

Διερεύνηση της Σεισμικής Συμπεριφοράς Πολυώροφου Κτιρίου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα Χωρίς Δοκούς, βάσει της 2ης γενιάς των Ευρωκωδίκων

Νικόλαος Α. Βαρύτης
Μεταπτ. Φοιτητής ΣΜΑ-ΕΑΠ
n.varitis@gmail.com ,
std153524@ac.eap.gr

Τηλέμαχος Παναγιωτάκος
Καθηγητής και Μέλος ΣΜΑ-ΕΑΠ
tpanagiotakos@dencopc.com

Περίληψη – Η απόκριση στον σεισμό αποτελεί το μείζον πρόβλημα των κτιρίων χωρίς δοκούς (flat slabs) λόγω της απουσίας εσωτερικών κυρίως πλαισίων για την παραλαβή των σεισμικών δράσεων. Σήμερα οι Ευρωκώδικες δεύτερης (2ης) γενιάς τροποποίησαν τα υφιστάμενα πρότυπά τους για τον σχεδιασμό των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς (flat slabs) και πρόσθεσαν στον Ευρωκώδικα 8 βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης. Στην παρούσα εργασία αρχικά αναλύσαμε τις νέες αυτές διατάξεις των Ευρωκωδίκων, και μελετήσαμε ένα πολυώροφο κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς δοκούς βάσει των νέων αυτών κανονισμών. Στη συνέχεια συγκρίναμε τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα ενός κτιρίου με δοκούς ίδιας γεωμετρίας. Η σύγκριση εστιάστηκε στις απαιτήσεις διαμήκους (καμπτικού) οπλισμού ανάμεσα στις ζώνες (ή λωρίδες) στήριξης στο σύστημα πλάκας-υποστυλώματος με τις αντίστοιχες απαιτήσεις στο κτίριο με δοκούς.

Λέξεις-Κλειδιά: Πλάκες χωρίς δοκούς, Ευρωκώδικες δεύτερης γενιάς, EC8, EC2, διάτρηση πλακών, σεισμικός σχεδιασμός

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 συμπαγείς 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. Κτίριο με συμπαγείς επίπεδες πλάκες (flat slabs)

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.

Συνεπώς η ιδιαιτερότητα της σεισμικής απόκρισης ενός κτιρίου με χρήση ενός τέτοιου συστήματος σε συνδυασμό με το γεγονός ότι έχει παρατηρηθεί αύξηση της ανέγερσής τους το τελευταίο διάστημα οδήγησαν τους συντάκτες των Ευρωκωδίκων να τροποποιήσουν τα υφιστάμενα πρότυπα τους και να προσθέσουν στον Ευρωκώδικα 8 βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης για τον σχεδιασμό και την κατασκευή

κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς (flat slabs). Συγκεκριμένα προστέθηκε στο κεφάλαιο 10 του Ευρωκώδικα 8, που αφορά τους ειδικούς κανόνες για τα κτίρια οπλισμένου σκυροδέματος, την ενότητα 10.10.

II. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στην παρούσα μελέτη αρχικά μελετήθηκαν οι νέες κανονιστικές διατάξεις που περιλαμβάνουν τις βασικές αρχές σχεδιασμού και τους νέους κανόνες διαστασιολόγησης των κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς (flat slabs) έναντι σεισμικών δράσεων της νέας έκδοσης του Ευρωκώδικα 8 (prEN 1998-1-1:2024) καθώς επίσης και της ανανεωμένης έκδοσης του Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023)

Έπειτα εφαρμόστηκαν οι νέες αυτές διατάξεις των Ευρωκωδίκων δεύτερης γενιάς, μελετώντας ένα τριώροφο κτίριο οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς και συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα αυτά με τα αντίστοιχα ενός κτιρίου αντίστοιχης γεωμετρίας με δοκούς. Η σύγκριση εστιάστηκε στις απαιτήσεις διαμήκους (καμπτικού) οπλισμού ανάμεσα στις ζώνες (ή λωρίδες) στήριξης στο σύστημα πλάκας-υποστυλώματος του κτιρίου χωρίς δοκούς με τις αντίστοιχες απαιτήσεις του κτιρίου με δοκούς.

III. ΣΧΕΛΙΑΖΟΝΤΑΣ ΕΝΑ ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΠΛΑΚΕΣ ΧΩΡΙΣ

ΔΟΚΟΥΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΕΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ (2ΗΣ) ΓΕΝΙΑΣ

A. Βασικές αρχές σχεδιασμού σύμφωνα με τον EC8

Οι νέες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 φέρνουν νέους κανόνες μοντελοποίησης των κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς ορίζοντας το σύστημα πλάκας-υποστυλώματος ως πρωτεύον σύστημα ανάλυσης σεισμικών δυνάμεων. Συνοπτικά οι νέοι κανόνες περιλαμβάνουν:

- Γεωμετρικούς περιορισμούς όπως το ελάχιστο πάχος πλάκας που θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 3.5% του μεγαλύτερου ανοίγματος (L) δηλαδή $d \geq 0.035L$
- Είναι υποχρεωτική η διάταξη των υποστυλωμάτων σε κανονικό ορθογώνιο κάναβο
- Περιορισμούς στις διανοίξεις ανοιγμάτων (οπών) κοντά στις κρίσιμες περιοχές διάτρησης.
- Στα γωνιακά υποστυλώματα **θα πρέπει να υπάρχουν περιμετρικές δοκοί**. Οι δοκοί μπορούν να παραλειφθούν αν η πλάκα επεκτείνεται πέραν του ορίου του υποστυλώματος σε προεξοχή ίση με το πάχος της πλάκας.

- Δίνεται η δυνατότητα μοντελοποίησης της πλάκας με καμπτικά τρισδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «**ισοδύναμες δοκούς**» εισάγοντας όμως περιορισμούς που εξαρτώνται άμεσα από τις διαστάσεις των κατακόρυφων στοιχείων και τα καθαρά ανοίγματα του φορέα
- Σε περιπτώσεις χρήσης επιφανειακών στοιχείων (plate/shell models), επιβάλλεται η δραστηκή 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.

B. Νέοι κανόνες διαστασιολόγησης σύμφωνα με τον EC8

Οι νέες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 ορίζουν επίσης νέους κανόνες και περιορισμούς στη διαστασιολόγηση και την κατασκευή διαμήκους οπλισμού στις πλάκες για τη διασφάλιση της μεταφοράς σεισμικών δυνάμεων από την πλάκα στα υποστυλώματα. Οι κανόνες αυτοί αφορούν:

- Τη συγκέντρωση του διαμήκους οπλισμού πάνω από τα υποστυλώματα και μέσα σε κάποιες ζώνες της πλάκας που ονομάζονται **λωρίδες στήριξης** (support strips).
- Την απαίτηση ο οπλισμός που αναλαμβάνει τις σεισμικές ροπές να τοποθετείται αυστηρά εντός του ενεργού πλάτους **b_{ef}** γύρω από το υποστώμα, καταλαμβάνοντας τουλάχιστον το 50% του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού στις εσωτερικές στήριξεις.
- Και τέλος την τοποθέτηση οπλισμού 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.

C. Τροποποιήσεις διατάξεων του EC2 που αφορούν τον έλεγχο διάτρησης

Τέλος κατά τον σεισμικό σχεδιασμό οι νέες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 (prEN 1998-1-2) τροποποιούν διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 που αφορούν τον έλεγχο της σύνδεσης πλάκας υποστυλώματος έναντι του φαινομένου της διάτρησης. Οι αλλαγές αυτές συνοπτικά αφορούν τα εξής:

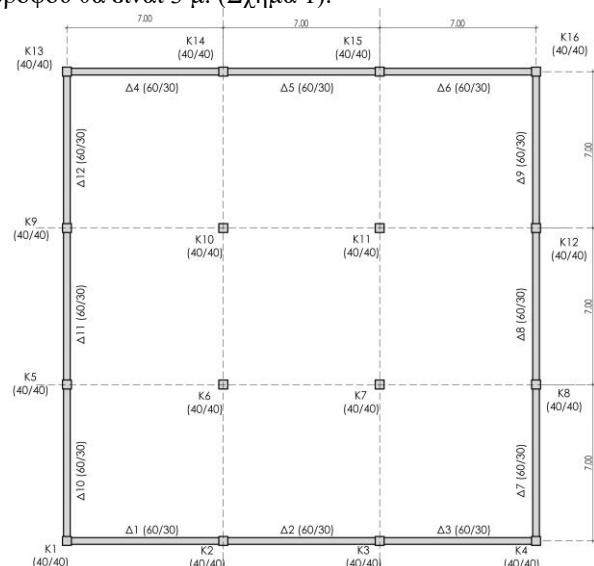
- Κατά τον υπολογισμό της δρώσας διατμητικής τάσης τ_{Ed} η εκκεντρότητα της τέμνουσας δύναμης υπολογίζεται πλέον βάση των ροπών αντοχής και όχι των ροπών σχεδιασμού,

- 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,
- Απαγορεύονται οι κεκλιμένες ράβδοι (Bent-up Bars),
- 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 παρεία του υποστυλώματος,
- Επιβάλλεται η χρήση σταθερών και συντηρητικών συντελεστών απόδοσης για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα και τέλος
- Καθορίζεται ένα αυστηρό ανώτατο όριο συνολικής αντοχής, ώστε να αποτραπεί η ψαθυρή αστοχία λόγω θλίψης του σκυροδέματος στην περιοχή του κόμβου.

IV. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΡΙΩΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΠΛΑΚΕΣ ΧΩΡΙΣ ΔΟΚΟΥΣ

A. Περιγραφή του φορέα και των δεδομένων σχεδιασμού

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε ένα τριώροφο κτίριο του οποίου 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. (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Κάτοψη τυπικού επιπέδου με αριθμηση των κάθετων και κατακόρυφων στοιχείων.

Το πάχος της πλάκας προέκυψε από τον γεωμετρικό περιορισμό του Ευρωκώδικα 8, σύμφωνα με τον οποίο δεν πρέπει να είναι μικρότερο του 3.5% του μεγαλύτερου

ανοίγματος, δηλαδή $d \geq 0.035 \times 7.00 = 0.245 \text{ m}$. Λαμβάνοντας υπόψη και τους ελέγχους της οριακής κατάστασης λειτουργικότητας για το σχετικά μεγάλο άνοιγμα, επιλέχθηκε τελικώς πάχος $d = 0.30 \text{ m}$.

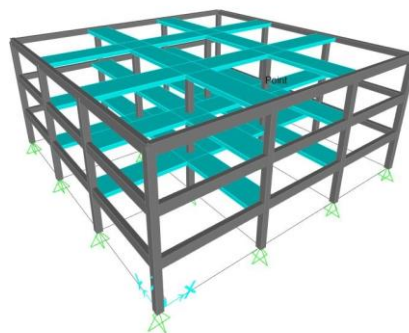
Η μεταφορά των κατακόρυφων φορτίων των πλακών στις περιμετρικές και στις ισοδύναμες δοκούς έγινε με χρήση της διάδοσης των δυνάμεων υπό 45° , οδηγώντας σε τριγωνικά φορτία με μέγιστο στο μέσον κάθε δοκού. Οι σεισμικές δράσεις προσδιορίστηκαν με δυναμική φασματική ανάλυση. Τέλος επειδή λόγω της απουσίας δοκών ο φορέας δεν μπορεί να θεωρηθεί πλαισιακός και κατατάσσεται στα στρεπτικά εύκαμπτα συστήματα ο συντελεστής συμπεριφοράς υπολογίστηκε $q = 2.0$.

Πίνακας 1. Βασικά δεδομένα σχεδιασμού

Μέγεθος	Τιμή
Κάτοψη	$3 \times 7.00 \text{ m}$ ανά διεύθυνση ($21 \times 21 \text{ m}$)
Όροφοι	$3 \times 3.00 \text{ m}$
Υποστυλώματα	40/40 cm
Περιμετρικές δοκοί	30/60 cm
Πάχος πλάκας	$d = 0.30 \text{ m}$
Σκυρόδεμα	C25/30
Χάλυβας	B500C
Μόνιμα φορτία	$G = 33.25 \text{ kN/m}$
Κινητά φορτία	$Q = 7.00 \text{ kN/m}$
Σεισμική δράση	$a_{gR} = 0.16g$, $\gamma_I = 1.20$, έδαφος Β
Συντ. συμπεριφοράς	$q = 2.0$

B. Μοντελοποίηση του κτιρίου

Βάσει των νέων διατάξεων του EC8 και του EC2 και κάνοντας χρήση του λογισμικού SAP2000 το σύστημα πλάκας υποστυλωμάτων προσομοιώθηκε με καμπτικά τρισδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» που συνδέουν τα κάθετα στοιχεία και εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε γραμμική φασματική ανάλυση (Σχήμα 2).



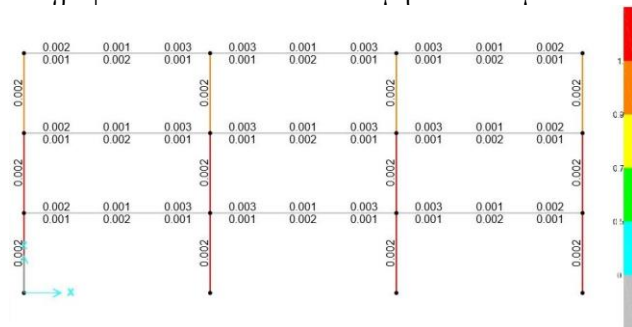
Σχήμα 2. Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου στο λογισμικό SAP2000.

Το πλάτος της ισοδύναμης δοκού λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή μεταξύ α) της απόστασης του άξονα έως την άκρη της πλάκας (7.20 m), β) της μισής κάθετης απόστασης μεταξύ των αξόνων από την πλησιέστερη παράλληλη ισοδύναμη δοκό ($l_i/2 = 3.50$ m) και γ) το άθροισμα $D_{col}/2 + l_{i,καθ}/4 = 1.85$ m. Η ισοδύναμη δοκός έχει επομένως πλάτος $b = 1.85$ m και ύψος ίσο με το πάχος της πλάκας, $h = 0.30$ m.

Στην προσομοίωση εφαρμόστηκε απομείωση της δυσκαμψίας των ρηγματωμένων διατομών κατά 50% και της δυστρεψιάς στο 10%,.

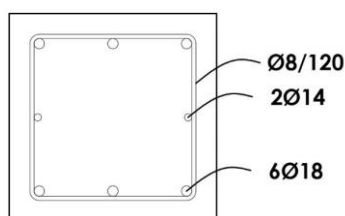
C. Καμπτικός οπλισμός και οπλισμός ακεραιότητας

Η διαστασιολόγηση του κτιρίου πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα 2 (EN 1992-1-1:2004) και με τον τρόπο αυτό προέκυψαν τα γεωμετρικά ποσοστά οπλισμού των ισοδύναμων δοκών και συνεπώς είναι δυνατή η επιλογή των διαμήκων οπλισμών της πλάκας που παραλαμβάνουν τις ροπές κάμψης. Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ένα εσωτερικό πλαίσιο του συστήματος ισοδύναμη δοκός - υποστυλώμα στο οποίο αναγράφονται τα ποσοστά των διαμήκων οπλισμών σε m^2 .



Σχήμα 3. Διαμήκεις οπλισμοί δομικών στοιχείων σε m^2

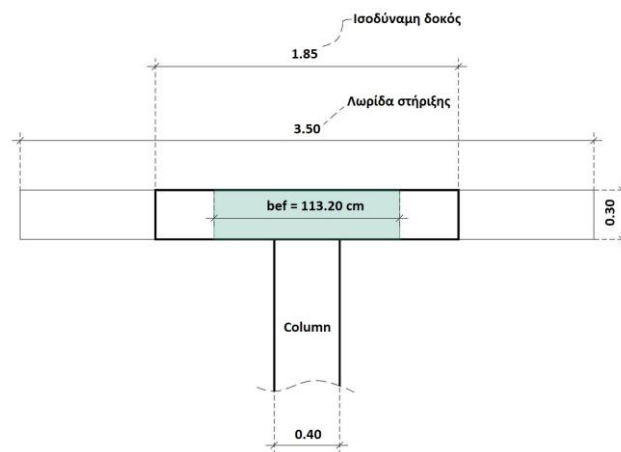
Στα υποστυλώματα βάσει του συνολικού ποσοστού που προκύπτει από την ανάλυση τοποθετείται διαμήκης οπλισμούς 6Ø18 & 2Ø14 καθώς επίσης και διατμητικός οπλισμός Ø8/120 (Σχήμα 4)



Σχήμα 4. Οπλισμοί υποστυλώματος

Τέλος υπολογίστηκε ο οπλισμός ακεραιότητας ο οποίος θα αποτελείται από 4Ø18 ανά διεύθυνση και το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης μεγαλύτερο των $d_v + l_b = 0.98$ m σύμφωνα με τα οριζόμενα της παρ. 10 της ενότητας 10.10.2 των νέων διατάξεων του Ευρωκώδικα 8.

Εν συνεχεία για την τοποθέτηση του καμπτικού οπλισμού στην πλάκα υπολογίστηκαν η λωρίδα στήριξης η οποία προκύπτει 3.50 m και το ενεργό πλάτος b_{ef} το οποίο προκύπτει 113.20 cm εντός των οποίων θα συγκεντρώνεται ο καμπτικός οπλισμός της πλάκας όπως ορίζουν οι νέες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 (Σχήμα 5).



Σχήμα 5. Ισοδύναμη δοκός, λωρίδας στήριξης και πάχος b_{ef}

D. Διαστασιολόγηση έναντι διάτρησης

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 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 το πρώτο βήμα για τον έλεγχο διάτρησης είναι να υπολογιστούν οι ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων και της πλάκας.

Για τον υπολογισμό λοιπόν της δρώσας διατμητικής τάσης λαμβάνονται υπόψη τυχόν εκκεντρότητες της φόρτισης λόγω συγκεντρωμένων τεμνουσών δυνάμεων. Οι συνιστώσες της εκκεντρότητας $e_{b,x}$ και $e_{b,y}$ που υπολογίζονται από την εφαρμογή των ροπών αντοχής, σε κάθε διεύθυνση x και y και υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση :

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

- $M_{Rd,tot,col}$: το άθροισμα των τιμών σχεδιασμού των ροπών αντοχής του υποστυλώματος στις άνω και κάτω παρειές της πλάκας στην σύνδεση με το υποστυλώμα
- $M_{Rd,80\%tot,strip}$: 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.

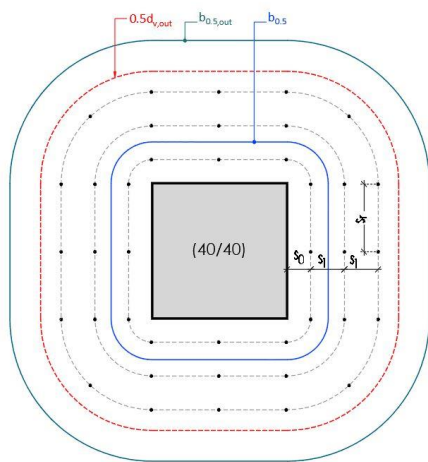
- $M_{Rd,1.25tot,eq-beam}$: Σε εσωτερικά υποστυλώματα το 1.25 του αθροίσματος των θετικών και αρνητικών ροπών αντοχής στη διατομή στη στήριξη της ισοδύναμης δοκού.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση η ροπή σχεδιασμού προκύπτει ως η μικρότερη μεταξύ των τριών: $M_{Ed} = \min(424.26, 871.30, 719.65) = 424.26 \text{ kNm}$, δηλαδή κρίσιμη αποβαίνει η συνολική ροπή αντοχής των συντρεχόντων υποστυλωμάτων οδηγώντας σε δρώσα τάση $\tau_{Ed} = 2.52 \text{ MPa}$. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενοι έλεγχοι διάτρησης που ορίζει ο Ευρωκώδικας 2 (FprEN 1992-1-1:2023) και τα αποτελέσματα των διαδοχικών ελέγχων συνοψίζονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ελέγχου διάτρησης εσωτερικού κόμβου

Μέγεθος	Τιμή	Παρατήρηση
M_{Ed}	424.26 kNm	ελάχιστη των ροπών
V_{Ed}	697.67 kN	συνδυασμός $G + 0.3Q \pm E$
e_{bx} / β_e	0.61 m / 2.09	—
$b_{0,s} / d_v$	2.367 / 0.244 m	—
τ_{Ed}	2.52 MPa	δρώσα διατμητική τάση
$\tau_{Rd,c,min}$	0.68 MPa	$< \tau_{Ed} \rightarrow$ αναλυτικοί υπολογισμοί
$\tau_{Rd,c}$	1.64 MPa	$< \tau_{Ed} \rightarrow$ απαιτείται οπλισμός
$\tau_{Rd,max}$	2.02 MPa	$< \tau_{Ed} \rightarrow$ ανεπαρκής γεωμετρία
$\tau_{Rd,cs}$	2.56 MPa	$\Phi 8, s_r = 100, s_t = 190 \text{ mm}$

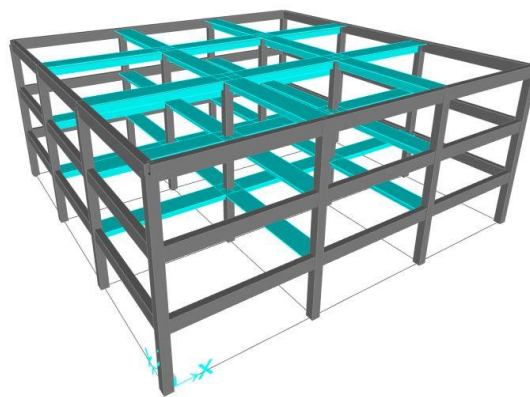
Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε την υπέρβαση του ανώτατου ορίου αντοχής ($\tau_{Ed} = 2.52 \text{ MPa} > \tau_{Rd,max} = 2.02 \text{ MPa}$). Λόγω της παραπάνω υπέρβασης συνιστάται αλλαγή των διαστάσεων της σύνδεσης πλάκας-υποστυλώματος καθώς η προσθήκη οπλισμού διάτρησης θεωρείται μη αποτελεσματική. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού διάτρησης (Σχήμα 6) παρατίθεται για λόγους πληρότητας της μεθοδολογίας.



Σχήμα 6. Διάταξη τοποθέτησης οπλισμού διάτρησης (κατά FprEN 1992-1-1:2023)

V. ΦΟΡΕΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Μετά τον έλεγχο διάτρησης του συστήματος πλάκας-υποστυλώματος του κτιρίου χωρίς δοκούς πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση, η επίλυση και η διαστασιολόγηση του ίδιου ακριβώς κτιρίου, με τη διαφορά ότι στη θέση των «ισοδύναμων δοκών» τοποθετήθηκαν κανονικές, γραμμικές δοκοί οπλισμένου σκυροδέματος. (Σχήμα 7)



Σχήμα 7. Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου αναφοράς (με δοκούς) στο λογισμικό SAP2000

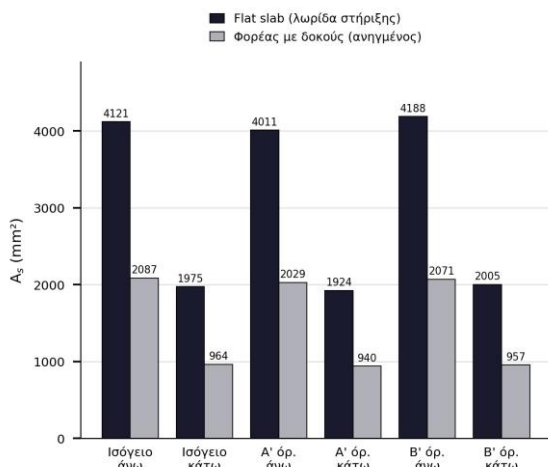
Οι δοκοί προσομοιώθηκαν ως πλακοδοκοί διατομής T. Το συνεργαζόμενο πλάτος προέκυψε από τη σχέση $b_{eff} = \Sigma b_{eff,i} + b_w$, με $l_{ob} = 0.15 \cdot (l_1 + l_2) = 2.10 \text{ m}$ και $b_{eff,i} = \min\{0.2b_i + 0.1l_{ob}, 0.2l_{ob}, b_i\} = 0.42 \text{ m}$, δηλαδή $b_{eff} = 0.42 + 0.30 + 0.42 = 1.14 \text{ m}$.

Δεδομένου ότι ο στόχος της εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση των απαιτήσεων οπλισμού, η προσοχή επικεντρώνεται στον καμπτικό οπλισμό των δοκών στις στηρίξεις των δοκών. 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 ανάγεται στο πλάτος της ισοδύναμης δοκού πλάτους 1.85 m.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των απαιτούμενων διατομών οπλισμού ανά όροφο καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή των δύο συστημάτων, ενώ στο Σχήμα 8 απεικονίζονται γραφικά.

Πίνακας 3. 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%



Σχήμα 8. Σύγκριση απαιτούμενου διαμήκους οπλισμού ανά όροφο και θέση ελέγχου

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του Πίνακα 3, 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 χωρίς δοκούς (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 MRd.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Σκαλούμπικα Δ. Νικολέττα (2023) Διερεύνηση Διάρτησης Πλακών κατά τους Ευρωκώδικες 2 και Εφαρμογή σε Κτίριο ΟΣ Χωρίς Δοκούς υπό Σεισμική Φόρτιση (Διπλωματική Εργασία) Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [5] Καραγιάννης, Γ. Χρήστος (2023). Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και σεισμικές δράσεις. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Σοφία.
- [6] 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>
- [7] 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>
- [8] 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>
- [9] 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>