

..... (RII)
fespa

Κανονισμός Επεμβάσεων

**Αποτίμηση στατικής
επάρκειας υφιστάμενης
κατασκευής σύμφωνα
με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2013
λαμβάνοντας υπ'όψιν
την επιρροή των
τοιχοπληρώσεων**



LH ΛΟΓΙΣΜΙΚΗ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Fespa R

For Windows

Παράδειγμα Αποτίμησης

της φέρουσας ικανότητας κτιρίου λαμβάνοντας υπόψη τη συνεισφορά
των τοιχοπληρώσεων σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ 2013

Με θεωρητικό μέρος



Αθήνα, Οκτώβριος 2013

Version 1.0.25

Πίνακας περιεχομένων

1	Θεωρητικά στοιχεία.....	4
1.1	Γενικά	4
1.2	Είδη τοιχοπληρώσεων	6
1.3	Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων	10
1.4	Απομειώσεις αντοχής και δυστένειας τοιχοπληρώσεων	13
1.5	Γιατί να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;	17
1.6	Πότε είναι υποχρεωτικό να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;.....	18
2	Στατικό παράδειγμα	19
2.1	Ο φορέας του παραδείγματος	19
2.2	Παραδοχές - Δεδομένα.....	20
2.2.1	Παραδοχές υφιστάμενης μελέτης	20
2.2.2	Φορτία	20
2.2.3	Παραδοχές αποτίμησης.....	21
2.2.4	Παραδοχές τοιχοπληρώσεων.....	21
2.2.5	Στόχοι - Απαιτήσεις	22
2.2.6	Εισαγωγή των δεδομένων στο Fespa.....	24
3	Μεθοδολογία	27
3.1	Τα βήματα της διαδικασίας.....	27
3.2	Εισαγωγή φορέα στο Fespa – Εισαγωγή/ Τροποποίηση υφιστάμενων σπλισμών	28
3.3	Απεικόνιση και εποπτεία σπλισμών	31
3.4	A - Χωρίς τοιχοπληρώσεις	35
3.4.1	Αποτελέσματα	36
3.4.2	Συμπεράσματα για το φορέα A.....	37
3.5	Τοιχοπληρώσεις	38
3.5.1	Παράμετροι σχετικές με τις τοιχοπληρώσεις	38
3.5.2	Παράμετροι σχετικές με την επίλυση	43
3.5.3	Εισαγωγή τοιχοπληρώσεων.....	44
3.6	B – Με τις υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις.....	47
3.6.1	Αποτελέσματα για φέροντα στοιχεία.....	50
3.6.2	Αποτελέσματα τοιχοπληρώσεων.....	54
3.7	Γ – Με ενίσχυση τοιχοπληρώσεων	56

3.7.1	Αποτελέσματα για φέροντα στοιχεία.....	61
3.7.2	Αποτελέσματα τοιχοπληρώσεων.....	62
4	Συμπεράσματα.....	65

1

Θεωρητικά στοιχεία

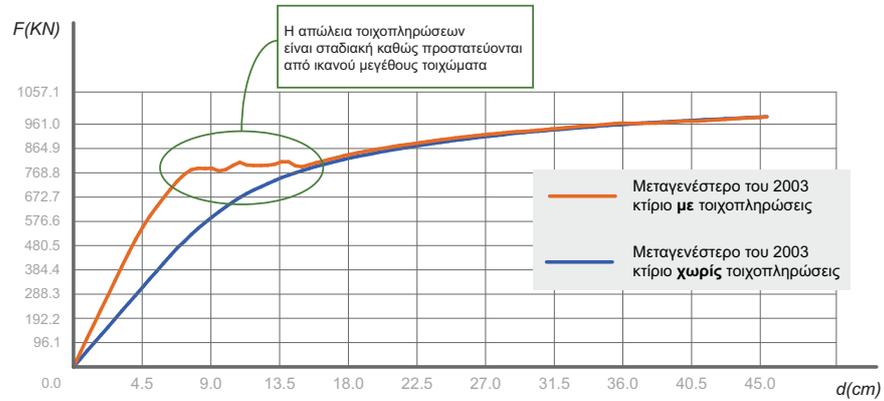
1.1 Γενικά

Οι τοιχοπληρώσεις, αν και εν γένει είναι μη δομικά μέλη, έχουν σημαντική επιρροή στη γενική απόκριση της κατασκευής όταν υπόκεινται σε πλευρικά φορτία. Συγκεκριμένα, αλληλεπιδρούν με τα περιβάλλοντα πλαίσια και η πλευρική συνολική δυσκαμψία και αντοχή της κατασκευής αυξάνονται. Ο σωστός αντισεισμικός σχεδιασμός απαιτεί τα περιβάλλοντα πλαίσια να είναι ισχυρότερα των τοιχοπληρώσεων ώστε η αστοχία τους να έπεται της αστοχίας των τοιχοπληρώσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, σε μια στατική ανελαστική ανάλυση, η τελική αντοχή των δύο προσομοιωμάτων με και χωρίς τοιχοπληρώσεις να είναι η ίδια.

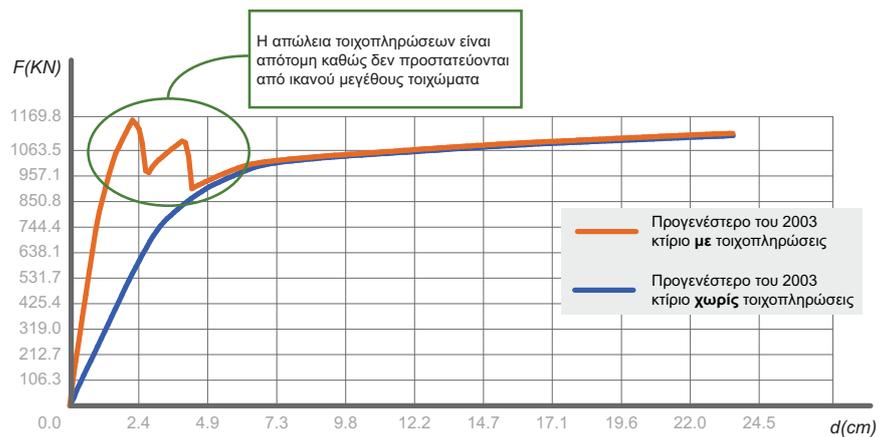
Επιπρόσθετα, η επιρροή των τοιχοπληρώσεων είναι ακόμα πιο σημαντική σε κτίρια κατασκευασμένα πριν το 2003 όπου η χρήση μεγάλων τοιχωμάτων ήταν περιορισμένη (Σχήμα 1.2). Αντίθετα, Σχήμα 1.1, τα ισχυρά τοιχώματα εξασφαλίζουν σημαντική αντοχή και μετά την αστοχία των τοιχοπληρώσεων με αποτέλεσμα η μέγιστη αντοχή της κατασκευής με και χωρίς τοιχοπληρώσεις να ταυτίζεται.

Διαβάστε παρακάτω (σελ. 17):

- 1.5 Γιατί να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;
- 1.6 Πότε είναι υποχρεωτικό να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;

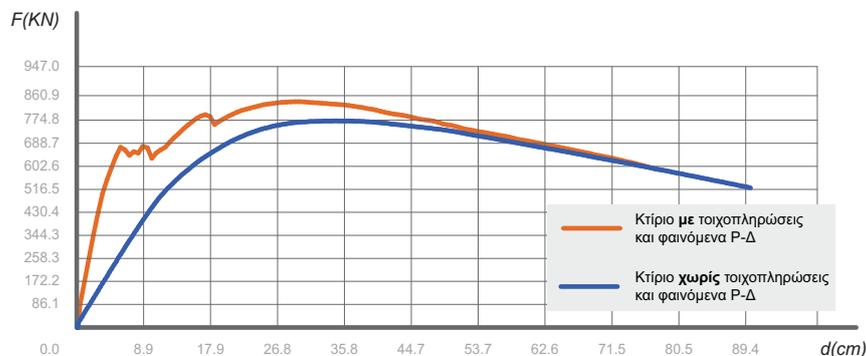


Σχήμα 1.1: Επιρροή τοιχοπληρώσεων σε κτίριο νεότερο του 2003, το οποίο διαθέτει τοιχώματα που προβλέπονται στον ΕΑΚ 2003.



Σχήμα 1.2: Επιρροή τοιχοπληρώσεων σε τυπικό κτίριο παλαιότερο του 2003.

Στην περίπτωση κτιρίων όπου οι γεωμετρικές μη γραμμικότητες εμφανίζονται να έχουν σημαντική επιρροή, η επιπλέον δυσκαμψία που προσφέρουν οι τοιχοπληρώσεις καθυστερεί την πτώση του αρνητικού κλάδου δυσκαμψίας (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Επιρροή τοιχοπληρώσεων σε κτίριο με έντονα φαινόμενα P-Δ.

1.2 Είδη τοιχοπληρώσεων

Υφιστάμενες και νέες άοπλες τοιχοπληρώσεις

Αφορά τη συνήθη περίπτωση άοπλων πλινθοπληρώσεων, υφιστάμενων ή προστιθέμενων. Ενδέχεται να υπάρχουν οριζόντια σενάζ και ανοίγματα περιορισμένων, όμως, διαστάσεων.

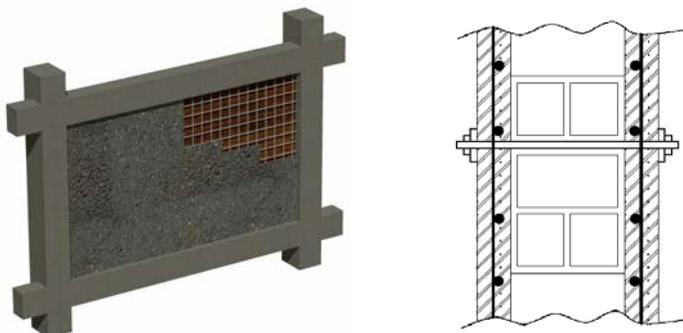


Σχήμα 1.4: Φάτνωμα άοπλης τοιχοπλήρωσης.

Ενισχυμένες (ή οπλισμένες) τοιχοπληρώσεις

Πρόκειται συνήθως για υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις ακόμη και βλαμμένες, στις οποίες προστίθεται –προτιμότερα– αμφοτερόπλευρος μανδύας σκυροδέματος οπλισμένος με πλέγμα. Βασική προϋπόθεση είναι ο μανδύας να είναι επαρκώς στερεωμένος με την τοιχοποιία π.χ. μέσω διαμπερών συνδέσμων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.5.

Το πάχος της κάθε πλευράς του **μανδύα** συνιστάται να μην είναι μικρότερο από 50 mm, έτσι ώστε να είναι εφικτή η διαμόρφωση αγκίστρων στον προστιθέμενο οπλισμό κορμού (KAN.ΕΠΕ §8.5.4).

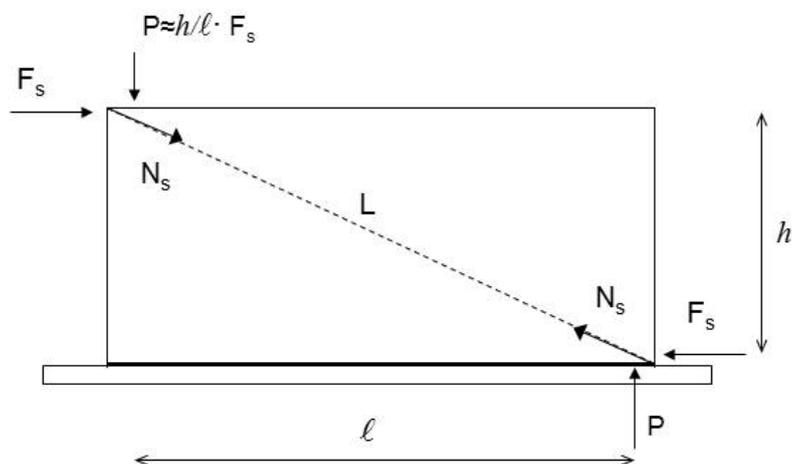


Σχήμα 1.5: Φάτνωμα ενισχυμένης (ή οπλισμένης) τοιχοπλήρωσης και ενδεικτική τομή στην οποία παρουσιάζεται ο μανδύας και η σύνδεσή του με την τοιχοποιία

Πρόκειται για μια σχετικά απλή και οικονομική μέθοδο ενίσχυσης συγκριτικά με τις εκτεταμένες επεμβάσεις που προϋποθέτει η ενίσχυση των φέροντων στοιχείων, ενώ μπορεί να αναβαθμίσει σημαντικά τόσο την δυσκαμψία, όσο και την αντοχή υφιστάμενων κατασκευών.

Τοιχωματοποίηση πλαισίου

Για την τοιχωματοποίηση φατνωμάτων πλαισίων με έγχυτο ή και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σύμφωνα με τις πρόνοιες της §8.5.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. πρέπει να εξασφαλίζεται η επαρκής σύνδεση του τοιχώματος με το πλαίσιο. Αυτό επιτυγχάνεται π.χ. καθ' ύψος με την συνέχεια των οπλισμών στον ανώτερο όροφο ή την αγκύρωσή τους στη δοκό και με την επιμήκυνση του νέου τοιχώματος οριζοντίως ώστε να περιβάλλει τα εκατέρωθεν υποστυλώματα υπό μορφή ενίσχυσης αυτών. Το εμφανιζόμενο τοίχωμα καθώς και ο τυχόν μανδύας των υποστυλωμάτων συνιστάται να συνεχίζουν καθ' όλο το ύψος της κατασκευής.



Σχήμα 1.6: Δυνάμεις που ασκούνται σε ένα φάτνωμα

Θεωρείται ότι ένα μέρος της διατμητικής έντασης F_s αναλαμβάνεται από το διαγώνιο θλιπτήρα $N_s = \frac{L}{l} \cdot F_s$ και το υπόλοιπο από βλήτρα διατασσόμενα κατά την περίμετρο του φανώματος. Η αντοχή του διαγώνιου θλιπτήρα δίνεται από τη σχέση:

$$N_R = \lambda \cdot f'_c \cdot t_w \cdot b_w \quad (1.1)$$

N_R η απομένουσα αντίσταση του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την κρίσιμη παραμόρφωση του $\epsilon_c = 2 \cdot 10^{-3}$.

f'_c η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος υπό εγκάρσιο εφελκυσμό. ($f'_c = 0.6 \cdot f_c$).

t_w το πάχος του φανώματος.

b_w το ενεργό πλάτος του διαγώνιου θλιπτήρα. ($b_w = 0.15 \cdot L$)

$\lambda = \alpha$ συντελεστής απομένουσας απόκρισης του διαγώνιου θλιπτήρα μετά την υπέρβαση της κρίσιμης παραμόρφωσής του. Μπορεί να λαμβάνεται $\alpha = 0.4$ (βλ. **Σχήμα 1.9**).

Το υπόλοιπο μέρος της διατμητικής έντασης αναλαμβάνουν τα βλήτρα που διατάσσονται οριζόντια και κατακόρυφα και ο έλεγχος αντοχής τους είναι:

■ Βλήτρα στη δοκό (οριζόντια):

$$F_{\beta\lambda,οριζ} = F_s - \frac{l}{L} N_R \leq \frac{1}{2} n_s F_{ud} \quad (1.2)$$

- Βλήτρα στα υποστυλώματα (κατακόρυφα):

$$F_{βλ,κατ} = \frac{h}{L} F_{βλ,οριζ} \leq \frac{1}{2} n_v F_{ud} \quad (1.3)$$

n_δ, n_v ο αριθμός των βλήτρων κατά μήκος της δοκού και κατά μήκος κάθε υποστυλώματος αντίστοιχα.

F_{ud} η αντοχή βλήτρου συνεκτιμώντας την επιρροή της ανακύκλισης της φόρτισης, υπολογιζόμενη με την αντοχή του ασθενέστερου από τα σκυροδέματα του πλαισίου και φτνώματος.

Σύμφωνα με την §8.2.1.3(β)(v) του ΚΑΝ.ΕΠΕ διατάσσεται ένα ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διεπιφάνειας $\rho_\delta = A_{s\delta}/A_{c\delta}$:

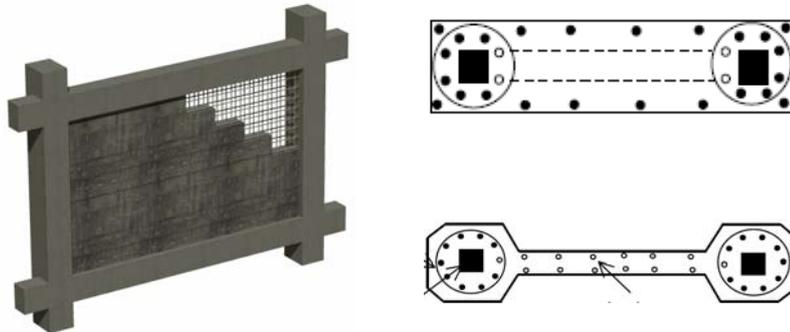
$$\rho_{\delta, \min} = 0.20 \cdot f_{cm} / f_{yk} \geq 0.12\% \quad (1.4)$$

$A_{s\delta}$ το εμβαδόν του εγκάρσιου οπλισμού.

$A_{c\delta}$ το εμβαδόν της διεπιφάνειας.

f_{cm} η αντοχή του ισχυρότερου σκυροδέματος.

Σε κάθε περίπτωση τα βλήτρα δεν πρέπει να είναι λιγότερα από 3Φ16 ανά μέτρο της περιμέτρου.



Σχήμα 1.7: Τοιχωματοποίηση πλαισίου με οπλισμένο σκυρόδεμα και οριζόντιες τομές όπου παρουσιάζεται εμφάνιση πλάτους μεγαλύτερου ή μικρότερου από το πλάτος της δοκού.

Εφαρμογή στο Fespa

Σε μια ανάλυση αποτίμησης στο πρόγραμμα Fespa ελέγχεται η αντοχή σε θλίψη του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος, ενώ υπολογίζονται και οι δυνάμεις που παραλαμβάνουν τα βλήτρα στις κατακόρυφες και διαγώνιες επιφάνειες.

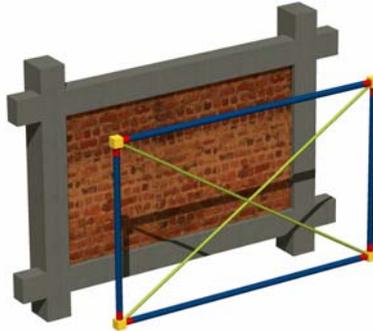
1.3 Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων

Μοντελοποίηση τοιχοπληρώσεων

Οι τοιχοπληρώσεις προσομοιώνονται με διαγώνιους ράβδους δικτύωματος που **δεν συμμετέχουν στην ανάληψη κατακόρυφων φορτίων**. Η προσομοίωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω της θλιβόμενης ράβδου είτε μέσω της θλιβόμενης και εφελκυσμένης με τη μισή δυστένεια η καθεμία (Σχήμα 1.8). Στην περίπτωση της θλιβόμενης ράβδου τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής της υπολογίζονται ως εξής:

Πάχος Λαμβάνεται ίσο με το συνολικό πάχος της τοιχοπλήρωσης ($t_{\text{eff}}=t$) (βλ. Εικόνα 3.10). Στην περίπτωση ενίσχυσης, αφορά μόνο την υφιστάμενη τοιχοπλήρωση, όχι το πάχος του μανδύα, το οποίο δίνεται σε διαφορετική παράμετρο (βλ. Εικόνα 3.29).

Πλάτος Εκτιμάται με βάση την ισορροπία και το συμβιβαστό παραμορφώσεων-δυνάμεων από όπου προκύπτει: $b=0.15L$ (KAN.ΕΠΕ §7.4.1 (Σ.15)), όπου το $L = \sqrt{l^2 + h^2}$ είναι το μήκος του διαγώνιου θλιπτήρα.



Σχήμα 1.8: Φυσικό μοντέλο & υπολογιστικό προσομοίωμα τοιχοπλήρωσης.

Εφαρμογή στο Fespa

Ο χρήστης σε κάθε φάτνωμα τοιχοπλήρωσης σχεδιάζει και τις δύο διαγώνιες ράβδους και το πρόγραμμα λαμβάνει αυτόματα στους υπολογισμούς τη θλιβόμενη ράβδο. Στην περίπτωση προσομοίωσης και με θλιβόμενη και με εφελκυσμένη ράβδο το πρόγραμμα ορίζει αυτόματα τη μισή δυστένεια σε κάθε μία.

Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων

Η θλιπτική χαρακτηριστική αντοχή της άοπλης τοιχοπλήρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$f_{wc,k} = k \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3} \quad (1.5)$$

- k** εμπειρικός συντελεστής, ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ομάδα στην οποία κατατάσσονται τα τοιχοσώματα και το είδος του κονιάματος δομήσεως. Για συνήθη κονιάματα, ο συντελεστής παίρνει τιμές από 0.35 έως 0.55 MPa.
- f_b** η θλιπτική αντοχή του τοιχοσώματος που παίρνει τιμές από 3.1 έως 5.5 MPa
- f_m** η θλιπτική αντοχή του κονιάματος που παίρνει τιμές από 1.53 έως 1.75 MPa.

Από τη σχέση (1.5) προκύπτει ότι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή της άοπλης τοιχοπλήρωσης κυμαίνεται από 1.6 έως 2.6 MPa. Η μέση αντοχή της θλιβόμενης ράβδου υπολογίζεται από τη χαρακτηριστική αντοχή της τοιχοπλήρωσης με έναν πολλαπλασιαστικό συντελεστή $\xi=1.25$ ($\overline{f_{wc}} = 1.25 \cdot f_{wc,k}$) ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη **μετατροπή της χαρακτηριστικής αντοχής σε μέση**, τη δυσμενή υπό γωνία εφαρμογής του φορτίου και την ευμενή επιρροή της περίσφιγξης που εξασφαλίζουν τα περιβάλλοντα δομικά στοιχεία.

Παράλληλα με τα μεγέθη αντοχής της τοιχοπλήρωσης δίνονται (KAN.ΕΠΕ §7.4.1) και τα μεγέθη παραμόρφωσης:

- Παραμόρφωση διαρροής: $\varepsilon_y = 10^{-3} \sim 1.5 \cdot 10^{-3}$
- Παραμόρφωση αστοχίας: $\varepsilon_u = 2.0 \cdot 10^{-3} \sim 3.5 \cdot 10^{-3}$

Παρατήρηση

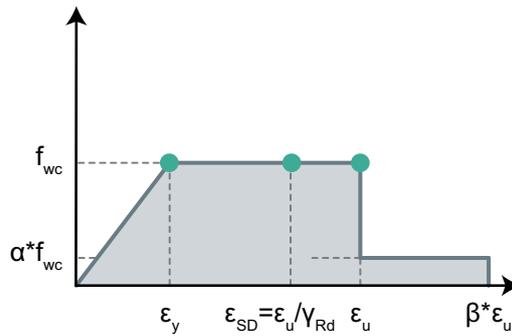
Η επιλογή των τιμών ε_y και ε_u οφείλει να γίνεται κατ' αντιστοιχία προς τις αναγραφόμενες περιοχές τιμών, δηλ. **για μικρές ε_y να ισχύουν και μικρές ε_u .**

- Παραμόρφωση στάθμης επιτελεστικότητας σημαντικών βλαβών (SD): $\varepsilon_{SD} = \varepsilon_u / \gamma_{Rd}$.

Όπου (KAN.ΕΠΕ. §9.3.1):

- $\gamma_{Rd} = 1.3$ για άοπλες τοιχοπληρώσεις υφιστάμενες ή νέες.
- $\gamma_{Rd} = 1.2$ για ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις ή τοιχωματοποίηση πλαισίων.

Στην περίπτωση των ενισχυμένων τοιχοπλήρωσεων επιτρέπεται να συνεκτιμηθεί παραμένουσα αντοχή μετά την αστοχία ίση με $f_{wc,res} = \alpha \cdot f_{wc}$ με $\alpha=0.25$, η οποία διατηρείται μέχρι η παραμόρφωση να γίνει ίση με $\varepsilon_{max} = \beta \cdot \varepsilon_u$ με $\beta=1.5$.



Σχήμα 1.9: Σκελετικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τοιχοπλήρωσης και αντίστοιχες επιτελεστικότητες, $\alpha=0.25$, $\beta=1.50$.

Είδος τοιχοπλήρωσης	Τιμή αντοχής που εισάγεται στο Fespa	Τιμή αντοχής που χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της δύναμης της θλιβόμενης διαγωνίου
Υφιστάμενη	$(f_{wc,k})$	$(f_{wc,m} / \gamma_m)$
Νέα	$(f_{wc,k})$	$(f_{wc,k} / \gamma_m)$
Ενισχυμένη	$(f_{wc,k})$ για το υφιστάμενο μέρος	$(f_{wc,m} / \gamma_m)$ για το υφιστάμενο μέρος
	(f_{ck}) για το σκυρόδεμα	(f_{ck}) για το σκυρόδεμα
	(f_{yk}) για το χάλυβα	(f_{yk}) για το χάλυβα
Τοιχωματοποίηση πλαισίου	(f_{ck}) για το σκυρόδεμα	(f_{ck}) για το σκυρόδεμα
	(f_{yk}) για το χάλυβα	(f_{yk}) για το χάλυβα

Πίνακας 1.1: Είδη αντοχών ανάλογα με το είδος τοιχοπλήρωσης ($f_{wc,m}$: μέση τιμή της αντοχής, $f_{wc,k}$: η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής).

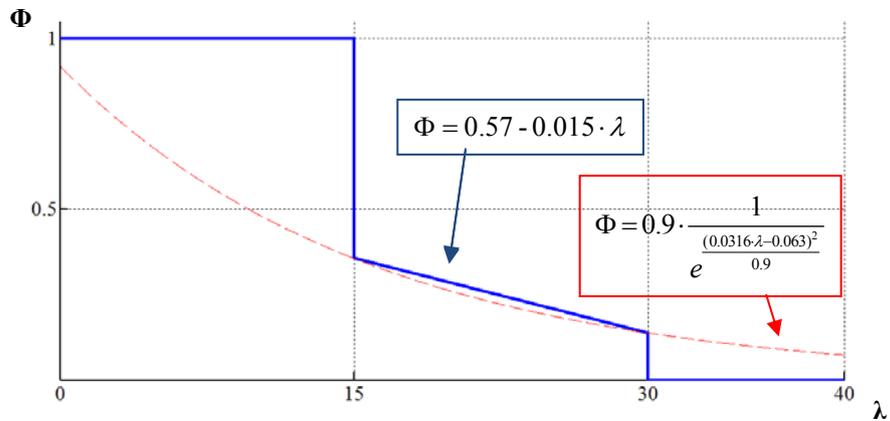
Στο Fespa εισάγεται, για κάθε τύπο τοιχοπλήρωσης, η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής. Κατά τον υπολογισμό της δύναμης της θλιβόμενης διαγωνίου, χρησιμοποιούνται, για κάθε τύπο τοιχοπλήρωσης, οι κατάλληλες τιμές των αντοχών (Πίνακας 1.1)

1.4 Απομειώσεις αντοχής και δυστένειας τοιχοπληρώσεων

Απομειώσεις λόγω αστοχίας εκτός επιπέδου (Φ)

Για να ληφθεί υπόψη η πιθανή εκτός επιπέδου αστοχία της τοιχοπλήρωσης η θλιπτική αντοχή της μειώνεται μέσω του συντελεστή Φ . Η απομείωση γίνεται συναρτήσει της λυγηρότητας λ η οποία ορίζεται ως το πλίκιο μήκους προς πάχος τοιχοπλήρωσης L/t . Συγκεκριμένα ο συντελεστής Φ δίνεται από την ακόλουθη σχέση ή το παρακάτω διάγραμμα (KAN.ΕΠΕ. §7.4.1(ε)).

$$\begin{aligned} \Phi &= 1 && \text{για } \lambda \leq 15 \\ \Phi &= 0.9 \cdot \frac{1}{e^{\frac{(0.0316 \cdot \lambda - 0.063)^2}{0.9}}} \approx 0.57 - 0.015 \cdot \lambda && \text{για } 15 < \lambda \leq 30 \\ \Phi &= 0 && \text{για } \lambda > 30 \end{aligned} \quad (1.6)$$



Σχήμα 1.10: Διάγραμμα υπολογισμού μειωτικού συντελεστή Φ .

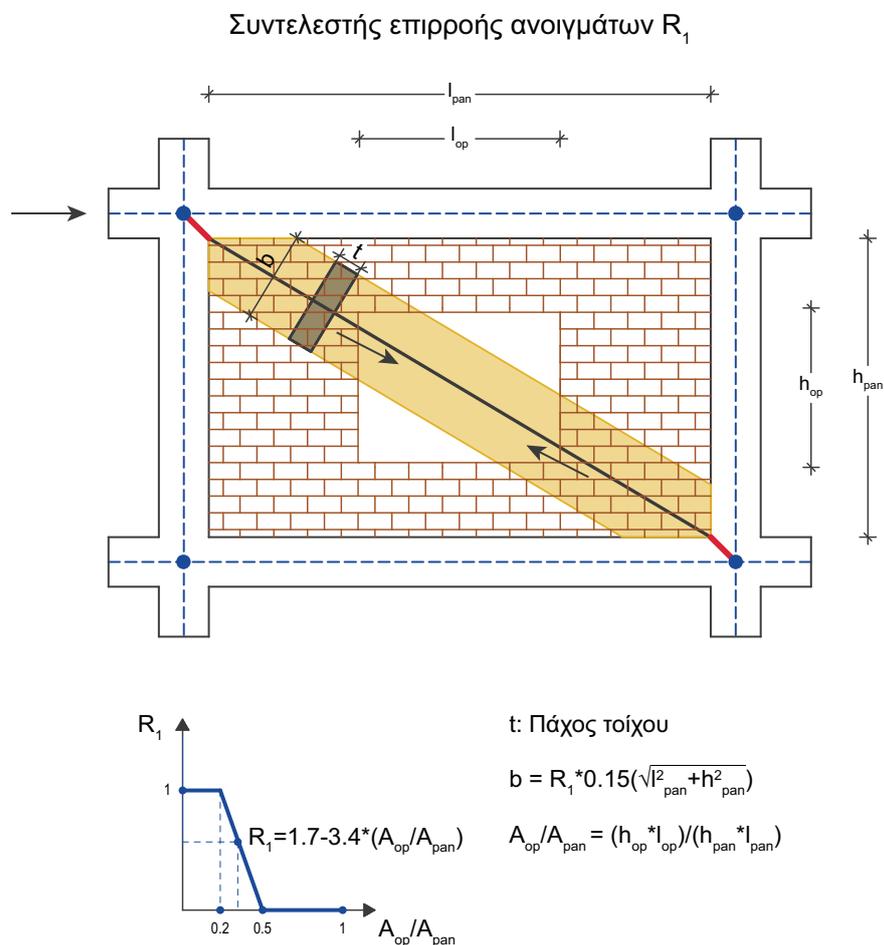
Εφαρμογή στο Fespa

Το Fespa υπολογίζει αυτόματα το πλάτος b και τη λυγηρότητα λ της κάθε διαγώνιας δοκού που προσομοιώνει την τοιχοπλήρωση και η τιμή του συντελεστή Φ σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται από την ακριβή σχέση του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Απομειώσεις λόγω ανοιγμάτων (R_1)

Μέσω του συντελεστή απομείωσης R_1 μπορεί να ληφθεί υπόψη η επιρροή των ανοιγμάτων του φατώματος (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1(δ)). Εξαρτάται από το λόγο του εμβαδού του ανοίγματος προς το συνολικό εμβαδόν του φατώματος ($\alpha = A_{\text{open}}/A_{\text{panel}}$) και δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις ή το παρακάτω διάγραμμα:

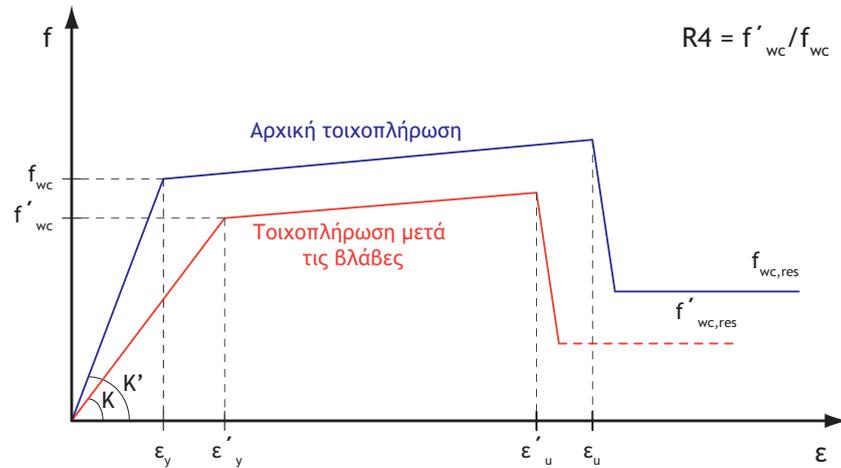
$$\begin{aligned} R_1 &= 1.0 && \text{για } \alpha \leq 0.2 \\ R_1 &= 1.7 - 3.4 \cdot \alpha && \text{για } 0.2 < \alpha \leq 0.5 \\ R_1 &= 0 && \text{για } \alpha > 0.5 \end{aligned} \quad (1.7)$$



Σχήμα 1.11: Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή R_1 .

Απομειώσεις λόγω βλαβών (R_4)

Ο συντελεστής R_4 λαμβάνει υπόψη τους μειωτικούς συντελεστές r για βλαμμένες και άοπλες τοιχοπληρώσεις σύμφωνα με τον πίνακα Π3 του παραρτήματος 7Δ του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Ουσιαστικά ο συντελεστής R_4 **ισούται με το συντελεστή r_k** που αφορά την απομείωση αντοχής f_{wc} . Ο συντελεστής r_k για την απομείωση δυσκαμψίας μπορεί να δοθεί έμμεσα τροποποιώντας την παραμόρφωση διαρροής ϵ_y .



Σχήμα 1.12: Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων τοιχοπλήρωσης πριν και μετά τις βλάβες.

Απομειώσεις λόγω στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων – Συντελεστής ασφαλείας γ_m

Η περιγραφή των στάθμων αξιοπιστίας δεδομένων (Σ.Α.Δ.) τοιχοπληρώσεων και οι αντίστοιχοι μειωτικοί συντελεστές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (ΚΑΝ.ΕΠΕ §3.7.3).

Επίπεδο γνώσης Σ.Α.Δ.	Περιγραφή	Συντ. Ασφαλείας γ_m
KL1- Ανεκτή γνώση	-	Δεν επιτρέπεται
KL2- Ικανοποιητική γνώση	Προσδιορισμός χαρακτηριστικών από ημιεμπειρικές σχέσεις με βάση τα επιμέρους δομικά στοιχεία της τοιχοπλήρωσης.	2.00
KL3- Υψηλή γνώση	Τα μηχανικά χαρακτηριστικά προκύπτουν από επιτόπου και εργαστηριακές δοκιμές.	2.50

Πίνακας 1.2: Σ.Α.Δ. στην περίπτωση τοιχοπληρώσεων και συντελεστές ασφαλείας υφιστάμενων τοιχοπληρώσεων.

Σε ό,τι αφορά τα γεωμετρικά δεδομένα του δομήματος, η Σ.Α.Δ. εξαρτάται από την προέλευση του δεδομένου και διαφοροποιείται κατά περίπτωση, σύμφωνα με όσα αναφέρονται στον πίνακα 3.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Απομειωμένη μέση θλιπτική αντοχή τοιχοπλήρωσης

Έπειτα από τον προσδιορισμό των επιμέρους μειωτικών συντελεστών η μέση θλιπτική τάση αντοχής της τοιχοπλήρωσης προκύπτει ως:

$$f_{wc,red} = \frac{R_t \cdot \Phi}{\gamma_m} \cdot f_{wc,k} \quad (1.8)$$

Τελικά, η μέση θλιπτική δύναμη αντοχής της θλιβόμενης ράβδου προσομοίωσης υπολογίζεται ως:

$$F_{wc,red} = (b \cdot t \cdot f_{wc,red}) \cdot \xi \quad (1.9)$$

Εφαρμογή στο Fespa

Ο μελετητής εισάγει ως δεδομένο το γινόμενο $R=R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4$ για κάθε τοιχοπλήρωση ξεχωριστά, ενώ ο συντελεστής Φ υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα.

1.5 Γιατί να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;

- 1. Αύξηση αντοχής και δυσκαμψίας:** Με την ενσωμάτωση των τοιχοπληρώσεων στο υπολογιστικό προσομοίωμα η ελαστική δυσκαμψία της κατασκευής αυξάνεται με παράλληλη αύξηση συνήθως και της μέγιστης αντοχής. Αυτό έχει ως συνέπεια οι λόγοι επάρκειας να βελτιώνονται, σε υφιστάμενα κτίρια που χωρίς τις τοιχοπληρώσεις δεν ικανοποιούσαν τους ελέγχους επιτελεστικότητας, όταν λαμβάνονται υπόψιν οι τοιχοπληρώσεις.
- 2. Διεύρυνση των επιλογών ενίσχυσης:** Σε περιπτώσεις όπου μία κατασκευή δεν πληροί τα κριτήρια επιτελεστικότητας η ενίσχυση των τοιχοπληρώσεων αντί του φέροντος οργανισμού αποτελεί έναν απλούστερο και οικονομικότερο τρόπο συνολικής αύξησης της αντοχής του κτιρίου.
- 3. Δυνατότητα εντοπισμού και αναγνώρισης με ρεαλιστικό τρόπο των μηχανισμών αστοχίας:** Σε όροφο όπου οι τοιχοπληρώσεις αστοχούν νωρίτερα από αυτές ανώτερων ορόφων ενδέχεται να αναπτυχθεί μηχανισμός ορόφου. Αυτό είναι ενδεχόμενο να συμβεί σε κτίρια όπου δεν υπάρχουν ισχυρά τοιχώματα.

4. **Ρεαλιστικότερη προσομοίωση της κατασκευής:** Δυνατότητα ελέγχου της πληρότητας και επάρκειας του τρόπου ροής των δυνάμεων στο φορέα (loadpath), προσομοιώνοντας όλα τα στοιχεία που την επηρεάζουν (και τις τοιχοποιίες, αν απαιτείται ...).

1.6 Πότε είναι υποχρεωτικό να συμπεριλάβω τις τοιχοπληρώσεις στο υπολογιστικό μοντέλο;

Η προσομοίωση των τοιχοπληρώσεων γίνεται σύμφωνα με την §2.1.4.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. και είναι εν γένει υποχρεωτική όταν έχουν δυσμενείς συνέπειες για τον φέροντα οργανισμό σε γενικό ή τοπικό επίπεδο .

Εξαιρούνται (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.9.1):

1. Κτίρια που έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί σύμφωνα με τον ΕΑΚ ή τον EC8.
2. Η πρόσθετη πλευρική δυσκαμψία λόγω τοιχοπληρώσεων δεν υπερβαίνει το $\frac{1}{4}$ της συνολικής πλευρικής δυσκαμψίας του φέροντος οργανισμού (ενός τουλάχιστον ορόφου).

Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελέγχεται πάντα το ότι αθέλγητη, έστω, διάταξη τοιχοπληρώσεων δεν συνεπάγεται δυσμενή συμπεριφορά.

Κριτήρια δυσμενούς επιρροής (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.9.2):

1. Οι τοιχοποιίες δεν επιφέρουν αύξηση της σεισμικής τέμνουσας ενός τουλάχιστον πρωτεύοντος κατακόρυφου στοιχείου ή της σεισμικής μετακίνησης ενός ορόφου σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15%, σε οποιαδήποτε στάθμη του κτιρίου.
2. Για τον έλεγχο αυτό μπορεί να εφαρμόζεται χωρίς προϋποθέσεις η ελαστική στατική ανάλυση (§5.5 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.).

Συμπέρασμα!

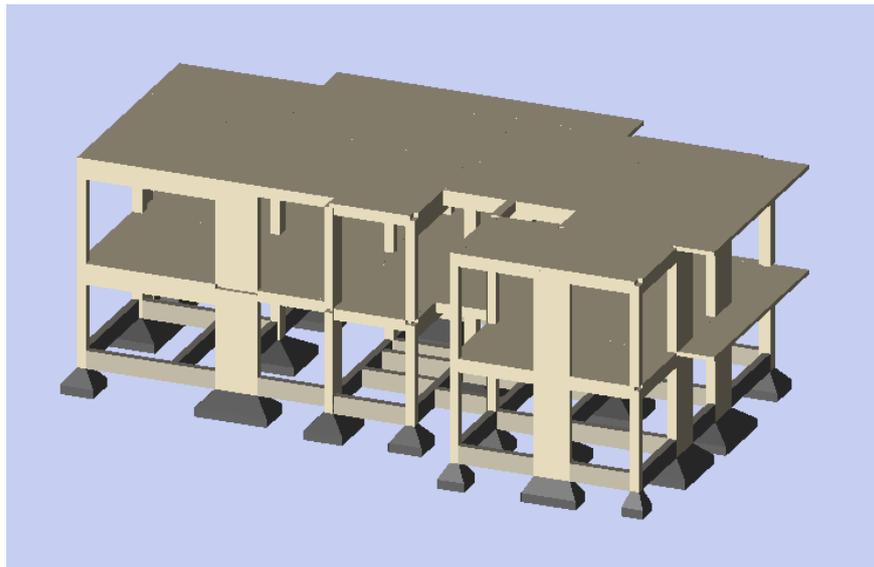
Όταν οι τοιχοπληρώσεις συνυπολογισθούν στην ανάληψη των σεισμικών δράσεων απαλασσόμαστε από τον υπολογισμό των παραπάνω κριτηρίων ανίχνευσης της δυσμενούς επιρροής.

2

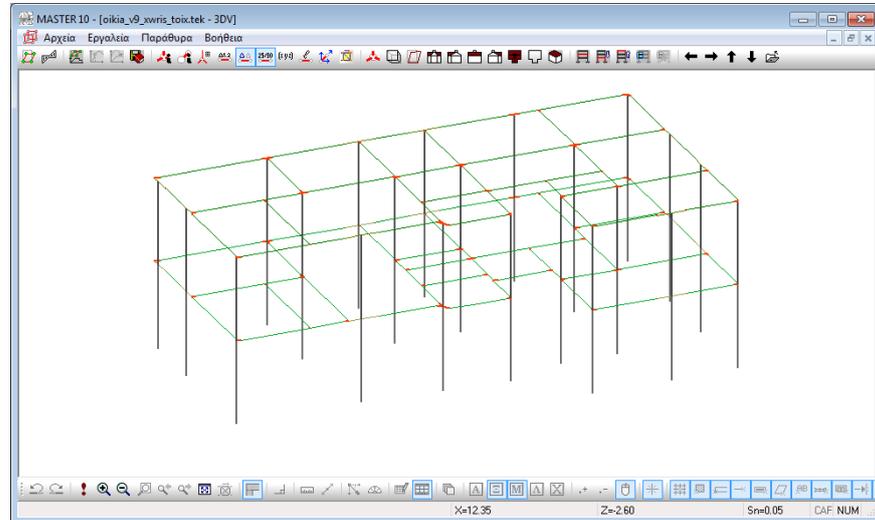
Στατικό παράδειγμα

2.1 Ο φορέας του παραδείγματος

Στο μοντέλο προσομοίωσης του φορέα του παραδείγματος ενισχύσεων που προηγήθηκε, θα πραγματοποιηθεί εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων ως αμφιαρθρωτών διαγώνιων ράβδων και θα εξετασθεί η επιρροή τους κατά την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.



Εικόνα 2.1: Τρισδιάστατη (3D) απεικόνιση κτιρίου



Εικόνα 2.2: Γραμμικό τρισδιάστατο προσομοίωμα (3DV) χωρίς τοιχοπληρώσεις

2.2 Παραδοχές - Δεδομένα

2.2.1 Παραδοχές υφιστάμενης μελέτης

- Κανονισμός σκυροδέματος **Παλαιός ('54)**
- Αντισεισμικός κανονισμός **Παλαιός ('59)**
- Σεισμικότητα **2**
- Σεισμικός συντελεστής **$\varepsilon = 0.08$**
- Ποιότητα σκυροδέματος **B160**
- Ποιότητα χάλυβα οπλισμών **StI**
- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους **16 tn/m²**

2.2.2 Φορτία

Τα φορτία της υφιστάμενης κατασκευής εισήχθησαν σύμφωνα με το τεύχος επίλυσης της μελέτης, προκειμένου να εξαχθούν οι οπλισμοί σύμφωνα με τους κανονισμούς '54, '59.

Προσοχή!

Εάν τα φορτία της μελέτης διαφέρουν από αυτά που επιβάλλει ο EC1, θα πρέπει για τη μελέτη της **αποτίμησης** να εισαχθούν τα **φορτία σύμφωνα με τον EC1**.

Στο παράδειγμα αυτό, οι τιμές συμφωνούν με αυτές που επιβάλλονται από τον EC1.

Μόνιμα φορτία

- Μπατικές τοιχοποιίες 1,05 tn/m (10,5 kN/m)
- Δρομικές τοιχοποιίες 0,60 tn/m (6,0 kN/m)

Κινητά φορτία

- Πλακών 0,20 tn/m² (2,0 kN/m²)
- Κλιμάκων 0,35 tn/m² (3,5 kN/m²)
- Εξωστών 0,50 tn/m² (5,0 kN/m²)

2.2.3 Παραδοχές αποτίμησης

- Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) σκυροδέματος και χάλυβα: KL2-Κανονική (Ικανοποιητική)
- Αντοχές υφιστάμενων υλικών Μέση αντοχή σκυροδέματος $f_{cm} = 16$ MPa όπως προκύπτει από επί τόπου δοκιμές
 - Μέση αντοχή χάλυβα $f_{ym} = 275$ MPa
 - Μέση αντοχή χάλυβα συνδετήρων $f_{ywm} = 275$ MPa

(βλ. Εικόνα 2.5)

- Κατανομές φόρτισης: Ομοιόμορφη, Ιδιομορφική
- Εγκάρσια φόρτιση: 30% (π.χ. $E_x + 30\% E_y$)
- Τυχηματική εκκεντρότητα: Μόνο στην εγκάρσια διεύθυνση
- Πλήθος **ανελαστικών αναλύσεων** που θα πραγματοποιηθούν: 32

(βλ. Εικόνα 2.6)

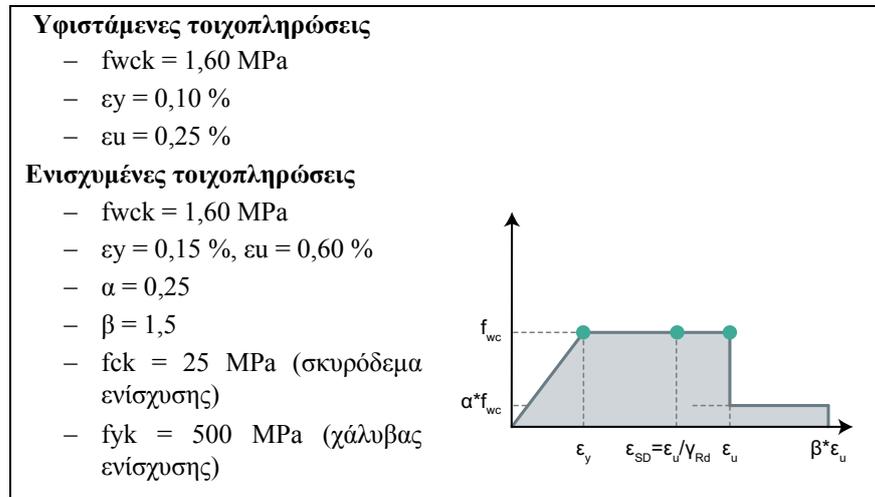
2.2.4 Παραδοχές τοιχοπληρώσεων

- Επίπεδο γνώσης (ΣΑΔ) υφιστάμενων τοιχοπληρώσεων: KL2-Κανονική (Ικανοποιητική) (βλ. Εικόνα 2.8).

Παρατηρήσεις

- Μην συγχέετε τη Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) **σκυροδέματος** και **χάλυβα** με τη Στάθμη Αξιοπιστίας Δεδομένων (ΣΑΔ) των **τοιχοπληρώσεων!**
- Όταν ληφθούν υπόψη κατά την αποτίμηση και οι τοιχοπληρώσεις θα πρέπει να εξασφαλισθεί τουλάχιστον ΣΑΔ = KL2-Κανονική (Ικανοποιητική) για αυτές.

- Καθορισμός αντοχών (βλ. **Εικόνα 2.8**).



2.2.5 Στόχοι - Απαιτήσεις

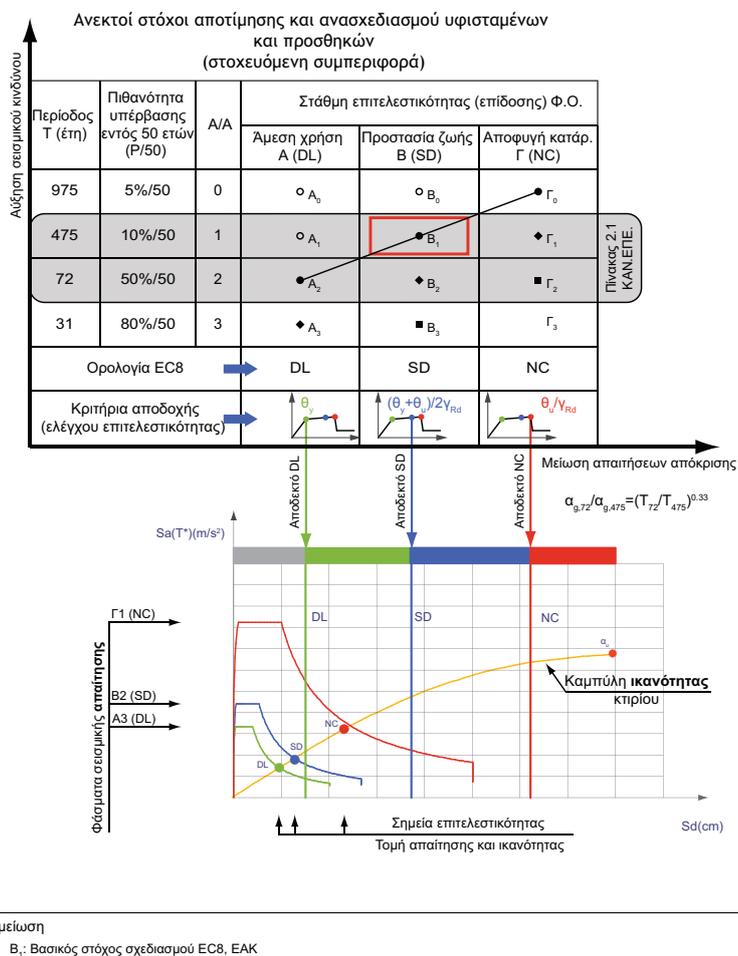
Άμεση χρήση (DL ή Α): Πιθανότητα υπέρβασης **50%** σε 50 χρόνια

Προστασία ζωής (SD ή Β): Πιθανότητα υπέρβασης **10%** σε 50 χρόνια

Αποφυγή κατάρρευσης (NC ή Γ): Πιθανότητα υπέρβασης **5%** σε 50 χρόνια

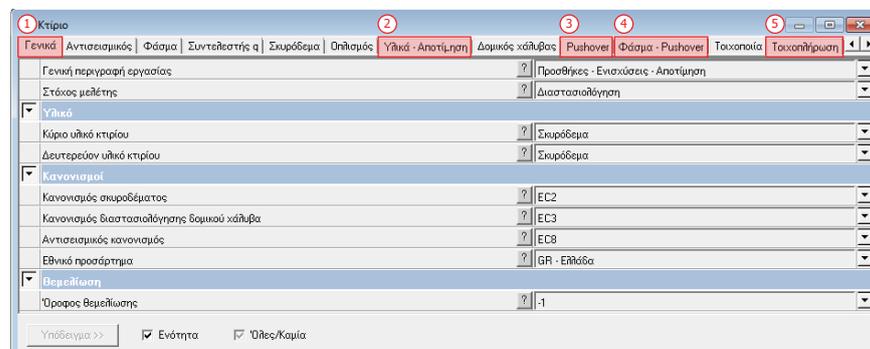
Σκελετός Απαραίτητη η επίτευξη των στόχων Α, Β, Γ (βλ. **Σχήμα 2.1** και **Εικόνα 2.7**)

Τοιχοπληρώσεις Επιθυμητή η επίτευξη των στόχων Α και Β (βλ. **Σχήμα 2.1** και **Εικόνα 2.7**)



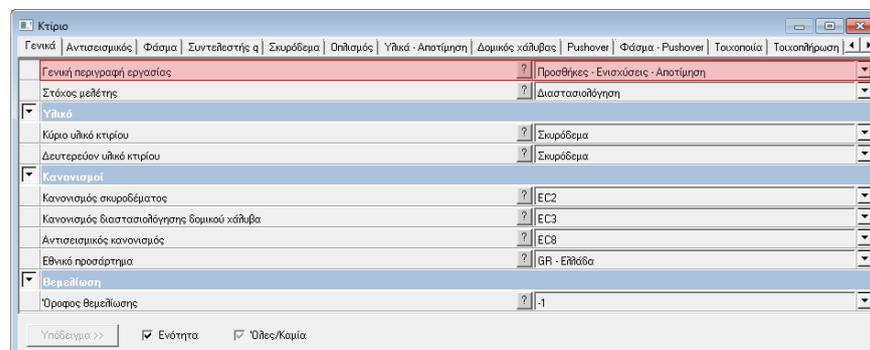
Σχήμα 2.1: Στόχοι αποτίμησης. Στο πρόγραμμα δίνονται όπως φαίνεται στην **Εικόνα 2.7**.

2.2.6 Εισαγωγή των δεδομένων στο Fespa

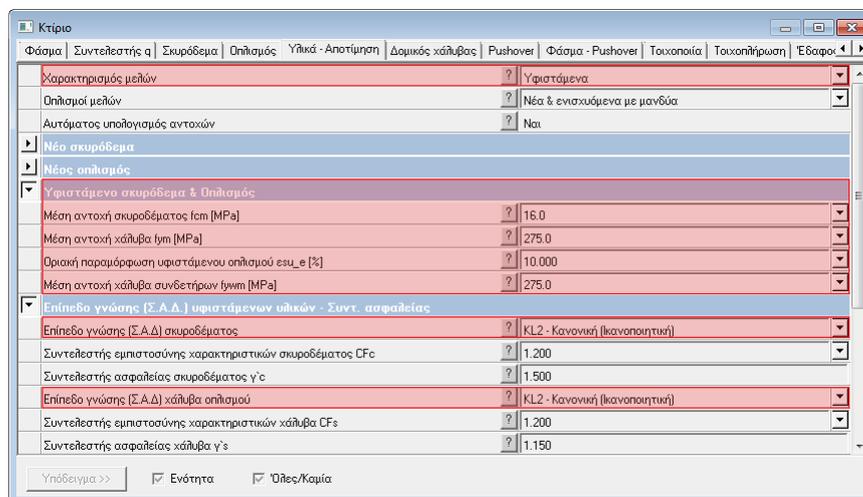


Εικόνα 2.3: Το παράθυρο παραμέτρων του «Κτιρίου».

- 1: Καθορισμός περιγραφής εργασίας
- 2: Καθορισμός υλικών
- 3: Παράμετροι Pushover
- 4: Καθορισμός στόχων μελέτης
- 5: Υλικά τοιχοπληρώσεων



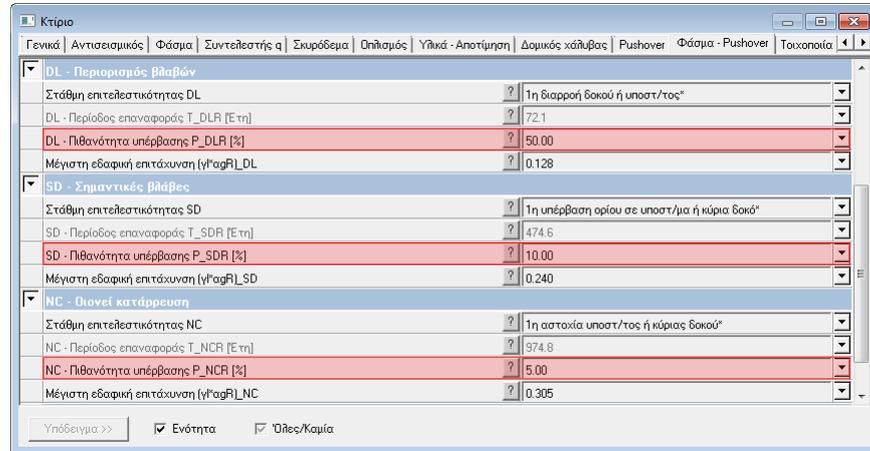
Εικόνα 2.4: Επιλέγουμε «Κτίριο» **Γενικά** > Γενική περιγραφή εργασίας= Προσθήκες-Ενισχύσεις-Αποτίμηση».



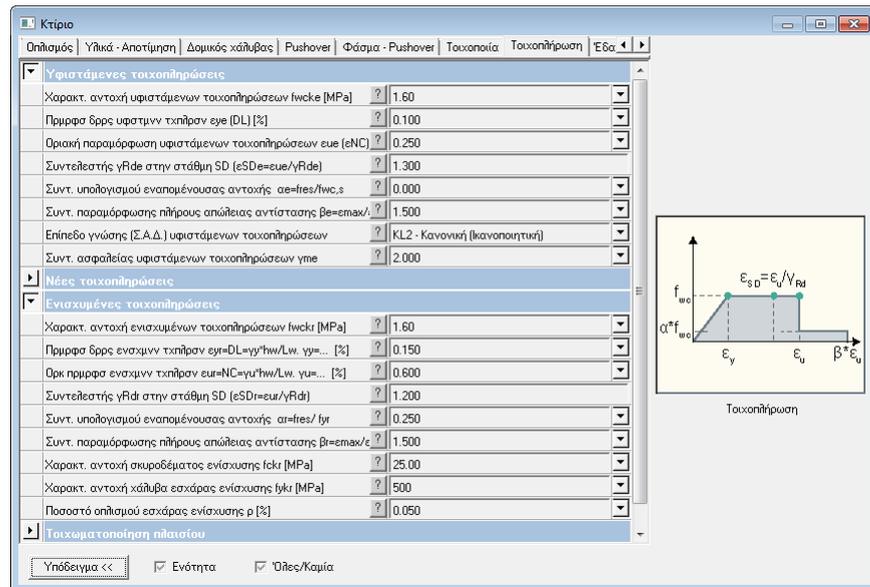
Εικόνα 2.5: Η καρτέλα «Υλικά - Αποτίμηση» του «Κτιρίου». Χαρακτηρισμός μελών ως υφιστάμενα, καθορισμός αντοχών υφιστάμενων μελών και στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.



Εικόνα 2.6: Η καρτέλα «Pushover» του «Κτιρίου». Μέσω των παραμέτρων «Συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης [%]» και «Τυχηματική εκκεντρότητα» καθορίζεται το πλήθος των **ανελαστικών αναλύσεων** που θα πραγματοποιηθούν. Αυτές είναι, εν προκειμένω, **32** (16 κατευθύνσεις φόρτισης x 2 κατανομές).



Εικόνα 2.7: Καθορισμός στόχων αποτίμησης, στην καρτέλα «Φάσμα-Pushover» του «Κτιρίου».



Εικόνα 2.8: Η καρτέλα «Τοιχοπλήρωση» του «Κτιρίου». Καθορισμός χαρακτηριστικών της τοιχοπλήρωσης και στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων.

3

Μεθοδολογία

3.1 Τα βήματα της διαδικασίας

1. Εισαγωγή στο Fespa του **προσομοιώματος** της κατασκευής.
2. **Επίλυση** και **όπλιση** του προσομοιώματος **με τον ισχύοντα κανονισμό** κατά τον χρόνο κατασκευής, ώστε να προκύψουν οπλισμοί οι οποίοι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση εργασίας για να διευκολυνθεί η εισαγωγή των υφιστάμενων οπλισμών στο μοντέλο.
3. **Διόρθωση** των οπλισμών που έχουν προκύψει από το προηγούμενο βήμα ώστε να αντιπροσωπεύουν τους οπλισμούς που έχουν τοποθετηθεί στην κατασκευή.
4. Ορίζονται ως κανονισμοί οι Ευρωκώδικες:
«Κτίριο> Γενικά> Κανονισμός σκυροδέματος= EC2»
«Κτίριο> Γενικά> Αντισεισμικός κανονισμός= EC8»
5. Προσδιορισμός της **στάθμης αξιοπιστίας δεδομένων (ΣΑΔ)** και των μέσων τιμών για τις αντοχές του σκυροδέματος και του χάλυβα.
6. Καθορισμός της **στάθμης επιτελεστικότητας** για την οποία θα γίνει ο έλεγχος καθώς και της σεισμικής απαίτησης που αντιστοιχεί σε αυτήν.
7. **Επιλύσεις** (κατασκευή καμπύλης ικανότητας, φάσμα απαίτησης, προσδιορισμός της στοχευόμενης μετακίνησης και υπολογισμός συντελεστών επάρκειας κάθε μέλους για κάθε εξεταζόμενη στάθμη επιτελεστικότητας).
8. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για το κτίριο.
9. **Εισαγωγή** δοκών προσομοίωσης **τοιχοπλήρωσης** στο μοντέλο.

10. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία της **αποτίμησης, μετά την εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων** και ελέγχεται αν οι λόγοι επάρκειας των μελών του κτιρίου και των τοιχοπληρώσεων προκύπτουν μικρότεροι της μονάδας.
11. **Ενίσχυση** κάποιων τοιχοπληρώσεων.
12. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία της **αποτίμησης, μετά την εισαγωγή των ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων** και ελέγχεται κατά πόσο βελτιώνονται οι λόγοι επάρκειας των φερόντων μελών του κτιρίου και των τοιχοπληρώσεων.
13. **Σύγκριση αποτελεσμάτων** μεταξύ των επιλύσεων που έγιναν στα βήματα 7, 10 και 12.

Προσοχή!

Όσοι έχετε διαβάσει τα 3 προηγούμενα παραδείγματα (ΚΑΝΕΠΕ_1_Αποτίμηση αυθαίρετου, ΚΑΝΕΠΕ_2_Προσθήκη, ΚΑΝΕΠΕ_3_ Προσθήκη_Ενισχύσεις) μεταβείτε κατευθείαν στην § 3.4 του παραδείγματος αυτού.

3.2 Εισαγωγή φορέα στο Fespa – Εισαγωγή/ Τροποποίηση υφιστάμενων οπλισμών

Αφού δημιουργηθεί το γεωμετρικό και το φορτιστικό προσομοίωμα του κτιρίου στο Fespa, θα ακολουθήσει η εισαγωγή των υφιστάμενων οπλισμών των σχεδίων, που προέκυψαν με τους κανονισμούς της μελέτης και είναι αναγκαίοι για την αποτίμηση της φέρουσας ικανότητας του.

Σύντομες συμβουλές για την επίλυση με παλιούς κανονισμούς

- Εφαρμόστε τις παραδοχές για τα μόνιμα και κινητά φορτία, από την παλιά μελέτη.
- Στις παλιές μελέτες οι δοκοί οπλίζονταν έναντι διάτμησης πάντα με **σπαστά σίδερα**. Τροποποιήστε την παράμετρο «Κτίριο > Οπλισμός > Κάλυψη διατμητικών δυνάμεων δοκών».
- Η **επικάλυψη** των οπλισμών, στις παλιές μελέτες, ήταν 1-1.5 cm.
- Στον Αντισεισμικό Κανονισμό του '59 δεν υπήρχε υποχρέωση για μέγιστη απόσταση διαμήκων οπλισμών υποστυλωμάτων. Δώστε κατάλληλη τιμή στην παράμετρο «Κτίριο > Οπλισμός > Μέγιστη απόσταση εγκάρσια συγκρατούμενων ράβδων» (π.χ. 0.40μ. – 0.50μ.).
- Αντίστοιχα, δώστε την κατάλληλη τιμή στην παράμετρο «Κτίριο > Οπλισμός > Απόσταση συνδετήρων υπ/των & άκρων τοιχωμάτων smax » (π.χ. 0.30μ.).
- Ορίστε ποια είναι τα περιμετρικά και ποια τα γωνιακά υποστυλώματα, προκειμένου να γίνουν όλοι οι ειδικοί έλεγχοι.

Εισαγωγή ή τροποποίηση διαμήκους οπλισμού υποστυλωμάτων

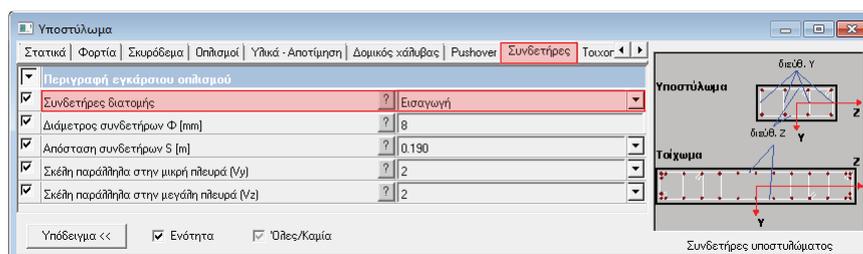


Επιλέγουμε «**Διατομή**» **Παραγωγή διατομής από υποστώλωμα** για να δημιουργήσουμε την διατομή του υποστυλώματος, της οποίας οι οπλισμοί θα τροποποιηθούν.



Οι διαμήκεις οπλισμοί (διάμετρος και θέση) τροποποιούνται μέσω των εντολών «Πάρε/Δώσε παραμέτρους» της οντότητας «**Ράβδοι οπλισμού**».

Εισαγωγή ή τροποποίηση συνδετήρων υποστυλωμάτων

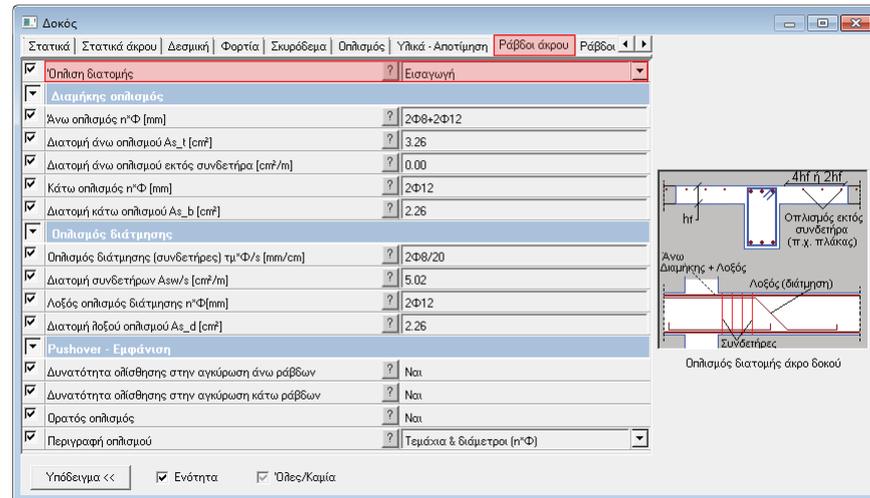


Εικόνα 3.1: Οι **συνδετήρες** της διατομής του υποστυλώματος τροποποιούνται επιλέγοντας «**Υποστώλωμα**» **Συνδετήρες**», με τη βοήθεια των εντολών «Πάρε/Δώσε παραμέτρους».

Εισαγωγή ή τροποποίηση διαμήκους & εγκάρσιου οπλισμού άκρου δοκού



Με τις εντολές «Πάρε παραμέτρους άκρου» και «Δώσε παραμέτρους άκρου» της οντότητας «Δοκός», τροποποιούμε όπου απαιτείται τους υπάρχοντες οπλισμούς.

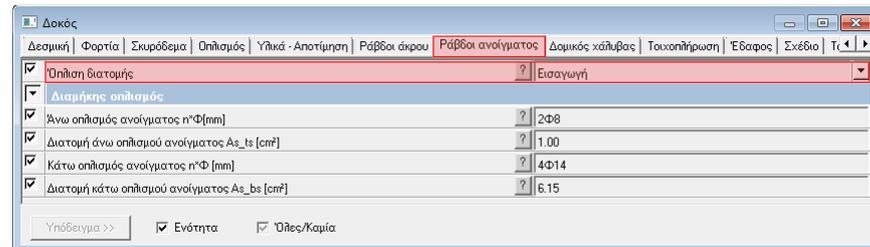


Εικόνα 3.2: Στην καρτέλα «Δοκός > Ράβδοι άκρου» μπορεί κανείς να δει αναλυτικά τι συνολικό οπλισμό, διαμήκη και εγκάρσιο, έχει το δεδομένο άκρο δοκού.

Εισαγωγή ή τροποποίηση διαμήκους & εγκάρσιου οπλισμού ανοίγματος δοκού



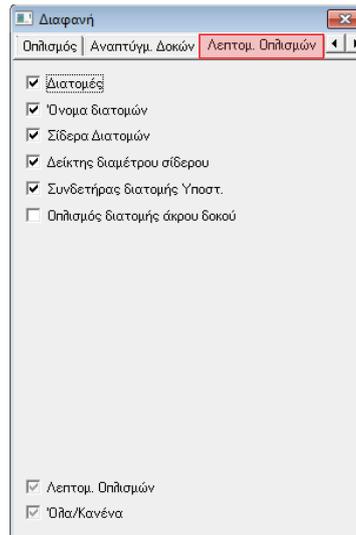
Ομοίως, με τις εντολές «Πάρε/Δώσε παραμέτρους ανοίγματος» της οντότητας «Δοκός» είναι ορατοί και επεξεργάσιμοι οι οπλισμοί ανοίγματος των δοκών στην καρτέλα «Ράβδοι ανοίγματος» των παραμέτρων.



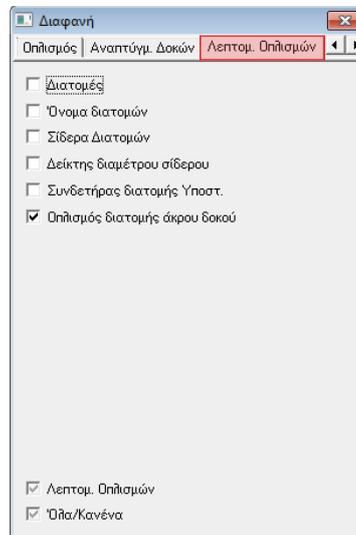
Εικόνα 3.3: Στην καρτέλα «Δοκός > Ράβδοι ανοίγματος» είναι ορατοί οι οπλισμοί ανοίγματος των δοκών.

3.3 Απεικόνιση και εποπτεία οπλισμών

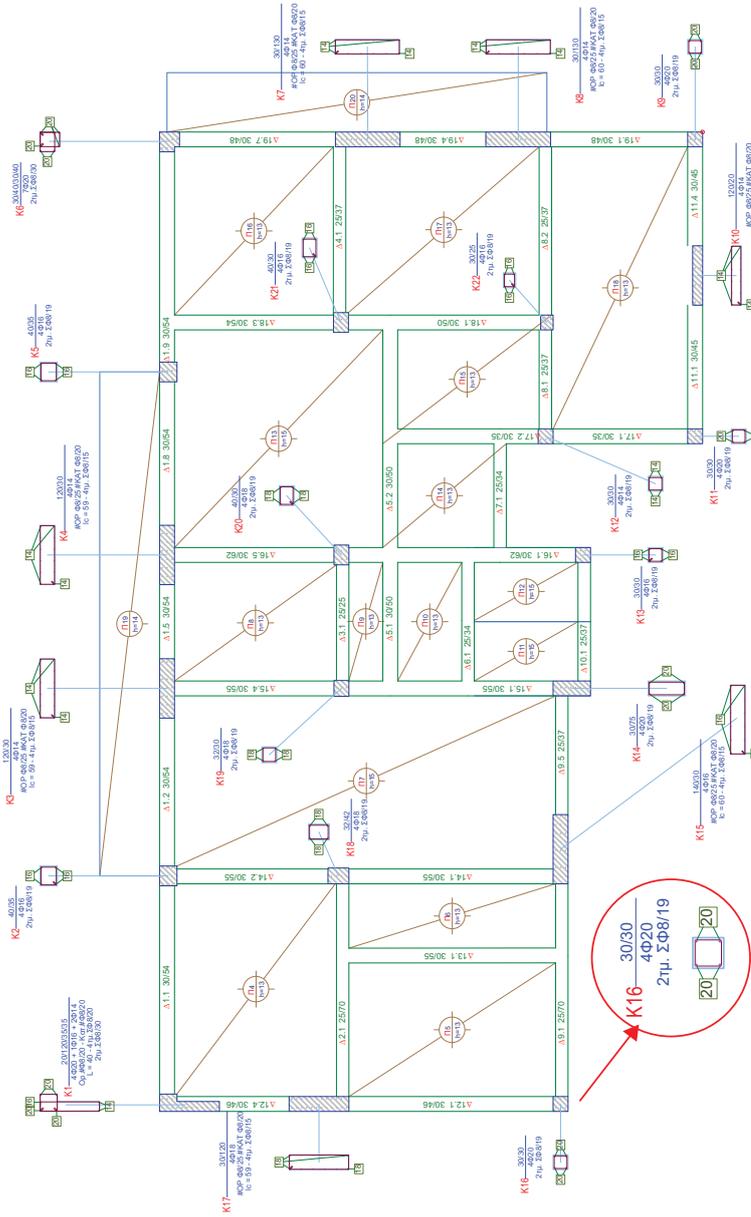
Χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εντολές και διαφανή, μπορούμε να έχουμε την εικόνα του τελικού οπλισμού γραμμικών μελών που θα θεωρηθεί από το πρόγραμμα ως υφιστάμενος.



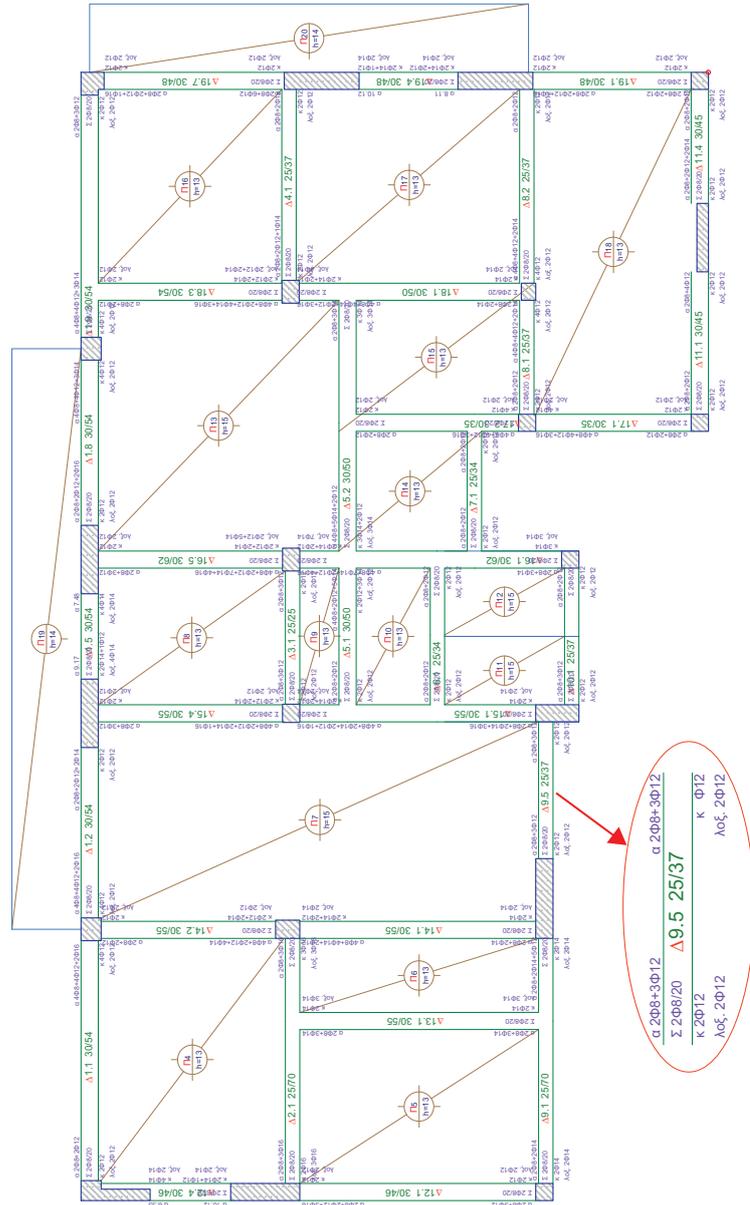
Εικόνα 3.4: Με τη χρήση των αντίστοιχων διαφανών στα «Διαφανή > Λεπτομέρειες οπλισμών» αναγράφεται στο σχέδιο ο οπλισμός των υποστυλωμάτων. Βλ. και **Σχήμα 3.1**.



Εικόνα 3.5: Με τη χρήση του διαφανούς «Οπλισμός διατομής άκρου δοκού» αναγράφεται στο σχέδιο ο οπλισμός στα άκρα κάθε μέλους, είτε με την μορφή ράβδων, είτε με τη μορφή As (σε cm²). Βλ. και Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.1: Υφιστάμενοι οπλισμοί υποστυλωμάτων ορόφου 0, των σχεδίων της μελέτης που εισάγαμε στο Fespa.

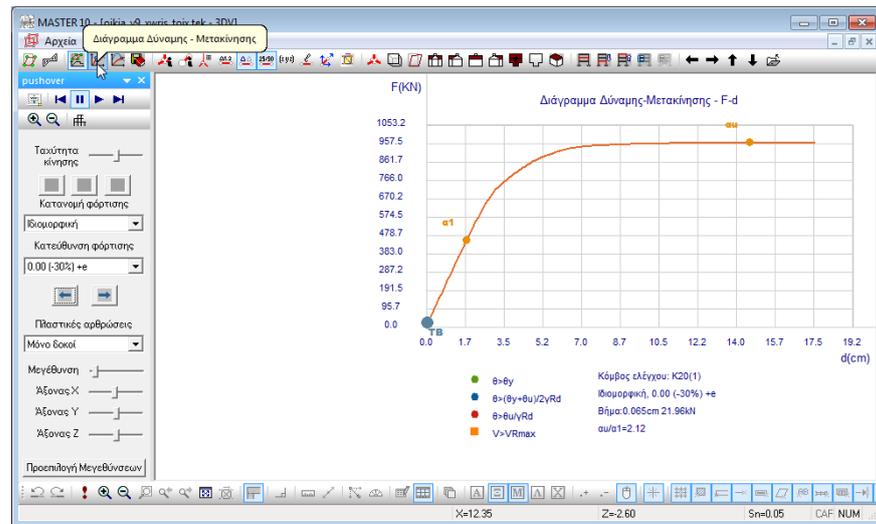


Σχήμα 3.2: Υφιστάμενοι οπλισμοί ανοιγμάτων & άκρων δοκών ορόφου 0, των σχεδίων της μελέτης που εισάγαμε στο Fespa.

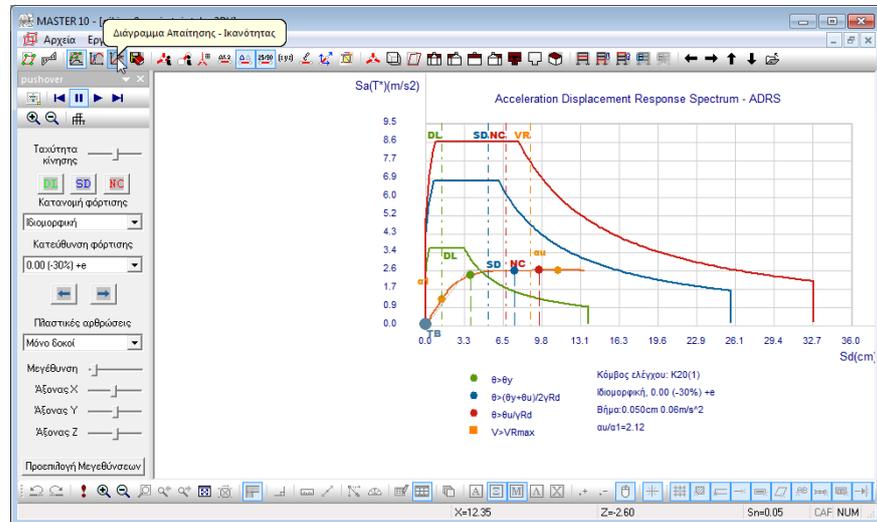
3.4 Α - Χωρίς τοιχοπληρώσεις



Επιλέγουμε την εντολή «Διαγράμματα P-K, Επίλυση Pushover» της «Επίλυσης» ώστε να υπολογιστούν τα διαγράμματα Ροπών-καμπυλοτήτων και ροπών-γωνιών στροφής χορδής όπως ορίζονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ και στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί η ανελαστική ανάλυση Pushover.



Εικόνα 3.6: Εμφάνιση στο τρισδιάστατο προσομοίωμα (3DV) του «Διαγράμματος Δύναμης-Μετακίνησης» επιλέγοντας το αντίστοιχο εικονίδιο στο παράθυρο «Pushover».



Εικόνα 3.7: Επιλέγοντας τα εικονίδια «Pushover» και «Διάγραμμα Απαίτησης-Ικανότητας» δίνεται η καμπύλη αντίστασης του κτιρίου, δηλαδή η συμπεριφορά του υπό αυξανόμενη ένταση και η σεισμική απαίτηση για την επιλεγμένη στάθμη επιτελεστικότητας. Η εξάντληση της ικανότητας για τη στάθμη NC πραγματοποιείται πριν τη στοχευόμενη μετακίνηση (απαίτηση), γεγονός που δηλώνει ανεπάρκεια.

Με την **πορτοκαλί κατακόρυφη γραμμή (VR)** επισημαίνεται πάνω στο Διάγραμμα Απαίτησης-Ικανότητας η θέση εμφάνισης της **πρώτης αστοχίας σε διάτμηση**. Υπάρχει πιθανότητα να γίνει πριν την πρώτη αστοχία σε κάμψη, οπότε θα είναι αυτή που θα καθορίσει τη θέση του $\alpha 1$.

Ο υπολογισμός των λόγων λ , για τα στοιχεία από σκυρόδεμα, σε διάτμηση γίνεται για τη μέγιστη στάθμη επιτελεστικότητας που ελέγχεται.

3.4.1 Αποτελέσματα

Υποστυλώματα

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.8** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες υποστυλωμάτων».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Στροφής

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	K1 (0)	Κύριο	2.75
SD	K7 (0)	Κύριο	1.63
NC	K7 (0)	Κύριο	1.62

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	K15 (0)	Κύριο	0.68
SD	K7 (0)	Κύριο	0.98
NC	K17 (0)	Κύριο	1.20

Εικόνα 3.8: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας υποστρωμάτων για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος. $\lambda > 1$ για τη στάθμη NC (οιονεί κατάρρευση), το οποίο δηλώνει ανεπάρκεια.

Δοκοί

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.9** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες δοκών».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας-Έλεγχος Στροφών

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	$\Delta 19.1(0)$	Κύριο	5.69
SD	$\Delta 19.4(0)$	Κύριο	2.19
NC	$\Delta 19.4(0)$	Κύριο	2.19

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	$\Delta 12.4(0)$	Κύριο	0.61
SD	$\Delta 12.4(0)$	Κύριο	0.91
NC	$\Delta 12.4(0)$	Κύριο	0.91

Εικόνα 3.9: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας δοκών για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος. $\lambda > 1$ και για τη στάθμη SD και για τη στάθμη NC (οιονεί κατάρρευση).

3.4.2 Συμπεράσματα για το φορέα A

Οι **μέγιστες τιμές** των λόγων επάρκειας λ των στοιχείων του φέροντος οργανισμού υπερβαίνουν τη μονάδα ($\lambda_{max} > 1$). Βλάβες θα πραγματοποιηθούν σε μέλη ακόμη και για το συχνό σεισμό (DL ή A).

Για την επίτευξη των στόχων της μελέτης απαιτείται $\lambda_{max} < 1$, και για τις **τρεις στάθμες επιτελεστικότητας**.

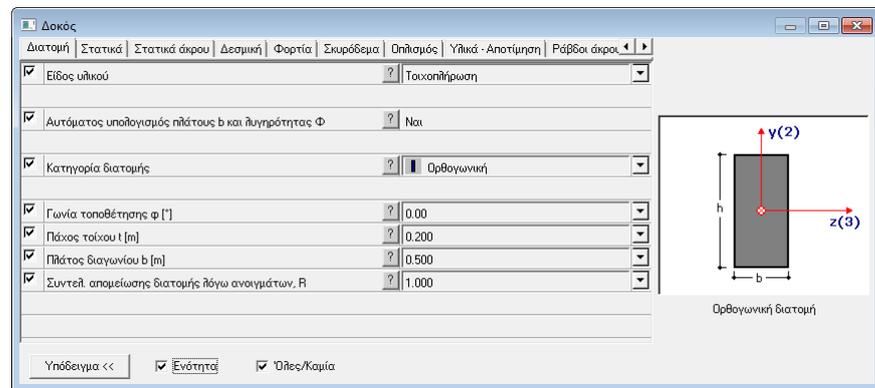
Πρέπει να ελεγχθεί εάν η επιρροή των υφισταμένων τοιχοπληρώσεων προσφέρει το επιθυμητό επίπεδο ασφάλειας στο κτίριο.

Εναλλακτικά, γίνεται ενίσχυση του κτιρίου (βλ. παράδειγμα KANEPE _ 3 _ Προσθήκη_Ενισχύσεις)

3.5 Τοιχοπληρώσεις

Σύμφωνα με την §2.1.4.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., οι **τοιχοποιίες πλήρωσης συνεκτιμώνται υποχρεωτικά** στην ανάληψη σεισμικών δράσεων, όταν αυτό συνεπάγεται δυσμενή αποτελέσματα για τον φέροντα οργανισμό.

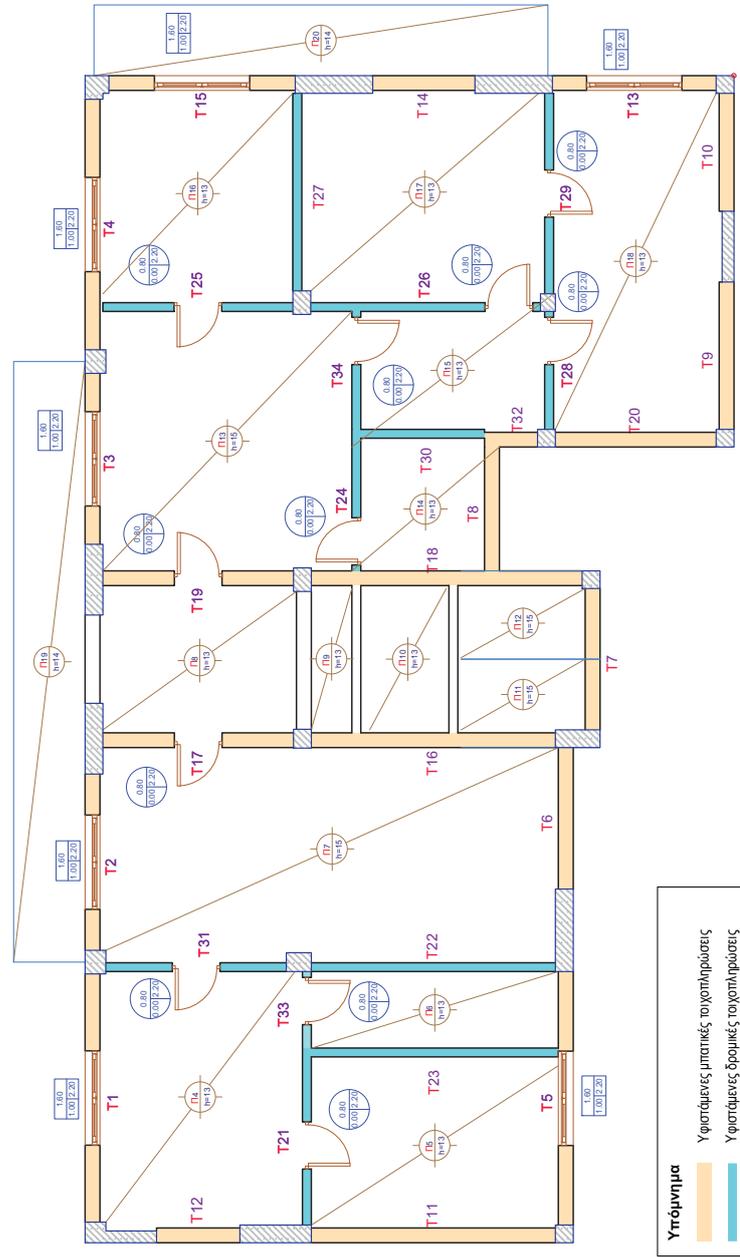
3.5.1 Παράμετροι σχετικές με τις τοιχοπληρώσεις



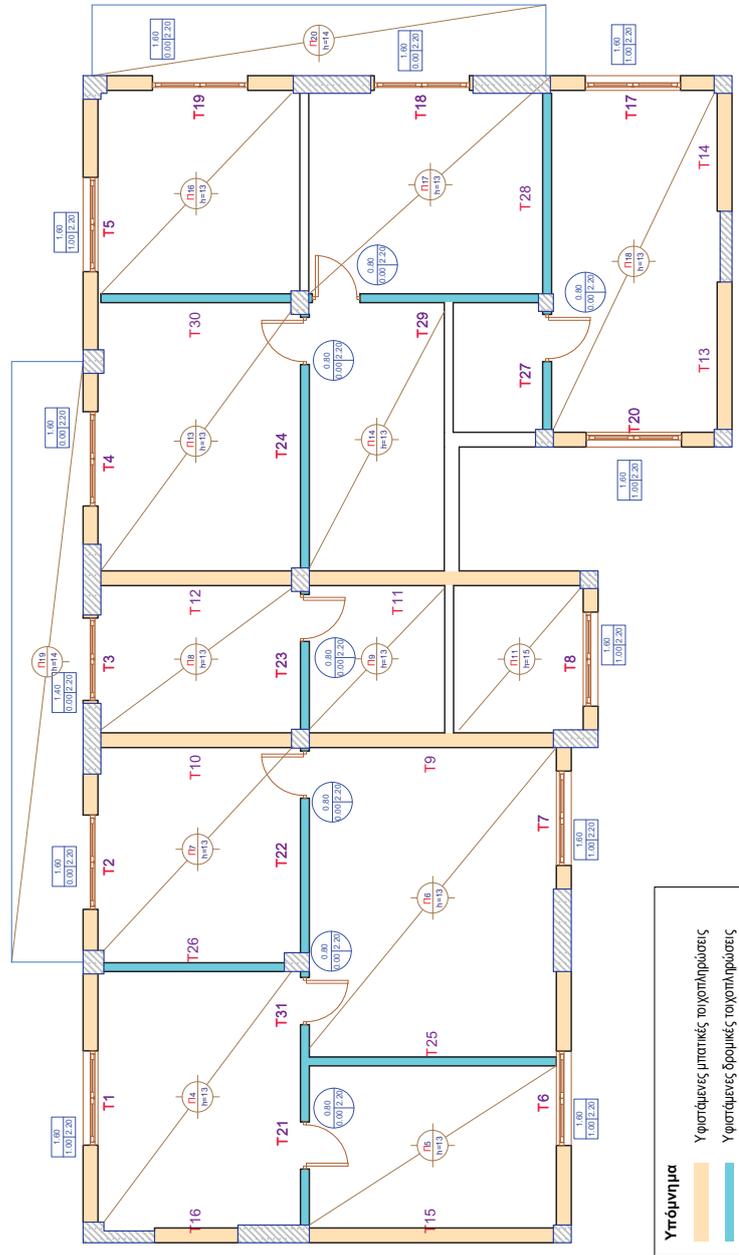
Εικόνα 3.10: Η καρτέλα «Διατομή» της «Δοκού».

Πάχος τοιχοπληρώσεων

Το πάχος της τοιχοπλήρωσης στην περίπτωση μαπατικής τοιχοποιίας δίνεται ίσο με 0,20μ. και στην περίπτωση της δρομικής ίσο με 0,10μ. (Σχήμα 3.3, Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.3: Μισατικές (b=0,20m) και δορμικές (b=0,10m) τοιχοπλάσεις ορόφου 0.



Σχήμα 3.4: Μισατικές ($b=0,20m$) και δορμικές ($b=0,10m$) τοιχοποιίες ορόφου

Συντελεστής απομείωσης διατομής λόγω ανοιγμάτων, R1

Στο κτίριο του παραδείγματος, καθώς και στα συνήθη κτίρια, ο υπολογισμός του συντελεστή R1 μπορεί να **απλοποιηθεί** και να **ομαδοποιηθεί** σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Τούτο συμβαίνει μιας και παράθυρα και μπαλκονόπορτες έχουν **κοινό υψόμετρο** και **κοινό πλάτος** (για λόγους ομοιομορφίας στις όψεις). Κοινό υψόμετρο και πλάτος έχουν επίσης και όλες οι εσωτερικές πόρτες.

Παράθυρα	Μπαλκονόπορτες	Εσωτερικές πόρτες
$0 \leq R1 = 1,7-3,4 \cdot \frac{A_{open}}{A_{pan}} \leq 1 \quad : \quad \frac{A_{open}}{A_{pan}} = \frac{h_{op} \cdot l_{op}}{h_{pan} \cdot l_{pan}} \quad (3.1)$		
$\frac{1,20}{2,96} \times \frac{1,60}{l_p} = \frac{0,65}{l_p}$	$\frac{2,20}{2,96} \times \frac{1,60}{l_p} = \frac{1,90}{l_p}$	$\frac{2,20}{2,96} \times \frac{0,80}{l_p} = \frac{0,59}{l_p}$

Πίνακας 3.1: Ο συντελεστής R1 υπολογίζεται για κάθε τοιχοπλήρωση. Ενδεικτικά, οι τιμές για τα παράθυρα του ισόγειου.

Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. προβλέπει για διαστάσεις ανοίγματος κάτω από το 20% της διάστασης του φατώματος (δηλαδή $A_{open}/A_{pan} < 0.20$) μηδενισμό της επιρροής του ανοίγματος ($R1=1$), ενώ για διαστάσεις ανοίγματος πάνω από το 50% της διάστασης του φατώματος μηδενισμό της επιρροής της τοιχοποιίας ($R1=0$). Μεταξύ των δύο αυτών τιμών (20%-50%) θεωρείται γραμμική παρεμβολή και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του R1 η σχέση (3.1).

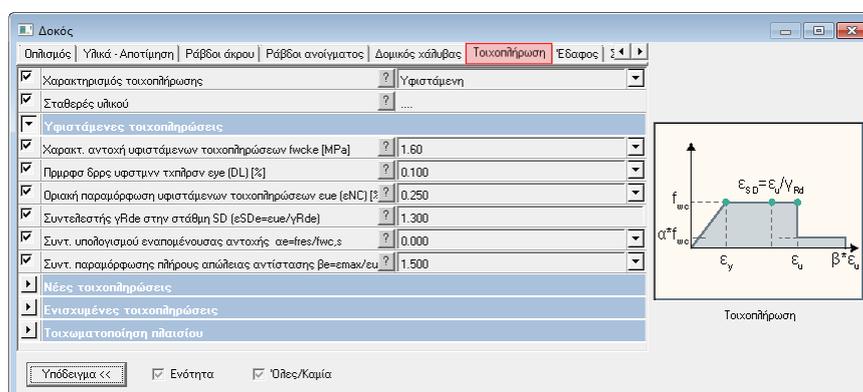
Ο συντελεστής απομείωσης της διατομής (π.χ. λόγω ανοιγμάτων του φατώματος) δίνεται από το χρήστη (βλ. Σχήμα 1.11).

Παράθυρα ισόγειου		
Όνομα τοίχου	Μήκος τοίχου, l_p	$R1=1,7-3,4 \cdot (A_{op}/A_p)$
T1	4,21	1,00
T2	2,99	0,96
T3	2,90	0,94
T4	4,25	1,00

T5	4,30	1,00
T13	2,75	0,90
T14	1,72	0,42
T15	3,13	0,99

Πίνακας 3.2: Ο συντελεστής R υπολογίζεται για κάθε τοιχοπλήρωση. Ενδεικτικά, οι τιμές για τα παράθυρα του ισογείου.

Χαρακτηριστικά τοιχοπλήρωσης



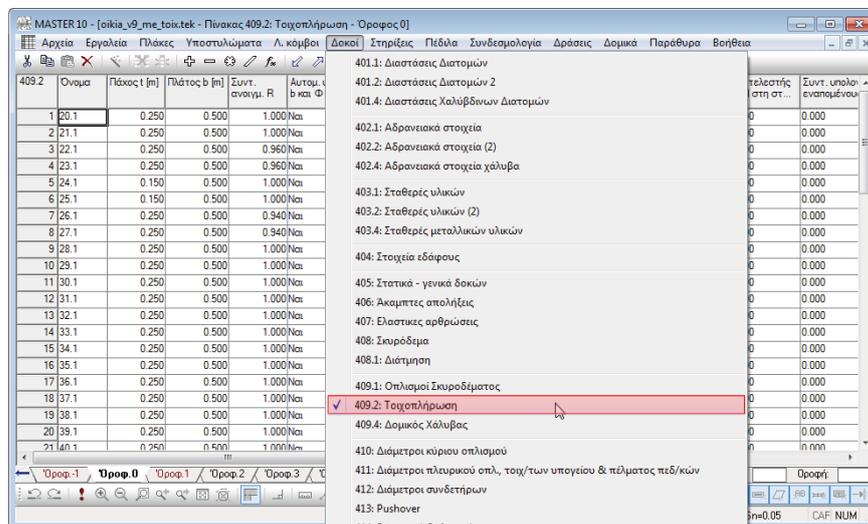
Εικόνα 3.11: Η καρτέλα «Τοιχοπλήρωση» της «Δοκού».

Είδη τοιχοπληρώσεων στο Fespa

- Υφιστάμενη
- Νέα
- Ενισχυμένη
- Τοιχοματοποίηση πλαισίου

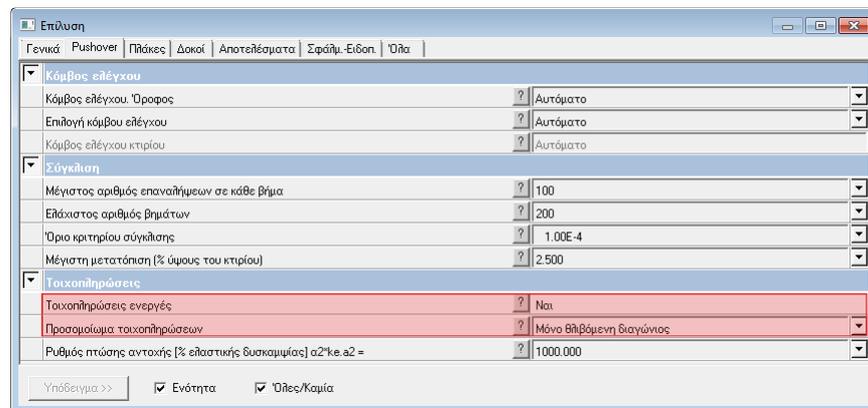
Στο παράδειγμά μας όλες οι τοιχοπληρώσεις χαρακτηρίζονται ως **υφιστάμενες**.

Τα χαρακτηριστικά των τοιχοπληρώσεων μπορούν να αλλάξουν **μαζικά** είτε από τους Πίνακες είτε από τις παραμέτρους του «Κτιρίου» ή του «Ορόφου» ή μεμονωμένα για κάθε μέλος από τις παραμέτρους της «Δοκού».



Εικόνα 3.12: Μαζικές αλλαγές των παραμέτρων των τοιχοπληρώσεων μπορούν να γίνουν μέσω του «Πίνακα 409:2–Τοιχοπλήρωση».

3.5.2 Παράμετροι σχετικές με την επίλυση



Εικόνα 3.13: Η καρτέλα «Pushover» της «Επίλυσης».

Η παράμετρος «Επίλυση > Pushover > Τοιχοπληρώσεις ενεργές» αφορά την συμπεριφορά των τοιχοπληρώσεων στην ανάλυση και δεν έχει να κάνει με την εμφάνισή τους στην τριδιάστατη απεικόνιση (3DV). Εμφανίζεται και στην καρτέλα «Κτίριο > Pushover» (βλ. **Εικόνα 2.6**).

Μέσω της παραμέτρου «Επίλυση > Pushover > Προσομοίωση τοιχοπληρώσεων» επιλέγεται αν στην ανελαστική ανάλυση θα συμμετέχει **μόνο η θλιβόμενη διαγώνιος** ή και οι δύο (τόσο η θλιβόμενη όσο και η εφελκυστική).

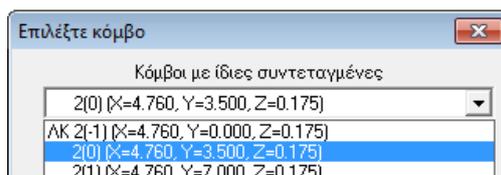
3.5.3 Εισαγωγή τοιχοπληρώσεων



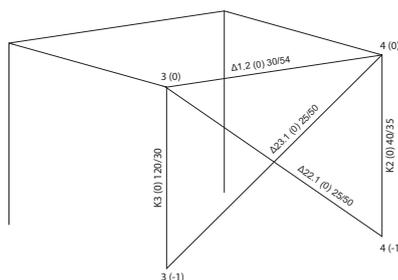
Οι τοιχοπληρώσεις εισάγονται στο μοντέλο προσομοίωσης ως αμφιαρθρωτές διαγώνιες ράβδοι, ενεργοποιώντας την εντολή «**Διάλογος πολλαπλών επιλογών**» της εργαλειογραμμής «Σχεδιαστικά».

Η εντολή «**Διάλογος πολλαπλών επιλογών**» ενεργοποιεί τη δυνατότητα του προγράμματος να χειριστεί δοκούς που συνδέουν κόμβους με ίδιες θέσεις στην κάτοψη (ίδιες συντεταγμένες X και Z, αλλά διαφορετικό Y).

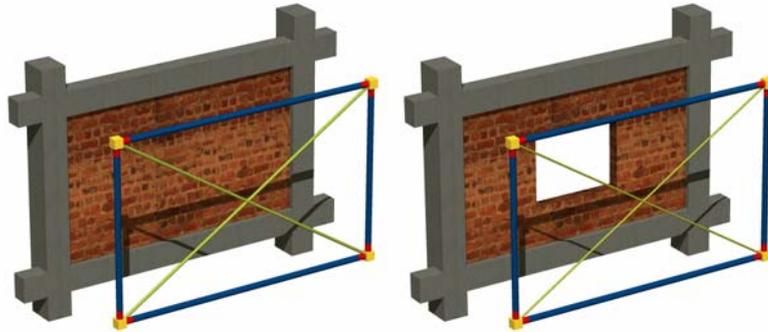
Συνδυάζεται με τις εντολές της δοκού, (π.χ. την «Εξυπνη εισαγωγή») **τροποποιώντας τη λειτουργικότητά τους**. Όταν η επιλογή είναι ενεργή, εμφανίζεται το παράθυρο που εμφανίζεται στην **Εικόνα 3.14**, μέσω του οποίου επιλέγεται ο επιθυμητός κόμβος. Όταν η επιλογή είναι ανενεργή, το πρόγραμμα επιλέγει τον κόμβο του τρέχοντος ορόφου.



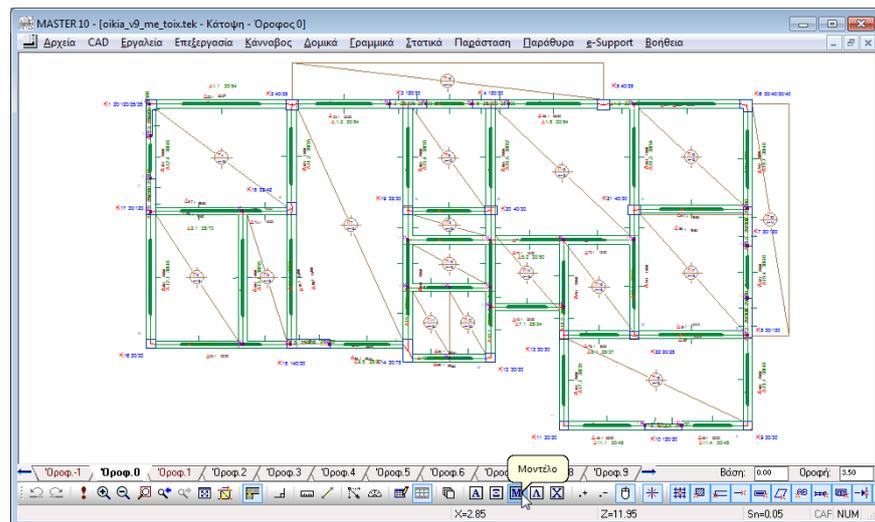
Εικόνα 3.14: Το παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται, όταν το πρόγραμμα κατά την εισαγωγή δοκού, αντιληφθεί περισσότερους από έναν κόμβους στην ίδια θέση της κάτοψης με παρόμοιες συντεταγμένες X και Z. Δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει τον κόμβο που θέλει ανεξάρτητα ορόφου.



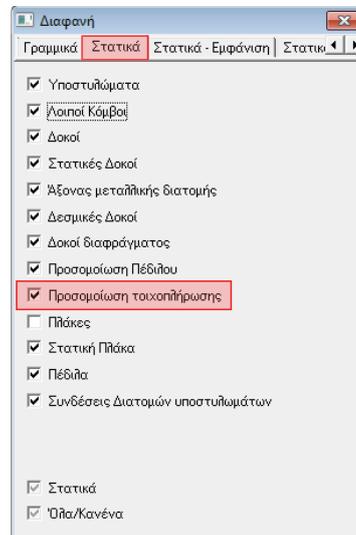
Σχήμα 3.5: Οι κεκλιμένες δοκοί έχουν την ίδια θέση στην κάτοψη με την οριζόντια.



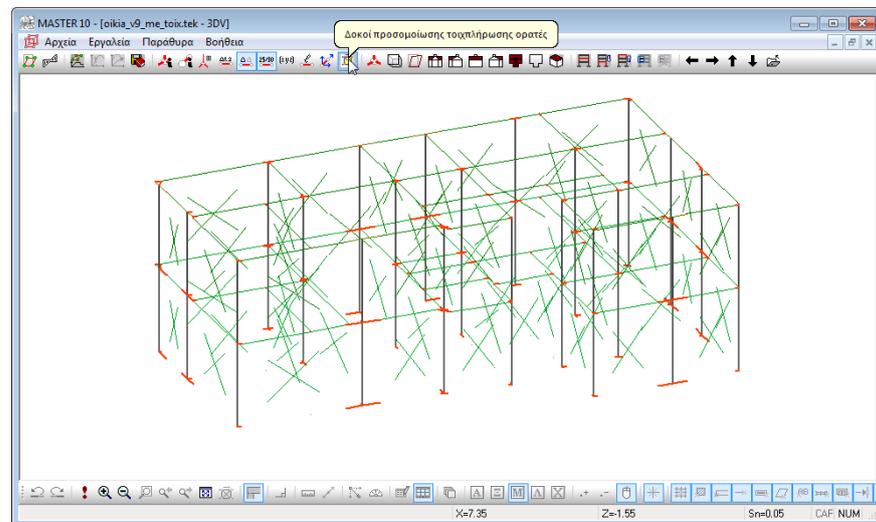
Εικόνα 3.15: Φάτνωμα άοπλης τοιχοπλήρωσης και μοντέλο προσομοίωσης με αμφιαρθρωτές διαγώνιες ράβδους. Στην περίπτωση ανοίγματος $R < 1$.



Εικόνα 3.16: Οι τοιχοπληρώσεις είναι μέλη του χωρικού προσομοιώματος και εμφανίζονται στην οθόνη πατώντας το «Μοντέλο» στην εργαλειογραμμή «Σχεδιαστικά» ή ενεργοποιώντας την αντίστοιχη επιλογή στα «Διαφανή».



Εικόνα 3.17: Η επιλογή «Προσομοίωση τοιχοπλήρωσης» στην καρτέλα «Στατικά» των «Διαφανών».

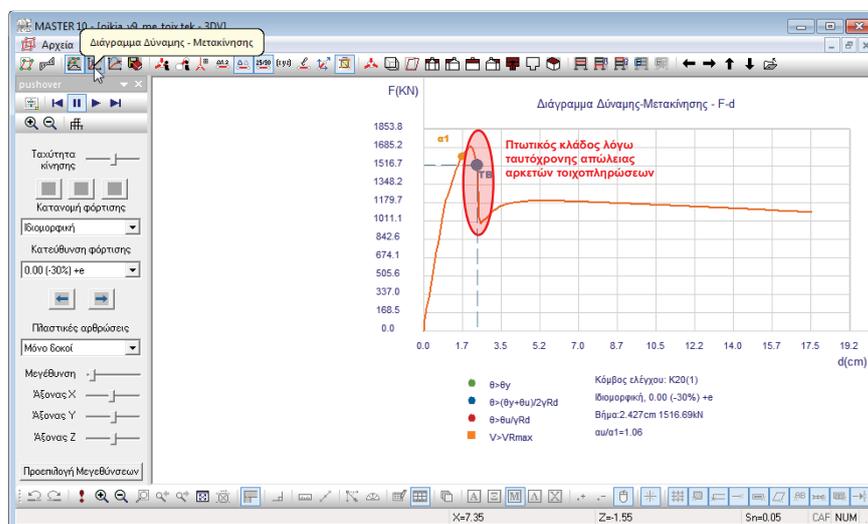


Εικόνα 3.18: Όλοι οι τύποι τοιχοπλήρωσεων, εμφανίζονται στην τρισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου (3DV) μόνο όταν «Κτίριο > Γενικά > Γενική περιγραφή εργασίας = Προσθήκες–Ενισχύσεις–Αποτίμηση». Γίνονται ορατές επιλέγοντας το εικονίδιο «Δοκοί προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης ορατές».

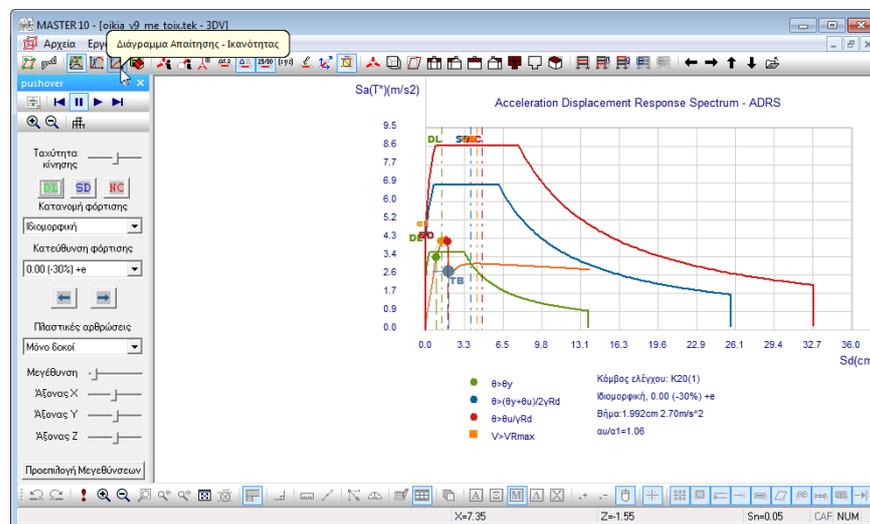
3.6 Β – Με τις υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις

Μετά την εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων στο μοντέλο προσομοίωσης του φορέα γίνεται ξανά αποτίμηση φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

Το 3DV, μέσω των διαγραμμάτων «Δύναμης-Μετακίνησης» και «Απαιτήσης-Ικανότητας», αποτελεί το **εποπτικό εργαλείο** που προσφέρει τη **δυνατότητα εντοπισμού και αναγνώρισης με ρεαλιστικό τρόπο των μηχανισμών αστοχίας**, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.19**, την **Εικόνα 3.20** και την **Εικόνα 3.21**.



Εικόνα 3.19: Το «Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης» στο 3DV, με συνυπολογισμό των τοιχοπληρώσεων.



Εικόνα 3.20: Το «Διάγραμμα Απαίτησης-Ικανότητας» στο 3DV, με συνυπολογισμό των τοιχοπληρώσεων.

Λυγηρές τοιχοπληρώσεις $\lambda > 30$

Γίνεται απομείωση της αντοχής τοιχοπληρώσεων λόγω λυγηρότητας λ , μέσω του συντελεστή Φ (βλ. §1.4, Απομειώσεις αντοχής και δυστένειας τοιχοπληρώσεων).

$$\lambda = \frac{L}{t}$$

όπου L το μήκος της διαγωνίου και t το πάχος της τοιχοπλήρωσης.

Επισημαίνονται με πορτοκαλί χρώμα στο 3DV (βλ. **Εικόνα 3.21**).

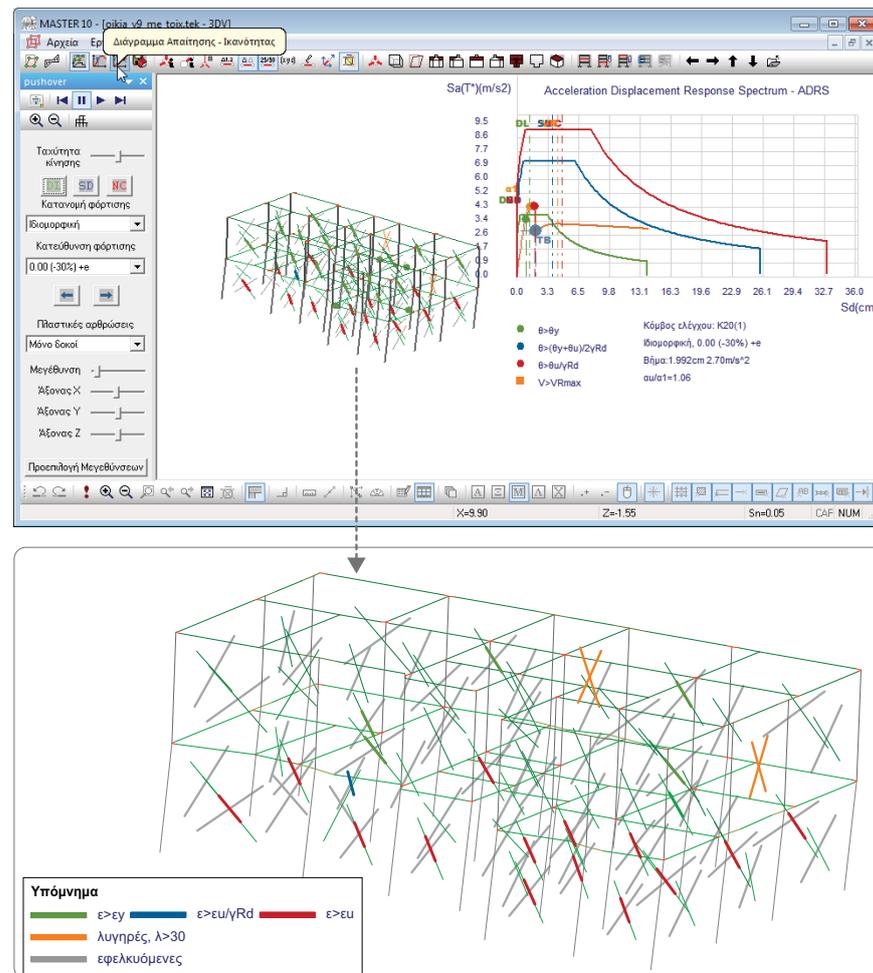
Εφελκόμενες ράβδοι προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης

Εξαιρούνται κατά την ανάλυση όταν «Κτίριο > Pushover > Προσομοίωμα τοιχοπληρώσεων = **Μόνο θλιβόμενη διαγώνιος**» (βλ. **Εικόνα 3.13**) και επισημαίνονται με γκρι χρώμα στο 3DV (βλ. **Εικόνα 3.21**).

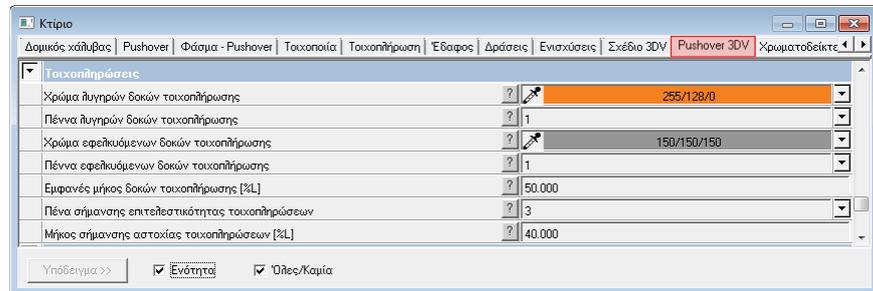
Όταν «Κτίριο > Pushover > Προσομοίωμα τοιχοπληρώσεων = **Θλιπτήρας - Ελκυστήρας**» συμμετέχουν και οι δύο ράβδοι στην ανάλυση, ενώ η δυστένεια λαμβάνεται μισή σε σχέση με την προσομοίωση μόνο με θλιβόμενη διαγώνιο.

Θλιβόμενες ράβδοι προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης

Εμφανίζονται στο 3DV με χρώμα ανάλογο της κατάστασής τους (πράσινο για τη DL, μπλε για την SD και κόκκινο για την NC) (βλ. **Εικόνα 3.21**).



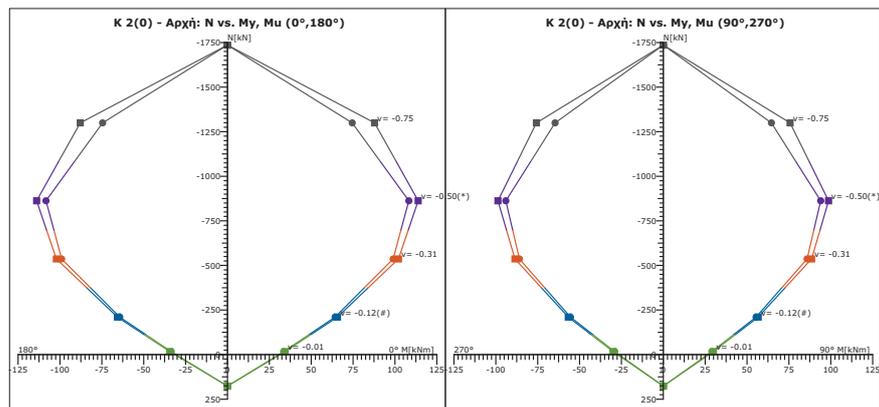
Εικόνα 3.21: Σήμανση λυγηρών, εφελκόμενων και θλιβόμενων τοιχοπληρώσεων στο 3DV, με διαφορετικά χρώματα.



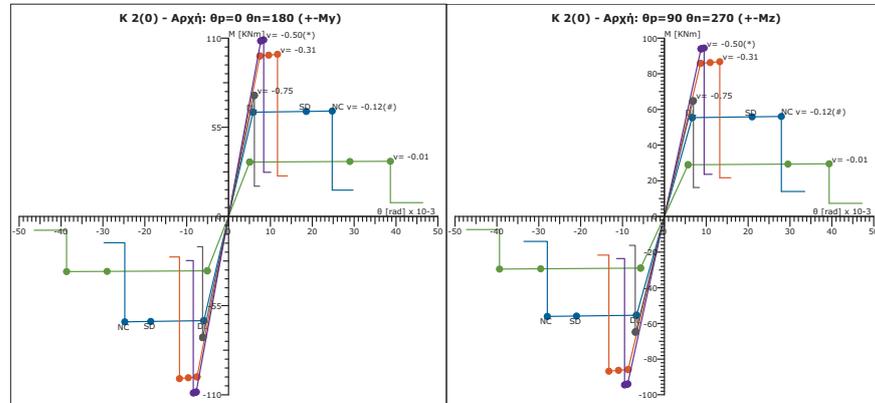
Εικόνα 3.22: Η καρτέλα «Pushover – 3DV» του «Κτιρίου».

3.6.1 Αποτελέσματα για φέροντα στοιχεία

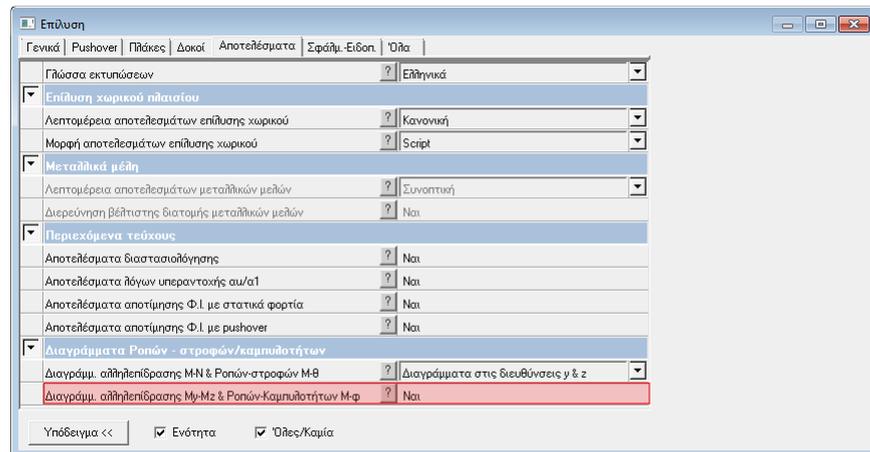
Υποστυλώματα



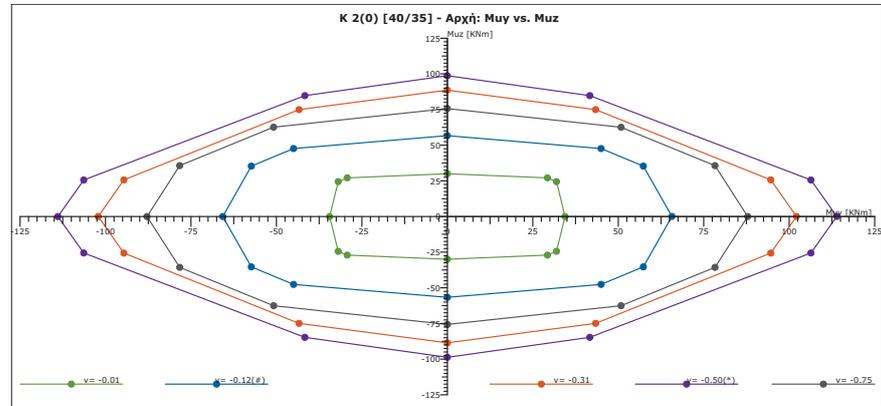
Σχήμα 3.6: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N υποστυλώματος K2.



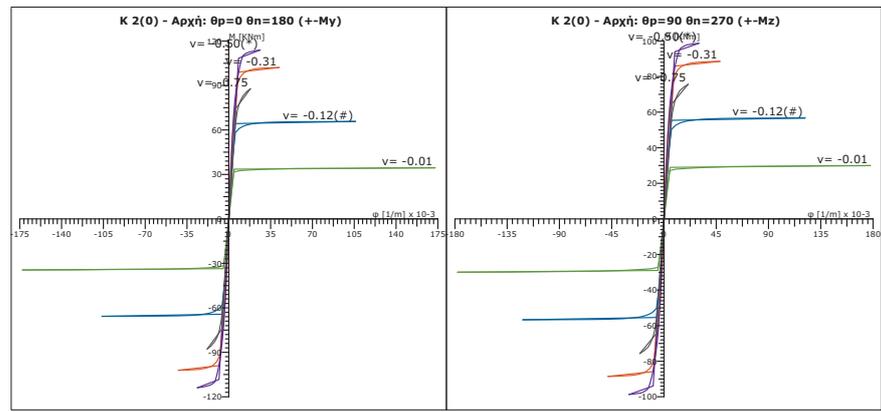
Σχήμα 3.7: Διάγραμμα ροπών-στροφών M-θ υποστυλώματος K2.



Εικόνα 3.23: Μέσω της παραμέτρου «Επίλυση > Αποτελέσματα > Διαγράμμ. Αλληλεπίδρασης My-Mz & Ροπών-στροφών M-φ» καθορίζεται από το χρήστη αν θα εμφανίζονται στο Τεύχος τα διαγράμματα που βλέπετε στο Σχήμα 3.8 και στο Σχήμα 3.9.



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης M_y - M_z υποστυλώματος K2.



Σχήμα 3.9: Διάγραμμα ροπών-καμπυλοτήτων M - ϕ υποστυλώματος K2.

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.24** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες υποστυλωμάτων».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Στροφής

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [l]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [l]
DL	K7(0)	Κύριο	0.82
SD	K8(0)	Κύριο	0.57
NC	K7(0)	Κύριο	0.56

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [l]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [l]
DL	K7(0)	Κύριο	0.41
SD	K17(0)	Κύριο	0.81
NC	K17(0)	Κύριο	0.83

Εικόνα 3.24: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος, μετά την εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων

Δοκοί

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.25** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες δοκών».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας-Έλεγχος Στροφών

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [l]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [l]
DL	Δ19.4(0)	Κύριο	0.98
SD	Δ12.4(0)	Κύριο	0.58
NC	Δ19.4(0)	Κύριο	0.55

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [l]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [l]
DL	Δ19.4(0)	Κύριο	0.30
SD	Δ12.4(0)	Κύριο	0.45
NC	Δ12.4(0)	Κύριο	0.45

Εικόνα 3.25: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας δοκών για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος, μετά την εισαγωγή των τοιχοπληρώσεων

Συμπέρασμα για το φορέα Β (φέροντα στοιχεία)

Παρατηρούμε ότι, λαμβάνοντας υπόψη την **επιρροή των τοιχοπληρώσεων**, οι **μέγιστες τιμές των λόγων επάρκειας λ των υποστυλωμάτων και των δοκών, μειώθηκαν ($\lambda_{max} < 1$) και όλα τα φέροντα στοιχεία ικανοποιούν το στόχο της αποτίμησης**. Παρόλα αυτά ο στόχος ικανοποιείται οριακά για τη Στάθμη Επιτελεστικότητας DL.

3.6.2 Αποτελέσματα τοιχοπληρώσεων

Αοπλες τοιχοπληρώσεις

Δοκός 20, Άνοιγμα 1, Όροφος 0

Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 1	Τέλος: 2	Μέλος: 109		
Διανομή	Ορθογώνια		Τοιχοπλήρωση		Ακαμπτες απολήξεις
Διαστάσεις	25/79 [cm]		Μήκος lcl=5,25m	Bl=0,06m	Bt=0,17m
Υλικά	① Άσπλη υφιστάμενη	②	Συντελεστής ανοιγμάτων R:1,00	se = 0,00	βe = 1,50
Χαρ. αντοχές	f _{wck} :1,60[MPa]	f _{wcs} :1,01[MPa]	ε _y :0,10%	ε _u :0,25%	Συντ. λυγ. Φ: 0,60
					Λυγ. λ: 20,99

Εικόνα 3.26: Γενικά δεδομένα δοκού προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης όπως εμφανίζονται στο Τεύχος επίλυσης. Στον πίνακα αυτό μπορείτε να δείτε και την τιμή της λυγηρότητας λ και του συντελεστή λυγηρότητας Φ.

①: Εισάγεται από το χρήστη μέσω της αντίστοιχης παραμέτρου

②: Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_{w_{c,s}} = \lambda_m \cdot \lambda_s \cdot \lambda_c \cdot \frac{f_{wck}}{\gamma_M} = 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \cdot \frac{1,60 MPa}{2,00} = 1,008 MPa \approx 1,01 MPa$$

όπου:

γ_m συντελεστής ασφαλείας τοιχοπλήρωσης (για KL2 -> $\gamma_m = 2,00$)

Οι παρακάτω συντελεστές λαμβάνονται αυτόματα από το πρόγραμμα, σύμφωνα με την §7.4.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. :

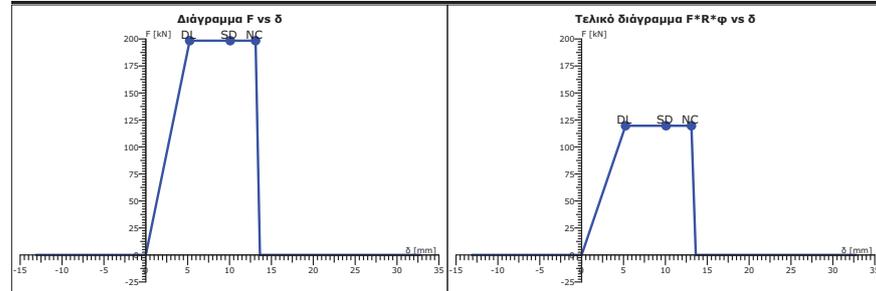
$\lambda_m = 1,5$ για υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις

$\lambda_m = 1,0$ για νέες τοιχοπληρώσεις

$\lambda_s = 0,7$

$\lambda_c = 1,2$

Καμπύλες Αντοχής



Πίνακας F-δ

F _{wcs,red} [kN]	Μετατόπιση δ [mm]		
	DL	SD	NC
119,62	5,25	10,09	13,12

Εικόνα 3.27: Σκελετικό διάγραμμα δοκού προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης (άοπλης).

Η δύναμη της θλιβόμενης διαγωνίου υπολογίζεται ως:

$$F = t_{\text{τοιχ}} \cdot b_{\text{τοιχ}} \cdot f_{w,c,s} = (0,25m \cdot 0,79m) \cdot 1,008 \cdot 10^3 \frac{kN}{m^2} = 199,08kN \approx 200kN$$

$$F_{red} = F \cdot \Phi \cdot R = 200kN \cdot 0,60 \cdot 1,00 \approx 120kN$$

$$\delta_{DL} = \varepsilon_y \cdot L = 0,1 \cdot 0,01 \cdot 5,25m = 5,25mm$$

$$\delta_{NC} = \varepsilon_u \cdot L = 0,25 \cdot 0,01 \cdot 5,25m = 13,12mm$$

$$\delta_{SD} = \frac{\delta_{NC}}{\gamma_{RD}} = \frac{13,12mm}{1,3} = 10,09mm$$

όπου:

ε_y παραμόρφωση διαρροής τοιχοπλήρωσης

ε_u οριακή παραμόρφωση τοιχοπλήρωσης

$L = l_{cl}$ μήκος διαγωνίου προσομοιώματος τοιχοπλήρωσης

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.28** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες τοιχοπληρώσεων».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας - Έλεγχος Μετατοπίσεων

Στάθμη Επιπελεστικότητα	Μέλος [I]	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	Δ53.1(0)	1.89
SD	Δ52.1(0)	2.41
NC	-	-

Εικόνα 3.28: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας τοιχοπληρώσεων στο Τεύχος, για τις στάθμες DL και SD. Στη στάθμη NC ελέγχονται μόνο οι ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις και η τοιχοματοποίηση πλασιού.

Γενικές παρατηρήσεις για τοιχοπληρώσεις

- Δεδομένου ότι οι τοιχοπληρώσεις δεν αποτελούν φέροντα στοιχεία, τυχόν υπέρβαση κάποιας επιτελεστικότητας σε κάποια στάθμη δεν καθορίζει την επιτελεστικότητα της κατασκευής, ούτε ισοδυναμεί στο Fespa με σφάλμα, παρά μόνο επισημαίνεται στο τεύχος με λόγο επάρκειας $\lambda > 1$.
- Επιπλέον, σύμφωνα με την §7.4.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. στην επιτελεστικότητα NC (ή Γ) πρέπει να ελέγχονται μόνο οι ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις και η τοιχοματοποίηση πλασιού. Συνεπώς στο τεύχος, στους λόγους επάρκειας μόνο αυτές επισημαίνονται με σφάλμα εφόσον $\lambda_{NC} > 1$.

Συμπέρασμα για το φορέα Β (τοιχοπληρώσεις)

Παρατηρούμε ότι οι **μέγιστες τιμές** των λόγων επάρκειας λ των **τοιχοπληρώσεων** υπερβαίνουν τη μονάδα ($\lambda_{max} > 1$). Βλάβες αναμένονται σε αυτές ακόμη και για το συχνό σεισμό (DL ή A).

Με επαναλαμβανόμενους συχνούς σεισμούς αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μη επιθυμητά αποτελέσματα για το κτίριο, οπότε γίνεται ενίσχυση κάποιων τοιχοπληρώσεων, με τη διαδικασία που περιγράφεται στην επόμενη ενότητα.

3.7 Γ – Με ενίσχυση τοιχοπληρώσεων

Η ενισχυμένη τοιχοπλήρωση είναι μια σχετικά **απλή** και **οικονομική μέθοδος ενίσχυσης**, συγκριτικά με τις εκτεταμένες επεμβάσεις που προϋποθέτει η ενίσχυση των φερόντων στοιχείων, ενώ μπορεί να αναβαθμίσει σημαντικά τόσο τη δυσκαμψία, όσο και την αντοχή υφιστάμενων κατασκευών.

Ενισχύονται **επιλεκτικά** κάποιες τοιχοπληρώσεις στο φορέα και γίνεται ξανά αποτίμηση φέρουσας ικανότητας της κατασκευής.

Λύση Γ1 – Ενίσχυση 4 τοίγων ανά διεύθυνση**Όροφος 0**

Μονόπλευρη ενίσχυση (λόγω ύπαρξης μεσοτοιχίας): T9, T10, T11, T12

Αμφίπλευρη ενίσχυση: T1, T4, T13, T15

Όροφος 1

Μονόπλευρη ενίσχυση (λόγω ύπαρξης μεσοτοιχίας): T13, T16

Αμφίπλευρη ενίσχυση: T1, T17

Λύση Γ2 - Ενίσχυση 2 τοίγων ανά διεύθυνση**Όροφος 0**

Μονόπλευρη ενίσχυση (λόγω ύπαρξης μεσοτοιχίας): T9, T12

Αμφίπλευρη ενίσχυση: T1, T13

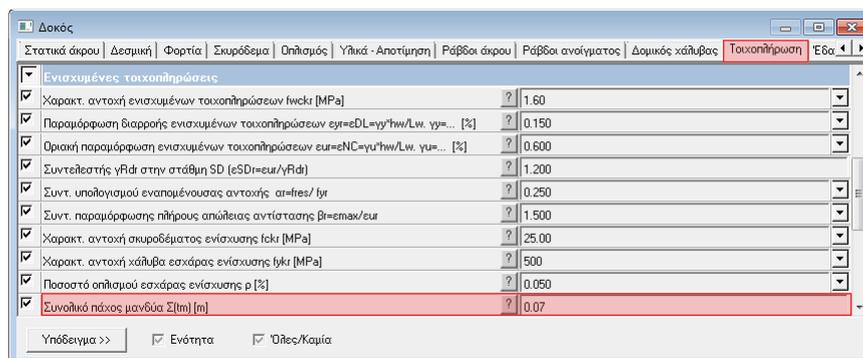
Όροφος 1

Μονόπλευρη ενίσχυση (λόγω ύπαρξης μεσοτοιχίας): T13, T16

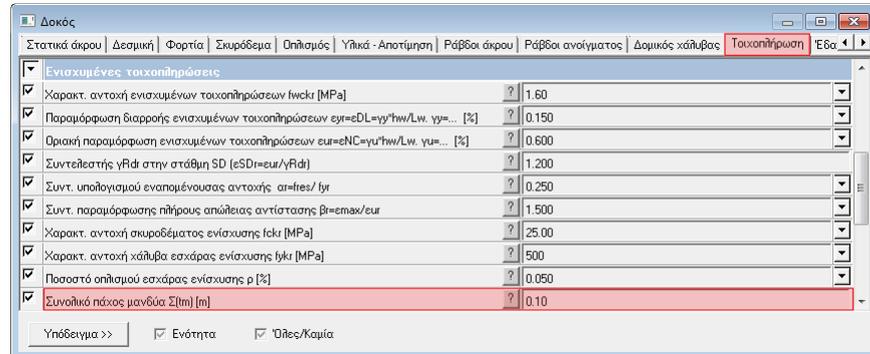
Αμφίπλευρη ενίσχυση: T1, T17

Έγινε αποτίμηση της φ.ι. και για τις δύο λύσεις και τα αποτελέσματα φαίνονται στο **Σχήμα 4.1**.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την οικονομικότερη λύση Γ2.



Εικόνα 3.29: Η καρτέλα «Τοιχοπλήρωση» της «Δοκού». Το συνολικό πάχος μανδύα στην περίπτωση της μονόπλευρης ενίσχυσης είναι 7cm.



Εικόνα 3.30: Η καρτέλα «Τοιχοπλήρωση» της «Δοκού». Το συνολικό πάχος μανδύα στην περίπτωση της αμφίπλευρης ενίσχυσης είναι 10cm.



Σχήμα 3.10: Πάχος τοιχοπλήρωσης t και συνολικό πάχος μανδύα Σ^{TM} .

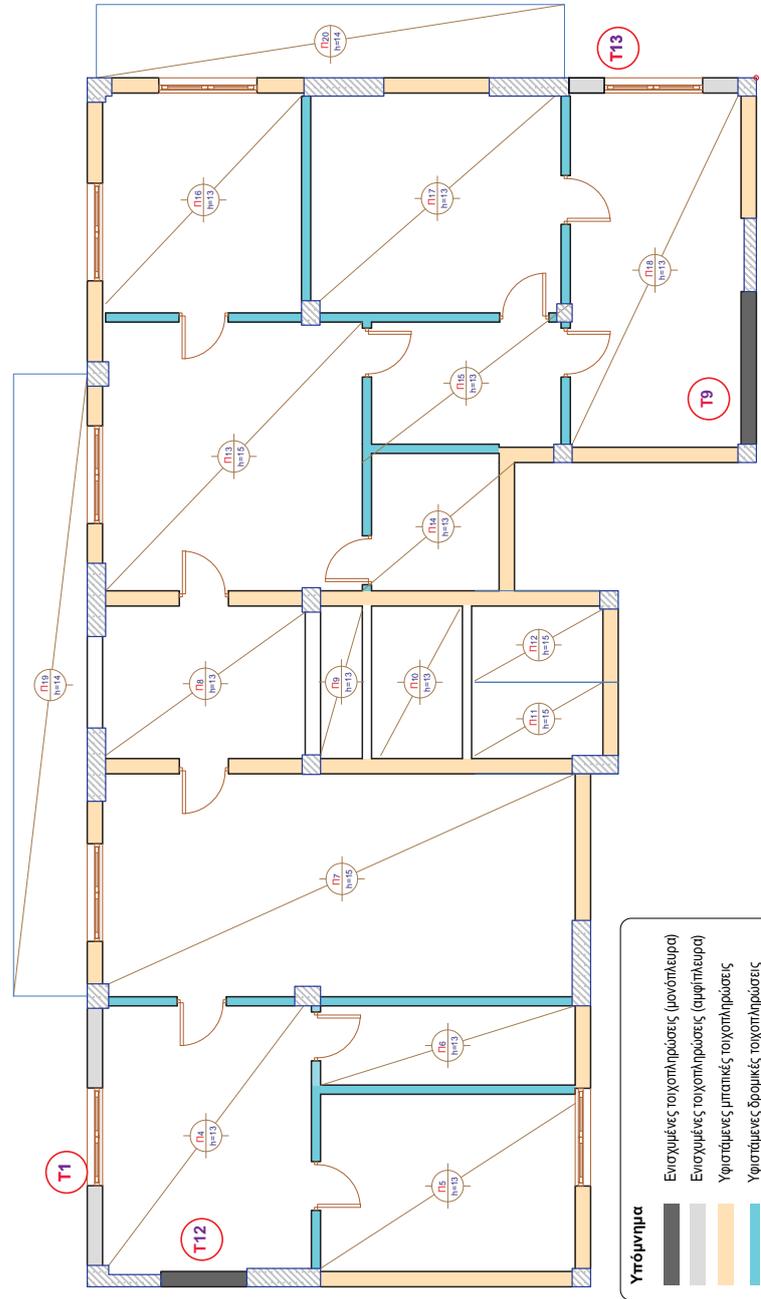
Προσοχή!

Μην ξεχάσετε να τροποποιήσετε το φορτίο των δοκών στις οποίες εδράζονται οι ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις. Το **βάρος** της **ενίσχυσης** πρέπει να προστεθεί στο υπάρχον μόνιμο φορτίο:

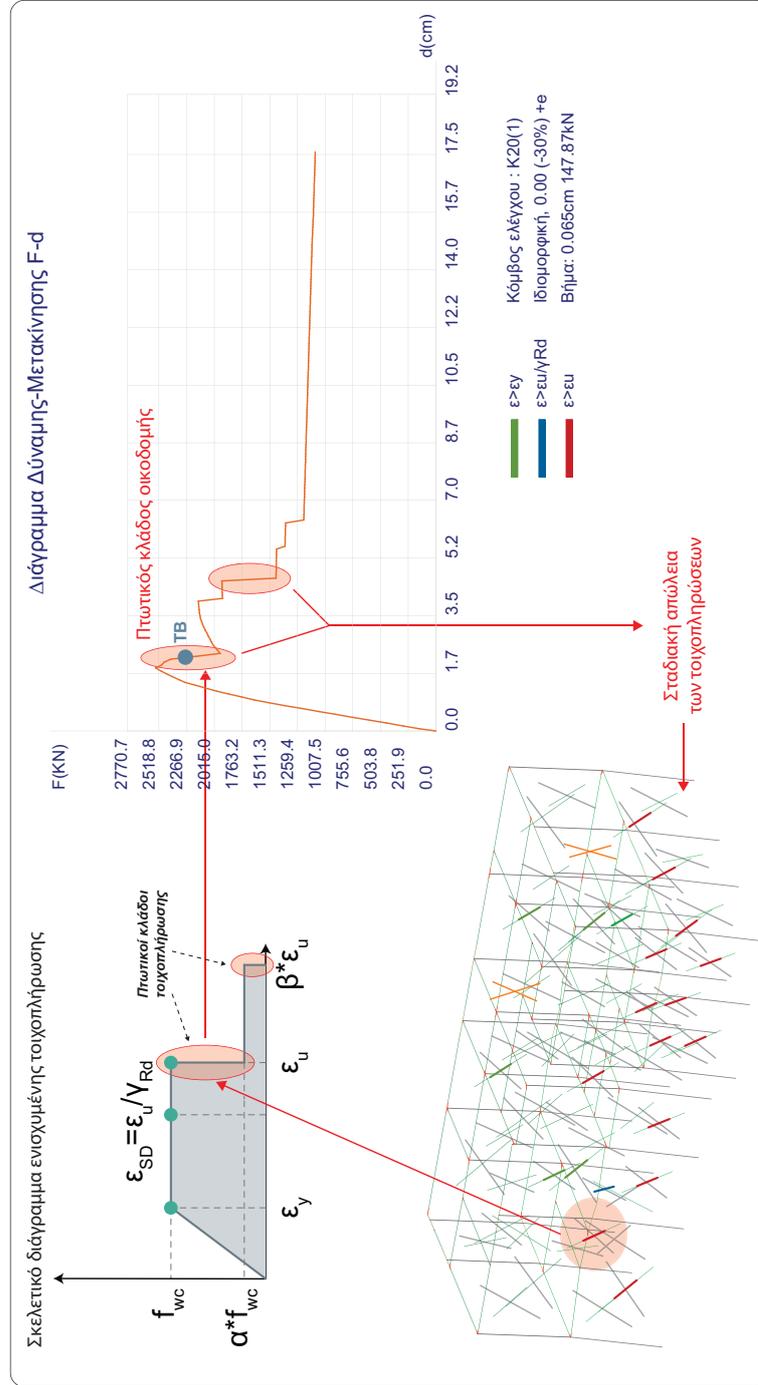
$$G_{ενισχ} \left(\frac{kN}{m} \right) = \gamma_{ενισχ} \left(\frac{kN}{m^2} \right) \cdot h_{ενισχ} (m) = \gamma_{ενισχ} \left(\frac{kN}{m^2} \right) \cdot h_{panel} (m)$$

Συμβουλές !

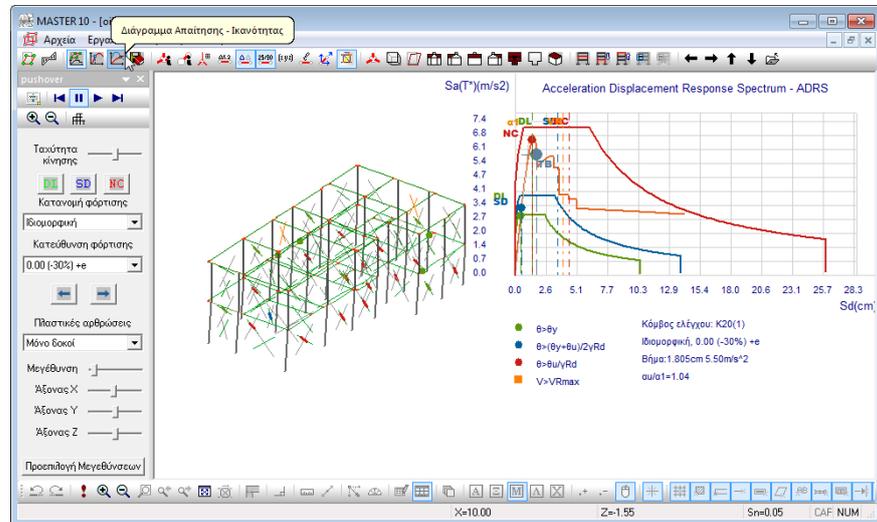
- Σύμφωνα με την §8.5.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ., το πάχος της κάθε πλευράς του μανδύα **συνίσταται** να μην είναι μικρότερο από 5cm, έτσι ώστε να είναι εφικτή η διαμόρφωση αγκίστρων στον προστιθέμενο οπλισμό κορμού.
- Φροντίζουμε να μην ενισχυθούν πολλές τοιχοπληρώσεις σε ανώτερους ορόφους, γιατί υπάρχει ο κίνδυνος δημιουργίας **μαλακού ορόφου** σε κατώτερες στάθμες.



Σχήμα 3.11: Απεικόνιση ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων στον όροφο 0 (Λύση Γ2). Οι αντίστοιχες τοιχοπληρώσεις θα ενισχυθούν και στον όροφο 1.



Σχήμα 3.12: Το «Διάγραμμα Δύναμης-Μετακίνησης» στο 3DV μετά την εισαγωγή των ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων. Παρατηρείται αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας.



Εικόνα 3.31: Το «Διάγραμμα Απαίτησης-Ικανότητας» στο 3DV, μετά την εισαγωγή των ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων. Σήμανση λυγερών, εφελκυόμενων και θλιβόμενων τοιχοπληρώσεων στο 3DV, με διαφορετικά χρώματα.

3.7.1 Αποτελέσματα για φέροντα στοιχεία

Υποστυλώματα

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.32** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες υποστυλωμάτων».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Στροφής

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	K1(0)	Κύριο	0.50
SD	K20(0)	Κύριο	0.16
NC	K1(0)	Κύριο	0.34

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	K17(0)	Κύριο	0.28
SD	K17(0)	Κύριο	0.34
NC	K17(0)	Κύριο	0.78

Εικόνα 3.32: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας υποστυλωμάτων για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος, μετά την εισαγωγή των ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων

Δοκοί

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.33** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες δοκών».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας-Έλεγχος Στροφών

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	Δ8.2(0)	Κύριο	0.68
SD	Δ12.4(0)	Κύριο	0.19
NC	Δ12.4(0)	Κύριο	0.40

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας- Έλεγχος Διάτμησης

Στάθμη Επιτελεστικότητα	Μέλος [I]	Κύριο/ Δευτερεύον	Λόγος Επάρκειας [I]
DL	Δ16.4(0)	Κύριο	0.29
SD	Δ16.4(0)	Κύριο	0.29
NC	Δ12.4(0)	Κύριο	0.43

Εικόνα 3.33: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας δοκών για αστοχία σε κάμψη και διάτμηση, για τις εξεταζόμενες στάθμες SD και NC, στο Τεύχος, μετά την εισαγωγή των ενισχυμένων τοιχοπληρώσεων

Συμπέρασμα για το φορέα Γ2 (φέροντα στοιχεία)

Παρατηρούμε ότι οι **μέγιστες τιμές** των λόγων επάρκειας λ των υποστυλωμάτων και των δοκών, **μειώθηκαν περαιτέρω**.

3.7.2 Αποτελέσματα τοιχοπληρώσεων

Ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις

Δοκός 20, Άνοιγμα 1, Όροφος 0

Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 1	Τέλος: 2	Μέλος: 109	Ακαμπτες απολήξεις	
Διατομή	Ορθογώνια	Τοιχοπλήρωση	Μήκος lcl=5,25m	Bl=0,06m	Br=0,17m
Διαστάσεις	35/52 [cm]		Συντελεστής ανοιγμάτων R:1,00	αr = 0,25	βr = 1,50
Υλικά	Ενισχυμένη τοιχοπλήρωση		εy:0,10%	εu:0,40%	VR2: 979,4[kN] VR3: 18297,2[kN]
Χαρ. αντοχές	fwdk:1,60[MPa]	fwcs: -			Οπλισμός εσχάρας ρ: 0,050%
Ενίσχυση	fck:25,0[MPa]	fyk:500,0[MPa]	Πάχος μανδύα Σ(tm): 0,10m		

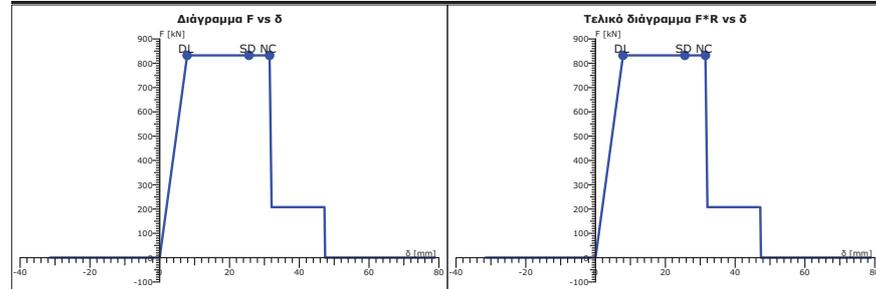
Εικόνα 3.34: Γενικά δεδομένα δοκού προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης (ενισχυμένης). Στον πίνακα αυτό μπορείτε να δείτε και το **πάχος του μανδύα**.

V_{R3} Τέμνουσα διάσπαρτης διατμητικής αστοχίας κορμού

V_{R2} Τέμνουσα διαγώνιας θλιπτικής αστοχίας κορμού

Οι τιμές των V_{R3} και V_{R2} υπολογίζονται βάσει των σχέσεων (Σ8.20) και (Σ8.21) αντίστοιχα, της §8.5.4(στ) του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Καμπύλες Αντοχής



Πίνακας F-δ

F _{wcs}	Μετατόπιση δ [mm]		
[kN]	DL	SD	NC
832,47	7,87	25,58	31,48

Εικόνα 3.35: Σκελετικό διάγραμμα δοκού προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης (ενισχυμένης).

$$F_{wcs} = V_{cr} = 0,85 \cdot V_{R2} = 0,85 \cdot 979,4kN \approx 832,47kN$$

Οι μετακινήσεις δ_{DL} , δ_{NC} και δ_{SD} προκύπτουν από τις τιμές των εισακτέων δεδομένων, όπως και για τις άοπλες τοιχοπληρώσεις (βλ. *B – Με τις υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις*).

Τον πίνακα που βλέπετε στην **Εικόνα 3.36** θα τον βρείτε στο «Τεύχος > Λόγοι επάρκειας μελών (Pushover) > Πίνακες τοιχοπληρώσεων».

Μέγιστα Λόγων Επάρκειας - Έλεγχος Μετατοπίσεων

Στάθμη Επιτελεστικότητας	Μέλος [l]	Λόγος Επάρκειας [l]
DL	Δ53.1(0)	0.87
SD	Δ53.1(0)	0.60
NC	Δ32.1(0)	0.66

Εικόνα 3.36: Πίνακας μέγιστων λόγων επάρκειας τοιχοπληρώσεων στο Τεύχος, για όλες της στάθμες επιτελεστικότητας. Ελέγχεται και η NC για τις ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις.

Γενικές παρατηρήσεις για τοιχοπληρώσεις

- Δεδομένου ότι οι τοιχοπληρώσεις δεν αποτελούν φέροντα στοιχεία, τυχόν υπέρβαση κάποιας επιτελεστικότητας σε κάποια στάθμη δεν καθορίζει την επιτελεστικότητα της κατασκευής, ούτε ισοδυναμεί στο Fespa με σφάλμα, παρά μόνο επισημαίνεται στο τεύχος με λόγο επάρκειας $\lambda > 1$.
- Επιπλέον, σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ. §7.4.1 στην επιτελεστικότητα NC (ή Γ) πρέπει να ελέγχονται μόνο οι ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις και η τοιχοματοποίηση πλασίου. Συνεπώς στο τεύχος, στους λόγους επάρκειας μόνο αυτές επισημαίνονται με σφάλμα εφόσον $\lambda_{NC} > 1$.

Συμπέρασμα για το φορέα Γ2 (τοιχοπληρώσεις)

Παρατηρούμε ότι μετά την ενίσχυση και οι τοιχοπληρώσεις ικανοποιούν τους στόχους της αποτίμησης. Οι μέγιστες τιμές των λόγων επάρκειάς τους λ δεν υπερβαίνουν τη μονάδα ($\lambda_{max} > 1$).

Τοιχωματοποίηση πλαισίου

Στην περίπτωση τοιχωματοποίησης πλαισίου τα αποτελέσματα που εκτυπώνονται στο τεύχος είναι τα παρακάτω:

Γενικά δεδομένα δοκού

Κόμβοι	Αρχή: 1	Τέλος: 25	Μέλος: 121	Ακρομπετες απολήξεις	
Διατομή	Ορθογωνική		Τοιχοπλήρωση	Bl=0,29m	Bt=0,00m
Διαστάσεις	25/48 [cm]		Μήκος lcl=3,22m	σw = 0,40	βw = 1,50
Υλικά	Τοιχωματοποίηση πλαισίου		Συντελεστής ανοιγμάτων R:1,00	Συντ. λυγ. Φ: -	-
Χαρ. αντοχές	f _{wck} : -	f _{wcs} : -	ε _y :0,20%	ε _u :0,35%	-
Ενίσχυση	f _{ck} :25,0[MPa]	f _{yk} :500,0[MPa]	F βλήτρων δοκού :315,0[kN]	F βλήτρων στύλων:652,5[kN]	-

Εικόνα 3.37: Γενικά δεδομένα δοκού προσομοίωσης τοιχοπλήρωσης (τοιχωματοποίηση πλαισίου) στο Τεύχος.

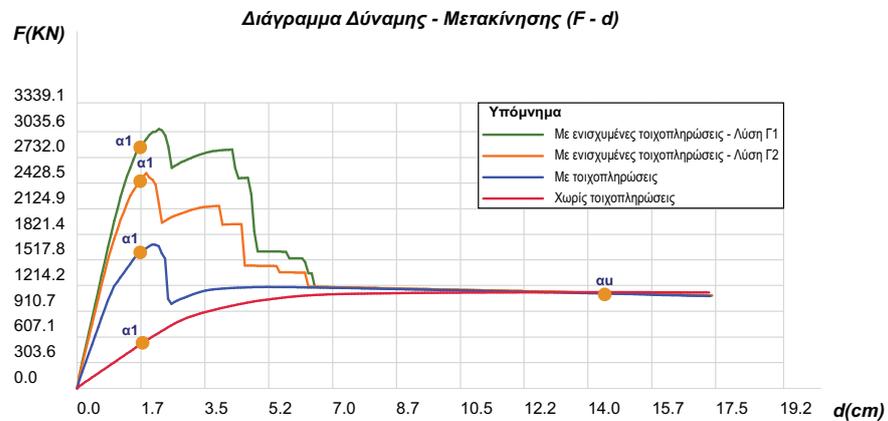
$$NR = A \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = (0,25m \cdot 0,48m) \cdot \frac{0,6 \cdot 25 \cdot 10^3 \frac{kN}{m^2}}{1,5} \approx 1200kN$$

Οι μετακινήσεις δ_{DL} , δ_{NC} και δ_{SD} υπολογίζονται όπως και για τις άοπλες τοιχοπληρώσεις (βλ. Β – Με τις υφιστάμενες τοιχοπληρώσεις).

Οι τιμές των $F_{βλήτρων\ δοκού}$ και $F_{βλήτρων\ στύλων}$ υπολογίζονται βάσει των σχέσεων (Σ8.16) και (Σ8.17) αντίστοιχα, της §8.5.3.1 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

4

Συμπεράσματα



Σχήμα 4.1: Σύγκριση των διαγραμμάτων Δύναμης – Μετακίνησης που προέκυψαν κατά την αποτίμηση φ.ι. του φορέα, λαμβάνοντας ή όχι υπόψη την επιρροή των τοιχοπληρώσεων.

- Παρατηρείται σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας και της σεισμικής δύναμης που αντέχει το κτίριο κατά την αποτίμηση φέρουσας ικανότητας συνυπολογίζοντας της τοιχοπληρώσεις.
- Σε κάθε περίπτωση, η 1^η πλαστική άρθρωση σε στοιχείο του φέροντος οργανισμού γίνεται για την ίδια μετακίνηση του κόμβου ελέγχου, με **σημαντική αύξηση της δύναμης** που απαιτείται για να επιτευχθεί αυτή η μετακίνηση.

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Χωρίς τοιχοπληρώσεις	Μ ε άοπλες τοιχοπληρώσεις	Μ ε ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις
λ_{\max} υποστυλωμάτων - Κάμψη			
DL – Περιορισμός βλαβών	2.75	0.82	0.50
SD – Σημαντικές βλάβες	1.63	0.57	0.16
NC – Οιονεί κατάρρευση	1.62	0.56	0.34
λ_{\max} υποστυλωμάτων - Διάτμηση			
DL	0.68	0.41	0.28
SD	0.98	0.81	0.34
NC	1.20	0.83	0.78

Πίνακας 4.1: Οι μέγιστοι λόγοι επάρκειας υποστυλωμάτων, για κάθε στάθμη επιτελεσματικότητας.

Παρατηρούμε ότι τα υποστυλώματα ικανοποιούν το στόχο της αποτίμησης, λαμβάνοντας υπόψη την **επιρροή των τοιχοπληρώσεων**. Οι λόγοι επάρκειας τους μειώνονται περαιτέρω με την ενίσχυση κάποιων τοιχοπληρώσεων.

Στάθμη επιτελεσματικότητας	Χωρίς τοιχοπληρώσεις	Μ ε άοπλες τοιχοπληρώσεις	Μ ε ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις
λ_{\max} δοκών - Κάμψη			
DL	5.69	0.98	0.68
SD	2.19	0.58	0.19
NC	2.19	0.55	0.40
λ_{\max} δοκών - Διάτμηση			
DL	0.61	0.30	0.29
SD	0.91	0.45	0.29
NC	0.91	0.45	0.43

Πίνακας 4.2: Οι μέγιστοι λόγοι επάρκειας δοκών, για κάθε στάθμη επιτελεσματικότητας.

Παρατηρούμε ότι οι δοκοί ικανοποιούν το στόχο της αποτίμησης, λαμβάνοντας υπόψη την **επιρροή των τοιχοπληρώσεων** (οριακά για τη Στάθμη Επιτελεσματικότητας DL). Οι λόγοι επάρκειας του μειώνονται περαιτέρω με την ενίσχυση κάποιων τοιχοπληρώσεων.

Στάθμη επιτελεστικότητας	Μ ε άοπλες τοιχοπληρώσεις	Μ ε ενισχυμένες τοιχοπληρώσεις
λ_{\max} τοιχοπληρώσεων		
DL	1.89	0.87
SD	2.41	0.60
NC	-	0.66

Πίνακας 4.3: Οι μέγιστοι λόγοι επάρκειας τοιχοπληρώσεων, για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας.

Παρατηρούμε ότι όλες οι τοιχοπληρώσεις ικανοποιούν το στόχο της αποτίμησης, μετά την ενίσχυση κάποιων τοιχοπληρώσεων.

Τελικό συμπέρασμα – Επιλογή φορέα Γ2

Λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή των τοιχοπληρώσεων κατά την αποτίμηση φ.ι. του φορέα συμπεραίνουμε ότι **δεν απαιτείται ενίσχυση** κάποιου μέλους.

Αν αποφασίσουμε να ενισχύσουμε κάποιες τοιχοπληρώσεις τότε ο στόχος της αποτίμησης ικανοποιείται **όχι μόνο για το σκελετό** του κτιρίου **αλλά και για τις ίδιες τις τοιχοπληρώσεις!**