

Παράδειγμα Μελέτης Στατικής
Επάρκειας και Ενίσχυσης κτιρίου
σύμφωνα με την **3^η αναθεώρηση**
του ΚΑΝΕΠΕ 2022

ag / ag,ref	Στάθμη Επιτελεσματικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A Περιορισμένες Βλάβες	B Σημαντικές Βλάβες	Γ Οιονεί Κατάρρευση
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1 ⁺	B1 ⁺	Γ1 ⁺
1.00	A1	B1	Γ1
0.75	A2 ⁺	B2 ⁺	Γ2 ⁺
0.60	A2	B2	Γ2
0.45	A3 ⁺	B3 ⁺	Γ3 ⁺
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4 ⁺	B4 ⁺	Γ4 ⁺
<0.25	A4	B4	Γ4

Fespa R

For Windows

Παράδειγμα ενίσχυσης κτιρίου σύμφωνα με την 3^η αναθεώρηση του
ΚΑΝΕΠΕ, 2022



Αθήνα, Δεκέμβριος 2022

Version 1.1.9

Πίνακας περιεχομένων

1	Βασικές διαφορές της 3^{ης} αναθεώρησης του ΚΑΝΕΠΕ ...	4
1.1	Τροποιώσεις στη Σ.Α.Δ χάλυβα οπλισμού	4
1.2	Κατάταξη σε σεισμικές κλάσεις	4
1.3	Συνυπολογισμός της διάβρωσης υφιστάμενου οπλισμού.....	7
1.4	Νέος υπολογισμός βλήτρων	8
2	Παράδειγμα Ενίσχυσης Κτιρίου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα	9
2.1	Ο φορέας του παραδείγματος	9
3	Μελέτη αποτίμησης στατικής επάρκειας	13
3.1	Τα βήματα της μελέτης αποτίμησης	13
3.1.1	Εισαγωγή του προσομοιώματος της κατασκευής (Βήμα 1 - 4)	14
3.1.2	Ορισμός Στάθμης Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) (Βήμα 5) (<i>νέο</i>)	15
3.1.3	Καθορισμός απομειωτικών συντελεστών αντοχών λόγω διάβρωσης (Βήμα 6) (<i>νέο</i>)	17
3.1.4	Καθορισμός σεισμικής επιτάχυνσης αναφοράς ag_{ref} και ελάχιστης στάθμης επιτελεστικότητας (Βήμα 7).....	19
3.1.5	Κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου σε βασική σεισμική κλάση (Βήμα 8) (<i>νέο</i>)	20
3.2	Επίλυση έλεγχος επάρκειας και αποτελέσματα σεισμικών κλάσεων (βήμα 9).....	21
3.2.1	Έλεγχος στην ελάχιστη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1	22
3.2.2	Κατάταξη σε βασική σεισμική κλάση και υπολογισμός επιτάχυνσης ag στόχου ενισχύσεων	25
4	Μελέτη ενισχύσεων	29
4.1	Τα βήματα της μελέτης ενισχύσεων.....	29
4.1.1	Σχεδιασμός και προσομοίωση ενισχύσεων	29
4.1.2	Ορισμός στάθμης επιτελεστικότητας στόχου ενίσχυσης σύμφωνα με τις σεισμικές κλάσεις (<i>νέο</i>).....	32
4.1.3	Επίλυση και έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης	33

4.1.4 Σύγκριση των 2 εναλλακτικών στόχος ενίσχυσης.....	37
4.1.5 Υπολογισμός βλήτρων μανδυνών	39

5 Παράρτημα Α. Θεωρητικά στοιχεία υπολογισμού βλήτρων	46
--	-----------

1

Βασικές διαφορές της 3^{ης} αναθεώρησης του ΚΑΝΕΠΕ

1.1 Τροποήσεις στη Σ.Α.Δ χάλυβα οπλισμού

Σύμφωνα με την παράγραφο 3.7.2.1 του ΚΑΝΕΠΕ η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων χάλυβα (ΣΑΔ) οπλισμού διαχωρίζεται σε στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων υλικού (ΣΑΔ_Υ) και σε στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων λεπτομερειών όπλισης (ΣΑΔ_Λ). Η ΣΑΔ_Υ αφορά την αξιοπιστία της αντοχής του χάλυβα. Η κατηγορία του χάλυβα οπλισμού αναγνωρίζεται οπτικά και τότε η ΣΑΔ_Υ μπορεί να λαμβάνεται «Ικανοποιητική». Η ΣΑΔ_Λ καθορίζει την αξιοπιστία των λεπτομερειών όπλισης, δηλαδή του εισαγόμενου σιδερώματος στο προσομοίωμα. Καθορίζεται σύμφωνα με τον πίνακα 3.2 του ΚΑΝΕΠΕ και εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη σχεδίων της αρχικής μελέτης και το εύρος της αποτύπωσης και των επί τόπου μετρήσεων. Αμφότερες οι δύο ΣΑΔ_Λ και ΣΑΔ_Υ καθορίζουν το συντελεστή ασφαλείας γ_s του χάλυβα οπλισμού.

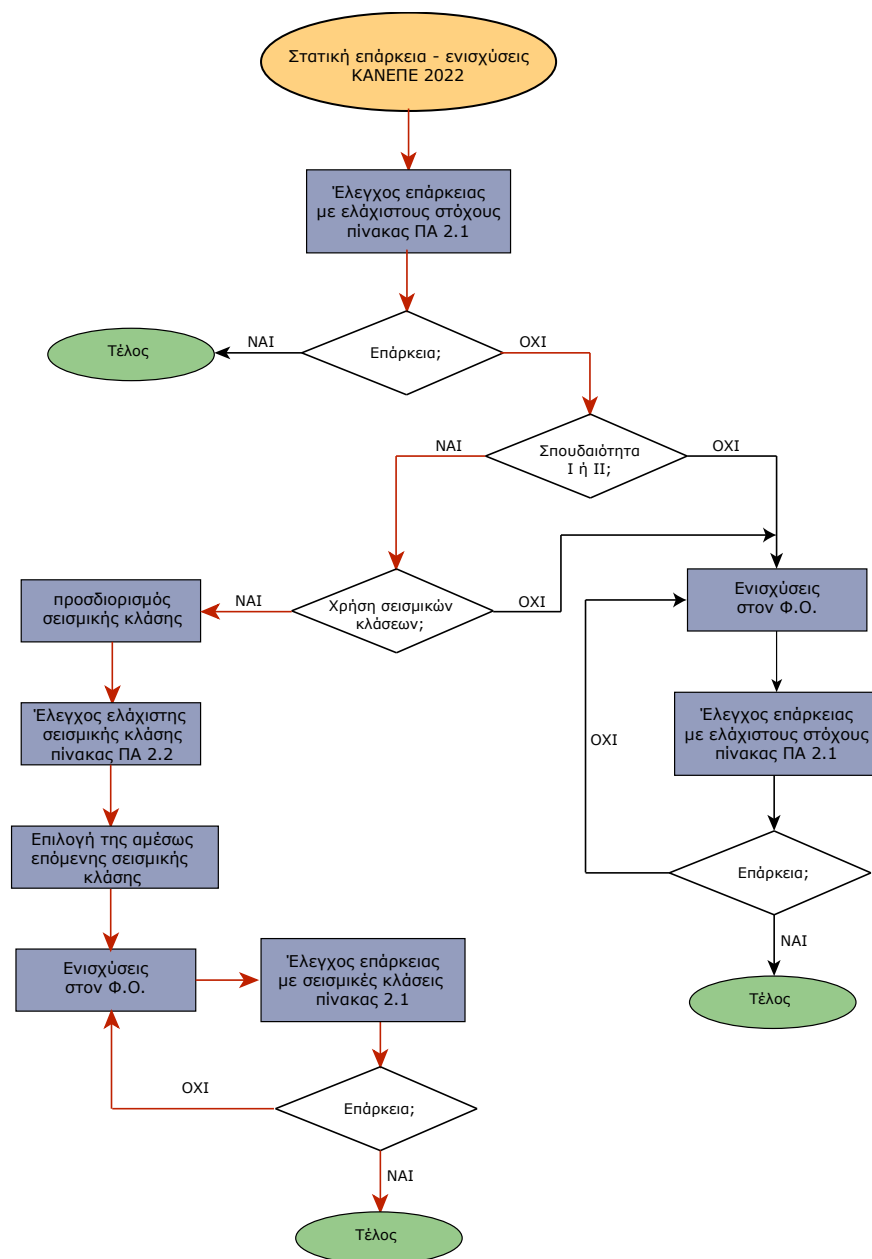
1.2 Κατάταξη σε σεισμικές κλάσεις

Για κτίρια σπουδαιότητας I και II γίνεται κατάταξη σε βασική σεισμική κλάση σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ. Η κατάταξη αυτή γίνεται σε περίπτωση που το κτίριο κρίνεται ανεπαρκές να ικανοποιήσει τους ελάχιστους στόχους του πίνακα ΠΑ.2.1. του ΚΑΝΕΠΕ (πχ για σπουδαιότητα II την επιτελεσματικότητα Γ1). Σύμφωνα με την προηγούμενη έκδοση του ΚΑΝΕΠΕ (2^η αναθεώρηση, 2017), θα έπρεπε να σχεδιαστούν ενισχύσεις ώστε η αντισεισμικότητα του κτιρίου να ενισχυθεί και να ικανοποιεί τον ελάχιστο στόχο του πίνακα ΠΑ.2.1. (επιτελεσματικότητα Γ1).

Αντίθετα, στην 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ (2022), ο στόχος ενίσχυσης για τα παλαιά κτίρια, κατηγορίας σπουδαιότητας I και II, μπορεί να μειωθεί μέσω της κατάταξής τους σε σεισμικές κλάσεις. Αρχικά, το υφιστάμενο κτίριο, που έχει

κριθεί ανεπαρκές, ταξινομείται σε βασική σεισμική κλάση βάσει του πίνακα 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη τις ελάχιστες σεισμικές κλάσεις του Παραρτήματος 2.1. Στη συνέχεια, η ενίσχυση του κτιρίου οφείλει **«να διασφαλίσει τη βελτίωση της σεισμικής του επάρκειας κατά μια τουλάχιστον βασική σεισμική κλάση του πίνακα 2.1, όχι μόνο από αυτή που ανήκει το κτίριο πριν την επέμβαση αλλά και από την ελάχιστη βασική σεισμική κλάση του πίνακα ΠΑ.2.2.»** (ΚΑΝΕΠΕ 2022, Παράρτημα 2.1). Με αυτόν τον τρόπο γίνεται δυνατός ο υπολογισμός οικονομικότερων ενισχύσεων καθώς το ενισχυμένο κτίριο αρκεί να ικανοποιεί ως στόχο ενίσχυσης μία τουλάχιστον ανώτερη κλάση από την κλάση κατάταξης και όχι κατ' ανάγκη την – απαιτητικότερη – στάθμη επιτελεσματικότητας Γ1.

Η πορεία μια μελέτης στατικής επάρκειας και ενισχύσεων σύμφωνα με τον ΚΑΝΕΠΕ 2022 παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής. Με κόκκινα βέλη σημειώνονται τα βήματα που γίνονται σύμφωνα με την 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα ροής πορείας μελέτης σύμφωνα με ΚΑΝΕΠΕ 2022

1.3 Συνυπολογισμός της διάβρωσης υφιστάμενου οπλισμού

Η διάβρωση του χάλυβα οπλισμού διακρίνεται σε ομοιόμορφη διάβρωση η οποία μειώνει το εμβαδόν του οπλισμού και σε βελονισμό ο οποίος μειώνει την ολκιμότητα του χάλυβα. Αμφότερες επηρεάζουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων στα οποία εμφανίζονται. Έτσι, εισάγεται από τον ΚΑΝΕΠΕ στο Παράρτημα 7ΣΤ ο βαθμός διάβρωσης μεμονωμένης ράβδου, X_{cor} ως ο λόγος της απώλειας εμβαδού διατομής ράβδου:

$$X_{cor} = \frac{\Delta A_s}{A_s} = \frac{A_s - A_{s,cor}}{A_s} = \frac{D_s^2 - D_{s,cor}^2}{D_s^2}$$

Όπου:

D_s είναι η αρχική διάμετρος της ράβδου

$D_{s,cor}$ είναι η διάμετρος της διαβρωμένης ράβδου η οποία μετρείται έπειτα από αποκάλυψη και καθαρισμό

Στη συνέχεια προσδιορίζεται ο βαθμός διάβρωσης της διατομής X_{cor} ως η μέση τιμή του εκτιμώμενου βαθμού διάβρωσης των μεμονωμένων ράβδων της διατομής του δομικού στοιχείου.

Με βάση τα παραπάνω ορίζονται τρεις συντελεστές απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών της διατομής.

1. Συντελεστής απομείωσης $r_{cor,Fy}$: Απομειώνει τη **ροπή αντίστασης** του δομικού στοιχείου συναρτήσει του βαθμού διάβρωσης της διατομής X_{cor} :

$$r_{cor,Fy} = \frac{F_{y,cor}}{F_y} = 1.0 - 1.30 \cdot X_{cor}$$

2. Συντελεστής απομείωσης της **παραμόρφωσης αστοχίας** $r_{cor,\theta u}$: Απομειώνει τη γωνία στροφής χορδής στην αστοχία του δομικού στοιχείου συναρτήσει του βαθμού διάβρωσης της διατομής X_{cor} και του ανηγμένου αξονικού ν :

$$r_{cor,\theta u} = \frac{\theta_{u,cor}}{\theta_u} = 1.0 - 2.85 \cdot X_{cor}, \text{ για } \nu < 0.20$$

$$r_{cor,\theta u} = \frac{\theta_{u,cor}}{\theta_u} = 1.0 - 3.50 \cdot X_{cor}, \text{ για } 0.20 < \nu < 0.40$$

3. Συντελεστής απομείωσης της **διατμητικής αντοχής των συνδετήρων** $r_{cor,Vw}$: Απομειώνει τη διατμητική αντίσταση λόγω συμβολής των συνδετήρων V_w

και υπολογίζεται με βάση την απομειωμένη διατομή τους διαιρεμένη με συντελεστή ασφαλείας 1.50. Για βαθμούς διάβρωσης μεγαλύτερους $X_{cor} > 0.35$ θεωρείται πλήρης απώλεια διατομής συνδετήρα ($V_w=0$).

Σημείωση

Η γωνία στροφής χορδής του δομικού στοιχείου πριν και μετά τη διάβρωση θεωρείται η ίδια ($\theta_{y,cor} = \theta_y$).

1.4 Νέος υπολογισμός βλήτρων μανδύων Ο/Σ

Ο έλεγχος διάτμησης της διεπιφάνειας μεταξύ νέου και παλιού σκυροδέματος σε μια ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος γίνεται με τα μεγέθη ορθής έντασης που παραλαμβάνει ο μανδύας. Στην 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ η ένταση αυτή θεωρείται διαξονική κάμψη με θλίψη σε αντίθεση με τις δύο ανεξάρτητες ροπές μονοαξονικής κάμψης της προηγούμενης έκδοσης του ΚΑΝΕΠΕ. Επιπρόσθετα, ο συντελεστής τριβής μεταξύ παλιού και νέου σκυροδέματος έχει αυξηθεί σε $\mu=1.3$ και συνεπώς η συνεισφορά της τριβής στην ανάληψη της θλίβουσας δύναμης της επιφάνειας έχει ισχυροποιηθεί. Συνεπώς, σύμφωνα με τη νέα μεθοδολογία του ΚΑΝΕΠΕ 2022 η απαίτηση σε βλήτρα είναι μικρότερη ενώ αρκετά συχνά η αντίσταση της διεπιφάνειας παλιού-νέου σκυροδέματος σε τριβή είναι ικανή από μόνη της να καλύψει την απαίτηση, με αποτέλεσμα την τοποθέτηση των ελάχιστων βλήτρων.

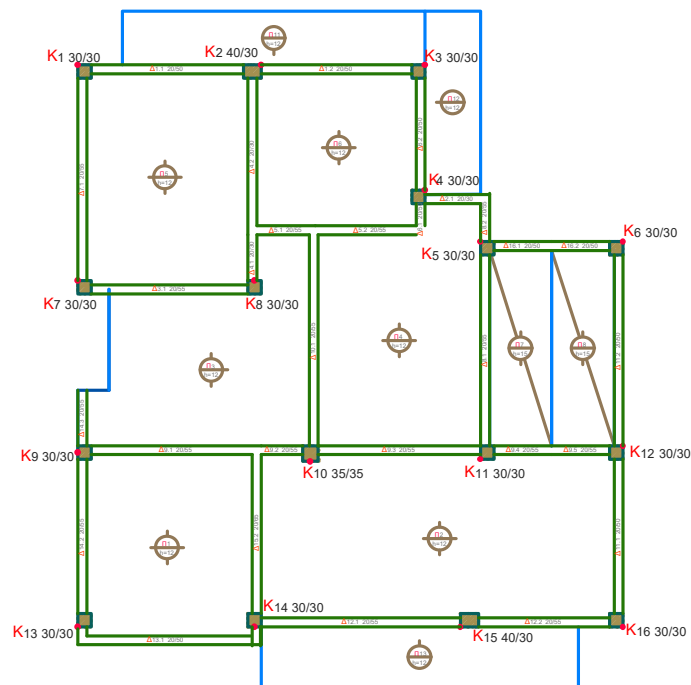
2

Παράδειγμα Ενίσχυσης Κτιρίου από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

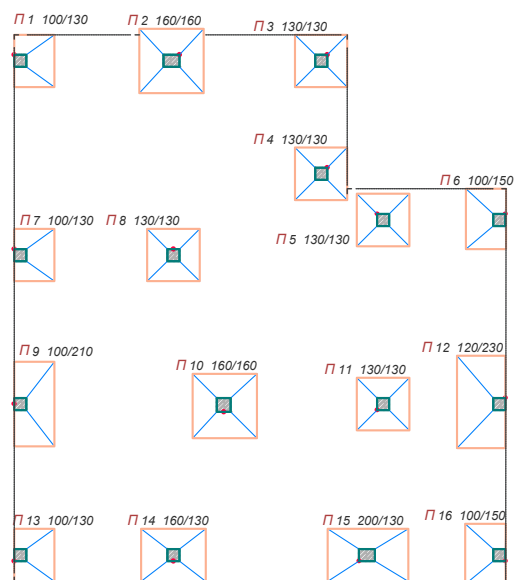
2.1 Ο φορέας του παραδείγματος

Στόχος της μελέτης είναι η αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας και η ενίσχυση υφιστάμενου κτιρίου από Ο.Σ., κατασκευασμένο το 1968.

Το κτίριο είναι διώροφο με ξυλότυπο τυπικού ορόφου όπως παρουσιάζεται στο (Σχήμα 2.1). Ο ξυλότυπος μορφώνεται σύμφωνα με τις κατασκευαστικές συνήθειες της εποχής και αποτελείται από πλάκες πάχους 12 cm, ορθογωνικά υποστυλώματα 30x30 και δοκάρια 20x55. Το κτίριο εφάπτεται στα όρια του οικοπέδου αριστερά και δεξιά και γι' αυτό στις πλευρές αυτές δομούνται μπατικές τοιχοπληρώσεις, οι οποίες έχουν εισαχθεί στο προσομοίωμα. Επίσης, στις ίδιες πλευρές τα υποστυλώματα θεμελιώνονται σε έκκεντρα πέδιλα, ενώ η θεμελίωση μορφώνεται χωρίς συνδετήρια δοκάρια (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.1: Ξυλότυπος οροφής τυπικού ορόφου



Σχήμα 2.2: Ξυλότυπος θεμελίωσης

Παρακάτω παρατίθενται οι ιδιότητες των υλικών και τα φορτία της κατασκευής.

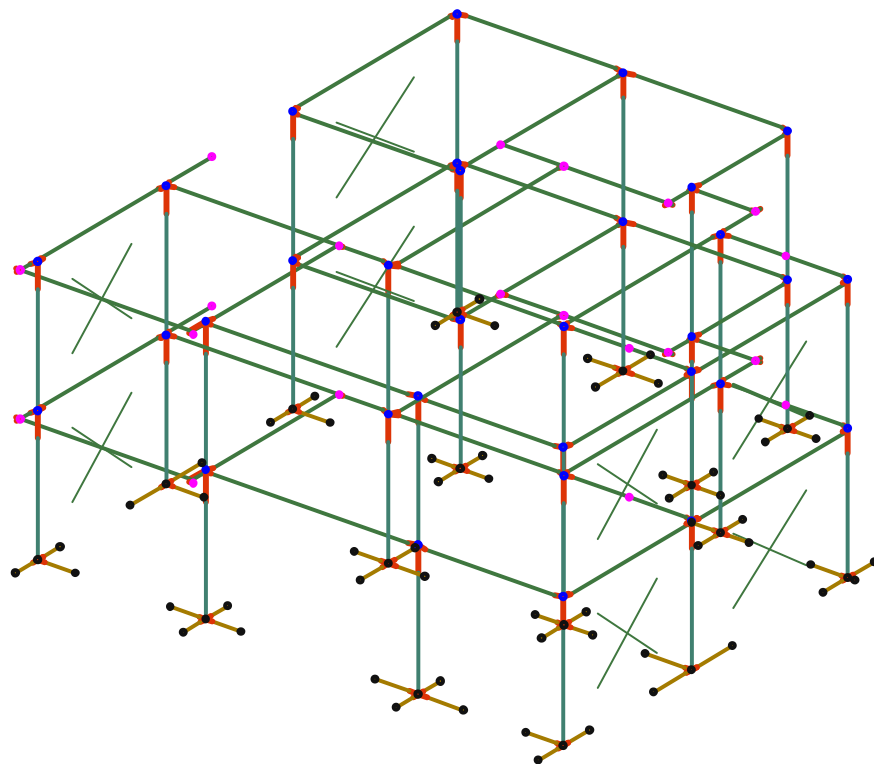
Δεδομένα Υλικών

- Κανονισμός σκυροδέματος: Παλαιός '54
- Αντισεισμικός κανονισμός: Παλαιός '59
- Σεισμική ζώνη I, $a_g=0.16g$
- Κατηγορία σκυροδέματος B160
- Μέση αντοχή σκυροδέματος: $f_{cm}=12.8$ MPa (Η αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου που απαιτείται στον ΚΑΝΕΠΕ, προκύπτει ως το 80% του κυβικού που αντιστοιχούσε η κατηγορία B160)
- Ποιότητα χάλυβα: St III: Μέση τιμή: $f_{ym}=450.0$ MPa

Δεδομένα Δράσεων

- Μόνιμα φορτία:
 - Επικαλύψεις 1 kN/m²
 - Μπατική τοιχοποιία 3.6 kN/m²
- Κινητά φορτία:
 - Φορτία πλακών: 2 kN/m²
 - Φορτία εξωστών: 5 kN/m²
- Χρήσεις ορόφων:
 - Οροφή ισογείου και 1^{ου} ορόφου: Α (κατοικία)

Επίσης, στην **Εικόνα 2.1** απεικονίζεται το τρισδιάστατο υπολογιστικό προσομοίωμα του 3dν.



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατο προσομοίωμα κτιρίου στο 3DV.

3

Μελέτη αποτίμησης στατικής επάρκειας

3.1 Τα βήματα της μελέτης αποτίμησης

Η μελέτη αποτίμησης φέρουσας ικανότητας και ενίσχυσης σύμφωνα με την 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ, πραγματοποιείται στο FespaR ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα. Τα βήματα 5, 6, και 8 αφορούν νέες προσθήκες που έγιναν στο πρόγραμμα για την εναρμόνισή του με τον ΚΑΝΕΠΕ 2022.

Μελέτη Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας

- Βήμα 1:** Εισαγωγή του **προσομοιώματος** (γεωμετρικό, φορτιστικό, κτλ.) της κατασκευής.
- Βήμα 2:** **Τοποθέτηση υφιστάμενων οπλισμών** στα υποστυλώματα και δοκάρια του ισογείου.
- Βήμα 3:** Γενική περιγραφή εργασίας: **Προσθήκες – Ενισχύσεις - Αποτίμηση**. Στόχος μελέτης: **Αποτίμηση Φ.Ι.**
- Βήμα 4:** Εισαγωγή **υφιστάμενων αντοχών** σκυροδέματος και οπλισμού.
- Βήμα 5:** Ορισμός Στάθμης Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.). **(NEO)**
- Βήμα 6:** Καθορισμός απομειωτικών συντελεστών αντοχών λόγω διάβρωσης. **(NEO)**
- Βήμα 7:** Καθορισμός σεισμικής επιτάχυνσης αναφοράς a_{g_ref} και ελάχιστης στάθμης επιτελεστικότητας
- Βήμα 8:** Ενεργοποίηση κατάταξης σε **βασική σεισμική κλάση**. **(NEO)**
- Βήμα 9:** Επίλυση, έλεγχος επάρκειας και αποτελέσματα σεισμικών κλάσεων

3.1.1 Εισαγωγή του προσομοιώματος της κατασκευής (Βήμα 1 - 4)

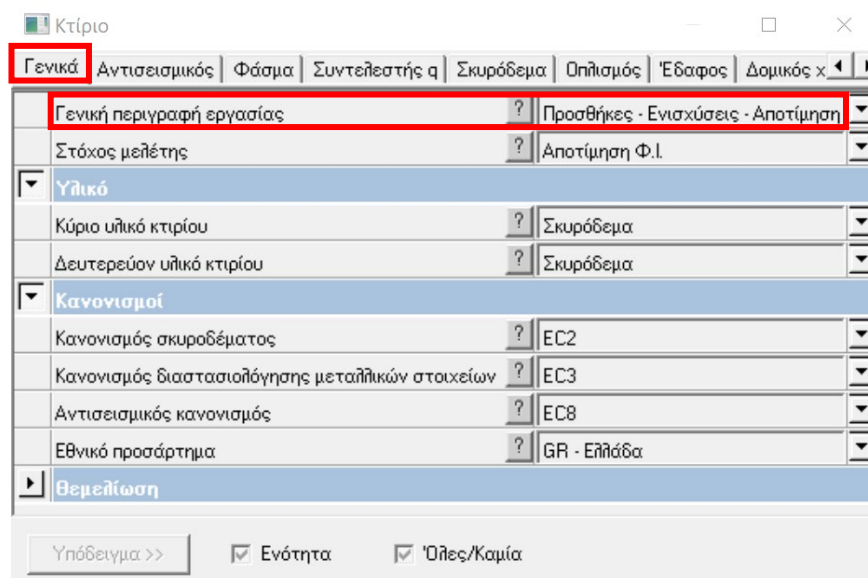
Αρχικά, περιγράφεται το γεωμετρικό προσομοίωμα του κτιρίου, κατά τη γνωστή διαδικασία. Στο προσομοίωμα εισάγονται και οι πλευρικές τοιχοπληρώσεις του φορέα ως χιαστί κατακόρυφα μέλη και ως κατανεμημένα φορτία στις δοκούς.

Στη συνέχεια εφαρμόζονται τα μόνιμα φορτία G επικαλύψεων και τα κινητά φορτία Q στις πλάκες, καθώς και τα φορτία των μπατικών και δρομικών τοιχοπληρώσεων στις δοκούς.

Αφού εισαχθεί το γεωμετρικό και το φορτιστικό προσομοίωμα του κτιρίου στο FespaR, στη συνέχεια εισάγονται οι οπλισμοί των υποστυλωμάτων και δοκών.

Ακολουθεί η εισαγωγή των παραμέτρων. Αρχικά, καθορίζεται η γενική περιγραφή εργασίας (Εικόνα 3.1):

- «Κτίριο > Γενικά > Γενική περιγραφή εργασίας = Προσθήκες – Ενισχύσεις – Αποτίμηση».
- «Κτίριο > Γενικά > Στόχος μελέτης = Αποτίμηση Φ.Ι.».



Εικόνα 3.1: Γενική περιγραφή εργασίας

Στη συνέχεια εισάγονται οι αντοχές των υλικών στις παρακάτω παραμέτρους (Εικόνα 3.2):

- «Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Χαρακτηρισμός μελών = Υφιστάμενα»
- «Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Μέση αντοχή σκυροδέματος f_{cm} [MPa] = 12.8»
- «Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Μέση αντοχή χάλυβα f_{ym} [MPa] = 450.0»
- «Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Μέση αντοχή χάλυβα συνδετήρων f_{ywm} [MPa] = 450.0»

Χαρακτηρισμός μελών	Υφιστάμενα
Οπλισμοί μελών	Νέα, ενισχυόμενα με μανδύα & θεμελίωση
Αυτάματος υπολογισμός αντοχών	Ναι
Νέο σκυρόδεμα	
Νέος οπλισμός	
Υφιστάμενο σκυρόδεμα & Οπλισμός	
Μέση αντοχή σκυροδέματος f_{cm} [MPa]	12.8
Μέση αντοχή χάλυβα f_{ym} [MPa]	450.0
Οριακή παραμόρφωση υφιστάμενου οπλισμού $es_{u,e}$ [%]	6.000
Μέση αντοχή χάλυβα συνδετήρων f_{ywm} [MPa]	450.0

Εικόνα 3.2: Εισαγωγή αντοχών υλικών.

3.1.2 Ορισμός Στάθμης Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) (Βήμα 5) (νέο)

Ορίζεται η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων του σκυροδέματος και του χάλυβα. Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων υλικού (ΣΑΔ_Υ) σκυροδέματος προσδιορίζεται ως «Ικανοποιητική» επειδή προκύπτει από επί τόπου πυρηνοληψίες και κρουσιμετρήσεις.

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων υλικού (ΣΑΔ_Υ) χάλυβα προσδιορίζεται ως «Ικανοποιητική» καθώς ο τύπος του χάλυβα StIII αναγνωρίζεται οπτικά από αποκαλύψεις.

Η στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων λεπτομερειών όπλισης (ΣΑΔ_Λ) χάλυβα προσδιορίζεται ως «Υψηλή» καθώς τα δεδομένα όπλισης έχουν ληφθεί από τα κατασκευαστικά σχέδια της μελέτης τα οποία έχουν εφαρμοστεί χωρίς τροποποιήσεις (Πίνακας 3.2 ΚΑΝΕΠΕ) (Εικόνα 3.3).

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Επίπεδο γνώσης (Σ.Α.Δ_Υ) σκυροδέματος = KL2
- Κανονική (Ικανοποιητική)»

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Επίπεδο γνώσης υλικού (Σ.Α.Δ_Υ) χάλυβα
οπλισμού = KL2 - Κανονική (Ικανοποιητική)»

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Επίπεδο γνώσης λεπτομερειών όπλισης
(Σ.Α.Δ_Λ) χάλυβα οπλισμού = KL3 - Πλήρης (Υψηλή)»

Εικόνα 3.3: Εισαγωγή στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.

Οι παράμετροι «Επίπεδο γνώσης υλικού (Σ.Α.Δ_Υ) χάλυβα οπλισμού» και «Επίπεδο γνώσης λεπτομερειών όπλισης (Σ.Α.Δ_Λ) χάλυβα οπλισμού» καθορίζουν την τιμή της παραμέτρου «Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα γ's», η οποία λαμβάνεται από τον παρακάτω **Πίνακα 3.1**.

	Σ.Α.Δ._Υ χάλυβα		
Σ.Α.Δ._Λ χάλυβα	KL3 – Πλήρης (Υψηλή)	KL2 – Κανονική (Ικανοποιητική)	KL1 – Περιορισμένη (Ανεκτή)
KL3 – Πλήρης (Υψηλή)	1.05	1.10	1.15
KL2 – Κανονική (Ικανοποιητική)	1.10	1.15	1.20
KL1 – Περιορισμένη (Ανεκτή)	1.15	1.20	1.25

Πίνακας 3.1: Τιμές τις παραμέτρου . «Συντελεστής ασφαλείας χάλυβα γ's»

Επίσης, η στάθμη αξιοπιστίας γεωμετρικών δεδομένων (Σ.Α.Δ.Γ) είναι «ικανοποιητική», συνεπώς ορίζεται ο ενιαίος συντελεστής οιονεί μονίμων δράσεων $\gamma_{sd} \cdot \gamma_{g,q} = 1.1$. (ΚΑΝΕΠΕ §4.5.2) για κτίριο χωρίς βλάβες.

«Κτίριο > Δράσεις > Ενιαίος συντελεστής οιονεί μονίμων δράσεων $\gamma_{sd} \cdot \gamma_{g,q}$ (Αποτίμηση) = 1.10» (**Εικόνα 3.4**)

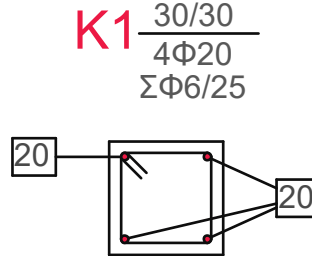
The screenshot shows the 'Κτίριο' (Building) window with the 'Δράσεις' (Actions) tab selected. The 'Ενιαίος συντ. οιονεί μονίμων δράσεων $\gamma_{sd} \cdot \gamma_{g,q}$ (Αποτίμηση)' field is highlighted with a red box and set to 1.100.

Παράμετρος	Τύπος	Τιμή
Επιφόρτιση άκαμπτων απολήξεων	?	Ναι
Δυσμενείς μεταβλητές δράσεις δοκών	?	Όχι
Πρώτος υπέργειος όροφος (δράσεις ατελειών)	?	0
Θεμελιώσεις συνδυασμοί δράσεων		
Απομείωση δυσμενών μονίμων δράσεων	?	Ναι - συνδυασμοί EC0 (S.10α) & (S.10β)
Μειωτικός συντ. δυσμενών μονίμων δράσεων ξ	?	0.850
Επιμέρους συντ. μόνιμων δράσεων πλάκων, γ_G	?	1.350
Επιμέρους συντ. μεταβλητών δράσεων πλάκων, γ_Q	?	1.500
Αποτίμηση - Ενισχύσεις		
Ενιαίος συντ. οιονεί μονίμων δράσεων $\gamma_{sd} \cdot \gamma_{g,q}$ (Αποτίμηση)	?	1.100

Εικόνα 3.4: Καθορισμός ενιαίου συντελεστής οιονεί μονίμων δράσεων

3.1.3 Καθορισμός απομειωτικών συντελεστών αντοχών λόγω διάβρωσης (Βήμα 6) **(νέο)**

Θα υπολογιστούν οι συντελεστές διάβρωσης αναλυτικά για τη διατομή του υποστυλώματος K1 (**Σχήμα 3.1**) και οι τιμές που θα προκύψουν θα εφαρμοστούν για χάρη απλότητας σε όλο το φορέα.



Σχήμα 3.1: Διατομή υποστυλώματος K1

Έπειτα από αποκάλυψη του οπλισμού και καθαρισμό του χάλυβα μετρήθηκε μέση απομένουσα διατομή διαμήκου ράβδου $D_{s,cor}=18.5 \text{ mm}$.

Υπολογίζεται με βάση τον ΚΑΝΕΠΕ στο Παράρτημα 7ΣΤ ο βαθμός διάβρωσης μεμονωμένης ράβδου, X_{cor} (ΚΑΝΕΠΕ ΣΤ.1):

$$X_{cor} = \frac{D_s^2 - D_{s,cor}^2}{D_s^2} = \frac{20^2 - 18.5^2}{20^2} = 0.14$$

Ο οποίος θεωρείται ίσος με το βαθμό διάβρωσης της διατομής X_{cor} .

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι συντελεστές απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών της διατομής σύμφωνα με την §1.3.

1. Συντελεστής απομείωσης $r_{cor,Fy}$ (ΚΑΝΕΠΕ ΣΤ.2):

$$r_{cor,Fy} = 1.0 - 1.30 \cdot X_{cor} = 1.0 - 1.30 \cdot 0.14 = 0.82$$

2. Συντελεστής απομείωσης της παραμόρφωσης αστοχίας $r_{cor,\theta u}$ (ΚΑΝΕΠΕ ΣΤ.4):

$$r_{cor,\theta u} = 1.0 - 2.85 X_{cor} = 1.0 - 2.85 \cdot 0.14 = 0.60$$

3. Συντελεστής απομείωσης της διατμητικής αντοχής των συνδετήρων $r_{cor,Vw}$ (σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝΕΠΕ, για τους συνδετήρες εφαρμόζεται επιπρόσθετα συντ. ασφαλείας 1.5):

$$r_{cor,Vw} = \frac{D_{s,cor}^2}{D_s^2} \cdot \frac{1}{1.5} = 0.57 > 0.35$$

Οι παραπάνω 3 απομειωτικοί συντελεστές εφαρμόζονται καθολικά στο κτίριο τόσο σε υποστυλώματα όσο και σε δοκούς στις παρακάτω παραμέτρους **Εικόνα 3.5**:

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση ροπής αντοχής $r_{cor}, F_y = F_{y,cor}/F_y = 0.82$ »

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση αντοχής συνδετήρων $r_{cor}, V_w = V_{w,cor}/V_w = 0.57$ »

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση παραμόρφωσης αστοχίας δοκών $r_{cor}, \theta_u = \theta_{u,cor}/\theta_u = 0.60$ »

«Κτίριο > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση παραμόρφωσης αστοχίας υποστυλωμάτων $r_{cor}, \theta_u = \theta_{u,cor}/\theta_u = 0.60$ »

Παράμετρος	Τύπος	Αποτίμηση
Απομείωση ροπής αντοχής $r_{cor}, F_y = F_{y,cor}/F_y$	?	0.820
Απομείωση αντοχής συνδετήρων $r_{cor}, V_w = V_{w,cor}/V_w$	?	0.670
Απομείωση παραμόρφωσης αστοχίας δοκών $r_{cor}, \theta_u = \theta_{u,cor}/\theta_u$	?	0.600
Απομείωση παραμόρφωσης αστοχίας υποστυλωμάτων $r_{cor}, \theta_u = \theta_{u,cor}/\theta_u$	?	0.600

Εικόνα 3.5: Εισαγωγή απομειωτικών συντελεστών διάβρωσης.

3.1.4 Καθορισμός σεισμικής επιτάχυνσης αναφοράς a_{g_ref} και ελάχιστης στάθμης επιτελεστικότητας (Βήμα 7)

Στη συνέχεια ορίζεται ο ελάχιστος στόχος του πίνακα ΠΑ.2.1. του ΚΑΝΕΠΕ, δηλαδή η στάθμη επιτελεστικότητας $\Gamma 1$ (NC), μιας και το κτίριο είναι σπουδαιότητας II για εδαφική επιτάχυνση $a_{gR} = 0.16g$.

«Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_{gR} [*g] = 0.16$ »

«Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Στάθμη επιτελεστικότητας NC = 1^η αστοχία υποστυλώματος ή κύριας δοκού»

Οι υπόλοιπες στάθμες επιτελεστικότητας DL και SD είναι ανενεργές (Εικόνα 3.6).

Κτίριο

Συντελεστής α | Σκυρόδεμα | Οπλισμός | Έδαφος | Δομικός χάλυβας | Σύμμικτα | Τοιχοπήλωση | Υλικά - Αποτίμηση | Αποτίμηση | Φάσμα - Αποτίμηση

Χαρακτηριστικά φάσματος

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση αθR [g] ? 0.160

Συντελεστής σπουδαιότητας γI ? 1.000

Παράμετροι φάσματος - Τιμές αναφοράς (Σπουδαιότητα II)

DL - Περιορισμός βλαβών

Στάθμη επιτελεστικότητας DL ? Όχι

DL - Περίοδος επαναφοράς T_DLR [Ετη] ? 41.5

DL - Πιθανότητα υπέρβασης P_DLR [%] ? 70.00

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (γ*αθR)_DL ? 0.058

SD - Σημαντικές βλάβες

Στάθμη επιτελεστικότητας SD ? Όχι

SD - Περίοδος επαναφοράς T_SDR [Ετη] ? 140.2

SD - Πιθανότητα υπέρβασης P_SDR [%] ? 30.00

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (γ*αθR)_SD ? 0.096

NC - Πρωτεύουσα κατάσταση

Στάθμη επιτελεστικότητας NC ? 1η αστοχία υποστ./τος ή κύριας δοκού

NC - Περίοδος επαναφοράς T_NCR [Ετη] ? 474.6

NC - Πιθανότητα υπέρβασης P_NCR [%] ? 10.00

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (γ*αθR)_NC ? 0.160

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 3.6: Εισαγωγή παραμέτρων φάσματος και επιτελεστικότητας.

3.1.5 Κατάταξη υφιστάμενου κτιρίου σε βασική σεισμική κλάση (Βήμα 8) (νέο)

Αρχικά, το κτίριο θα καταταγεί σε βασική σεισμική κλάση του, σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ. Για να συμβεί αυτό, καθορίζεται η παράμετρος:

«Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Κατάταξη σε σεισμική κλάση = Ναι» (Εικόνα 3.7)

Σημείωση

Η ταξινόμηση σε σεισμικές κλάσεις γίνεται μόνο με το φάσμα του EC8-1. Συνεπώς δε συνδυάζεται με σεισμικά φορτία παλαιότερων κανονισμών.

Κτίριο

Οπλισμός | Έδαφος | Δομικός χάλυβας | Σύμμικτα | Τοιχοπήλωση | Υλικά - Αποτίμηση | Αποτίμηση | **Φάσμα - Αποτίμηση** | Φε

Χαρακτηριστικά φάσματος

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_g R$ [g] ? 0.160

Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I ? 1.000

Παράμετροι φάσματος - Τιμές αναφοράς (Σπουδαιότητα II)

DL - Περιορισμός βλαβών

SD - Σημαντικές βλάβες

NC - Οιονεί κατάρρευση

Στάθμη επιτελεστικότητας NC ? Τη ασταχία υποστ/τος ή κύριας δοκού*

NC - Περίοδος επαναφοράς T_{NCR} [Ε τη] ? 474.6

NC - Πιθανότητα υπέρβασης P_{NCR} [%] ? 10.00

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $(\gamma_I a_g R)_{NC}$? 0.160

Όρια επιτελεστικότητας

Αριθμός υποστύλων n ? 2

Σεισμικό φορτίο - χρόνος κατασκευής

Σεισμικό φορτίο - χρόνος κατασκευής ? EC8-1

Σεισμικός συντελεστής e ? 0.040

Σεισμικές κλάσεις

Κατάταξη σε σεισμική κλάση ? Ναι

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 3.7: Ενεργοποίηση κατάταξης σε σεισμική κλάση.

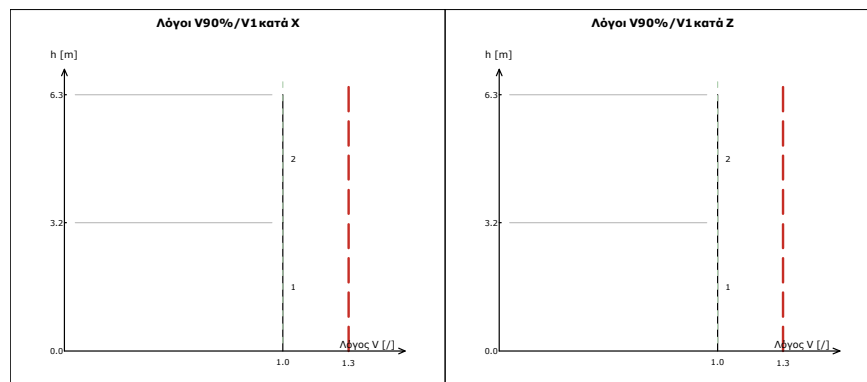
3.2 Επίλυση έλεγχος επάρκειας και αποτελέσματα σεισμικών κλάσεων (βήμα 9)



Ο έλεγχος επάρκειας θα πραγματοποιηθεί με μη γραμμική ανάλυση Pushover

Για να ξεκινήσει η **μη γραμμική ανάλυση (Pushover)** κάντε κλικ στην εντολή «Διαγράμματα P.K. - Επίλυση pushover», της «Επίλυσης».

Το συγκεκριμένο κτίριο ενδείκνυται για ανάλυση pushover, καθώς είναι κανονικό σε κάτοψη και δεν υπάρχει επιρροή ανώτερων ιδιομορφών. Ο συγκεκριμένος έλεγχος των προϋποθέσεων εφαρμογής της ανάλυσης Pushover πραγματοποιείται σύμφωνα με την παράγραφο §5.7.2 του ΚΑΝΕΠΕ και (2022) εμφανίζεται στο τεύχος «Τεύχος > Μη γραμμική ανάλυση Pushover > Προϋπόθεση εφαρμογής ανάλυσης Pushover».



Σχήμα 3.2: Εκτύπωση του ελέγχου των προϋποθέσεων εφαρμογής της ανάλυσης Pushover, μέσω του ελέγχου επιρροής των ανώτερων ιδιομορφών, όπως παρουσιάζεται στο τεύχος.

3.2.1 Έλεγχος στην ελάχιστη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1

Αρχικά, θα ελεγχθεί αν το κτίριο είναι στατικά επαρκές στην ελάχιστη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1 σύμφωνα με τον πίνακα ΠΑ.2.1. του ΚΑΝΕΠΕ. Σύμφωνα με τους Πίνακες 3.2, 3.3, παρατηρείται ανεπάρκεια στα υποστυλώματα του κτιρίου σε κάμψη και αστοχία διάτμησης κόμβου λόγω διαγώνιου εφελκυσμού.

Οι πίνακες τυπώνονται στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες υποστυλωμάτων», «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες δοκών» και «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες διάτμησης κόμβων»

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύρια/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
NC	Δ16.1(0)	Κύριο	0.86

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύρια/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
NC	Δ2.1(0)	Δευτερεύον	0.85

Πίνακας 3.2: Λόγοι ανεπάρκειας δοκών

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
NC	K10(0)	Κύριο	1.77!

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
NC	K15(0)	Κύριο	0.96

Πίνακας 3.3: *Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων**Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση πυρήνα οπλισμένου κόμβου.*

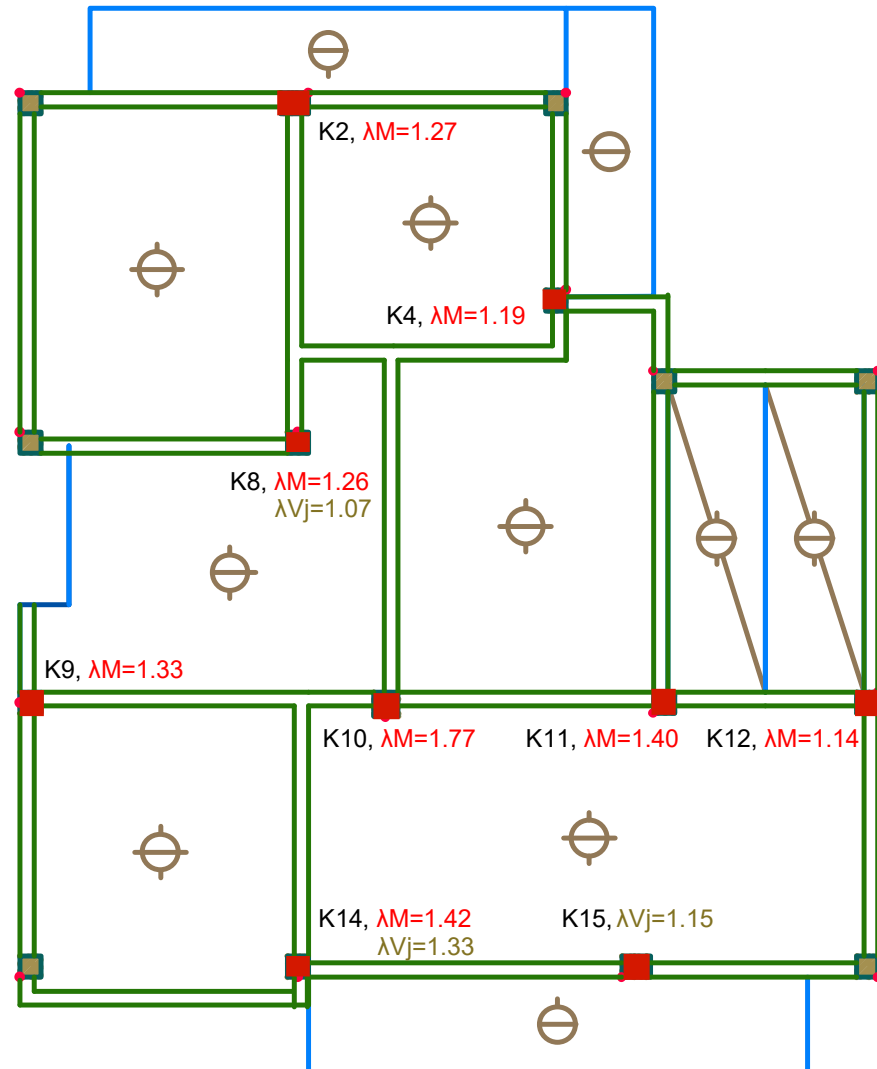
Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
NC	K14(0)	1.33!

Διαγώνια θλίψη πυρήνα κόμβου.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
NC	K14(0)	0.82

Πίνακας 3.4: *Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων*

Συνολικά αστοχούν τα 9 υποστυλώματα του ισογείου που επισημαίνονται στο **Σχήμα 3.3**. Δίπλα από κάθε υποστυλώμα σημειώνεται και ο κρίσιμος λόγος ανεπάρκειας σε κάμψη (λ_M) ή διάτμηση κόμβου (λ_{vj}).



Σχήμα 3.3: Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων

- ι. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κτίριο δεν ικανοποιεί το στόχο αποτίμησης Γ1 και απαιτούνται ενισχύσεις.

3.2.2 Κατάταξη σε βασική σεισμική κλάση και υπολογισμός επιτάχυνσης a_g στόχου ενισχύσεων

Πριν το σχεδιασμό ενισχύσεων, θα υπολογιστεί η σεισμική επιτάχυνση με την οποία θα πρέπει να ελεγχθεί το ενισχυμένο κτίριο. Στην 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ δίνονται δύο επιλογές:

1. Το κτίριο να ικανοποιεί τον ελάχιστο στόχο του πίνακα ΠΑ.2.1. του ΚΑΝΕΠΕ, εν προκειμένω τη στάθμη Γ1 (Αποφυγή κατάρρευσης για 10% στα 50 χρόνια). Η απαίτηση αυτή ίσχυε και στη 2^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ (2017).
2. Το υφιστάμενο κτίριο, αφού καταταγεί σε βασική σεισμική κλάση σύμφωνα με τον πίνακα 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ, στη συνέχεια πρέπει να ενισχυθεί τόσο ώστε να ικανοποιεί κατά μια βαθμίδα, τουλάχιστον, ανώτερη σεισμική κλάση. Η εναλλακτική αυτή απαίτηση εισάγεται πρώτη φορά στην 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ 2022.

Στο «Τεύχος > Κατάταξη σε βασική σεισμική κλάση > Pushover > Κατάταξη σε βασική σεισμική κλάση μελών Ο/Σ» τυπώνονται τα αποτελέσματα των σεισμικών κλάσεων (**Πίνακας 3.5**).

Μέγιστα λόγων επάρκειας βασικών σεισμικών κλάσεων - Έλεγχος Ροπής

Σεισμική κλάση	Σεισμική επιτάχυνση κλάσης [g]	Κρίσιμο μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Κρίσιμος λόγος Επάρκειας
B4+	0.040	K8(1)	Κύριο	0.66
B3	0.056	K10(0)	Κύριο	0.76
B3+	0.072	K10(0)	Κύριο	0.88
B2	0.096	K10(0)	Κύριο	1.07!
B2+	0.120	K10(0)	Κύριο	1.35!
B1	0.160	K10(0)	Κύριο	1.92!
B1+	0.208	K10(0)	Κύριο	2.76!
B0	0.288	K7(0)	Κύριο	4.29!

Μέγιστα λόγων επάρκειας βασικών σεισμικών κλάσεων - Έλεγχος διάτμησης

Σεισμική κλάση	Σεισμική επιτάχυνση κλάσης [g]	Κρίσιμο μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Κρίσιμος λόγος Επάρκειας
B4+	0.040	Δ6.1(0)	Κύριο	0.70
B3	0.056	Δ6.1(0)	Κύριο	0.71
B3+	0.072	Δ6.1(0)	Κύριο	0.72
B2	0.096	K15(0)	Κύριο	0.77
B2+	0.120	K15(0)	Κύριο	0.93
B1	0.160	K15(0)	Κύριο	0.96
B1+	0.208	K15(1)	Κύριο	0.97
B0	0.288	K15(1)	Κύριο	0.97

Μέγιστα λόγων επάρκειας βασικών σεισμικών κλάσεων - Έλεγχος διάτμησης κόμβου

Σεισμική κλάση	Σεισμική επιτάχυνση κλάσης [g]	Κρίσιμος κόμβος	Τύπος αστοχίας	Κρίσιμος λόγος Επάρκειας
B4+	0.040	K8(0)	Εφελκυσμός	0.89
B3	0.056	K8(0)	Εφελκυσμός	0.95
B3+	0.072	K8(0)	Εφελκυσμός	0.98
B2	0.096	K14(0)	Εφελκυσμός	1.11!
B2+	0.120	K14(0)	Εφελκυσμός	1.27!
B1	0.160	K14(0)	Εφελκυσμός	1.33!
B1+	0.208	K14(0)	Εφελκυσμός	1.34!
B0	0.288	K14(0)	Εφελκυσμός	1.34!

Σημειώσεις

(I): Οριζόντια εδαφική επιτάχυνση αναφοράς $a_{g,ref}=0.160g$ (II): Το κτίριο κατατάσσεται στη βασική σεισμική κλάση: **B3+** (ΚΑΝ.ΕΠΕ. πίνακας 2.1) σύμφωνα με την ανάλυση Pushover(III): Κριτήριο κατάταξης στη βασική σεισμική κλάση: Έλεγχος διάτμησης κόμβου, με λόγο επάρκειας $\lambda = 0.98$ (IV): Ποσοστό εξάντλησης σεισμικής κλάσης: 15%, με $a_{g,max} \sim 0.076g$

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα κατάταξης κτιρίου σε σεισμικές κλάσεις

Τα αποτελέσματα χωρίζονται σε 3 κατηγορίες ελέγχων (έλεγχος ροπής, τέμνουσας και διάτμησης κόμβου). Για κάθε κατηγορία ελέγχου τυπώνονται αποτελέσματα για όλες τις σεισμικές κλάσεις από τη χαμηλότερη B4+ έως την υψηλότερη B0. Αναλυτικότερα, τυπώνονται:

- Η εδαφική επιτάχυνση a_g που αντιστοιχεί σε κάθε σεισμική κλάση, η οποία προκύπτει ως το γινόμενο της τιμής της 1^{ης} στήλης του Πιν. 2.1 του ΚΑΝΕΠΕ (2022) επί την εδαφική επιτάχυνση αναφοράς $a_{g,ref}$.
- Ο κρίσιμος λόγος επάρκειας που προκύπτει σε όλα τα κύρια ή δευτερεύοντα μέλη της κατασκευής.

Σε μορφή υπομονήματος του Πίνακα 3.5 τυπώνονται 4 σημειώσεις:

- Η εδαφική σεισμική επιτάχυνση αναφοράς $a_{g,ref}$ με βάση την οποία διαμορφώνονται και οι επιμέρους επιταχύνσεις των σεισμικών κλάσεων.
- Η κρίσιμη σεισμική κλάση κατάταξης με βάση τα 3 κριτήρια ελέγχου.
- Το κρίσιμο κριτήριο ελέγχου από το οποίο προέκυψε η σεισμική κλάση.

- [4] Το ποσοστό εξάντλησης της σεισμικής κλάσης και μία εκτίμηση της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης που αντέχει το κτίριο. Καθώς οι σεισμικές κλάσεις αναφέρονται σε ένα εύρος επιταχύνσεων, το ποσοστό εξάντλησης είναι ένας δείκτης που ποσοτικοποιεί σε ποιο σημείο του εύρους βρίσκεται το κτίριο.

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα

- Το κτίριο κατατάσσεται στη σεισμική κλάση **B3+**.
- Κρίσιμο κριτήριο κατάταξης είναι η **διάτμηση κόμβου** λόγω υπέρβασης εφελκυστικών τάσεων στο υποστύλωμα **K8(0)**.
- Το κτίριο βρίσκεται σχετικά χαμηλά στην κλάση B3, καθώς καλύπτει το **15%** του εύρους των επιταχύνσεων. Συνεπώς, οι ενισχύσεις που θα σχεδιαστούν θα πρέπει να καλύψουν μεγάλο εύρος επιταχύνσεων ώστε να μεταβεί στην επόμενη κλάση B2.

Παρατήρηση

- Σε περίπτωση που πραγματοποιηθούν αναλύσεις Pushover και χρονοϊστορίας, υπολογίζεται η κρισιμότερη σεισμική κλάση όλων των αναλύσεων και τυπώνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα, κατ' αντιστοιχία με τους λόγους επάρκειας.
- Οι σεισμικές κλάσεις υπολογίζονται και τυπώνονται και για κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία κατά ΚΑΔΕΤ.
- Όταν εξετάζεται μικτό κτίριο από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία, υπολογίζονται σεισμικές κλάσεις για τα 2 υλικά ξεχωριστά.

Σύμφωνα με την ανάλυση Pushover το κτίριο κατατάσσεται στη σεισμική κλάση **B3+**.

Η σεισμική απαίτηση του ΚΑΝΕΠΕ (2022) για κτίριο με χρονολογία κατασκευής το 1965 (δηλαδή προγενέστερο του 1985) το κατατάσσει στην ελάχιστη βασική σεισμική κλάση **B3**, του Πίνακα ΠΑ.2.2.

Επομένως, βάσει της ανάλυσης Pushover, διαπιστώνεται ότι η απαίτηση του κανονισμού ικανοποιείται ($B3+ > B3$). Η επέμβαση σεισμικής αναβάθμισης, συνεπώς, οφείλει να βελτιώσει τη σεισμική ικανότητα του κτιρίου κατά μια, τουλάχιστον, κλάση από τη **μέγιστη εκ των δύο** (υφιστάμενης κατάστασης = $B3+$ και απαίτησης κανονισμού = $B3$), η οποία εδώ είναι η $B3+$.

Πίνακας ΠΑ.2.2 . Ελάχιστες βασικές σεισμικές κλάσεις υφισταμένων κτιρίων σπουδαιότητας Ι και ΙΙ

Εφαρμοσθέντες Κανονισμοί Μελέτης και Κατασκευής	Ελάχιστη Βασική Σεισμική Κλάση Κτιρίου
...<1985	B 3
1985≤...<1995	B3 ⁺
1995≤...	B2 ⁺

Πίνακας 3.6: Πίνακας ΠΑ2.2. του ΚΑΝΕΠΕ για ελάχιστη σεισμική κλάση.

$a_g/a_{g,ref}$	Στάθμη Επιτελεστικότητας Φέροντος Οργανισμού		
	A «Περιορισμένες Βλάβες»	B «Σημαντικές Βλάβες»	Γ «Οιονεί Κατάρρευση»
1.80	A0	B0	Γ0
1.30	A1 ⁺	B1 ⁺	Γ1 ⁺
1.00	A1	B1	Γ1
0.75	A2 ⁺	B2 ⁺	Γ2 ⁺
0.60	A2	B2	Γ2
0.45	A3 ⁺	B3 ⁺	Γ3 ⁺
0.35	A3	B3	Γ3
0.25	A4 ⁺	B4 ⁺	Γ4 ⁺
<0.25	A4	B4	Γ4

Πίνακας 3.7: Πίνακας 2.1 σεισμικών κλάσεων του ΚΑΝΕΠΕ

Συμπερασματικά:

- Θα απαιτηθούν τόσες ενισχύσεις ώστε να μεταβεί στην αμέσως μεγαλύτερη κλάση B2 (Πίνακας 3.7).
- Ο στόχος ενίσχυσης είναι δηλαδή η κάλυψη της επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών (SD) για απαίτηση εδαφικών επιταχύνσεων $0.16 \cdot 0.60 = 0.096g$

Σημείωση

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.6. κτίρια μεταγενέστερα του 1995 κατατάσσονται στην ελάχιστη βασική σεισμική κλάση B2⁺. Συνεπώς, ως απαίτηση ανασχεδιασμού ορίζεται η κλάση B2. Προκύπτει, λοιπόν, για αυτά τα κτίρια ευνοϊκότερη από άποψη οικονομίας η επιλογή ανασχεδιασμού με βάση τη στάθμη επιτελεστικότητας Γ1. Συνεπώς, οι σεισμικές κλάσεις έχουν πρακτική εφαρμογή για κτίρια σπουδαιότητας Ι, ΙΙ προγενέστερα του 1995.

4

Μελέτη ενισχύσεων

4.1 Τα βήματα της μελέτης ενισχύσεων

Η μελέτη αποτίμησης φέρουσας ικανότητας και ενίσχυσης σύμφωνα με την 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ, πραγματοποιείται στο FespaR ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα. Τα βήματα 11 και 13 αφορούν νέες προσθήκες που έγιναν στο πρόγραμμα για την εναρμόνισή του με τον ΚΑΝΕΠΕ 2022.

Μελέτη Ενίσχυσης κτιρίου

Βήμα 10: Σχεδιασμός και προσομοίωση **ενισχύσεων** με μανδύες Ο/Σ

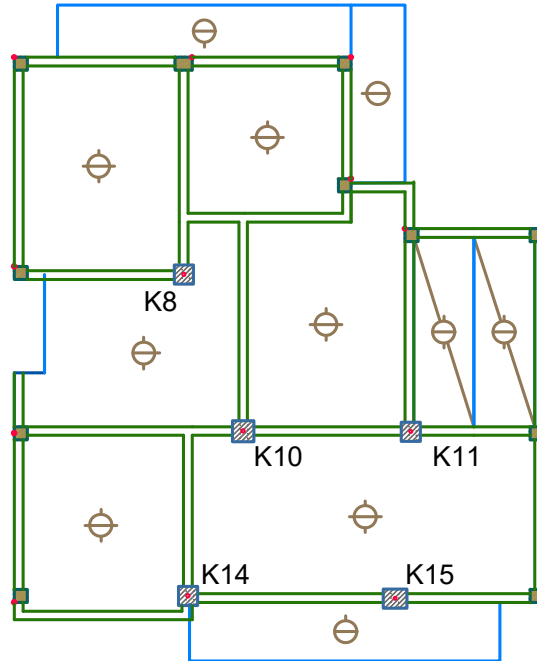
Βήμα 11: Ορισμός στάθμης επιτελεστικότητας **στόχου ενίσχυσης** σύμφωνα με τις σεισμικές κλάσεις. **(NEO)**

Βήμα 12: Επίλυση και έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης

Βήμα 13: Υπολογισμός βλήτρων μανδυνών **(NEO)**

4.1.1 Σχεδιασμός και προσομοίωση ενισχύσεων

Επιλέγονται για ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος τα υποστυλώματα K8, K10, K11, K14 και K15 στο ισόγειο και στον όροφο του κτιρίου (Σχήμα 4.1).

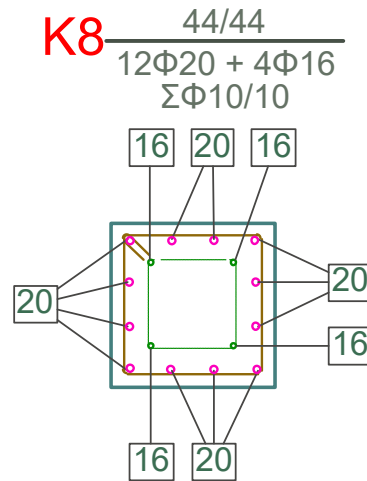


Σχήμα 4.1: Ενισχυμένος ξυλότυπος οροφής ισογείου

Τα χαρακτηριστικά των μανδυνών είναι:

- Αντοχή σκυροδέματος: $f_{ck}=25.0$ MPa
- Ποιότητα χάλυβα: B500C: $f_{yk}=500.0$ MPa
- Πάχος μανδύα: $t=10$ cm
- Διαμήκης οπλισμός: 8Φ20 περιμετρικά
- Συνδετήρες: Φ10/10, δίμητοι
- Επικάλυψη: $c_{nom}=3.5$ cm

Η διατομή ενίσχυσης για το υποστύλωμα K8 παρουσιάζεται στο **Σχήμα 4.2**.



Σχήμα 4.2: Ενισχυμένη διατομή υποστυλώματος K8

Επίσης, στις ενισχυμένες διατομές οι συντελεστές απομείωσης λόγω διάβρωσης δίνονται ίσοι με τη μονάδα:

- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση ροπής αντοχής $r_{cor}, F_y = F_{y,cor}/F_y = 1.00$ »
- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση αντοχής συνδετήρων $r_{cor}, V_w = V_{w,cor}/V_w = 1.00$ »
- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Απομείωση παραμόρφωσης αστοχίας υποστυλωμάτων $r_{cor}, \theta_u = \theta_{u,cor}/\theta_u = 1.00$ »

Εικόνα 4.1: Εισαγωγή απομειωτικών συντελεστών διάβρωσης ενισχυόμενων υποστυλωμάτων.

4.1.2 Ορισμός στάθμης επιτελεστικότητας στόχου ενίσχυσης σύμφωνα με τις σεισμικές κλάσεις **(νέο)**

Σύμφωνα με την παράγραφο §3.2.2 προσδιορίστηκε ότι η ενίσχυση του κτιρίου θα πρέπει να ικανοποιεί τη σεισμική κλάση B2. Ορίζουμε, λοιπόν, την επιτελεστικότητα σοβαρών βλαβών (SD) με $a_g = 0.096g$ και απενεργοποιούμε τις επιτελεστικότητες DL και NC. Επίσης, απενεργοποιούμε την αναζήτηση σεισμικών κλάσεων.

- «Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Στάθμη επιτελεστικότητας SD = 1η υπέρβαση ορίου σε υποστυλώμα ή κύρια δοκό»
- «Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Στάθμη επιτελεστικότητας NC = Όχι»
- «Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Κατάταξη σε σεισμική κλάση = Όχι»

Κτίριο

Έδαφος | Δομικός χάλυβας | Σύμμικτα | Τοιχοπήλωση | Υλικά - Αποτίμηση | Αποτίμηση | **Φάσμα - Αποτίμηση**

Χαρακτηριστικά φάσματος

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση $a_g R$ [g] ? 0.160

Συντελεστής σπουδαιότητας γ_I ? 1.000

Πρμτρ φασμς - Τις ανφρς (Σηδττ II)

DL - Περιορισμός βλαβών

SD - Σημαντικές βλάβες

Στάθμη επιτελεστικότητας SD ? 1η υπέρβαση ορίου σε υποστ/μα ή κύρια δομ

SD - Περίοδος επαναφοράς T_{SDR} [Ετη] ? 140.2

SD - Πιθανότητα υπέρβασης P_{SDR} [%] ? 30.00

Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ($\gamma_I a_g R$) SD ? 0.096

NC - Διανεί κατάρρευση

Όρια επιτελεστικότητας

Σεισμικό φορτίο - χρόνος κατασκευής

Σεισμικό φορτίο - χρόνος κατασκευής ? EC8-1

Σεισμικός συντελεστής e ? 0.040

Σεισμικές κλάσεις

Κατάταξη σε σεισμική κλάση ? Όχι

Υπόδειγμα >>

☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 4.2: Εισαγωγή παραμέτρων επιτελεστικότητας για τον ενισχυμένο φορέα

Σημείωση

Στο πρόγραμμα είναι δυνατόν να εισάγεται κατευθείαν η επιτάχυνση της επιτελεστικότητας στην παράμετρο «Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ($\gamma_I a_g R$)» ώστε να υπάρχει ταύτιση με τις επιταχύνσεις των σεισμικών κλάσεων που ορίζει ο ΚΑΝΕΠΕ. Ο υπολογισμός μέσω των παραμέτρων «Πιθανότητα υπέρβασης P » ή «Περίοδος επαναφοράς T » δίνει συνήθως παραπλήσιες τιμές επιτάχυνσης.

4.1.3 Επίλυση και έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης



Ο έλεγχος επάρκειας της ενίσχυσης θα πραγματοποιηθεί με μη γραμμική ανάλυση Pushover.

Για να ξεκινήσει η **μη γραμμική ανάλυση (Pushover)** κάντε κλικ στην εντολή «Διαγράμματα P.K. - Επίλυση pushover», της «Επίλυσης».

Οι πίνακες των κρίσιμων λόγων ανεπάρκειας τυπώνονται στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες υποστυλωμάτων», «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες δοκών» και «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Πίνακες διάτμησης κόμβων».

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ12.1(0)	Κύριο	0.87

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ9.3(0)	Κύριο	0.82

Πίνακας 4.1: Λόγοι ανεπάρκειας δοκών

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K9(1)	Κύριο	0.98

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K9(1)	Κύριο	0.66

Πίνακας 4.2: Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων

Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση πυρήνα οπλισμένου κόμβου.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K14(0)	0.85

Διαγώνια θλίψη πυρήνα κόμβου.

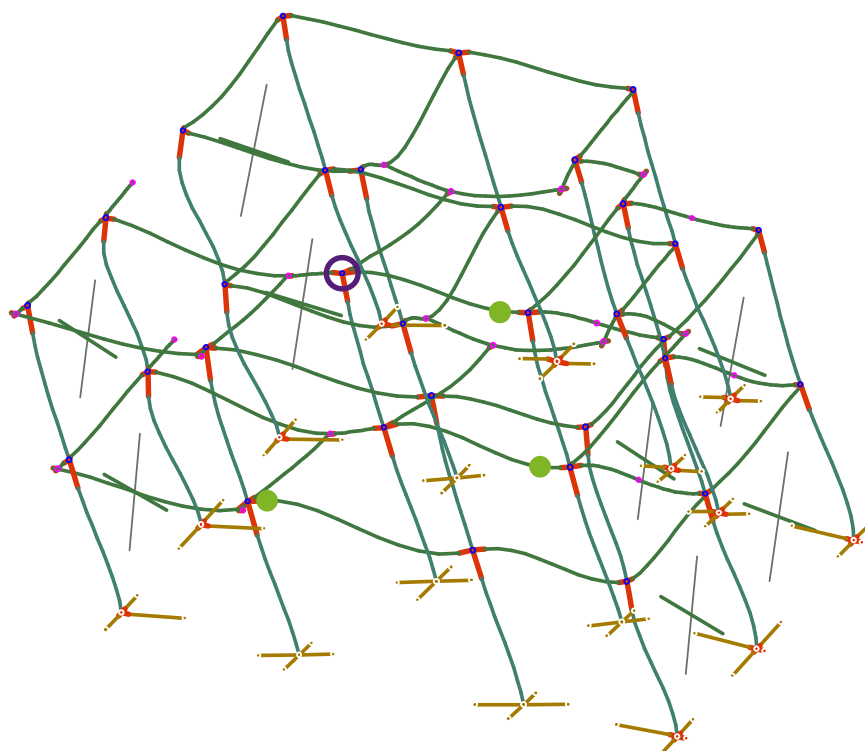
Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K14(0)	0.37

Πίνακας 4.3: Λόγοι ανεπάρκειας διάτμησης κόμβων

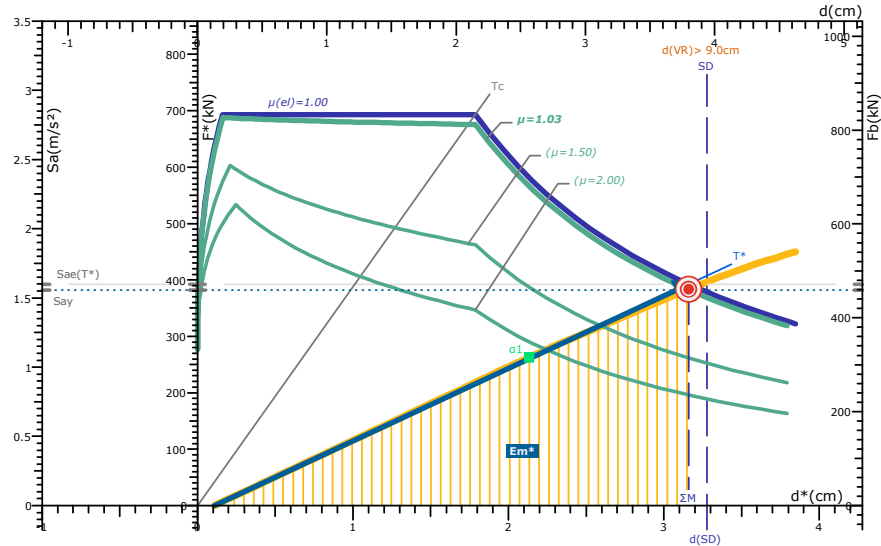
Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες προκύπτει επάρκεια του κτιρίου στην επιτελεστικότητα ελέγχου (σεισμική κλάση B2).

Για την κρίσιμη ανάλυση Pushover (Ιδιομορφική 180°-30%·270°) παρουσιάζεται στην **Εικόνα 4.3** η απόκριση του φορέα τη στιγμή της στοχευόμενης μετακίνησης $dt=3.80\text{cm}$. Ταυτόχρονα, τυπώνεται στο «Τεύχος > Διαγράμματα Απαίτησης – Ικανότητας > Στάθμη SD > Κατεύθυνση: 180°-30%·180°» η καμπύλη αντίστασης και ο υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης. Τη στιγμή της στοχευόμενης μετακίνησης έχουν αναπτυχθεί 3 πλαστικές αρθρώσεις σε δοκούς του κτιρίου

(δηλαδή $\theta > \theta_y$), χωρίς ωστόσο η γωνία στροφής χορδής αυτών των δοκών να ξεπεράσει το όριο ελέγχου θ_{SD} (δηλαδή $\theta < \theta_{SD}$).



Εικόνα 4.3: Παραμόρφωση φορέα στο 3dν στην ανάλυση Pushover «ιδιομορφική 180°-30%-270°»



Σχήμα 4.3: Καμπύλη αντίστασης και υπολογισμός στοχευόμενης μετακίνησης της ανάλυσης Pushover «ιδιομορφική $180^\circ-30\%-270^\circ$ »

Στο **Σχήμα 4.3** παρουσιάζεται γραφικά η διαδικασία εύρεσης της στοχευόμενης μετακίνησης όπως τυπώνεται στο Τεύχος του προγράμματος στο φάκελο «Διαγράμματα Απαιτήσης – Ικανότητας». Στο σχήμα συνυπάρχουν 3 συστήματα αξόνων:

1. **F_b (kN) – d (cm):** Αναφέρεται στο **πολυβάθμιο** σύστημα σε όρους τένουσας βάσης - μετακίνησης κόμβου ελέγχου.
2. **F^* (kN) – d^* (cm):** Αναφέρεται στο **μονοβάθμιο** σύστημα σε όρους ισοδύναμης με το πολυβάθμιο οριζόντιας δύναμης – ισοδύναμης μετακίνησης.
3. **Sa (m/s^2) – d^* (cm):** Αναφέρεται στο **μονοβάθμιο** σύστημα σε όρους φασματικής επιταχυνσης – ισοδύναμης μετακίνησης.

Σε κοινό διάγραμμα παρουσιάζεται η αρχική καμπύλη αντίστασης, η ιδεατή διγραμμική και τα ανελαστικά φάσματα απόκρισης. Ακόμα εμφανίζεται γραφικά η βηματική διαδικασία υπολογισμού της στοχευόμενης μετακίνησης και η επάρκεια ή όχι του κτιρίου. Το πλεονέκτημα των πολλαπλών αξόνων έγκειται στην άμεση διαθεσιμότητα τόσο της ικανότητας όσο και της σεισμικής απαίτησης της συνολικής πολυβάθμιας κατασκευής. Συνεπώς, μπορούν να διαβαστούν από το ίδιο διάγραμμα τα εξής αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στον .

Αποτέλεσμα	Τιμή
Τέμνουσα βάσης, F_b	465 KN
Ισοδύναμη δύναμη μονοβαθμίου, F^*	385 KN
Φασματική επιτάχυνση, S_a	1.57 m/s ²
Στοχευόμενη μετακίνηση μονοβαθμίου, d_t^*	3.17 cm
Στοχευόμενη μετακίνηση πολυβαθμίου, d_t	3.80 cm
Αναπτυσσόμενη πλαστιμότητα, μ_d	1.03

Πίνακας 4.4: Αριθμητικά αποτελέσματα διαγράμματος.

Επίσης, στο γράφημα σημειώνεται ότι η πρώτη διατμητική αστοχία στον ενισχυμένο φορέα θα συμβεί για μετακίνηση μεγαλύτερη των 9.0 cm [$d(V_R) > 9.0\text{cm}$].

4.1.4 Σύγκριση των 2 εναλλακτικών στόχων ενίσχυσης

Στο πρόγραμμα FespaR δίνεται η δυνατότητα επίλυσης ταυτόχρονα με πολλαπλές στάθμες επιτελεστικότητας. Έτσι, είναι δυνατή η εισαγωγή και ο έλεγχος της ενίσχυσης και με τους 2 εναλλακτικούς στόχους αποτίμησης-ανασχεδιασμού:

1. Ικανοποίηση της στάθμης Γ1, με $ag=0.16g$.
2. Ικανοποίηση της κλάσης B2, με $ag=0.096g$.

Ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι (**Εικόνα 4.4**):

- «Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Στάθμη επιτελεστικότητας SD = 1η υπέρβαση ορίου σε υποστυλώμα ή κύρια δοκό»
- «Κτίριο > Φάσμα - Αποτίμηση > Στάθμη επιτελεστικότητας NC = 1η αστοχία υποστυλώματος ή κύριας δοκού»

Εικόνα 4.4: Εισαγωγή παραμέτρων επιτελεστικότητας για σύγκριση των 2 στόχων ενίσχυσης

Μετά την επίλυση με Pushover παράγονται οι παρακάτω λόγοι ανεπάρκειας για το φορέα.

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ12.1(0)	Κύριο	0.87
NC	Δ11.2(0)	Κύριο	1.08!

Μέγιστα λόγων επάρκειας δοκών - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	Δ9.3(0)	Κύριο	0.82
NC	Δ9.3(0)	Κύριο	0.98

Πίνακας 4.5: Λόγοι ανεπάρκειας δοκών

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος Ροπής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K9(1)	Κύριο	0.98
NC	K9(1)	Κύριο	1.49!

Μέγιστα λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων - Έλεγχος διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας
SD	K9(1)	Κύριο	0.66
NC	K2(0)	Κύριο	0.96

Πίνακας 4.6: Λόγοι ανεπάρκειας υποστυλωμάτων**Διαγώνια εφελκυστική ρηγμάτωση πυρήνα οπλισμένου κόμβου.**

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K14(0)	0.85
NC	K2(0)	1.03!

Διαγώνια θλίψη πυρήνα κόμβου.

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Κόμβος	Λόγος Επάρκειας
SD	K14(0)	0.37
NC	K14(0)	0.43

Πίνακας 4.7: Λόγοι ανεπάρκειας διάτμησης κόμβων

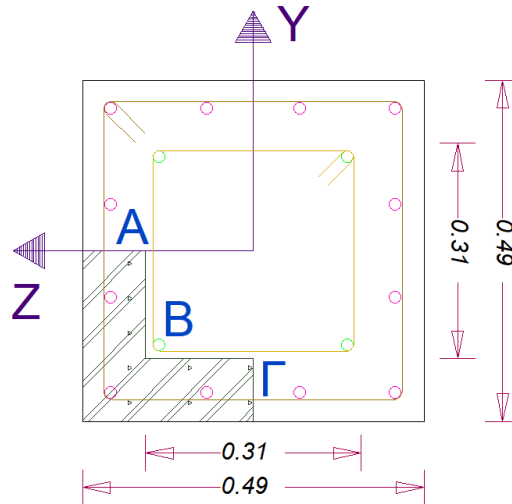
Στους Πίνακες 4.5 - 4.7 διαπιστώνεται η επάρκεια του ενισχυμένου φορέα στην κλάση B2, ενώ αντίθετα η ανεπάρκειά του στην επιτελεστικότητα Γ1. Συμπεραίνεται, λοιπόν, η επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας ενισχύσεων όταν ακολουθείται ο εναλλακτικός προσδιορισμός της σεισμικής απαίτησης του ΚΑΝΕΠΕ 2022.

4.1.5 Υπολογισμός βλήτρων μανδυνών

Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού των βλήτρων που απαιτούνται στη διεπιφάνεια παλαιού και νέου σκυροδέματος ενός ενισχυμένου στοιχείου, σύμφωνα με την 3^η αναθεώρηση του ΚΑΝ.ΕΠ.Ε. 2022, §8.2.1.5

4.1.5.1 Παρουσίαση υποστυλώματος

Θα υπολογιστούν τα βλήτρα του μανδύα για το υποστύλωμα K10(0). Το υποστύλωμα K10(0), μετά την ενίσχυση, έχει την παρακάτω διατομή.



Σχήμα 4.4: Διατομή ενισχυόμενου υποστυλώματος K10(0)

Οι διαστάσεις του υφιστάμενου υποστυλώματος είναι 35x35. Μετά την αφαίρεση της επικάλυψης, οι διαστάσεις μέχρι τον παλιό συνδετήρα είναι 31x31. Το πάχος του μανδύα είναι 9,0cm. Άρα, οι συνολικές διαστάσεις του ενισχυμένου υποστυλώματος είναι 49x49.

Ο έλεγχος διάτμησης της διεπιφάνειας σύμφωνα με τις νέες διατάξεις της 3^{ης} αναθεώρησης του ΚΑΝΕΠΕ απαιτείται να πραγματοποιείται με τα μεγέθη ορθής έντασης που παραλαμβάνει ο μανδύας, από ταυτόχρονη διαξονική κάμψη με θλίψη και όχι από δύο ανεξάρτητες ροπές μονοαξονικής κάμψης όπως στη 2^η αναθεώρηση του ΚΑΝΕΠΕ. Η θλίβουσα δύναμη στη διεπιφάνεια αναλαμβάνεται από δύο μηχανισμούς, την τριβή και τη δράση βλήτρου.

Η επιφάνεια ελέγχου είναι η Α-Β-Γ (Σχήμα 4.4), δηλαδή το $\frac{1}{4}$ της συνολικής επιφάνειας. Έτσι, το FESPA πολλαπλασιάζει επί 4 τα βλήτρα που θα απαιτηθούν για όλη την περίμετρο. Στη συνέχεια, τα επιμερίζει σε κάθε πλευρά ώστε να κατανέμονται καλύτερα.

4.1.5.2 Εισαγωγή δεδομένων ενίσχυσης

Εισάγονται οι παρακάτω παράμετροι για το υποστύλωμα K10(0).

- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Πάχος μανδύα εντός της νέας διατομής t_j [cm] = 9.0»
- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Αξονικό φορτίο υποστύλωσης N_v [kN] = 10.0»
- «Υποστύλωμα > Υλικά - Αποτίμηση > Διάμετρος βλήτρων [mm] = 12»

Υποστυλώμα

Διατομή | Στατικά | Φορτία | Σκυρόδεμα | Οπλισμοί | Έδαφος | Δομικός χάλυβας | **Υλικά - Αποτίμηση** | Αποτίμηση

☒ Χαρακτηρισμός μέλους ? Ενισχυόμενο

☒ Μέθοδος ενίσχυσης ? Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

☒ Αυξημένες απαιτήσεις ηλαστικότητας ? Ναι (Κύριο σεισμικό μέλος)

☒ Υποστυλώμα με σημαντική δυσκαμψία, για λ_{max} ? Ναι

Σκυρόδεμα

Οπλισμός

Ενισχύσεις με μανδύα σκυροδέματος

☒ Πάχος μανδύα εντός της νέας διατομής t_i [cm] ? 9.0

☒ Αξονικό φορτίο υποστυλώσεως N_v [kN] ? 10.00

☒ Διάμετρος βλήτρων [mm] ? 12

Ενισχύσεις FRP

Υπόδειγμα >> ☒ Ενότητα ☒ Όλες/Καμία

Εικόνα 4.5: Εισαγωγή παραμέτρων μανδύα

4.1.5.3 Αποτελέσματα υπολογισμών βλήτρων

Οι υπολογισμοί ελέγχων των βλήτρων εκτελούνται κατά τις αναλύσεις pushover και χρονοϊστορίας και επιλέγονται οι βέλτιστες διατάξεις βλήτρων.

Οι υπολογισμοί των βλήτρων των μανδύων Ο/Σ που έχουν εισαχθεί για όλα τα υποστυλώματα τυπώνονται στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Pushover > Διαθέσιμα βλήτρα» (Εικόνα 4.6).

Βλήτρα ανά παρτίδα	sV [cm]	sH [cm]	sMin [cm]	ρ [1/]	Μήκος έμπηξης [cm]		Κρίσιμη Ανάδυσση	VRid [kN]	λ [1/]
					στο υπάρχον	στον μανδύα			
K8(0): h=2.45m. Υνάρχον b=d=26cm. Μανδύας t=9.0cm									
	s _{max} = 54.0			ρ _{min} =1.2‰	max=26.0	max = 6.5		F _{cm} =73.8	
7Φ12	37.0	-	>7.2	1.24‰	9.6	3.6	PO	116.1	0.64
K8(1): h=2.45m. Υνάρχον b=d=26cm. Μανδύας t=9.0cm									
	s _{max} = 54.0			ρ _{min} =1.2‰	max=26.0	max = 6.5		F _{cm} =50.5	
7Φ12	37.0	-	>7.2	1.24‰	9.6	3.6	PO	92.8	0.54
K10(0): h=2.45m. Υνάρχον b=d=31cm. Μανδύας t=9.0cm									
	s _{max} = 54.0			ρ _{min} =1.2‰	max=31.0	max = 6.5		F _{cm} =88.3	
9Φ12	28.0	-	>7.2	1.34‰	9.6	3.6	PO	142.3	0.62
K10(1): h=2.45m. Υνάρχον b=d=31cm. Μανδύας t=9.0cm									
	s _{max} = 54.0			ρ _{min} =1.2‰	max=31.0	max = 6.5		F _{cm} =75.2	
9Φ12	28.0	-	>7.2	1.34‰	9.6	3.6	PO	129.2	0.58
K11(0): h=2.45m. Υνάρχον b=d=26cm. Μανδύας t=9.0cm									
	s _{max} = 54.0			ρ _{min} =1.2‰	max=26.0	max = 6.5		F _{cm} =80.9	
7Φ12	37.0	-	>7.2	1.24‰	9.6	3.6	PO	123.1	0.66

Εικόνα 4.6: Υπολογισμός απαιτούμενων βλήτρων μανδύων

Όπου για το K10(0):

$s_v = 28.0$ cm

Είναι το κατακόρυφο βήμα τοποθέτησης των βλήτρων.

S_H = (-) Είναι η οριζόντια ενδιάμεση απόσταση τοποθέτησης των βλήτρων. Σε περίπτωση που τυπωθεί (-) σημαίνει ότι τοποθετείται μία κατακόρυφη σειρά βλήτρων.

S_{max} = 54 cm Είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση τοποθέτησης των βλήτρων. Ισούται με την ελάχιστη απόσταση του εξαπλάσιου του πάχους μανδύα και των 80 cm: $s_{\max} = \min(6 \cdot t_j, 80 \text{ cm})$

S_{Min} = 7.2 cm Είναι η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση τοποθέτησης των βλήτρων. Ισούται με 6 φορές τη διάμετρο του βλήτρου.
 $s_{\min} = 6 \cdot d_b$

ρ_{min} = 0.12% Είναι το ελάχιστο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού βλήτρων (ΚΑΝΕΠΕ §8.2.1.3.β.(v)):

$$\rho_{\min} = \max\left(\frac{0.20 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}}, 0.0012\right)$$

ρ = 0.134% Είναι το τοποθετούμενο ποσοστό εγκάρσιου οπλισμού βλήτρων

Μήκος έμψηξης στο υπάρχον (26.0 cm)

Είναι ίσο με το οκταπλάσιο της διαμέτρου του βλήτρου (ΚΑΝΕΠΕ §6.1.2.2.δ). Ως μέγιστο μήκος έμψηξης ορίζεται η διάσταση της παράλληλης πλευράς του υποστυλώματος με το βλήτρο.

Μήκος έμψηξης στο μανδύα (3.6 cm)

Το μέγιστο μήκος έμψηξης ισούται με το πάχος του μανδύα μείον την επικάλυψη c_{nom} που έχει δοθεί στη διατομή. Γενικά, θεωρείται ότι τα βλήτρα διαμορφώνονται με άγκιστρο στην άκρη, έτσι η αγκύρωση τους στο μανδύα επιτυγχάνεται μέσω της δράσης του άγκιστρου.

Κρίσιμη ανάλυση

Σημειώνεται η κρίσιμη ανάλυση με βάση την οποία προέκυψαν τα απαιτούμενα βλήτρα (PO: Pushover, XI-τπ: Χρονοϊστορία χωρίς τοιχοπληρώσεις και XI+τπ: Χρονοϊστορία με τοιχοπληρώσεις)

F_{cm} = 88.3 kN Είναι η θλίβουσα δύναμη του μανδύα (ΚΑΝΕΠΕ §8.2.1.5.στ)

V_{Rid} = 142.3 kN Είναι η διατμητική αντοχή της διεπιφάνειας (ΚΑΝΕΠΕ §8.2.1.5.στ). Πρέπει να επαρκεί ώστε να μεταφέρεται ασφαλώς η θλιπτική δύναμη του μανδύα ($V_{Rid} \geq F_{cm}$) (βλέπε Παράρτημα Α)

λ Είναι ο λόγος ανεπάρκειας της διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας:

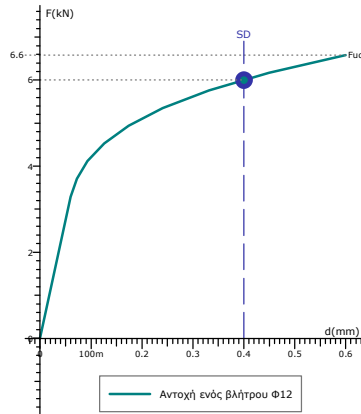
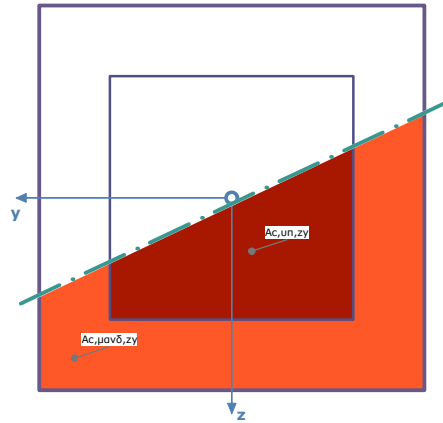
$$\lambda = \frac{F_{cm}}{V_{Rid}}$$

Στη συνέχεια τυπώνεται ο αναλυτικός υπολογισμός της θλίβουσας δύναμης του μανδύα, F_{cm} και της διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας V_{Rid}

«Τεύχος > Αποτίμηση μελών > Pushover υποστυλωμάτων > Βλήτρα μανδύων»
(**Εικόνα 4.7**)

Οριακή αντοχή βλήτρων, [ΚΑΝΕΠΕ, §6.1.2.2 α)]

$$F_{ud} = 0.65 d_b 2 \sqrt{f_{cd} f_{yd}} < \frac{A_s f_{yd}}{\sqrt{3}}, \quad [ΕΕ, 6.9]$$

Σχήμα 1: Απομείωση αντοχής μηχανισμού βλήτρων
λόγω ολίσθησης στη διεπιφάνεια, [ΚΑΝΕΠΕ, §6.1.2.2 ε)]Σχήμα 2:
Θλιβόμενη ζώνη διατομής [SD]

Έλεγχος διάτμησης διεπιφάνειας, [§8.2.1.5]	DL	SD	NC
Αξονική δύναμη υποστύλωσης $\bar{N}_v = 10.0 \text{ kN}$ Εναπομένονα θλιπτική αντοχή του αρχικού υποστ.		Αξονική του αρχ. υποστ. κατά τη διάρκεια της επέμβ. $N_{\text{αρχ,un.}} = 408.6 \text{ kN}$ $N_{\text{res,un.}} = 0.85 \cdot A_{c,\text{un.},zy} \cdot f_{c,\text{un.}} - (A_{c,\text{un.},zy} / A_{c,\text{un.}}) N_{\text{αρχ,un.}} > 0$ SD: $= 0.85 \cdot 457 \text{ cm}^2 \cdot 13.1 \text{ MPa} - (457 \text{ cm}^2 / 961 \text{ cm}^2) \cdot 408.6 \text{ kN} > 0$	
Συντελεστής κατανομής έντασης		$\bar{\lambda} = (0.85 \cdot A_{c,\text{mon},zy} \cdot f_{c,\text{mon}}) / (0.85 \cdot A_{c,\text{un},zy} \cdot f_{c,\text{mon}} + N_{\text{res,un.}})$ SD: $= (0.85 \cdot 706 \text{ cm}^2 \cdot 16.7 \text{ MPa}) / (0.85 \cdot 706 \text{ cm}^2 \cdot 16.7 \text{ MPa} + 314.2 \text{ kN})$	
Θλίβουσα δύναμη στο 1/4 της επιφάνειας του μονδύα		$F_{cm} = \gamma_{sd} \cdot \frac{1}{2} \cdot \bar{\lambda} \cdot \left(\frac{\bar{N}_v + \bar{N}_e}{2} + \frac{\bar{M}_{yz}}{z_z} + \frac{\bar{M}_{xy}}{z_y} \right)$ SD: $= 1.35 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.761 \cdot \left(\frac{10.0 \text{ kN} + 22.1 \text{ kN}}{2} + \frac{25.5 \text{ kNm}}{0.441 \text{ m}} + \frac{43.3 \text{ kNm}}{0.441 \text{ m}} \right)$	
F_{cm} =	-	88.3kN	-
Μέγιστο μήκος συναρμογής $u_{0,\text{max}} [= F_{cm} / (2 \mu f_{ctm} t)]$ Μήκος συναρμογής $u_0 [= L / 2 < u_{0,\text{max}}]$ Αντοχή λόγω τριβής στη διεπιφάνεια		SD: $= 88.3 \text{ kN} / (2 \cdot 1.3 \cdot 1.96 \text{ MPa} \cdot 9.0 \text{ cm}) = 19.3 \text{ cm}$ $T_f = 2 \cdot u_0 \cdot \mu \cdot f_{ctm} \cdot t$ SD: $= 2 \cdot 19.3 \text{ cm} \cdot 1.3 \cdot 1.96 \text{ MPa} \cdot 9.0 \text{ cm}$	
T_f =	-	88.3kN	-
Βλήτρα στο 1/4 της επιφάνειας του μονδύα Αντοχή ενός βλήτρου Φ12, [Σχήμα 1]. $F_d =$ Συνολική αντοχή βλήτρων $V_{R,d} [= n_d \cdot F_d]$		$n_d = 1/4 \cdot 2 \cdot (9\Phi12 + 9\Phi12) = \mathbf{9.0 \text{ βλήτρα}}$ SD: $= 9.0 \cdot 6.00 \text{ kN}$	
V_{R,d} =	-	54.0kN	-
Συνολική διατμητική αντοχή στη διεπιφάνεια		$V_{Rid} = T_f + V_{R,d}$ SD: $= 88.3 \text{ kN} + 54.0 \text{ kN}$	
V_{Rid} =	-	142.3kN	-
Λόγος επάρκειας $\lambda [: \text{Απαιτήση} / \text{Αντοχή} = F_{cm} / V_{Rid}]$		SD: $= 88.3 \text{ kN} / 142.3 \text{ kN}$	
λ =	-	0.62	-

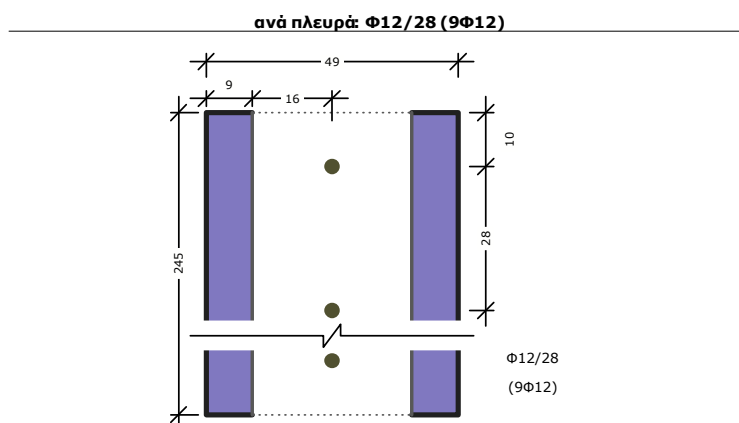
Εικόνα 4.7: Αναλυτικός υπολογισμός θλίβουσας δύναμης του μονδύα, F_{cm} και διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας V_{Rid} για το υποστύλωμα K10(0).

Η επεξήγηση της διαδικασίας υπολογισμού της θλίβουσας δύναμης F_{cm} , της δύναμης τριβής T_f και της διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας V_{Rid} παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

Από τους πίνακες στις δύο παραπάνω εικόνες (**Εικόνα 4.6, Εικόνα 4.7**) βγαίνουν τα παρακάτω συμπεράσματα για τα βλήτρα του μανδύα στο υποστύλωμα K10(0):

- Επαρκεί η δύναμη της τριβής T_f για να αναληφθεί η θλίβουσα δύναμη F_{cm} που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια του μανδύα, καθώς $F_{cm} = T_f = 88.3\text{kN}$.
- Συνεπώς, τοποθετούνται τα ελάχιστα βλήτρα που ικανοποιούν το $\rho_{min} = 0.12\%$.
- Τοποθετούνται εν τέλει 9Φ12 βλήτρα (δηλαδή 1Φ12 ανά 28εκ.) σε κάθε πλευρά του υποστυλώματος ύψους $l_{cl} = 3 - 0.55 = 2.45\text{ m}$.

Τέλος, στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών > Pushover > Προτεινόμενα βλήτρα» τυπώνεται σχηματικά το σκαρίφημα τοποθέτησης των βλήτων στο υποστύλωμα K10(0) (**Εικόνα 4.8**).



Εικόνα 4.8: Σκαρίφημα καθ' ύψος τοποθέτησης βλήτρων στο υποστύλωμα K10(0).

5

Παράρτημα Α. Θεωρητικά στοιχεία υπολογισμού βλήτρων

Η θλίβουσα δύναμη F_{cm} (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.1 (ε)), που αναπτύσσεται στο $\frac{1}{4}$ της επιφάνειας του μανδύα του υποστυλώματος K10(0) δίνεται από τη σχέση (ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξ. Σ8.6)):

$$F_{cm} = \gamma_{sd} \cdot \frac{1}{2} \cdot \bar{\lambda} \left(\frac{N_v + N_E}{2} + \frac{M_{nz}}{z_z} + \frac{M_{ny}}{z_y} \right)$$

Όπου:

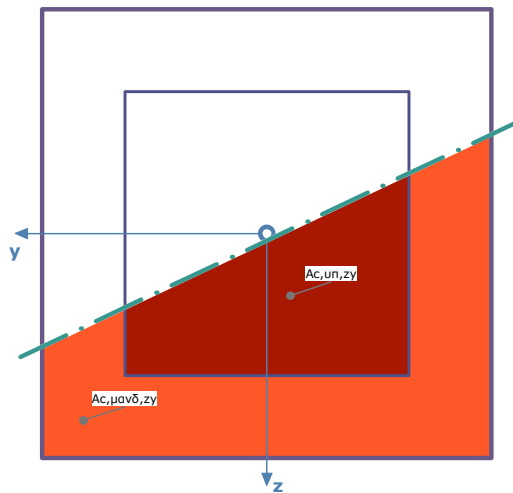
$N_E=22.1 \text{ kN}$	η δρώσα σεισμική αξονική δύναμη στη διατομή
$M_{nz}=25.5 \text{ kNm}$	η δρώσα ροπή περί τον τοπικό άξονα z
$M_{ny}=43.3 \text{ kNm}$	η δρώσα ροπή περί τον τοπικό άξονα y
$N_v=10 \text{ kN}$	η δύναμη υποστύλωσης
$z_z \approx 0.9 \cdot d_z=0.441 \text{ m}$	ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων για ροπή στον τοπικό άξονα z
$z_y \approx 0.9 \cdot d_y=0.441 \text{ m}$	ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων για ροπή στον τοπικό άξονα y

και $\bar{\lambda}$ είναι ένας συντελεστής κατανομής της έντασης ο οποίος μπορεί προσεγγιστικά να εκτιμηθεί ως:

$$\begin{aligned}\bar{\lambda} &= \frac{0.85 \cdot A_{c,μανδ,y} \cdot f_{c,μανδ}}{0.85 \cdot A_{c,μανδ,y} \cdot f_{c,μανδ} + N_{res,υπ}} = \\ &= \frac{0.85 \cdot 706 \cdot 16.7}{0.85 \cdot 706 \cdot 16.7 + 314.2} = 0.761 \\ N_{res,υπ} &= 0.85 \cdot A_{c,υπ,y} \cdot f_{c,υπ} - \left(\frac{A_{c,υπ,y}}{A_{c,υπ}} \right) \cdot N_{αρχ,υπ} = \\ &= 0.85 \cdot 457 \cdot 13.1 - \left(\frac{457}{961} \right) \cdot 408.6 = 314.2 \text{ kN}\end{aligned}$$

Όπου, λαμβάνοντας υπόψη τη θλιβόμενη ζώνη στην **Εικόνα 5.1** υπολογίζουμε:

$A_{c,υπ,y} = 457 \text{ cm}^2$	η θλιβόμενη διατομή του αρχικού υποστυλώματος
$A_{c,υπ} = 961 \text{ cm}^2$	η συνολική διατομή του αρχικού υποστυλώματος
$N_{res,υπ} = 314.2 \text{ kN}$	η εναπομένουσα θλιπτική αντίσταση του αρχικού υποστυλώματος
$N_{αρχ,υπ} = 408.8 \text{ kN}$	η αξονική δύναμη που φέρει το υποστύλωμα κατά την επέμβαση. Ισούται με το $N_G - N_v$, αφού εφαρμόζεται υποστύλωση.
$A_{c,μανδ,y} = 706 \text{ cm}^2$	η θλιβόμενη διατομή του μανδύα



Εικόνα 5.1: Θλιβόμενη ζώνη μανδύα κατά την κρίσιμη φόρτιση του ενισχυμένου φορέα.

Άρα:

$$F_{cm} = 1.35 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0.761 \left(\frac{10.0 + 22.1}{2} + \frac{25.5}{0.441} + \frac{43.3}{0.441} \right) = 88.3 \text{ kN}$$

Το μέγιστο μήκος συναρμογής εκτιμάται από τη σχέση:

$$u_{0,\max} = \frac{F_{cm}}{2 \cdot f_{ctm} \cdot t \cdot \mu} = \frac{88.3}{2 \cdot 1.96 \cdot 9.0 \cdot 1.3} = 19.3 \text{ cm}$$

Το τελικό μήκος συναρμογής είναι:

$$u_0 = \min \left(\frac{L}{2}, u_{0,\max} \right) = \min \left(\frac{245}{2}, 19.3 \right) = 19.3 \text{ cm}$$

Ο συντελεστής τριβής θεωρείται αυξημένος και ίσος με 1.3 ($\mu=1.3$), ενώ η δύναμη της τριβής υπολογίζεται ως:

$$T_f = 2 \cdot u_0 \cdot \mu \cdot f_{ctm} \cdot t = 2 \cdot 19.3 \cdot 1.3 \cdot 1.96 \cdot 9.0 \cdot 0.1 = 88.3 \text{ kN}$$

Η δύναμη τριβής T_f ισούται, δηλαδή, με τη θλίβουσα δύναμη F_{cm} , καθώς το μήκος συναρμογής προκύπτει μικρότερο από το $L/2$ του ύψους του υποστυλώματος.

Επομένως δεν απαιτούνται βλήτρα για να παραλάβουν δύναμη στη διεπιφάνεια και **θα τοποθετηθούν τα ελάχιστα.**

Ελάχιστα βλήτρα βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.1.3(β)(v):

Για την εξασφάλιση αξιόπιστης διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας απαιτείται η τοποθέτηση ενός ελάχιστου ποσοστού εγκάρσιου οπλισμού διεπιφάνειας ρ_δ :

$$\rho_{\delta,\min} = 0.20 \cdot (f_{ctm} / f_{yk}) \geq 0.12\%$$

για υποστυλώματα ΚΑΝ.ΕΠΕ. (εξ. 8.8α)

όπου

$$f_{ctm} = 1.96 \text{ MPa}, \quad \text{η μέση εφελκυστική αντοχή του πιο ισχυρού από τα 2 σκυροδέματα.}$$

Άρα:

$$\rho_{\delta,\min} = 0.20 \cdot (1.96 / 500) = 0.0784\% \Rightarrow \rho_{\delta,\min} = 0.12\%$$

Ελάχιστα βλήτρα σε μήκος $L/2=1.225\text{m}$:

$$n = \frac{\rho_\delta \cdot A_{cs}}{A_{\beta\lambda\eta\tau\rho}} = \frac{1.2 \cdot 10^{-3} \cdot 1225 \cdot 310}{113} = 4.03$$

Συνεπώς, τοποθετούνται 9 βλήτρα Φ12 σε όλο το μήκος $L=2.45$ m του υποστυλώματος σε κάθε πλευρά ή 36 βλήτρα και στις 4 πλευρές σε όλη την περίμετρο.

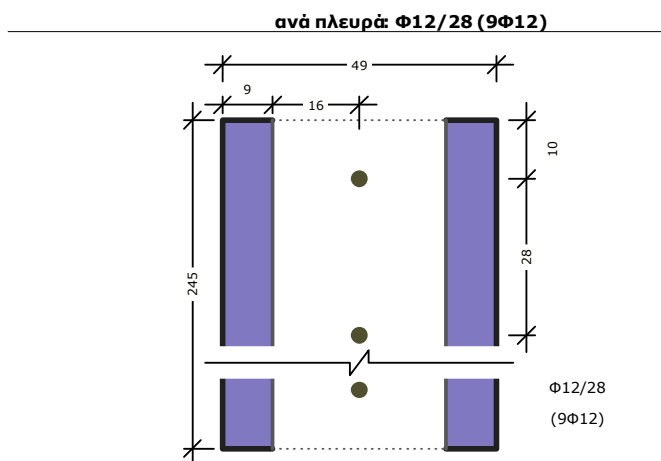
Τοποθέτηση βλήτρων:

Για να εξασφαλιστεί ο επιθυμητός τρόπος αστοχίας των βλήτρων, που είναι η διαρροή και η ταυτόχρονη τοπική αστοχία λόγω σύνθλιψης σκυροδέματος, απαιτείται να τηρούνται τα ακόλουθα:

1. Οι ελάχιστες επικαλύψεις βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.1.2.2(β):
 - Το ακραίο βλήτρο στην κορυφή του υποστυλώματος πρέπει να τοποθετηθεί σε απόσταση τουλάχιστον $5d_b=5 \cdot 12=60\text{mm}$ από το πάνω άκρο.
 - Το ακραίο βλήτρο στη βάση του υποστυλώματος πρέπει να τοποθετηθεί σε απόσταση τουλάχιστον $6d_b=6 \cdot 12=72\text{mm}$ από το κάτω άκρο.
 - Όλα τα βλήτρα απέχουν οριζόντια από τις κατακόρυφες ακμές του υποστυλώματος απόσταση τουλάχιστον $3d_b=3 \cdot 12=36\text{mm}$
2. Μήκος έμπηξης βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.1.2.2(δ):
 - Το μήκος έμπηξης του βλήτρου στο υποστυλόμετρο και στο μανδύα είναι $8 \cdot d_b=8 \cdot 12=96$ mm. Το συνολικό μήκος του βλήτρου δηλαδή, συμπεριλαμβανομένου του καμπύλου και κατακόρυφου σκέλους είναι 96 mm.
3. Ελάχιστη απόσταση βλήτρων βάσει ΚΑΝ.ΕΠΕ. §6.1.2.2(γ):
 - $s_{\min} \geq 5 \cdot d_b=5 \cdot 12=60\text{mm}$
4. Μέγιστη απόσταση βλήτρων:
 - $s_{\max} \leq \min(6h_{\min}, 800\text{mm})=\min(6 \cdot 90\text{mm}; 800\text{mm})=45$ cm

Έτσι το πρώτο και το τελευταίο βλήτρο τοποθετούνται σε απόσταση 85mm

Στην **Εικόνα 5.2** απεικονίζεται μία δυνατή διάταξη των βλήτρων 9x1 με την οποία ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις των αποστάσεων μεταξύ τους και από τις ακμές του υποστυλώματος.



Εικόνα 5.2: Διάταξη Βλήτρων στην διεπιφάνεια του μανδύα.