

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 πρότυπα τους για τον σχεδιασμό των κτιρίων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς δοκούς (flat slabs) και πρόσθεσαν στον Ευρωκώδικα 8 βασικές αρχές σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης. Στη 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 διαμήκης (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 τετραέρεις 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).

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 συνδυάζοντας το γεγονός ότι έχει παρατηρηθεί αύξηση ανέγερσης τους το τελευταίο διάστημα καθώς 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.

II. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Αρχικά μελετήθηκαν οι νέες κανονιστικές διατάξεις για την διαστασιολόγηση και κατασκευή κτιρίων με πλάκες χωρίς δοκούς με την ανανεωμένη έκδοση του Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023) και των βασικών αρχών σχεδιασμού και κανόνες διαστασιολόγησης τους για σεισμικές δράσεις με της νέας έκδοση του Ευρωκώδικα 8 (prEN 1998-1-1:2024). Έπειτα εφαρμόσαμε τις νέες αυτές διατάξεις μελετώντας ένα τριώροφο κτίριο τριών (3) ανοιγμάτων και συγκρίναμε τα

αποτελέσματα με τα αντίστοιχα ενός κτιρίου με δοκούς ίδιας γεωμετρίας.

A. Σχεδιασμός φορέων με πλάκες χωρίς δοκούς βάσει Ευρωκωδίκων δεύτερης (2ης) γενιάς

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 αφορούν:

- Γεωμετρικούς περιορισμούς όπως το ελάχιστο πάχος πλάκας και την υποχρεωτική διάταξη των υποστυλωμάτων σε κανονικό ορθογώνιο κάναβο
- Περιορισμούς στις διανοίξεις ανοιγμάτων (οπών) κοντά στις κρίσιμες περιοχές διάτρησης.
- 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 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.

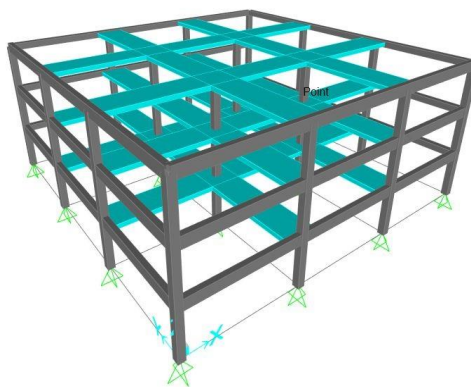
Οι νέες διατάξεις του Ευρωκώδικα 8 ορίζουν επίσης νέους κανόνες και περιορισμούς στη διαστασιολόγηση και την κατασκευή διαμήκη οπλισμού στις πλάκες για τη διασφάλιση της μεταφοράς σεισμικών δυνάμεων από την πλάκα στα υποστυλώματα. Οι κανόνες αυτοί αφορούν τη συγκέντρωση του διαμήκη οπλισμού πάνω από τα υποστυλώματα και μέσα στις λωρίδες στήριξης (support strips). Ο οπλισμός που αναλαμβάνει τις σεισμικές ροπές πρέπει να τοποθετείται αυστηρά εντός του ενεργού πλάτους b_{ef} γύρω από το υποστυλωμα, καταλαμβάνοντας τουλάχιστον το 50% του συνολικού απαιτούμενου οπλισμού στις εσωτερικές στηρίξεις. Επίσης 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.

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:

- Η εκκεντρότητα της τέμνουσας δύναμης υπολογίζεται πλέον βάση της μέγιστης αντοχής και όχι της ροπής 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 κεκλιμένον 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 παρειά 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.

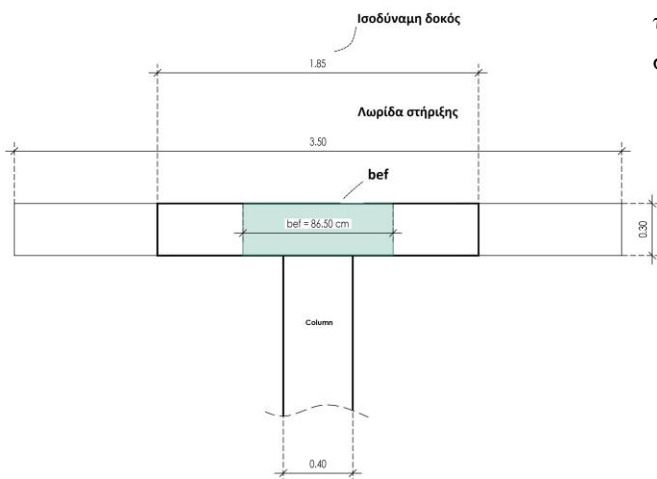
B. Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση τριώροφου κτιρίου με πλάκες χωρίς δοκούς

Βάσει των νέων διατάξεων και κάνοντας χρήση του λογισμικού SAP2000 αναλύσαμε ένα τριώροφο κτίριο χωρίς δοκούς στο οποίο οι πλάκες προσομοιώθηκαν με καμπτικά τρισδιάστατα πλαίσια που αποτελούνται από «ισοδύναμες δοκούς» που συνδέονται με τα κάθετα στοιχεία και πραγματοποιήθηκε γραμμική φασματική ανάλυση (Σχήμα 1).



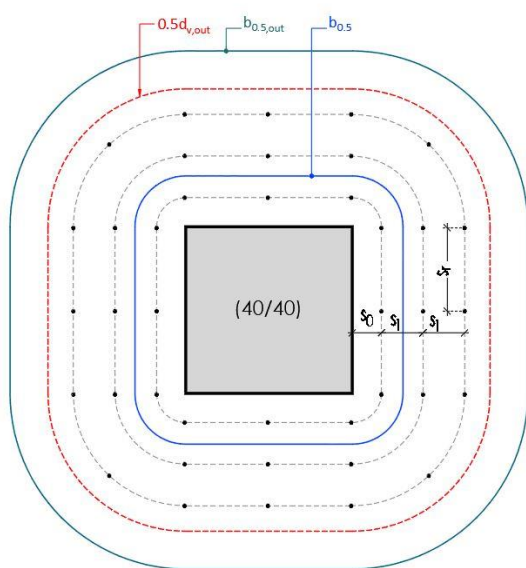
Σχήμα 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου στο λογισμικό SAP2000.

Διατασιολογήθηκε το κτίριο βάσει των νέων διατάξεων των Ευρωκωδίκων και υπολογίστηκαν οι λωρίδες στήριξης, το ενεργό πλάτος b_{ef} εντός των οποίων θα συγκεντρώνεται ο καμπτικός οπλισμός της πλάκας όπως φαίνεται στο Σχήμα 2



Σχήμα 2. Ισοδύναμη δοκός, λωρίδας στήριξης και πάχος b_{ef}

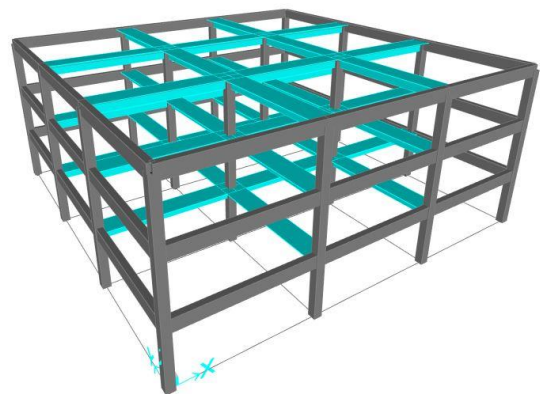
Υπολογίστηκαν οι ροπές αντοχής των υποστυλωμάτων και της πλάκας και τέλος διατασιολογήθηκε η σύνδεση πλάκας-υποστυλώματος έντατι διάτρησης σύμφωνα με τις νέες διατάξεις των προτύπων του Ευρωκώδικα 2 (FprEN 1992-1-1:2023). Στο Σχήμα 3 φαίνεται η διάταξη τοποθέτησης οπλισμού διάτρησης κατά Ευρωκώδικα 2.



Σχήμα 3. Διάταξη τοποθέτησης οπλισμού διάτρησης (κατά FprEN 1992-1-1:2023)

C. Σύγκριση φορέων

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 4)



Σχήμα 4. Τρισδιάστατη απεικόνιση του προσομοιώματος κτιρίου αναφοράς (με δοκούς) στο λογισμικό SAP2000

Δεδομένου ότι ο στόχος της εργασίας είναι η συγκριτική αξιολόγηση των απαιτήσεων οπλισμού, η προσοχή επικεντρώνεται στον καμπτικό οπλισμό των δοκών στις στήριξεις 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 αναγάγετέ 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 1

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%

III. 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 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 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] 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.
- [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>