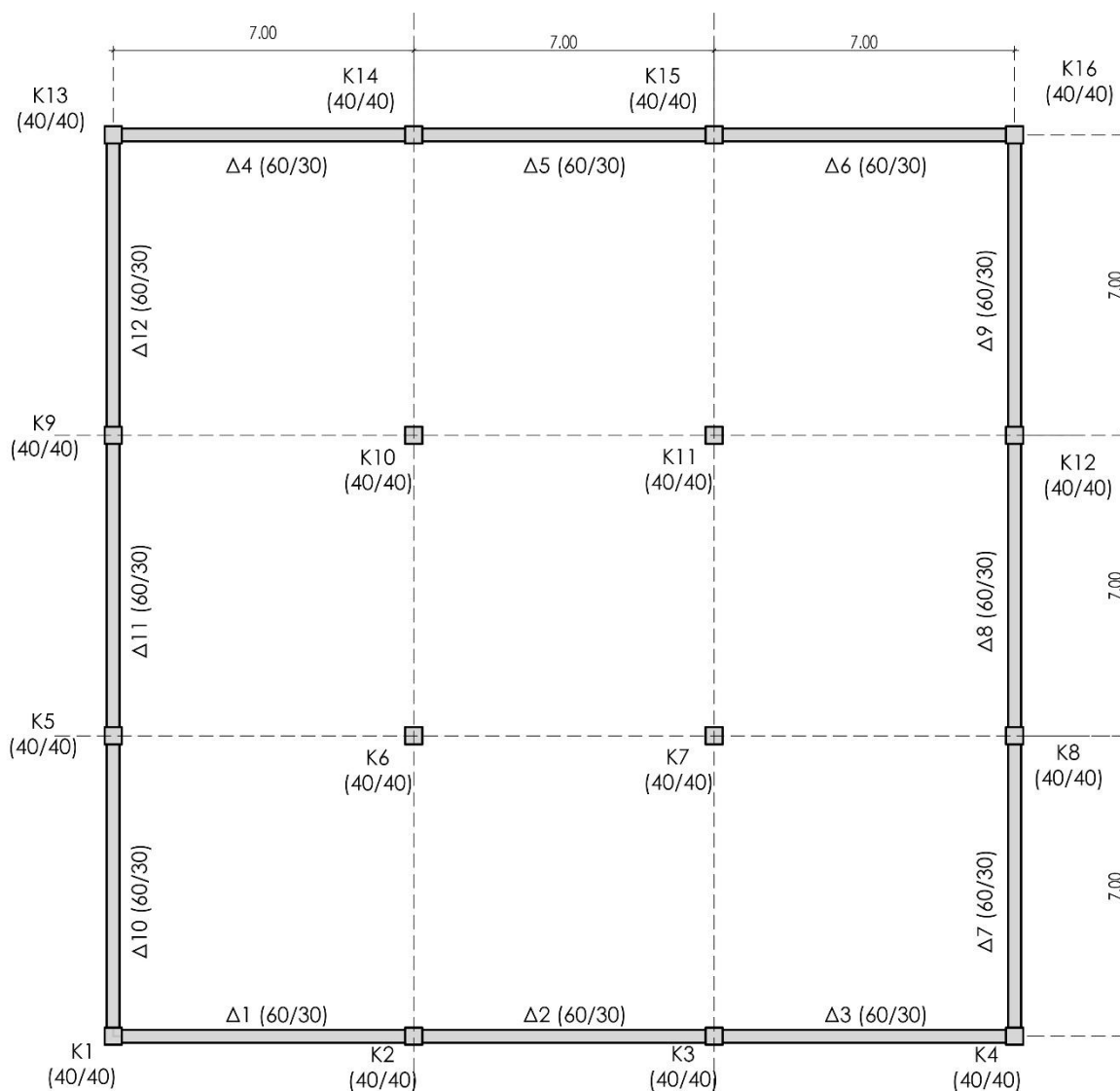
3. Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση τριώροφου κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς

3.1 Εισαγωγή

Κάνοντας χρήση του λογισμικού SAP2000 θα αναλύσουμε ένα τριώροφο κτίριο χωρίς δοκούς στο οποίο οι πλάκες θα προσομοιωθούν με καμπτικά τρισδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» οι οποίες είναι πρισματικά στοιχεία που συνδέουν τα κάθετα στοιχεία έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί γραμμική ανάλυση. Ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση του φορέα και των ισοδύναμων δοκών θα πραγματοποιηθεί βάσει των απαιτήσεων του Ευρωκώδικα 2 καθώς και των παραγράφων της ενότητας 10.10 του EC8 της δεύτερης (2ης) γενιάς των Ευρωκωδίκων που αφορούν τις βασικές αρχές σχεδιασμού ενός κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς όπως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας εργασίας. Στην συνέχεια θα διαστασιολογούμε τον φορέα με τον Ευρωκώδικα 2 και των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8. Στο επόμενο βήμα θα τροποποιούμε το υπάρχον μοντέλο στο SAP2000 και θα αντικαθιστούμε τις ισοδύναμες δοκούς με κανονικές δοκούς με στόχο να πραγματοποιήσουμε γραμμική ανάλυση. Τέλος θα συγκρίνουμε τα δύο αυτά μοντέλα ως προς τις απαιτήσεις οπλισμού και κατ' επέκταση την πλαστιμότητα του κάθε φορέα και τελικώς την απόκριση τους στον σεισμό.

3.2 Περιγραφή φορέα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε ένα τριώροφο κτίριο το οποίο η κάτοψη του κάθε επιπέδου θα αποτελείται από τρία (3) φατνώματα των 7 m. σε κάθε διεύθυνση, δηλαδή συνολικά 21 m x 21 m. με υποστυλώματα διατομής 40x40 cm. Περιμετρικά θα υπάρχουν δοκοί διατομής 60x30. Το ύψος του κάθε ορόφου θα είναι 3 μ. (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 : Κάτοψη τυπικού επιπέδου με αρίθμηση των κάθετων και κατακόρυφων στοιχείων

3.2.1 Πάχος πλάκας

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Ευρωκώδικα 8 (EC8) και συγκεκριμένα βάσει της παρ. 3 της ενότητας 2.1.1 της παρούσας (του εδαφίου 4 της παραγράφου 10.10 του EC8), ορίζεται ότι το ελάχιστο πάχος της πλάκας d δεν θα πρέπει να υπολείπεται του 3.5% του μέγιστου ανοίγματος. Για το εξεταζόμενο άνοιγμα των 7 m. Το απαιτούμενο πάχος της πλάκας προκύπτει:

$$d \geq 0.035 \times 7 \text{ m} \Rightarrow d \geq 0.245 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας επιπλέον υπόψη τις διατάξεις της Ενότητας 9.3 του Ευρωκώδικα 2 (EC2) που αφορούν την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας και λόγω του μεγάλου ανοίγματος των

7 m. και με σκοπό την αποφυγή υπερβολικών παραμορφώσεων και τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας της κατασκευής, κρίθηκε απαραίτητο να αυξηθεί το πάχος της πλάκας και τελικώς επιλέγεται πάχος πλάκας $d = 0.30 \text{ m}$.

3.2.2 Ισοδύναμη δοκός

Το σύστημα πλάκας υποστυλωμάτων θα προσομοιωθεί με καμπτικά τριασδιάστατα πλαίσια που θα αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» οι οποίες είναι πρισματικά στοιχεία που συνδέουν τα κάθετα στοιχεία και στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί γραμμική φασματική ανάλυση.

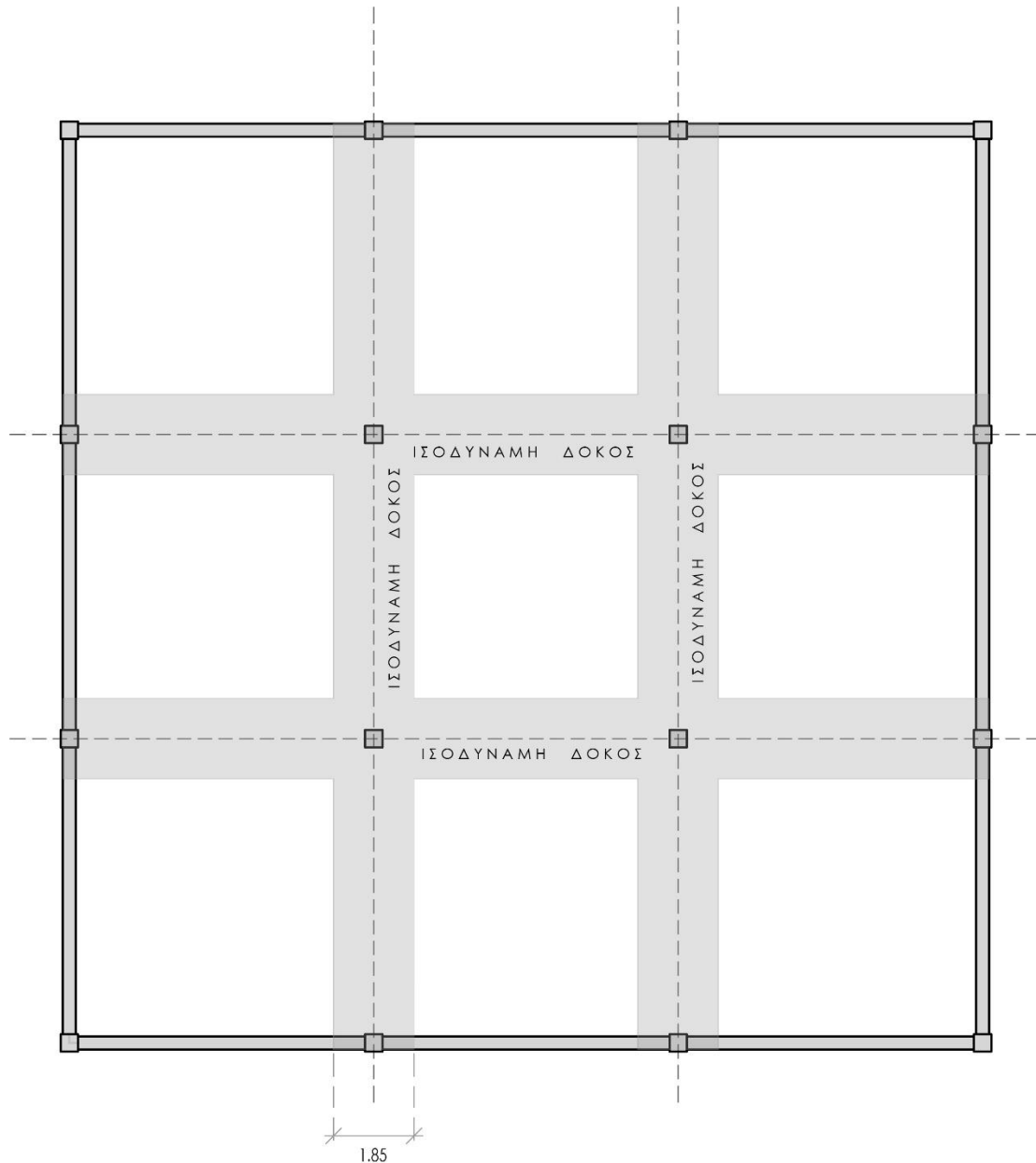
Το πλάτος της ισοδύναμης δοκού θα υπολογιστεί βάσει της παρ. 6 της ενότητας 2.2.1 (παρ.7 της ενότητας 10.10 του EC8) και θα πρέπει να είναι η μικρότερη τιμή των παρακάτω:

1) την απόσταση από τον άξονα της ισοδύναμης δοκού ως την άκρη της πλάκας δηλαδή 7.20 m.

2) την μισή κάθετη απόσταση μεταξύ των αξόνων από την πλησιέστερη παράλληλη «ισοδύναμη δοκό» και $\frac{L_i}{2} = \frac{7}{2} = 3.50 \text{ m}$

3) το άθροισμα του μισού (1/2) της διατομής του υποστυλώματος κάθετα στον άξονα της «ισοδύναμης δοκού», και του (1/4) ενός τετάρτου του καθαρού ανοίγματος μεταξύ των υποστυλωμάτων. $\frac{D_{col}}{2} + \frac{L_i}{4} = \frac{0.4}{2} + \frac{6.60}{4} = 1.85 \text{ m}$

Συνεπώς η ισοδύναμη δοκός θα έχει πλάτος 1.85 m.



Εικόνα 3.2 : Ισοδύναμη δοκός για προσομοίωση πλάκας χωρίς δοκούς σε καμπτικά πλαίσια

3.3 Φορτία

3.3.1 Κατακόρυφα φορτία

Τα μόνιμα φορτία υπολογίστηκαν βάσει του πάχους της πλάκας και μιας τυπικής επικάλυψης ενώ η επιλογή των κινητών φορτίων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τα οριζόμενα του Ευρωκώδικα I του παρακάτω πίνακα:

Κατηγορίες φορτιζόμενων επιφανειών	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Κατηγορία Α και Κατηγορία Β		
-Δάπεδα	2,0	2,0
-Σκάλες	3,5	2,0
-Μπαλκόνια	5,0	3,0
Κατηγορία C		
-C1	3,0	3,0
-C2	5,0	4,0
-C3	5,0	4,0
-C4	5,0	4,0
-C5	7,5	4,5
Κατηγορία D		
-D1	5,0	4,0
-D2	5,0	4,0

Εικόνα 3.3 : Φορτία επιβαλλόμενα σε δάπεδα, εξώστες και κλίμακες κτιρίων βάσει EC1 (Εκπαιδευτικές Διαφάνειες ΤΕΕ)

Για την μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων των πλακών στις περιμετρικές δοκούς αλλά και στις ισοδύναμες δοκούς κάναμε χρήση της διάδοσης των δυνάμεων υπό 45° και συνεπώς για πλάκα: $d = 30 \text{ cm}$ έχουμε σε κάθε δοκό τριγωνικό φορτίο (Εικόνα 3.4) με μέγιστο στη μέση της κάθε δοκού τα παρακάτω:

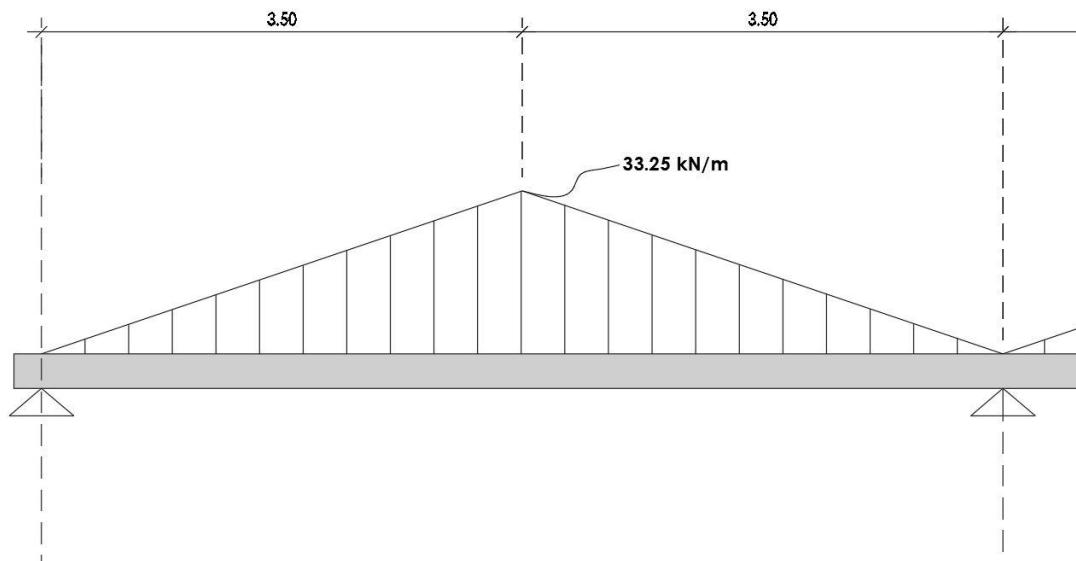
Μόνιμες δράσεις :

- $G_{IB} = 25 \text{ kN/m}^3 * 3.5 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 26.25 \text{ kN/m}$
- $G_{επικ.} = 2 \text{ kN/m}^2 * 3.5 \text{ m} = 7 \text{ kN/m}$

Συνεπώς $G = 26.25 + 7 = 33.25 \text{ kN/m}$

Κινητά δράσεις :

- $Q = 2 \text{ kN/m}^2 * 3.5 \text{ m} = 7 \text{ kN/m}$



Εικόνα 3.4 : Τριγωνικό φορτίο στις δοκούς

3.3.2 Σεισμικά φορτία

Για τον προσδιορισμό των σεισμικών δράσεων στο κτίριο, εφαρμόστηκε η δυναμική φασματική ανάλυση με χρήση του ελαστικού φάσματος σχεδιασμού που ορίζει ο Ευρωκώδικας 8 για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι με επιτάχυνση σχεδιασμού 0,16 g και κατηγορία εδάφους Β. Το φάσμα σχεδιασμού που χρησιμοποιήθηκε κατά τον EC8 περιγράφεται από τις παρακάτω εξισώσεις :

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

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

$$S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q} \frac{T_C}{T} \geq \beta a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g S \frac{2.5}{q} \frac{T_C T_D}{T^2} \geq \beta a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4s$$

Όπου,

a_g η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού όπως προκύπτει από τη σχέση $a_g = a_{gR} \gamma_1$

όπου, a_{gR} η ενεργός εδαφική επιτάχυνση ίση με 0,16 g για Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας II και γι' ο συντελεστής σπουδαιότητας ίσος με 1,2 για Κατηγορία Σπουδαιότητας II.

S ο συντελεστής εδάφους

TB η περίοδος κάτω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

TC η περίοδος άνω ορίου του κλάδου σταθερής φασματικής επιτάχυνσης

TD η τιμή της περιόδου που ορίζει την αρχή της περιοχής σταθερής μετακίνησης του φάσματος

Συντελεστής συμπεριφοράς

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q αποτελεί έναν λόγο σεισμικών δυνάμενων στις οποίες θα υποβαλλόταν ο φορέας εάν η απόκρισή του ήταν απεριόριστα ελαστική, με ιξώδες 5%, προς τις σεισμικές δυνάμεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη, με ένα συμβατικό προσομοίωμα ελαστικής ανάλυσης. Η ανώτατη τιμή του (ίδια για τις δύο διευθύνσεις λόγω συμμετρίας) προέκυψε από τη σχέση:

$$q = q_0 k_w$$

όπου το q εξαρτάται από τον τύπο του στατικού συστήματος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1 : Βασική τιμή συντελεστή συμπεριφοράς q_0		
ΤΥΠΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΚΠΜ	ΚΠΥ
Πλαισιωτό σύστημα, διπλό σύστημα, σύστημα συζευγμένων τοιχωμάτων	$3.0 a_u/a_1$	$4.5 a_u/a_1$
Σύστημα ασύζευκτων τοιχωμάτων	3.0	3.0
Στρεπτικά εύκαμπτο σύστημα	2.0	3.0
Σύστημα ανεστραμμένου εκκρεμούς	1.5	2.0

Ο συντελεστής k_w εκφράζει την κυρίαρχη μορφή αστοχίας σε στατικά συστήματα με τοιχώματα και υπολογίζεται ως εξής:

$$k_w = \left\{ \begin{array}{l} 1.00 \text{ για πλαισιωτά και ισοδύναμα προς πλαισιωτά συστήματα τοιχωμάτων} \\ 0.5 \leq \frac{(1 + \alpha_0)}{2} \leq 1, \text{ για συστήματα τοιχωμάτων, ισοδύναμα προς τοιχωματικά} \\ \text{διπλά συστήματα και στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα} \end{array} \right\}$$

Το α_0 είναι κυριαρχούσα τιμή του λόγου όψεως των τοιχωμάτων του στατικού συστήματος και εάν οι λόγοι όψεως h_{wi}/l_{wi} όλων των τοιχωμάτων i του στατικού συστήματος δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, τότε μπορεί να υπολογιστεί από τον εξής τύπο:

$$\alpha_0 = \sum h_{wi} / \sum l_{wi}$$

Όπου

h_{wi} είναι το ύψος του τοιχώματος i

l_{wi} είναι το μήκος της διατομής του τοιχώματος i

Υπολογισμός q

Λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουμε δοκούς και συνεπώς δεν μπορεί να θεωρηθεί πλαισιωτή κατασκευή μας ο ισοδύναμος τύπος στατικού συστήματος είναι τα στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα και το $q_0 = 2.0$. Συνεπώς $q_x = q_y = 2 \times 1 \rightarrow \mathbf{q = 2}$

Συνδυασμοί φόρτισης

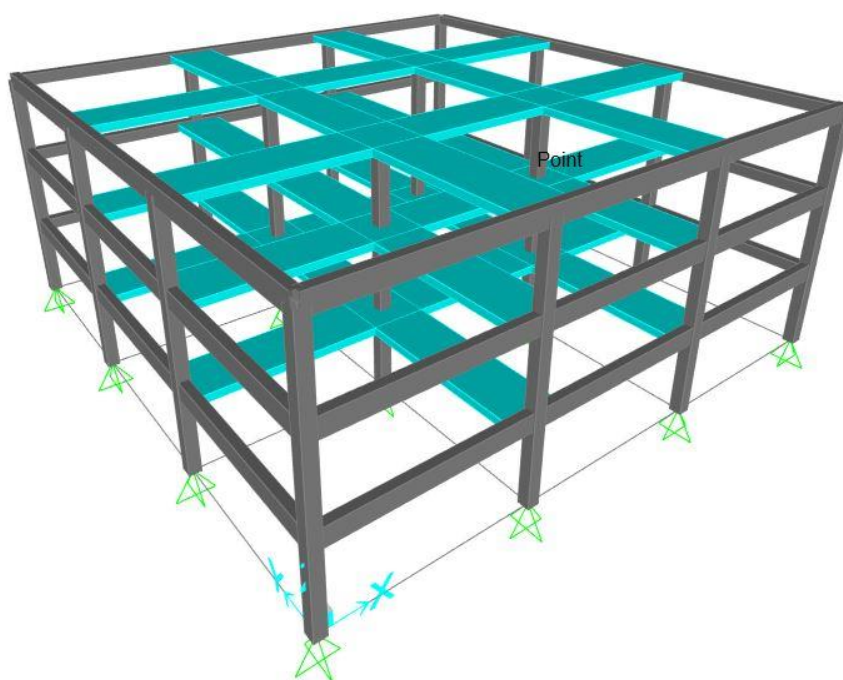
Για τη διαστασιολόγηση ορίστηκαν οι συνδυασμοί φορτίσεων, όπως ορίζονται από το Μέρος 0 του Ευρωκώδικα, για την Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ο.Κ.Α.). Δεδομένου ότι αγνοήθηκε η επιρροή θερμοκρασιακών μεταβολών, ερπυσμού και συστολής ξήρανσης, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι συνδυασμοί για την εξαγωγή των εντατικών μεγεθών των ανάλογων ελέγχων:

- $1.35G + 1.5Q$
- $G + 0.3Q \pm E_x + 0.3E_y$
- $G + 0.3Q \pm E_y + 0.3E_x$

3.4 Προσομοίωση Κτιρίου

3.4.1 Περιγραφή μοντέλου

Βάσει όλων των παραπάνω και κάνοντας χρήση του λογισμού SAP2000 για το κτίριο χωρίς δοκούς που εξετάζουμε χρησιμοποιήθηκαν μόνο γραμμικά πεπερασμένα στοιχεία ώστε να προσομοιωθούν τα υποστυλώματα, οι ισοδύναμες δοκοί και οι περιμετρικές δοκοί. (Εικόνα 3.5). Επιλέχθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C25/30, ενώ η εισαγωγή των ιδιοτήτων του πραγματοποιήθηκε με βάση τις προδιαγραφές του Ευρωκώδικα.



Εικόνα 3.5 : Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου στο λογισμικό SAP2000

3.4.2 Ορισμός υλικών

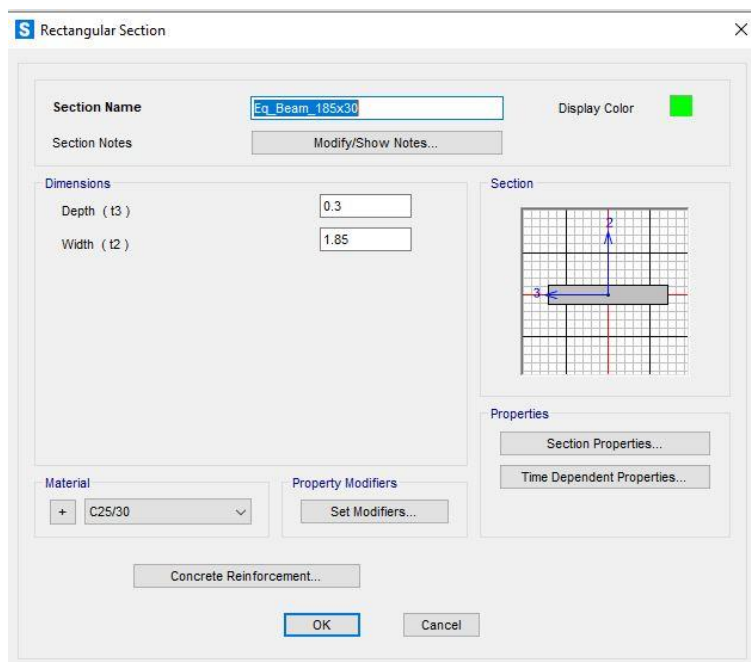
Το ειδικό βάρος του οπλισμένου σκυροδέματος τέθηκε ίσο με 25 kN/m^3 , ωστόσο η τιμή αυτή δεν επηρέασε την προσομοίωση, καθώς το ίδιο βάρος του φορέα επιλέχθηκε να μην υπολογιστεί αυτόματα από το πρόγραμμα. Το μέτρο ελαστικότητας E τέθηκε ίσο με 33 GPa , ενώ ο λόγος Poisson ν ίσος με 0 , όπως ενδείκνυται για ρηγματωμένες διατομές σκυροδέματος. Για τις υπόλοιπες ιδιότητες διατηρήθηκαν οι αρχικά οριζόμενες από το πρόγραμμα τιμές, καθώς υπολογίζονται αυτόματα με βάση τις ανάλογες παραμέτρους.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (C25/30), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' (C25/30), and 'Material Notes' with a 'Modify/Show Notes...' button. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (24.9926) and 'Mass per Unit Volume' (2.5485), with a 'Units' dropdown set to 'KN, m, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (33000000), 'Poisson, U' (0), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (0), and 'Shear Modulus, G' (16500000). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Characteristic Concrete Cylinder Strength, fck' (30000), 'Expected Concrete Compressive Strength' (30000), and a checkbox for 'Lightweight Concrete' (unchecked). Below it is a 'Shear Strength Reduction Factor' field. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

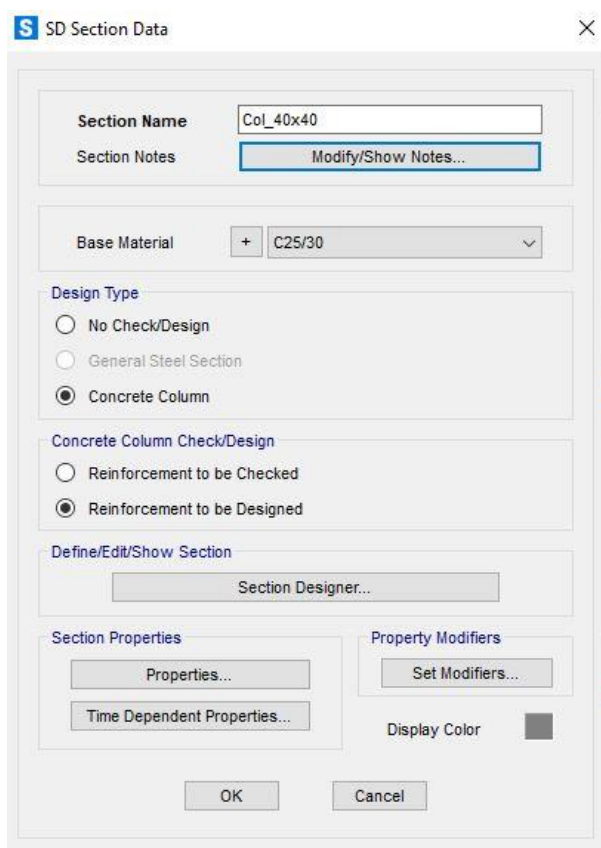
Εικόνα 3.6 : Ορισμός σκυροδέματος στο λογισμικό SAP2000

3.4.3 Ορισμός διατομών

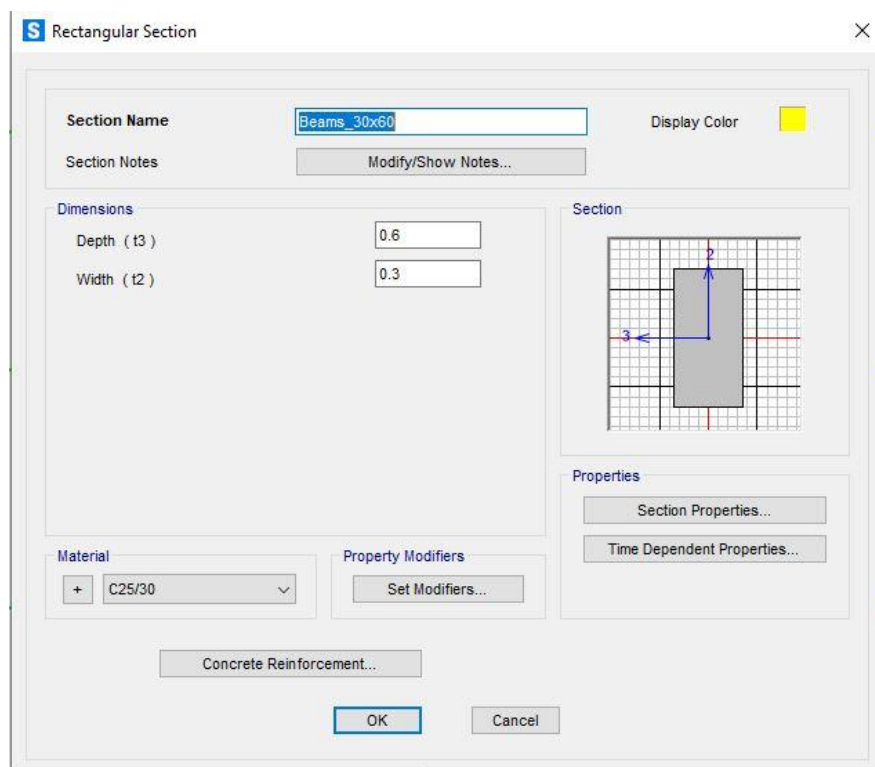
Εν συνεχεία ακολουθεί η εισαγωγή των διατομών των υποστυλωμάτων, των ισοδύναμων δοκών και των περιμετρικών δοκών. Στις εικόνες 3.7 έως 3.10 παρουσιάζονται οι διαστάσεις του και οι συντελεστές τροποποίησης των ιδιοτήτων τους. Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν οι προδιαγραφές του Ευρωκώδικα, σύμφωνα με τις οποίες προβλέπεται απομείωση της δυσκαμψίας και της δυσστησίας των ρηγματωμένων διατομών κατά 50%, αλλά και απομείωση της δυστρεψίας στο 10% της αρχικής της τιμής.



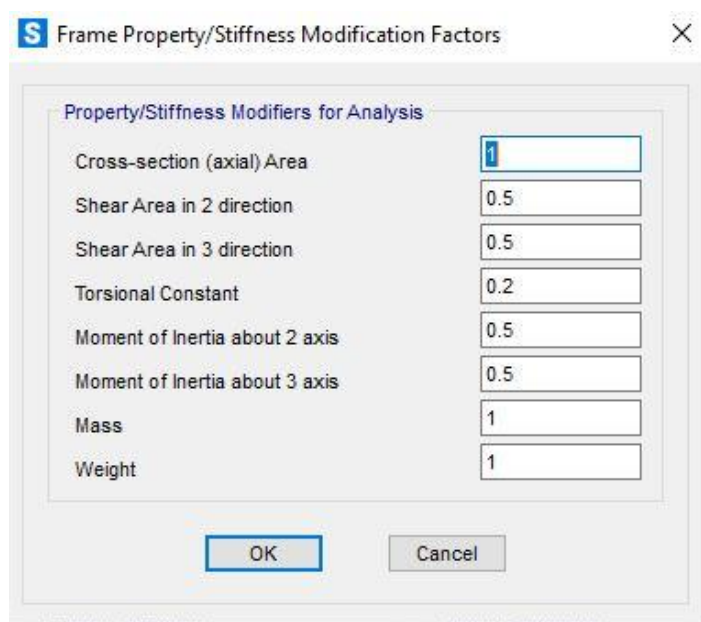
Εικόνα 3.7 : Ορισμός διατομής ισοδύναμης δοκού στο λογισμικό SAP2000



Εικόνα 3.8 : Ορισμός διατομής υποστυλώματος στο λογισμικό SAP2000



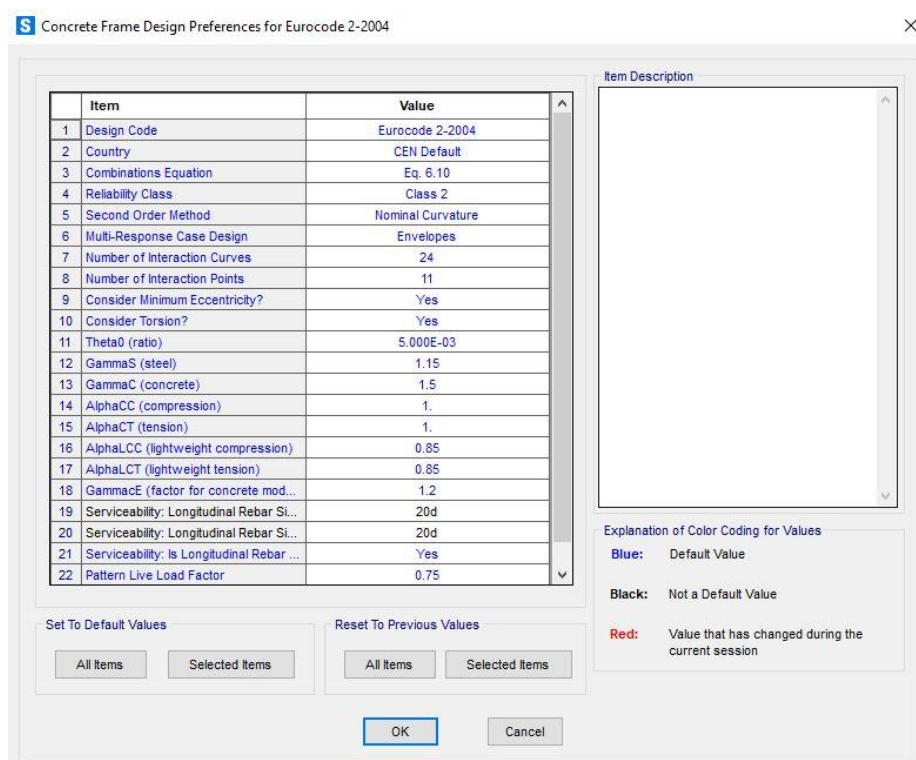
Εικόνα 3.9 : Ορισμός διατομής περιμετρικής δοκού στο λογισμικό SAP2000



Εικόνα 3.10 : Απομείωση ιδιοτήτων λόγω ρηγματωμένης διατομής

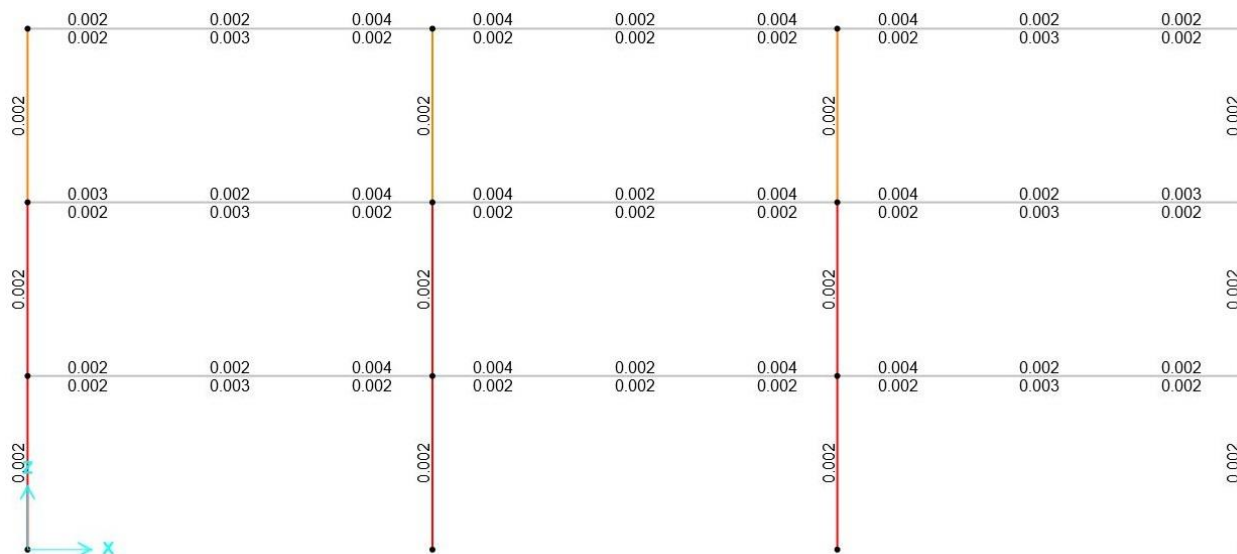
3.5 Διαστασιολόγηση Κτιρίου

Αρχικά διαστασιολήθηκε το κτίριο κάνοντας χρήση του Concrete Frame Design που αποτελεί μια ενσωματωμένη λειτουργία (module) του SAP2000 που επιτρέπει την αυτόματη ανάλυση, διαστασιολόγηση και έλεγχο οπλισμένου σκυροδέματος για δοκούς και υποστυλώματα (πλαίσια). Η διαστασιολόγηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1:2004). Στο View/Revise Preferences ορίσαμε τις διάφορες παραμέτρους σχεδιασμού του EN 1998-1 και 1992-1, όπως την εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί στους συνδυασμούς φορτίσεων, την κλάση αξιοπιστίας για την κατασκευή, τη μέθοδο ανάλυσης β' τάξης, διάφορα στοιχεία των καμπυλών αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη με αξονική δύναμη, την ενεργοποίηση διαστασιολόγησης για στρέψη, τους συντελεστές ασφαλείας υλικών, την ανακατανομή των ροπών στηρίξεων (Pattern Live load Factor), το όριο ικανοποίησης της ανίσωσης ασφαλείας, κ.α.



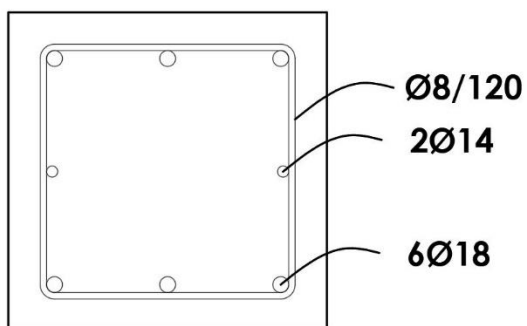
Εικόνα 3.11 : View/Revise Preferences - παράμετροι σχεδιασμού του EN 1998-1 και 1992-1

Με τον τρόπο αυτό προέκυψαν τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού των ισοδύναμων δοκών και συνεπώς είναι δυνατή η επιλογή των διαμήκων οπλισμών της πλακάς που παραλαμβάνουν τις ροπές κάμψης. Στην εικόνα 3.12 φαίνεται ένα εσωτερικό πλαίσιο στο οποίο υπάρχει το σύστημα ισοδύναμη δοκός - υποστυλωμα στο οποίο αναγράφονται οι διαμήκεις οπλισμοί σε m^2 .



Εικόνα 3.12 : Διαμήκεις οπλισμοί δομικών στοιχείων σε m^2

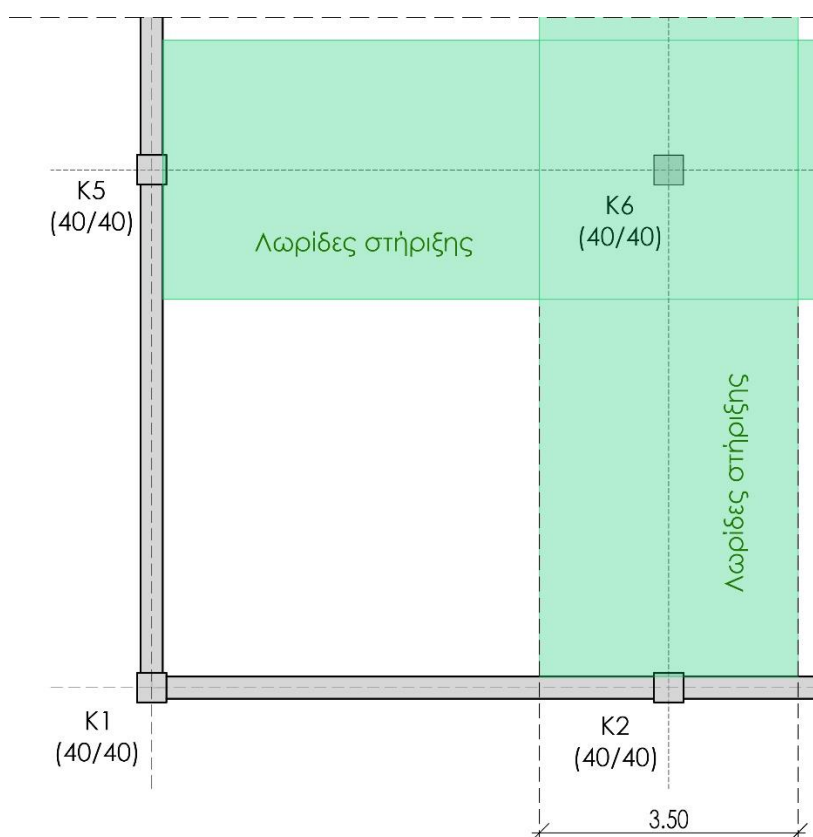
Στα υποστυλώματα βάσει του συνολικού ποσοστού που προκύπτει από την ανάλυση τοποθετείται διαμήκεις οπλισμούς 6Φ18 & 2Φ14 καθώς επίσης και διατμητικός οπλισμός Φ8/120 (Εικόνα 3.12)



Εικόνα 3.13 : Οπλισμοί υποστυλωμάτων

3.5.1 Τοποθέτηση καμπτικού οπλισμού στην πλάκα

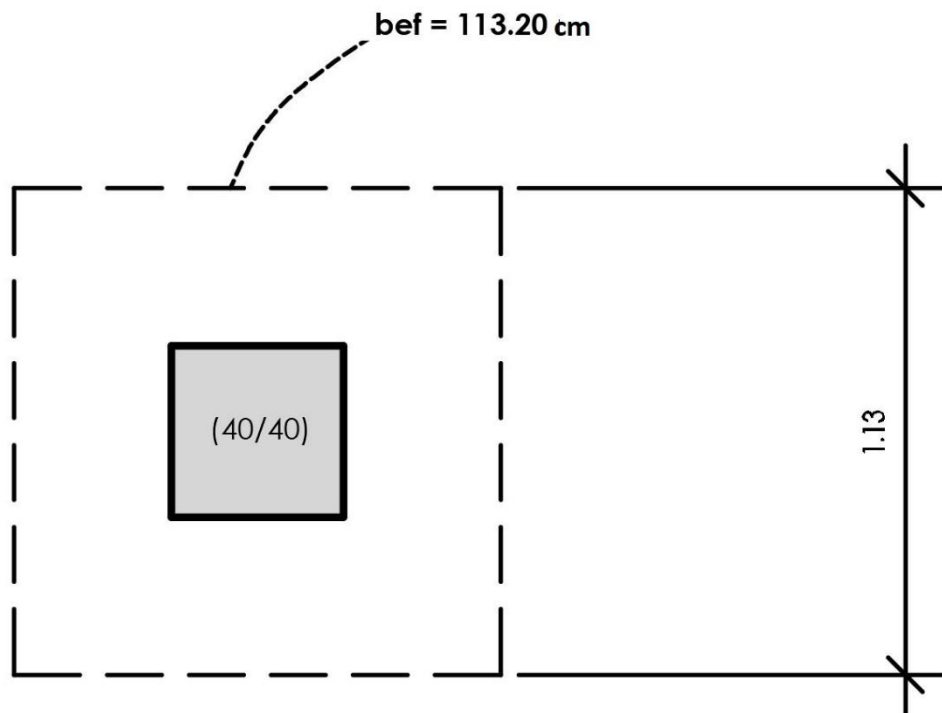
Ο καμπτικός οπλισμός θα πρέπει να συγκεντρώνεται πάνω από τα υποστυλώματα ή τα τοιχεία και σε τμήματα της πλάκας μεταξύ των γειτονικών υποστυλωμάτων που ονομάζονται **λωρίδες στήριξης**. Βάσει της παρ. 2 της ενότητας 2.2.2 της παρούσας για εσωτερικές στηρίξεις το πλάτος της λωρίδας στήριξης λαμβάνεται ως το 25% του αθροίσματος των ανοιγμάτων μεταξύ των αξόνων των υποστυλωμάτων, που είναι διατεταγμένα κάθετα στον άξονα της λωρίδας στήριξης και συνεπώς $0.25 \cdot (7+7) = 3.5 \text{ m}$.



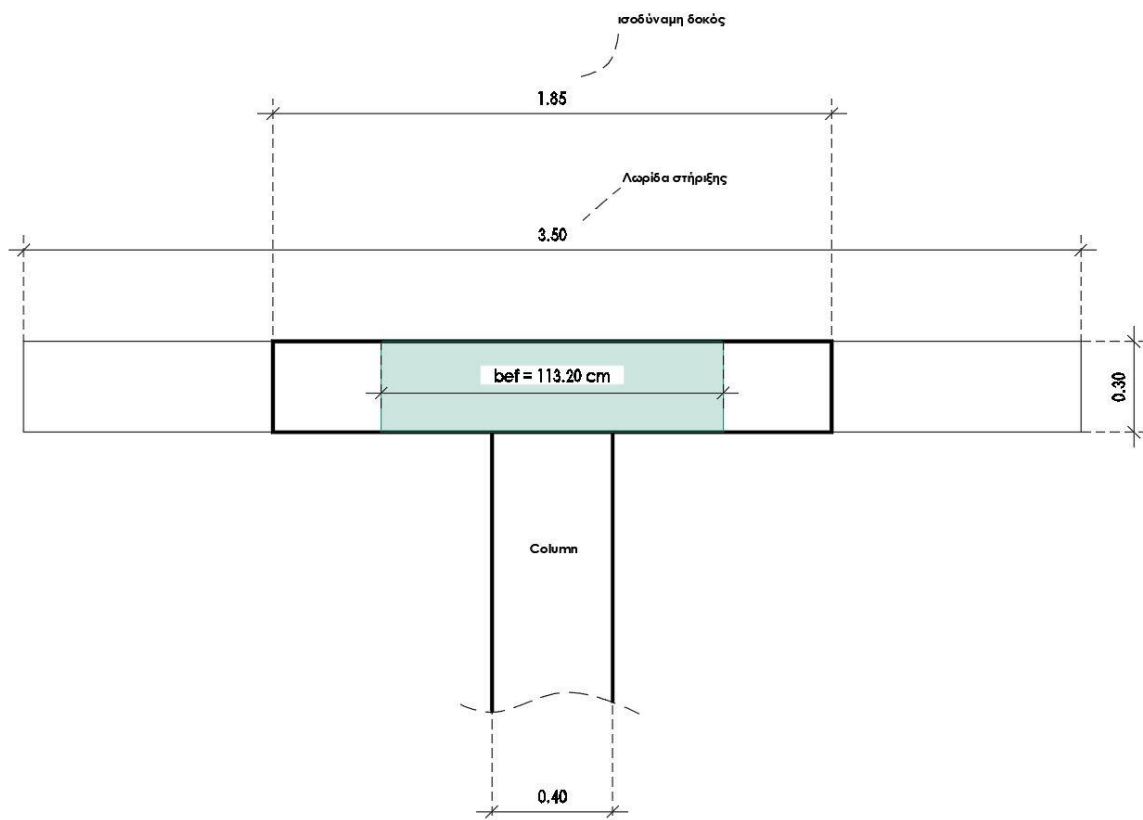
Εικόνα 3.14 : Λωρίδες στήριξης συγκέντρωσης οπλισμού

Σε κάθε διεύθυνση, ο άνω και κάτω καμπτικός οπλισμός που παραλαμβάνει τις ροπές από την πλάκα και τις μεταφέρει στις στηρίξεις θα πρέπει να τοποθετηθεί εντός του ενεργού πλάτους της πλάκας b_{ef} το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται ίσο με πλάτος b_c του υποστυλώματος προσαυξημένο σε κάθε πλευρά με το μήκος h_c ή το μήκος της προεξοχής της πλάκας a . Προσαύξηση η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει σε κάθε πλευρά το $1.5d_n$, όπου d_n είναι το ωφέλιμο ύψος διάτμησης της πλάκας. Η τιμή του d_n ισούται με την

απόσταση μεταξύ της περιοχής στήριξης και του μέσου επιπέδου των στρώσεων οπλισμού και υπολογίζεται με βάση τη σχέση: $d_v = \frac{d_{vx} + d_{vy}}{2}$ όπου, d_{vx} και d_{vy} τα ωφέλιμα ύψη των διαμήκων οπλισμών της πλάκας, οι οποίοι εκτείνονται σε κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις κατά τους άξονες x και y αντίστοιχα σύμφωνα με την παρ. 8.4.2(1) του EC2. Έχοντας $d_{vx} = 30 - 4 - 1.6 - (1.6/2) = 23.6$ cm & $d_{vy} = 30 - 4 - (1.6/2) = 25.2$ cm συνεπώς $d_v = 24.4$ cm. Επειδή για $h_c = 40$ cm $> 1.5d_v = 36.60$ cm συνεπώς το $b_{ef} = 40 + 2 \times 36.60 = 113.20$ cm.



Εικόνα 3.15 : Ενεργό πλάτος πλάκας b_{ef}



Εικόνα 3.16 : Παρουσίαση ισοδύναμης δοκού, λωρίδας στήριξης και πάχους b_{ef}

3.5.2 Οπλισμός ακεραιότητας

Βάσει των νέων διατάξεων του Ευρωκώδικα 8, πέραν του καμπτικού οπλισμού της πλάκας πάνω από τα υποστυλώματα απαιτείται προσθήκη επιπλέον οπλισμού προς αποφυγή της προοδευτικής κατάρρευσης της πλάκας χωρίς δοκούς οποίος ονομάζεται «οπλισμός ακεραιότητας» (integrity reinforcement). Θα πρέπει να τοποθετηθούν 4 συνεχείς ράβδοι διαμέτρου μικρότερη του $0.12d_v = 0.12 \cdot 244 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$ συνεπώς $\Phi 18$ πάνω από το πλάτος της στήριξης, με μήκος αγκύρωσης μεγαλύτερο του μήκους $d_v + l_b = 0.244 + 0.736 = 0.98 \text{ m}$. μετρούμενο από την παρειά του υποστυλώματος, όπου d_v είναι το ωφέλιμο ύψος διάτμησης της πλάκας ή του drop panel στο επίπεδο της στήριξης και l_b το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης.

Η αντοχή σχεδιασμού για κατακόρυφα φορτία $VR_{d,int}$ όπως υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το κατακόρυφο φορτίο που μεταβιβάζεται στη στήριξη.

$$V_{Rd,int} = \sum A_{s,int} f_{yd} k \sin \alpha_{ult} \leq \frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} d_v b_{int}$$

$$\sum A_{s,int} = 4\Phi 18 = 4 \times 0.00025447 = 0.00101788 \text{ m}^2$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} :$$

$k = 1.15$ για ράβδους Κατηγορίας C

$$\sin 25 = 0.423$$

$$b_{int} = \sum \left(s_{int} + \frac{\pi}{2} d_v \right)$$

$$s_{int} = 0.36 \text{ m}$$

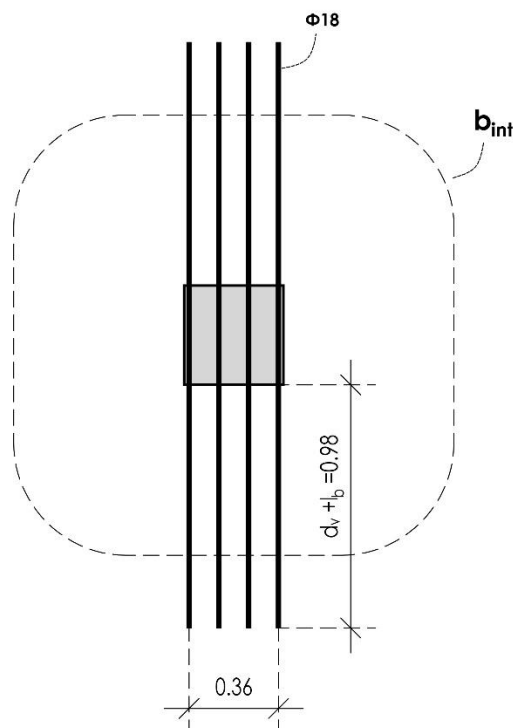
$$f_{ck} = 25 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \gamma_c = 1.5, d_v = 0.244 \text{ m}, b_{int} = 4 \cdot \left(0.36 + \frac{3.14}{2} 0.244 \right) = 2.97 \text{ m}$$

Συνεπώς

$$V_{Rd,int} = 0.00101788 \text{ m}^2 \cdot 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.15 \cdot 0.423 \leq \frac{0.5 \cdot \sqrt{25}}{1.5} \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.244 \text{ m} \cdot 2.97 \text{ m}$$

$$V_{Rd,int} = 215.28 \text{ kN} \leq 1207.80 \text{ kN}$$

Η διάταξη της τοποθέτησης του οπλισμού, η περιφέρεια ελέγχου b_{int} που ενεργοποιείται και το πλάτος της ομάδας των οπλισμών ακεραιότητας παρουσιάζονται στην εικόνα 3.15



Εικόνα 3.17 : Διάταξη οπλισμού ακεραιότητας

3.5.3 Υπολογισμός ροπών αντοχής υποστυλωμάτων

Η διαδικασία υπολογισμού της ροπής αντοχής σε κάμψη M_{Rd} των υποστυλωμάτων πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1). Ο υπολογισμός βασίζεται στην παραδοχή των επίπεδων διατομών (Bernoulli-Euler) και στην ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας δυνάμεων και ροπών στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

Στον φορέα που εξετάζουμε έχουμε τέσσερα συνδέσεις πλάκας-υποστυλώματος ανά επίπεδο και για τα υποστυλώματα αυτών (δηλαδή τα κεντρικά υποστυλώματα) θα υπολογιστούν οι ροπές αντοχής.



Εικόνα 3.18 : Εσωτερικά υποστυλώματα που συνδέονται απευθείας στην πλάκα

Λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής (πλάτος b , ύψος h , επικάλυψη d_2), το στατικό ύψος d , καθώς και τις παραδοχές των υλικών (σκυρόδεμα και χάλυβας), η M_{Rd} προσδιορίστηκε για τις μέγιστες τιμές της αξονικής δύναμης σχεδιασμού (N_{Ed}) που προέκυψαν από την ανάλυση. Συγκεκριμένα στα υποστυλώματα ο δυσμενέστερος συνδιασμός φόρτισης ήταν ο ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q

Η επίλυση έγινε μέσω επαναληπτικής διαδικασίας για την εύρεση του ύψους της ουδέτερης ζώνης (x), εφαρμόζοντας την εξίσωση ισορροπίας αξονικών δυνάμεων:

$$N_{Ed} = F_{cc} + F_{sc} - F_{st}$$

όπου F_{cc} η συνισταμένη θλίψης του σκυροδέματος και F_{sc} , F_{st} οι δυνάμεις στον θλιβόμενο και εφελκόμενο οπλισμό αντίστοιχα. Η τελικές ροπή αντοχής M_{Rd} υπολογίστηκε ως προς το κέντρο βάρους της διατομής και φαίνονται στον πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2 : Ροπές αντοχής υποστυλωμάτων			
Υποστύλωμα	Συνδιασμός Φόρτισης	N_{Ed} kN	M_{Rd} kNm
33	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	1096.13	224.04
34	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	731.311	200.22
35	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	370.635	157.68
36	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	1096.13	224.04
37	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	731.311	200.22
38	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	370.635	157.68
45	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	1096.13	224.04
46	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	731.311	200.22
47	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	370.635	157.68
48	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	1096.13	224.04
49	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	731.311	200.22
50	ULS_GRAV : 1.35G + 1.5Q	370.635	157.68

3.5.4 Υπολογισμός καμπτικής αντοχής πλάκας (MRd)

Αρχικά θα υπολογιστούν οι ροπές αντοχής του πάχους της πλάκας που συμμετέχει σε έναν εσωτερικό κόμβο πλάκας-υποστυλώματος δηλαδή του πλάτους της **λωρίδας στήριξης** $b = 3.50 \text{ m}$. Από την ανάλυση π.χ. στον κόμβο 6 στις ισοδύναμες δοκούς πλάτους $b = 1.85 \text{ m}$. έχει υπολογιστεί απαιτούμενος πάνω οπλισμός $A_{s,top} : 0.004 \text{ m}^2$ και κάτω οπλισμός $A_{s,bot} : 0.002 \text{ m}^2$. Συνεπώς με αναγωγή ο αντίστοιχος απαιτούμενος οπλισμός για την λωρίδα στήριξης μήκους $3,50 \text{ m}$. είναι $A_{s,top} : 0.007568 \text{ m}^2$ και $A_{s,bot} : 0.003784 \text{ m}^2$. Κάνοντας χρήση τις βασικές παραδοχές του Ευρωκώδικα 2 (ορθογωνική κατανομή σκυροδέματος) έχουμε:

Ροπών Αντοχής (M_{Rd}^-)

1. Δύναμη εφελκυσμού χάλυβα (F_s):

$$F_s = A_{s,top} \cdot f_{yd} = 0.007568 \text{ m}^2 \cdot 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3290,42 \text{ kN}$$

2. Βάθος θλιβόμενης ζώνης (x):

$$\text{από εξίσωση ισορροπίας } F_C = F_s \rightarrow 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = F_s \rightarrow x = \frac{3290,42}{0.8 \cdot 3,50 \cdot 16.67 \cdot 10^3} \rightarrow x = 0.07 \text{ m}$$

3. Ροπή αντοχής :

$$4. M_{Rd}^- = F_s \cdot (d - 0.4x) = 3290,42 \cdot (0.244 - 0.4 \cdot 0.07) = 710,73 \text{ kNm}$$

Ροπών Αντοχής (M_{Rd}^+)

1. Δύναμη εφελκυσμού χάλυβα (F_s):

$$F_s = A_{s,top} \cdot f_{yd} = 0.003784 \text{ m}^2 \cdot 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1645,11 \text{ kN}$$

2. Βάθος θλιβόμενης ζώνης (x):

$$\text{από εξίσωση ισορροπίας } F_C = F_s \rightarrow 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = F_s \rightarrow x = \frac{1645,11}{0.8 \cdot 3,50 \cdot 16.67 \cdot 10^3} \rightarrow x = 0.035 \text{ m}$$

3. Ροπή αντοχής :

$$4. M_{Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0.4x) = 1645,11 \cdot (0.244 - 0.4 \cdot 0.035) = 378,38 \text{ kNm}$$

Στη συνέχεια θα υπολογιστούν οι ροπές αντοχής της πλάκας στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού πάχους $1,85 \text{ τ.μ.}$ που βάσει ανάλυσης έχει υπολογιστεί απαιτούμενος

πάνω οπλισμός $A_{s,top}$: 0.004 m² και κάτω οπλισμός $A_{s,bot}$: 0.002 m². Κάνοντας χρήση τις βασικές παραδοχές του Ευρωκώδικα 2 (ορθογωνική κατανομή σκυροδέματος) έχουμε:

Ροπών Αντοχής (M_{Rd}^-)

1. Δύναμη εφελκυσμού χάλυβα (F_s):

$$F_s = A_{s,top} \cdot f_{yd} = 0.004 \text{ m}^2 \cdot 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1739.12 \text{ kN}$$

2. Βάθος θλιβόμενης ζώνης (x):

$$\text{από εξίσωση ισορροπίας } F_C = F_s \rightarrow 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = F_s \rightarrow x = \frac{1739,12}{0.8 \cdot 1,85 \cdot 16.67 \cdot 10^3} \rightarrow x = 0.07 \text{ m}$$

3. Ροπή αντοχής :

$$4. M_{Rd}^- = F_s \cdot (d - 0.4x) = 1739,12 \cdot (0.244 - 0.4 \cdot 0.07) = 375.65 \text{ kNm}$$

Ροπών Αντοχής (M_{Rd}^+)

1. Δύναμη εφελκυσμού χάλυβα (F_s):

$$F_s = A_{s,top} \cdot f_{yd} = 0.002 \text{ m}^2 \cdot 434.78 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 869.56 \text{ kN}$$

2. Βάθος θλιβόμενης ζώνης (x):

$$\text{από εξίσωση ισορροπίας } F_C = F_s \rightarrow 0.8 \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = F_s \rightarrow x = \frac{869,56}{0.8 \cdot 1,85 \cdot 16.67 \cdot 10^3} \rightarrow x = 0.035 \text{ m}$$

3. Ροπή αντοχής :

$$4. M_{Rd}^+ = F_s \cdot (d - 0.4x) = 869,56 \cdot (0.244 - 0.4 \cdot 0.035) = 200 \text{ kNm}$$

3.5.5 Διαστασιολόγηση σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος έναντι διάτρησης

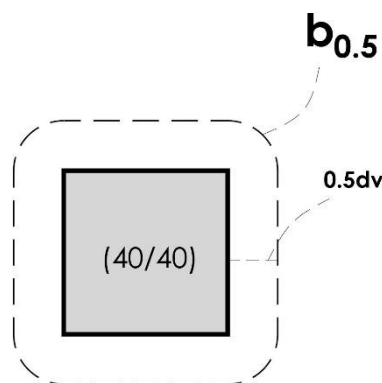
Η διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις περιγραφόμενες διατάξεις των προτύπων του Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023) και των νέων απαιτήσεων του Ευρωκώδικα 8 (prEN1998-1-2:2024) όπως παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 της παρούσας. Επιλέγουμε τον κόμβο 24 στον οποίο διέρχονται τα υποστυλώματα 33 και 34 ώστε να παρουσιάσουμε αναλυτικά την διαδικασία υπολογισμών.

3.5.5.1 Υπολογισμός δρώσας διατμητικής τάσης

Το πρώτο βήμα είναι να υπολογίσουμε την δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} που αναπτύσσεται στην επιφάνεια ελέγχου $b_{0,5}$ η οποία υπολογίζεται από την σχέση:

$$\tau_{Ed} = \beta_e \cdot \frac{V_{Ed}}{b_{0,5}d_v} \quad (3.1)$$

Η επιφάνεια ελέγχου $b_{0,5}$ απέχει απόσταση $0,5d_v$ από την περίμετρο της επιφάνειας στήριξης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 3.19 : επιφάνεια ελέγχου $b_{0,5}$ που απέχει απόσταση $0,5d_v$

Εν συνεχεία υπολογίζουμε τον συντελεστή β_e ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης λόγω συγκεντρωμένων τεμνουσών δυνάμεων. Για να υπολογιστεί ο συντελεστής β_e απαιτείται να υπολογίσουμε τις εκκεντρότητες e_{bx} & e_{by} .

Το νέο κείμενο του Ευρωκώδικα 8 ορίζει ότι για τον έλεγχο σε διάτρηση μιας πλάκας χωρίς δοκούς η εκκεντρότητα της διατμητικής δύναμης που ορίζει ο EC2 με τις παρ. 8.4.2(6) έως (8) και τον πίνακα 8.3 της παρ. 8.4.2(6) του EC2 πρέπει να λαμβάνει υπόψη της τις ροπές αντοχής του υποστυλώματος ή της πλάκας και συνεπώς τη μέγιστη ροπή που μπορεί να παραλάβει ένας κόμβος .

Συνεπώς οι συνιστώσες της εκκεντρότητας $e_{b,x}$ και $e_{b,y}$ που υπολογίζονται από την εφαρμογή των ροπών σχεδιασμού, σε κάθε διεύθυνση x και y , υπολογίζονται από το παρακάτω σχέση :

$$M_{Ed} = \min(M_{Rd,tot,col}, M_{Rd,tot,eq-beam}, M_{Rd,tot,sup-strip})$$

- $M_{Rd,tot,col}$: το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στις άνω και κάτω παρειές της πλάκας στην σύνδεση με το υποστύλωμα
- $M_{Rd,80\%tot,strip}$: το 80% του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής του συνολικού πάχους της πλάκας που συμμετέχει σε έναν εσωτερικό κόμβο πλάκας-υποστυλώματος, δηλαδή της λωρίδας στήριξης.
- $M_{Rd,1.25tot,eq-beam}$: Σε εσωτερικά υποστυλώματα το 1.25 του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού.

Βάσει των αποτελεσμάτων της παρ. 3.1.2 έχουμε τα εξής :

$$M_{Rd,tot,col} = M_{Rd,col,33} + M_{Rd,col,34} = 200.22 + 224.04 \rightarrow M_{Rd,tot,col} = 424.26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,80\%tot,strip} = 0.80 (710.73 + 378.38) \rightarrow M_{Rd,80\%tot,strip} = 871.30 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,1.25tot,eq-beam} = 1.25 (375.65 + 200) \rightarrow M_{Rd,1.25tot,eq-beam} = 719.65 \text{ kNm}$$

Τελικώς οι ροπές σχεδιασμού που λαμβάνονται για τον υπολογισμό των συνιστωσών της εκκεντρότητας $e_{b,x}$ και $e_{b,y}$ είναι ίσες με τη μικρότερη από τις ακόλουθες τιμές:

$$M_{Ed} = \min(M_{Rd,tot,col}, M_{Rd,tot,eq-beam}, M_{Rd,tot,sup-strip}) \rightarrow$$

$$M_{Ed} = \min(424.26, 871.30, 719.65) \rightarrow M_{Ed} = 424.26 \text{ kNm}$$

Υπολογισμός της εκκεντρότητας e_b

Για τον κόμβου 24 και την διεύθυνση x όπου συναντιούνται τα υποστυλώματα 33 και 34 οι συνιστώσα της εκκεντρότητας $e_{b,x}$ υπολογίζεται για ροπή σχεδιασμού $M_{Ed,x} = 424.26 \text{ kNm}$ και έχουμε :

$$e_{bx} = \frac{M_{Ed,min}}{V_{Ed}} = \frac{424.26}{697.67} = 0.61 \text{ m}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο συντελεστής εκκεντρότητας β_e από τον πίνακα 8.3 της παραγράφου της παρ. 8.4.2(6) του EC2 όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.4 της παρούσας. Ο κόμβος 24 και κατ' επέκταση και το υποστύλωμα 33 είναι εσωτερικό και συνεπώς ο συντελεστής εκκεντρότητας υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\beta_e = 1 + 1.1 \frac{\sqrt{e_{b,x}^2 + e_{b,y}^2}}{b_b}$$

Κατά x-x λαμβάνοντας 30% της εκκεντρότητας κατά γ-γ έχουμε :

$$\beta_e = 1 + 1.1 \frac{\sqrt{0.61^2 + (0.3 \cdot 0.61)^2}}{0.64} \rightarrow \beta_e = 2.09$$

Βάσει ανάλυσης και των παραπάνω υπολογισμών έχουμε ότι $V_{Ed} = 697.67 \text{ kN}$ $\beta_e = 2.09$,
 $b_{0.5} = 2.367 \text{ m}$, $d_v = 0.244 \text{ m}$.

$$\tau_{Ed} = 2.09 \cdot \frac{697.67}{2.367 \cdot 0.244} = 2524 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 2.52 \text{ MPa}$$

Συνεπώς επειδή δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} είναι μεγαλύτερη του $\tau_{Rd,c,min}$ απαιτούνται αναλυτικοί υπολογισμοί για τον έλεγχο απαίτησης προσθήκης διατμητικού οπλισμού στην περιοχή της πλάκας γύρω από το υποστύλωμα.

3.5.5.2 Υπολογισμός ελάχιστης διατμητικής τάσης

Εν συνεχεία υπολογίζουμε την ελάχιστη διατμητική αντοχή η οποία εξασφαλίζει πως το δομικό μέλος θα φτάσει τη διατμητική αντοχή του για το ίδιο φορτίο για το οποίο θα διαρρεύσει ο εφελκυσμένος οπλισμός του και υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση:

$$\tau_{Rd,c,min} = \frac{11}{\gamma_V} \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{yd}} \cdot \frac{d_{dg}}{d}}$$

οι συντελεστές της εξίσωσης οι οποίοι έχουν περιγράψει στο Κεφάλαιο 2 καταχωρούνται στον πίνακα 2.2

Πίνακας 3.3 : Συντελεστές υπολογισμού ελάχιστης διατμητικής αντοχής $\tau_{Rd,c,min}$		
Συμβολισμός	Επεξήγηση	τιμή
γ_V	μερικός συντελεστής ασφαλείας για σχεδιασμό έναντι τέμνουσας σύμφωνα με τον πίνακα τον Πίνακα 4.3 (NDP) ή Πίνακα A.1 (NDP) και A.2 (NDP)	1.40
$d_{dg} \text{ (mm)}$	παράμετρος μεγέθους (σε mm) που περιγράφει την τραχύτητα της ζώνης αστοχίας η οποία εξαρτάται από τον τύπο του σκυροδέματος και τις ιδιότητες των αδρανών	32
$d \text{ (mm)}$	το μέσο στατικό ύψος της πλάκας (σε mm)	244

$$\text{Συνεπώς έχουμε : } \tau_{Rd,c,min} = \frac{11}{1.40} \sqrt{\frac{25}{434.78} \cdot \frac{0.032}{0.244}} = 0.68 \text{ MPa}$$

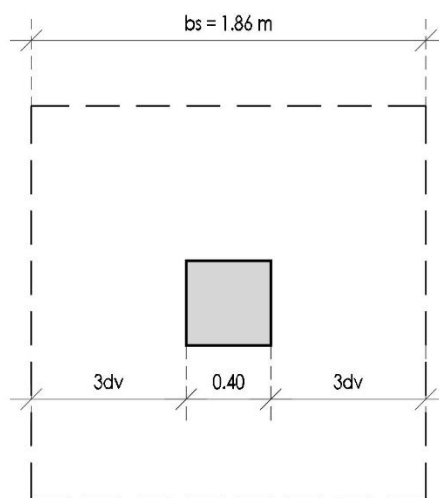
Προκύπτει λοιπόν η διατμητική τάση τ_{Ed} είναι μεγαλύτερη του $\tau_{Rd,c,min}$ και απαιτούνται αναλυτικοί υπολογισμοί για τον έλεγχο απαίτησης προσθήκης διατμητικού οπλισμού στην περιοχή της πλάκας γύρω από το υποστύλωμα.

3.5.5.3 Υπολογισμός αντοχής σε διάτρηση πλάκας χωρίς οπλισμό διάτρησης

Εν συνεχεία υπολογίζεται η αντοχή έναντι διάτρησης της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος, χωρίς την προσθήκη εγκάρσιου διατρητικού οπλισμού από τη σχέση (2.4) της παρ. 15 της ενότητας 2.1.2 της παρούσας (παρ. 16 της ενότητας 10.10.2 του κεφαλαίου 10 του prEN 1998-1-1:2024):

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0.4(100\rho_l)^{1/3}}{\gamma_V} \sqrt{f_{ck}}$$

Οι τιμές $\rho_{l,x}$ και $\rho_{l,y}$ που απαιτούνται για τον υπολογισμό του ρ_l πρέπει να υπολογίζονται ως μέσες τιμές, λαμβάνοντας υπόψη πλάτος πλάκας ίσο με b_s η απόσταση της περιοχής που βρίσκεται $3d_v$ από το υποστύλωμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.20.



Εικόνα 3.20 : Απόσταση b_s

b_0 = περίμετρος υποστυλώματος

Στους κόμβους εσωτερικών υποστυλωμάτων η αντοχή σε διάτρηση που υπολογίζεται από τον τύπο (8.94) μπορεί να πολλαπλασιαστεί επί τον συντελεστής η_{pm} όπως δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\eta_{pm} = \sqrt{\frac{h}{d_v}} \left(1,2 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\rho_l f_{yk}} \right)^{\frac{1}{4}} \geq 1$$

$$b_s = 3 \cdot d_v + b + 3 \cdot d_v = 3 \cdot 0.244 + 0.40 + 3 \cdot 0.244 = 1.86 \text{ m.}$$

$$\rho_{l_x} = \rho_{l_y} = \frac{A_{sw}}{b_s \cdot d_v} = \frac{0.004}{1.86 \cdot 0.244} = 0.0088 = 0.88 \% \rightarrow \rho_l = 0.0088$$

$$\tau_{Rd,c} = \frac{0.4(100 \cdot 0.0088)^{1/3}}{1.4} \sqrt{25} = 1.37$$

$$\eta_{pm} = \sqrt{\frac{h}{dv}} \left(1.2 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\rho_l f_{yk}} \right)^{1/4} = \sqrt{\frac{0.30}{0.244}} \left(1.2 \frac{\sqrt{25}}{0.0088 \cdot 500} \right)^{1/4} = 1.20 \geq 1$$

$$\text{Συνεπώς } \tau_{Rd,c} = \tau_{Rd,c} \cdot \eta_{pm} = 1.37 \cdot 1.20 = 1.64 \text{ MPa}$$

Συνεπώς επειδή η δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} είναι μεγαλύτερη του $\tau_{Rd,c}$ υπάρχει απαίτηση προσθήκης διατμητικού οπλισμού στην περιοχή της πλάκας γύρω από το υποστυλώμα.

3.5.5.4 Υπολογισμός μέγιστης τιμή σχεδιασμού της διατρητικής αντοχής

Για να μην υπάρχει κίνδυνος αστοχίας του σκυροδέματος υπό θλίψη από την δρώσα τέμνουσα και να υποφευχθεί η απαίτηση μεγάλων ποσοστών οπλισμού ελέγχεται αν η δρώσα διατμητική τάση τ_{Ed} εντός της περιμέτρου ελέγχου υπερβαίνει τη μέγιστη αντοχή $\tau_{Rd,max}$.

Η μέγιστη αντοχή υπολογίζεται από τον τύπο $\tau_{Rd,max} = \eta_{sys}^{1/2} \cdot \tau_{Rd,c}$ σύμφωνα με την παρ. 18 του Ευρωκώδικα 8 που αντικατέστησε τον τύπο (8.109) της παρ. 8.4.4 (5) του FprEN 1992-1-1:2023 και ο συντελεστής η_{sys} υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση :

$$\eta_{sys} = 0.70 + 0.63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{1/4} \geq 1.0 \text{ για ήλους}$$

$$\eta_{sys} = 0.50 + 0.63 \left(\frac{b_0}{d_v} \right)^{1/4} \geq 1.0 \text{ για συνδετήρες}$$

$$\text{Συνεπώς για χρήση συνδετήρων } \eta_{sys} = 1.51 \text{ και τελικώς } \tau_{Rd,max} = 2.02 \text{ MPa}$$

$$\text{Επειδή } \tau_{Ed} = 2.52 \text{ MPa} > \tau_{Rd,max} = 2.02 \text{ MPa}$$

Συστήνεται η αλλαγή των διαστάσεων της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος.

3.5.5.5 Υπολογισμός αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης

Η τιμή $\tau_{Rd,cs}$ λαμβάνει υπόψη της συνεισφορά του σκυροδέματος με το καμπτικό οπλισμό καθώς και την καθαρή συνεισφορά του οπλισμού διάτρησης που επιλέγεται να τοποθετηθεί, των ήλων ή των συνδετήρων και υπολογίζεται από τη σχέση :

$$\tau_{Rd,cs} = n_c \tau_{Rd,c} + n_s \rho_w f_{ywd} \geq \rho_w f_{ywd}$$

Όπου

$$n_c = \tau_{Rd,c} / \tau_{Ed}$$

$$n_s = \frac{d_v}{150 \varphi_v} + \left(15 \frac{d_{dg}}{d_v} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{n_c k_{pb}} \right)^{3/2} \leq 0.8$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s_r s_t}$$

Όπου,

d_{dg} ορίζεται στον πίνακα 2.1 της ενότητας 2.1.2.1

φ_v η διάμετρος του εγκάρσιου οπλισμού διάτμησης

ρ_w το γεωμετρικό ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού διάτμησης στην εξεταζόμενη περίμετρο

A_{sw} το εμβαδόν ενός σκέλους συνδετήρα

$\Phi_v = 8 \text{ mm}$

$$n_s = \frac{0.244}{150 \cdot 0.008} + \left(15 \frac{0.032}{0.244} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{2.05 \cdot 0.4} \right)^{3/2} = 2.09 > 0.8$$

$$A_{sw} = 50.24 \text{ mm}^2$$

$$s_r = 120 \text{ mm} < 0.50 \cdot d_v = 0.50 \cdot 244 = 122 \text{ mm}$$

$$s_t = 350 \text{ mm} < 1.5 \cdot d_v = 1.5 \cdot 244 = 366 \text{ mm}$$

$$\rho_w = \frac{50.24}{120 \cdot 350} = 0.0012 = 0.12\%$$

Βάσει των νέων διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 και σύμφωνα με την παρ.. 17 της ενότητας 2.2.1 της παρούσας πρέπει να λαμβάνονται οι τιμές $\eta_c = 1,0$ και $\eta_s = 0.8$ συνεπώς :

$$\tau_{Rd,cs} = 1.00 \cdot 1.64 + 0.8 \cdot 0.0012 \cdot 434.78 = 2.06 \text{ MPa}$$

Επειδή προκύπτει $\tau_{Ed} = 2.52 \text{ MPa} > \tau_{Rd,cs} = 2.06 \text{ MPa}$ θα πρέπει να αυξηθεί το γεωμετρικό ποσοστό του οπλισμού ρ_w , και συνεπώς να μειωθεί τόσο η ακτινική

απόσταση των διατρητικών οπλισμών s_r , και κυρίως η εφαπτομενική απόσταση s_t .

Συνεπώς επιλέγουμε: $s_r = 100 \text{ mm}$ & $s_t = 190 \text{ mm}$ $\rho_w = \frac{50.24}{100 \cdot 190} = 0.0026 = 0.26\%$

$$\tau_{Rd,cs} = 1.00 \cdot 1.64 + 0.8 \cdot 0.0026 \cdot 434.78 = 2.56 \text{ MPa}$$

Ο υπολογισμός αντοχής σε διάτρηση μιας πλάκας με οπλισμό διάτρησης υπολογίστηκε στο πλαίσιο πληρότητας της εργασίας καθώς απαιτείται όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 3.5.5.4 η αλλαγή των διαστάσεων της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος.

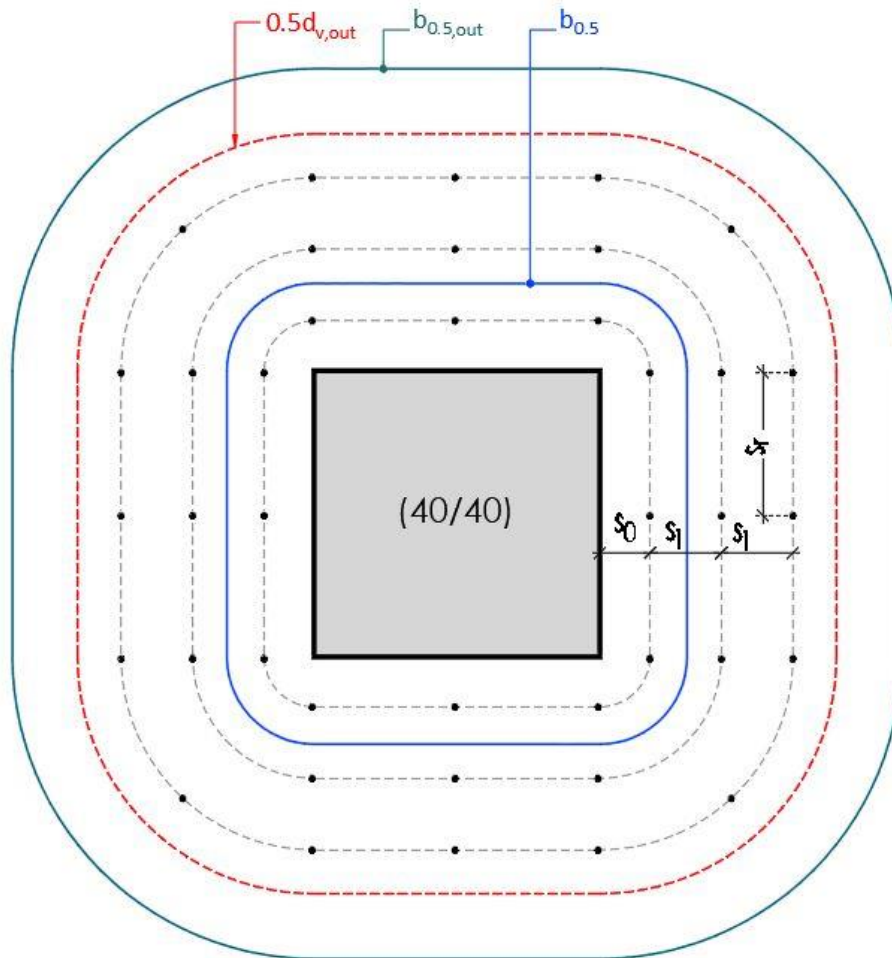
3.5.5.6 Προσδιορισμός αποστάσεων οπλισμών διάτρησης και περιμέτρων όπλισης

Έχοντας υπολογίσει το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού διάτρησης στην εξεταζόμενη περίμετρο για να προσδιοριστεί ο τελικός απαιτούμενος οπλισμός διάτρησης πρέπει να υπολογιστούν τα όρια πέραν της οποίας δεν απαιτείται προσθήκη οπλισμού διάτρησης. Τα όρια καθορίζονται με την περίμετρο $b_{0.5,out}$ η οποία υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$b_{0.5,out} = b_{0.5} \cdot \left(\frac{d_v}{d_{v,out}} \cdot \frac{1}{\eta_c} \right)^2$$

όπου, $d_{v,out} = 0.19 \text{ m}$ και είναι το στατικό ύψος έναντι διάτμησης σύμφωνα με την Εικόνα 3.20

Η εξώτατη περίμετρος οπλισμών διάτρησης πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση όχι μεγαλύτερη από $0.5d_{v,out}$ από την εξώτερη περίμετρο ελέγχου $b_{0.5,out}$. Η διάταξη τοποθέτησης του οπλισμού διάτρησης για ένα εσωτερικό υποστύλωμα διαστάσεων 40×40 φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.21 : Διάταξη τοποθέτησης οπλισμού διάτρησης (κατά FprEN 1992-1-1:2023)

4. Διαστασιολόγηση φορέα κτιρίου με δοκούς

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της σεισμικής συμπεριφοράς του εξεταζόμενου τριώροφου κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς (flat slabs), κρίθηκε απαραίτητη η σύγκριση των αποτελεσμάτων του με έναν συμβατικό φορέα. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση και η επίλυση του ίδιου ακριβώς κτιρίου, με τη διαφορά ότι στη θέση των «ισοδύναμων δοκών» τοποθετήθηκαν κανονικές, γραμμικές δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος.

Η συγκριτική αυτή αξιολόγηση εστιάζει κατά κύριο λόγο στις απαιτήσεις διαμήκους (καμπτικού) οπλισμού. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι διαφορές ανάμεσα στις απαιτήσεις οπλισμού των ζωνών (ή λωρίδων) στήριξης του συστήματος πλάκας-υποστυλώματος —

όπως αυτές προέκυψαν από τις νέες διατάξεις της 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων— και στις αντίστοιχες απαιτήσεις των δοκών του συμβατικού κτιρίου αναφοράς, οι οποίες σχεδιάστηκαν σύμφωνα με το ισχύον κανονιστικό πλαίσιο των EN 1992-1-1 και EN 1998-1-1.

4.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά, Φορτίσεις και Προσομοίωση Φορέα

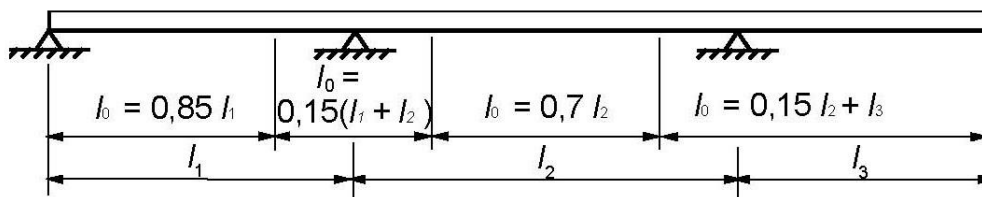
Η γεωμετρία του φορέα διατηρεί τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά με το αρχικό κτίριο και συνεπώς αποτελείται από τρία (3) φατνώματα των 7 m. σε κάθε διεύθυνση, δηλαδή συνολικά 21 m x 21 m. με υποστυλώματα διατομής 40x40 cm και δοκού. Στις θέσεις των λωρίδων στήριξης τοποθετούνται δοκοί ορθογωνικής διατομής 30x60 cm. Για την ορθή προσομοίωση οι δοκοί ορίστηκαν ως πλακοδοκοί διατομής T λαμβάνοντας υπόψη το συνεργαζόμενο πλάτος της πλάκας b_{eff} που υπολογίζεται από την σχέση (παρ. 7.2.3 του Ευρωκώδικα 2) :

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

Όπου:

$$b_{eff,i} = \min\{0.2b_i + 0.1l_{ob}, 0.2l_{ob}, b_i\}$$

Με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα ($b_i = 3.35$ m, $b_w = 0.30$ m, $l_1 = l_2 = 7.00$ m. υπολογίζουμε αρχικά το ισοδύναμο μήκος l_{ob} για εσωτερικές στηρίξεις $l_{ob} = 0.15(l_1 + l_2)$
 $\rightarrow l_{ob} = 2.1$ m. (Εικόνα 4.1)



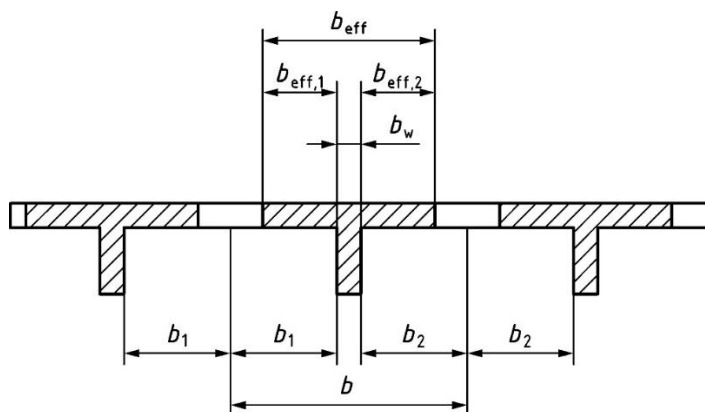
Εικόνα 4.1 : Ορισμός του l_{ob} για τον υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους δοκού

Βάσει των παραπάνω το ενεργό πλάτος προκύπτει:

$$b_{eff,i} = \min\{0.2 \cdot 3.35 + 0.1l_{ob}, 0.2 \cdot 2.1, 3.35\} \rightarrow b_{eff,i} = 0.42 \text{ m.}$$

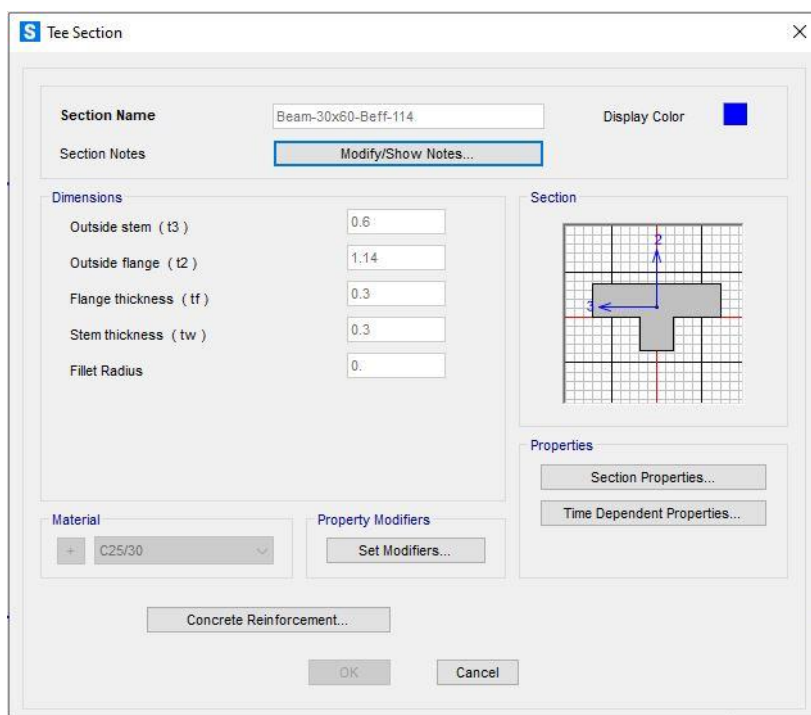
Συνεπώς, το συνολικό συνεργαζόμενο πλάτος της πλακοδοκού ορίζεται ως:

$$b_{eff} = 0.42 + 0.3 + 0.42 \rightarrow b_{eff} = 1.14 \text{ m.}$$



Εικόνα 4.2 : Παράμετροι συνεργαζόμενου πλάτους δοκού

Συνεπώς στο λογισμικό καταχωρήθηκε πλακοδόκος του T διαστάσεων 30x60 με συνεργαζόμενο πλάτος 1.14 m. (Εικόνα 4.3)



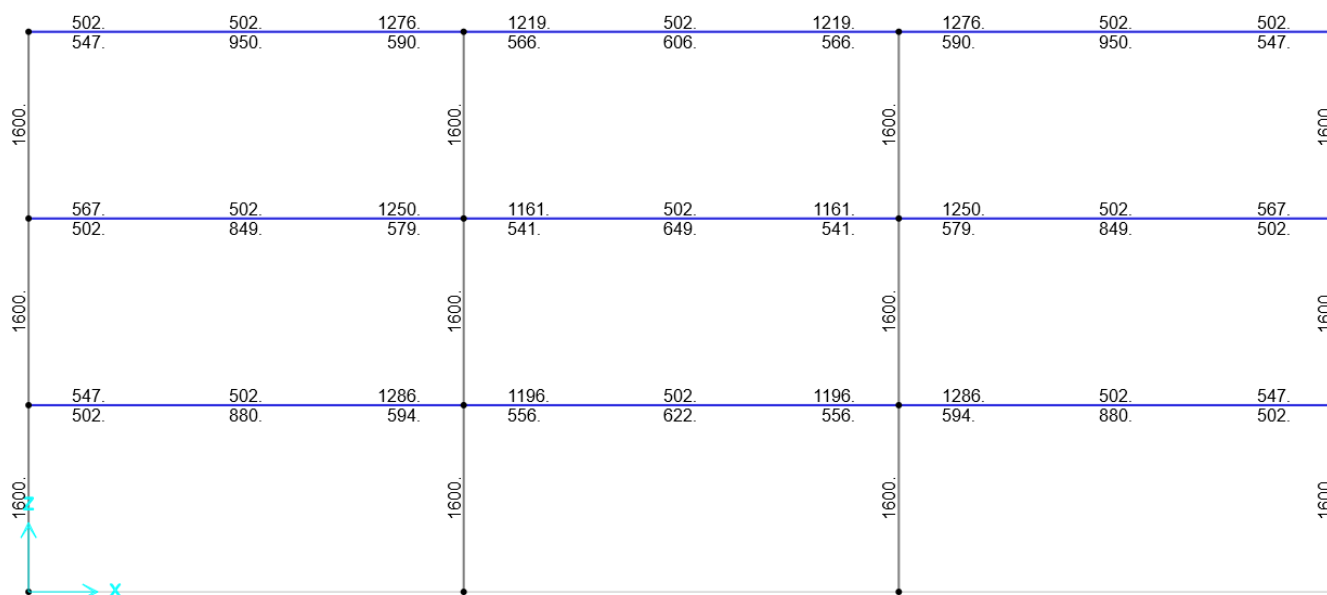
Εικόνα 4.3 : Ορισμός διατομής πλακοδοκού

4.2 Αποτελέσματα Ανάλυσης και Απαιτήσεων Οπλισμού

Μετά την ολοκλήρωση της γραμμικής ελαστικής ανάλυσης του φορέα αναφοράς στο λογισμικό SAP2000 υπό τα καθορισμένα φορτία και τη σεισμική δράση σχεδιασμού, προέκυψαν τα εντατικά μεγέθη κατά μήκος των δοκών του κτιρίου. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η διαστασιολόγηση των διατομών T (πλακοδοκών) σύμφωνα με τις

διατάξεις του EN 1992-1-1 για την εύρεση του απαιτούμενου διαμήκους (καμπτικού) οπλισμού.

Δεδομένου ότι ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση των απαιτήσεων οπλισμού, η προσοχή επικεντρώνεται στον καμπτικό οπλισμό των δοκών στις στηρίξεις των δοκών. Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις καμπτικού οπλισμού σε mm.



Εικόνα 4.4 : Διαμήκης οπλισμοί δομικών στοιχείων σε mm²

5. Συγκριτική αξιολόγηση και Συμπεράσματα

5.1 Συγκριτική Ανάλυση Απαιτήσεων Οπλισμού

Στην παρούσα ενότητα πραγματοποιείται μια ποσοστική σύγκριση των απαιτήσεων οπλισμού ανάμεσα στον φορέα με πλάκες χωρίς δοκούς (flat slabs) ο οποίος διαστασιολογήθηκε με βάση τις προδιαγραφές των Ευρωκωδίκων δεύτερης γενιάς (prEN 1992-1-1:2023 και prEN 1998-1-1:2024) και τον συμβατικού φορέα αναφορά με πλακοδόκους. Η σύγκριση επικεντρώνεται στον διαμήκη (καμπτικό) οπλισμό στις περιοχές των στηρίξεων. Για το σύστημα πλάκας-υποστυλώματος (flat slabs), ο οπλισμός αυτός αντιστοιχεί στον συνολικό οπλισμό που τοποθετείται στις λωρίδες στήριξης (column strips) και περιλαμβάνει τόσο τον καμπτικό οπλισμό σχεδιασμού όσο και τον απαιτούμενο οπλισμό ακεραιότητας (integrity reinforcement). Για τον φορέα αναφοράς, ο οπλισμός αντιστοιχεί στον διαμήκη άνω και κάτω οπλισμό των πλακοδοκών. Για την σωστή σύγκριση των αποτελεσμάτων ο απαιτούμενος οπλισμός των πλακοδοκών πλάτους **1.14 m** αναγάγετε στο πλάτος της ισοδύναμης δοκούς πλάτους **1.85 m**.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των απαιτούμενων διατομών οπλισμού ανά όροφο καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή των δύο συστημάτων.

Πίνακας 5.1 : Ποσοστιαία μεταβολή απαιτούμενου οπλισμού ανά δομικό σύστημα					
Όροφος	Θέση	Φορέας Flat Slab As,strip mm ²	Φορέας με δοκούς As mm ²	Φορέας με δοκούς As,ανηγμένος mm ²	Ποσοστιαία Διαφορά
Ισόγειο	άνω	4121	1286	2087	97%
	κάτω	1975	594	964	105%
Α' όροφος	άνω	4011	1250	2029	98%
	κάτω	1924	579	940	105%
Β' όροφος	άνω	4188	1276	2071	102%
	κάτω	2005	590	957	109%

5.2 Συγκριτικά Συμπεράσματα

Με βάση την ανάλυση, τη διαστασιολόγηση και την ποσοτική συγκριτική αξιολόγηση των δύο δομικών συστημάτων (flat slab και φορέα αναφοράς με δοκούς), διαπιστώνεται ότι η εφαρμογή της 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων (prEN 1992-1-1:2023 και prEN 1998-1-1:2024) οδηγεί σε σημαντική αύξηση των απαιτήσεων διαμήκους οπλισμού στις πλάκες χωρίς δοκούς. Η εφαρμογή των νέων αυστηρότερων διατάξεων για τις πλάκες χωρίς δοκούς, όταν αυτές αναλαμβάνουν ρόλο πρωτευόντων σεισμικών στοιχείων, οδηγεί σε πολύ υψηλότερες απαιτήσεις καμπτικού οπλισμού εντός των λωρίδων στήριξης (support strips). Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.1, η ποσοστιαία αύξηση του απαιτούμενου άνω και κάτω οπλισμού στις αντίστοιχες θέσεις ελέγχου προσεγγίζει ή και υπερβαίνει το 100% (με χαρακτηριστικές αυξήσεις της τάξης του 97% έως 105% στο ισόγειο) σε σύγκριση με τον ανηγμένο καμπτικό οπλισμό του φορέα με δοκούς. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην γεωμετρία των δύο συστημάτων. Το στατικό ύψος των δοκών στον συμβατικό φορέα είναι σαφώς μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στατικό ύψος της πλάκας χωρίς δοκούς $d_{beam} \gg d_{slab}$. Λόγω του σημαντικά μικρότερου μοχλοβραχίονα εσωτερικών δυνάμεων που διαθέτει η πλάκα flat slab για την παραλαβή των ίδιων εντατικών μεγεθών (ροπών), οδηγούμαστε σε απαίτηση τοποθέτησης πολύ μεγαλύτερου ποσοστού καμπτικού διαμήκους οπλισμού, ώστε να εξασφαλιστεί η απαιτούμενη καμπτική αντοχή σχεδιασμού M_{Rd} .

6. Γενικά Συμπεράσματα

Σε συνέχεια της παρούσας μελέτης που αφορούσε τον σχεδιασμό και διαστασιολόγηση κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα με πλάκες χωρίς δοκούς (flat slab) βάσει των νέων προτύπων της επερχόμενης 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων, και ειδικότερα στις διατάξεις των προσχεδίων prEN 1998-1-2:2022 (Ευρωκώδικας 8) και FprEN 1992-1-1:2022 (Ευρωκώδικας 2) τα βασικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν συνοψίζονται στις ακόλουθες ενότητες:

6.1 Νέοι κανόνες μοντελοποίησης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8

Κατά την μοντελοποίηση ενός φορέα με πλάκες χωρίς δοκούς και ορίζοντας το σύστημα πλάκας υποστυλώματος ως πρωτεύον σύστημα ανάληψης σεισμικών δυνάμεων ο μελετητής Μηχανικός πρέπει να λάβει υπόψη του τους παρακάτω κανόνες:

- Σε περιπτώσεις χρήσης επιφανειακών στοιχείων (plate/shell models), επιβάλλεται η δραστική μείωση της ελαστικής καμπτικής και διατμητικής δυσκαμψίας της πλάκας στο ένα τέταρτο ($1/4$) της αρχικής τιμής, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η έντονη ρηγμάτωση που αναμένεται να αναπτυχθεί κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας λόγω σεισμού.
- Δίνεται η δυνατότητα μοντελοποίησης της πλάκας με καμπτικά τριασδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» εισάγοντας όμως περιορισμούς που εξαρτώνται άμεσα από τις διαστάσεις των κατακόρυφων στοιχείων και τα καθαρά ανοίγματα του φορέα
- Ορίζει γεωμετρικούς περιορισμούς όπως το ελάχιστο πάχος πλάκας και την υποχρεωτική διάταξη των υποστυλωμάτων σε κανονικό ορθογώνιο κάναβο εισάγονται αυστηρότερους περιορισμούς στη διάνοιξη ανοιγμάτων (οπών) κοντά στις κρίσιμες περιοχές διάτρησης.

6.2 Νέοι κατασκευαστικοί κανόνες διάταξης διαμήκη οπλισμού

Λόγω της απουσίας πλασιακής λειτουργίας στα κτίρια με πλάκες χωρίς δοκούς τα νέα πρότυπα του Ευρωκώδικα 8 ορίζουν κανόνες και περιορισμούς στη διαστασιολόγηση και την κατασκευή διαμήκη οπλισμού στις πλάκες για τη διασφάλιση της μεταφοράς σεισμικών δυνάμεων από την πλάκα στα υποστυλώματα, κάτι που οδηγεί σε αυξημένες απαιτήσεις διαμήκη οπλισμού στους κόμβους. Οι κανόνες αυτοί αφορούν τα εξής:

- Ο διαμήκης οπλισμός θα πρέπει να συγκεντρώνεται πάνω από τα υποστυλώματα και μέσα στις **λωρίδες στήριξης** (support strips). Ο άνω οπλισμός σε όλο το άνοιγμα δεν πρέπει να υπολείπεται του $1/4$ του οπλισμού των στηρίξεων, ενώ ο κάτω οπλισμός πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με το $1/3$ του αντίστοιχου άνω οπλισμού των στηρίξεων.
- Ο οπλισμός που αναλαμβάνει τις σεισμικές ροπές πρέπει να τοποθετείται αυστηρά εντός του **ενεργού πλάτους** b_{ef} γύρω από το υποσύλωμα,

καταλαμβάνοντας τουλάχιστον το 50% του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού της ULS σεισμικής κατάστασης στις εσωτερικές στηρίξεις.

- Τοποθετείται οπλισμός ακεραιότητας (Integrity Reinforcement) προς αποφυγή του φαινομένου της προοδευτικής κατάρρευσης (progressive collapse) ο οποίος περιλαμβάνει τουλάχιστον 4 συνεχείς ράβδους που διέρχονται μέσα από τον πυρήνα του υποστυλώματος σε κάθε διεύθυνση.

6.3 Σημαντικές Αλλαγές και Τροποποιήσεις στον Ευρωκώδικα 2 (Διάτρηση Πλακών)

Κατά τον σεισμικό σχεδιασμό των νέων διατάξεων της 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων (prEN 1998-1-2) τροποποιούνται διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 που αφορούν τον έλεγχο της σύνδεσης πλάκας υποστυλώματος έναντι του φαινομένου της διάτρησης όπως αναλύθηκαν παραπάνω και προκύπτουν τα ακόλουθα κύρια συμπεράσματα :

- **Υποχρεωτικός Ικανοτικός Σχεδιασμός Ροπών:** Η εκκεντρότητα της τέμνουσας δύναμης δεν υπολογίζεται πλέον με απλή ελαστική ανάλυση. Επιβάλλεται η εφαρμογή ικανοτικού σχεδιασμού σε όλους τους τύπους στηρίξεων (εσωτερικά, ακραία και γωνιακά υποστυλώματα), με βάση τις μέγιστες ροπές αντοχής που μπορούν να μεταφέρουν είτε τα υποστυλώματα είτε η πλάκα (μέσω των λωρίδων επιρροής ή του μοντέλου των ισοδύναμων δοκών).
- **Συντηρητικότερος Υπολογισμός Αντοχής Σκυροδέματος:** Για τις πλάκες χωρίς οπλισμό διάτρησης, ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος γίνεται με αυστηρότερα κριτήρια, λαμβάνοντας υπόψη αποκλειστικά τον εφελκόμενο (άνω) οπλισμό της πλάκας. Παράλληλα, για εσωτερικούς κόμβους που περιβάλλονται πλήρως από άλλα υποστυλώματα, επιτρέπεται μια ελεγχόμενη προσαύξηση της αντοχής μέσω ειδικού διορθωτικού συντελεστή.
- **Απαγόρευση Κεκλιμένων Ράβδων (Bent-up Bars):** Κατά τον σεισμικό σχεδιασμό, απαγορεύεται ρητά η χρήση κεκλιμένων ράβδων ή καμμένων οπλισμών για την παραλαβή των τάσεων διάτρησης. Η ανάληψη των δυνάμεων αυτών πρέπει να γίνεται αποκλειστικά από κατακόρυφα σκέλη οπλισμού (συνδετήρες ή ήλους).

- **Αυστηροί Γεωμετρικοί Περιορισμοί Οπλισμού:** Εισάγονται πολύ πιο απαιτητικές κατασκευαστικές διατάξεις για τη διάταξη του οπλισμού διάτρησης. Η μέγιστη επιτρεπόμενη ακτινική απόσταση μεταξύ των σκελών των συνδετήρων μειώνεται στο μισό του στατικού ύψους της πλάκας, ενώ η πρώτη σειρά οπλισμού επιβάλλεται να τοποθετείται εξαιρετικά κοντά στην παρειά του υποστυλώματος.
- **Σταθερές Τιμές Απόδοσης και Ανώτατα Όρια Αντοχής:** Κατά τη διαστασιολόγηση του οπλισμού διάτρησης, επιβάλλεται η χρήση σταθερών και συντηρητικών συντελεστών απόδοσης για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα. Επιπλέον, καθορίζεται ένα αυστηρό ανώτατο όριο συνολικής αντοχής, ώστε να αποτραπεί η ψαθυρή αστοχία λόγω θλίψης του σκυροδέματος στην περιοχή του κόμβου.

6.4 Τελικά Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, η υιοθέτηση της 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων για τη μελέτη πλακών χωρίς δοκούς ως πρωτευόντων σεισμικών στοιχείων οδηγεί σε σαφώς ασφαλέστερες αλλά και πιο συντηρητικές κατασκευές (σημαντική αύξηση των απαιτούμενων ποσοστών καμπτικού και διατμητικού οπλισμού). Η ανάγκη αποφυγής της ψαθυρής αστοχίας σε διάτρηση κάτω από ανακυκλιζόμενη σεισμική φόρτιση μετατοπίζει το βάρος της μελέτης από τους απλούς ελέγχους αντοχής σε έναν αυστηρό ικανοτικό σχεδιασμό και σε λεπτομερείς κατασκευαστικές διατάξεις. Ο σύγχρονος Μηχανικός οφείλει να ενσωματώνει αυτές τις απαιτήσεις ήδη από τα αρχικά στάδια της προσομοίωσης και της μόρφωσης του φέροντος οργανισμού.

Βιβλιογραφία

CEN. (2024). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1-1: General rules and seismic action (FprEN 1998-1-1). Brussels: European Committee for Standardization.

CEN. (2024). Eurocode 8: Earthquake resistance design of structures - Part 1-2: General rules and seismic action (prEN 1998-1-2, draft post-ENQ, 48th meeting). Brussels: European Committee for Standardization.

CEN. (2023) Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures (BS EN 1992-1-1:2023). Brussels: European Committee for Standardization.

Σκαλούμπακα Δ. Νικολέττα (2023) Διερεύνηση Διάτρησης Πλακών κατά τους Ευρωκώδικες 2 και Εφαρμογή σε Κτίριο ΟΣ Χωρίς Δοκούς υπό Σεισμική Φόρτιση (Διπλωματική Εργασία) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Καραγιάννης, Γ. Χρήστος (2023). Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και σεισμικές δράσεις. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Σοφία.

Genikomsou A.S. (2024) – Seismic Damage Assessment of Reinforced Concrete Slab-Column Connections—Review of Test Data, Code Provisions and Analytical Models. Buildings 2024, 14, 465. Ανακτήθηκε 21 Δεκεμβρίου, 2025, από <https://doi.org/10.3390/buildings14020465>

Varga D., Lantsoght E.O.L., Genikomsou A.S.(2022) Flat Slabs in Eccentric Punching Shear: Experimental Database and Code Analysis. Buildings 2022, 12, 2092. Ανακτήθηκε 21 Δεκεμβρίου, 2025 από <https://doi.org/10.3390/buildings12122092>

Atiqur Rahman, Sohel Rana, Nafisa Anjum & Fahmida Islam (2025). Seismic Performance Comparison of Flat Slab and RC Frame Structures Using Pushover Analysis. American Journal of Civil Engineering 2025, Vol. 13, No. 6, pp. 313–328, Ανακτήθηκε 21 Δεκεμβρίου, 2025, <https://doi.org/10.11648/j.ajce.20251306.11>

Εμμανουήλ Κίρτας, Γεώργιος Παναγόπουλος (2015) Προσομοίωση Κατασκευών σε Προγράμματα Ηλεκτρονικού Υπολογιστή – Εφαρμογές με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000, Ανακτήθηκε 15 Μαρτίου 2020, <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-838>

Εγγλέζου, Αντιγόνη Ε (2009) Ανάλυση και σχεδιασμός πλακών χωρίς δοκούς σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EC2 (NEN-EN 1992-1-1) με την άμεση μέθοδο (Διπλωματική Εργασία), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Ανακτήθηκε 21 Φεβρουαρίου, 2026, <http://dx.doi.org/10.26240/heal.ntua.4880>

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.