

ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΤΑ ΚΑΝ.ΕΠΕ. ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΡΟΠΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.

ΚΟΥΜΑΝΙΩΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Προπτυχιακός Φοιτητής Π.Π., civ7584@upnet.gr

Περίληψη

Το θέμα της παρούσης εργασίας είναι η αποτίμηση της συμπεριφοράς μιας υπάρχουσας κατασκευής και η ενίσχυση της σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Η αποτίμηση θα πραγματοποιηθεί με μη-γραμμική στατική ανάλυση(pushover). Εφαρμόζονται διαφορετικές μέθοδοι ενίσχυσης που στοχεύουν στην αύξηση της καμπτικής αντοχής και στην αύξηση της πλαστιμότητας. Σκοπός είναι να αναδειχθεί η αποτελεσματικότητα της κάθε μεθόδου και ως προς το κόστος που απαιτείται για να εφαρμοστεί. Η ανάλυση έγινε μέσω του προγράμματος FESPA-TEKNON.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο φορέας που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα δύοροφο κτήριο μη συμμετρικής κάτοψης οπλισμένου σκυροδέματος το οποίο είχε κατασκευαστεί το 1975 με τους ισχύοντες τότε κανονισμούς .

Ως παραδοχές μελέτης του κτηρίου είχαν ληφθεί:

- Το ύψος ορόφου είναι 3 m
- Η ποιότητα σκυροδέματος είναι B225 και ο χάλυβας οπλισμού είναι StIII
- Ειδικό βάρος σκυροδέματος 25 KN/m^3 (το ίδιο βάρος των στοιχείων υπολογίζετε από το πρόγραμμα αυτόματα)
- Ωφέλιμα φορτία 2 KN/m^2 εκτός των προβόλων που είναι 5 KN/m^2
- Φορτία επικάλυψης 1.5 KN/m^2
- Περιοχή ζώνης σεισμικότητας 2, Σεισμικός συντελεστής $\varepsilon=0.08$
- Έδαφος: άργιλος πολύ υγρή με δείκτη $K_s=28000 \text{ KN/m}^2/\text{m}$
- Επιτρεπόμενη τάση εδάφους: 300 KN/m^2
- Σπουδαιότητα κτηρίου συνήθης
- Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων θεωρείται ικανοποιητική
- Πάχος πλάκας $h=0.18 \text{ m}$

Οι διαστάσεις και οι οπλισμοί των γραμμικών μελών είναι:

	ΔΙΑΤΟΜΗ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
K1	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K2	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K3	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K4	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K5	45x45	8Φ18+4Φ16	2τμ Φ8/20
K6	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K7	40x40	12Φ20+4Φ16	2τμ Φ8/20
K8	40x40	8Φ20	2τμ Φ8/20
K9	40x40	12Φ18+4Φ16	2τμ Φ8/20

K10	40x40	12Φ18+2Φ16	2τμ Φ8/20
K11	40x40	20Φ20+2Φ18	2τμ Φ8/20

Πίνακας 1: Οπλισμός υποστηλωμάτων 1^{ου} ορόφου

	ΔΙΑΤΟΜΗ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
K1	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K2	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K3	40x40	4Φ20	2τμ Φ8/20
K4	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K5	45x45	8Φ18+4Φ16	2τμ Φ8/20
K6	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K7	40x40	12Φ20+4Φ16	2τμ Φ8/20
K8	40x40	8Φ16	2τμ Φ8/20
K9	40x40	12Φ18	2τμ Φ8/20
K10	40x40	8Φ20+2Φ16	2τμ Φ8/20
K11	40x40	20Φ20	2τμ Φ8/20

Πίνακας 2: Οπλισμός υποστηλωμάτων 2^{ου} ορόφου

	ΔΙΑΤΟΜΗ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕ Σ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
Δ1	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ16 ΚΑΤΩ 5Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ2	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ18 ΚΑΤΩ 5Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ3	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ16+4Φ10	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ16 ΚΑΤΩ 6Φ16	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ4	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ14 ΚΑΤΩ 5Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ5	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+1Φ12 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ6	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ18	ΑΝΩ 2Φ8+8Φ18 ΚΑΤΩ 6Φ18	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ7	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+4Φ16 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ8	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ16 ΚΑΤΩ 6Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ9	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+8Φ18 ΚΑΤΩ 6Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ10	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 7Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+6Φ16 ΚΑΤΩ 7Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ11	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+8Φ16 ΚΑΤΩ 4Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ12	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ16	2τμ Φ8/20	Φ8/20

			ΚΑΤΩ 4Φ14		
Δ13	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ14 ΚΑΤΩ 4Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ14	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+2Φ14 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20

Πίνακας 3: Οπλισμός δοκών 1^{ου} ορόφου

	ΔΙΑΤΟΜΗ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
Δ1	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ12 ΚΑΤΩ 5Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ2	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ16 ΚΑΤΩ 5Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ3	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ16+2Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+6Φ12 ΚΑΤΩ 6Φ16	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ4	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+1Φ12 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ5	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ6	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 8Φ16	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ16 ΚΑΤΩ 8Φ16	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ7	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+2Φ16 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ8	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ12 ΚΑΤΩ 6Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ9	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 6Φ14	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ18 ΚΑΤΩ 6Φ14	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ10	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 5Φ16	ΑΝΩ 2Φ8+5Φ12 ΚΑΤΩ 5Φ16	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ11	30x60	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+7Φ16 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ12	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+4Φ12 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ13	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+2Φ12 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20
Δ14	30x50	ΑΝΩ 2Φ8 ΚΑΤΩ 4Φ12	ΑΝΩ 2Φ8+1Φ12 ΚΑΤΩ 4Φ12	2τμ Φ8/20	Φ8/20

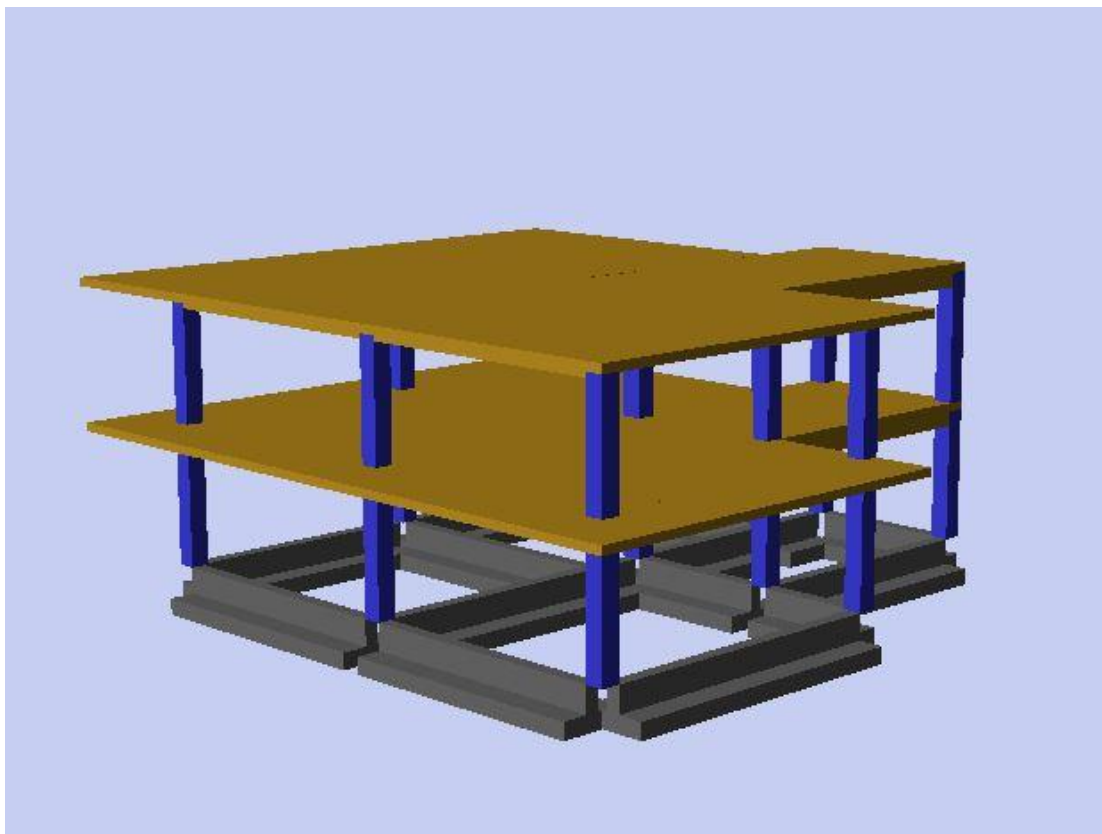
Πίνακας 4: Οπλισμός δοκών 2^{ου} ορόφου

- Οι πλάκες δεν ελέγχονται καθώς δεν αναλαμβάνουν σεισμικά φορτία. Λαμβάνεται απλά υπ' όψη η διαφραγματική τους λειτουργία.

Η θεμελίωση είναι με εσχάρα πεδιλοδοκών. Οι οπλισμοί τους είναι:

	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ(cm)	ΥΨΟΣ(cm)	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ
ΠΔ1	30x90	35	ΑΝΩ 7Φ16 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ2	30x90	35	ΑΝΩ 6Φ14 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ3	30x90	35	ΑΝΩ 6Φ18 ΚΑΤΩ 2Φ14+4Φ10	Φ8/20
ΠΔ4	30x90	35	ΑΝΩ 5Φ12 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ5	30x90	35	ΑΝΩ 3Φ12 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ6	30x90	35	ΑΝΩ 8Φ18 ΚΑΤΩ 2Φ14	Φ8/20
ΠΔ7	30x90	35	ΑΝΩ 6Φ14 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ8	30x90	35	ΑΝΩ 7Φ16 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ9	30x90	35	ΑΝΩ 5Φ20 ΚΑΤΩ 2Φ16	Φ8/20
ΠΔ10	30x90	35	ΑΝΩ 4Φ20 ΚΑΤΩ 2Φ16	Φ8/20
ΠΔ11	30x90	35	ΑΝΩ 4Φ12 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ12	30x90	35	ΑΝΩ 4Φ12 ΚΑΤΩ 6Φ12	Φ8/20
ΠΔ13	30x90	35	ΑΝΩ 4Φ17 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20
ΠΔ14	30x90	35	ΑΝΩ 2Φ16 ΚΑΤΩ 2Φ12	Φ8/20

Πίνακας 5: Οπλισμός εσχάρας πεδιλοδοκών θεμελίωσης



Σχήμα 1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του κτηρίου

2.1 ΕΛΑΣΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πριν την ανελαστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε μια δυναμική ελαστική ανάλυση. Ο λόγος που έγινε αυτό είναι διότι για να θεωρηθούν τα αποτελέσματα της ανελαστικής ανάλυσης επαρκή πρέπει η επιρροή των ανώτερων ιδιομορφών να μην είναι σημαντική. Αυτό συμβαίνει όταν οι ιδιομορφές συνεισφέρουν τουλάχιστον το 90% της συνολικής μάζας.

Επίσης, άλλο ένα κριτήριο είναι ότι για να θεωρείται μη σημαντική η επιρροή των ιδιομορφών θα πρέπει η τέμνουσα που υπολογίζεται από την δυναμική ανάλυση (των ιδιομορφών που συνεισφέρουν τουλάχιστον 90% της συνολικής μάζας) να είναι μικρότερη από την τέμνουσα που προκύπτει από την πρώτη ιδιομορφή (σε κάθε διεύθυνση). Το κριτήριο μπορεί να ικανοποιείται και σε έναν όροφο. (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.2)

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΜΑΖΑΣ	ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ	X-ΟΛΙΚΗ	Z-ΟΛΙΚΗ
+X	1	55.85	5.75
+X	2	65.74	87.9
+X	3	92.23	92.24
+Z	1	57.29	0.01
+Z	2	57.3	92.26
+Z	3	92.25	92.26
-X	1	46.38	10.47
-X	2	64.61	84.47
-X	3	92.23	92.28

-Z	1	65.49	3.1
-Z	2	69.9	90.93
-Z	3	92.2	92.26

Πίνακας 6: Αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης

ΟΡΟΦΟΣ	V (90%) [KN]	V1 [KN]	V (90%)/V1	[I]	[ΟΡΙΟ]
1	1048	998	1	<	1.3
2	1549	1532	1	<	1.3

Πίνακας 7: Σύγκριση τεμνουσών κατά τη διεύθυνση X

ΟΡΟΦΟΣ	V (90%) [KN]	V1 [KN]	V (90%)/V1	[I]	[ΟΡΙΟ]
1	1023	1017	1	<	1.3
2	1561	1568	1	<	1.3

Πίνακας 8: Σύγκριση τεμνουσών κατά τη διεύθυνση Z

Και οι δυο προϋποθέσεις τις μη-γραμμικής ανάλυσης ικανοποιούνται, άρα τα αποτελέσματά της είναι επαρκή.

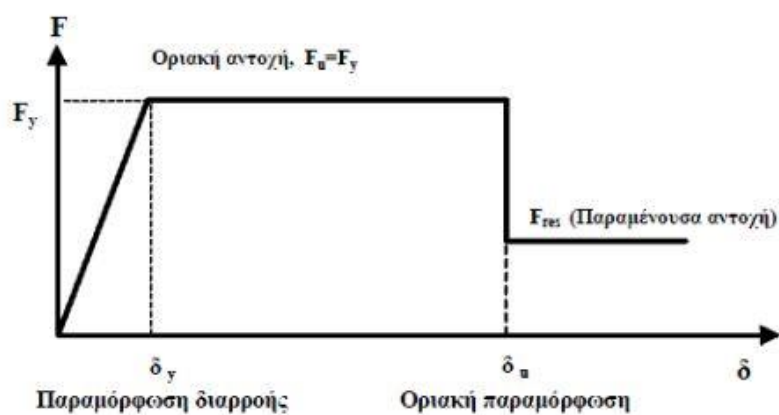
2.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ 2^{ης} ΤΑΞΗΣ

Οι στατικές επιρροές 2^{ης} τάξεως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην ανελαστική ανάλυση διότι στην κορυφή του δομήματος η μετακίνηση δ μπορεί να πάρει μεγάλες τιμές λόγω των επιπρόσθετων ροπών στους κόμβους των υποστυλωμάτων και να επιταχύνει την εμφάνιση των πλαστικών αρθρώσεων. Οι ροπές αυτές προέρχονται από την εκκεντρότητα του αξονικού φορτίου ως προς τον κόμβο βάσης του υποστυλώματος. Η δυναμική ανάλυση έδειξε ότι ο δείκτης σχετικής μεταθετότητας θ σε όλες τις διευθύνσεις (+X,-X,+Z,-Z) είναι μικρότερος του 0.1 που σημαίνει ότι δεν λαμβάνονται υπόψη τα φαινόμενα 2^{ης} τάξης. (KAN.ΕΠΕ. §5.4.7.1)

3.1 ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (PUSHOVER)

Η μη-γραμμική ανάλυση, γνωστή και ως pushover, έχει αποδειχθεί ότι είναι η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την ανάλυση υφιστάμενων κατασκευών με σεισμική απαίτησή τους. Κατά την εφαρμογή της επιβάλλεται στην κατασκευή μια σταδιακά αυξανόμενη οριζόντια δύναμη και προκύπτουν οι σεισμικές παραμορφώσεις. Σταδιακά σχηματίζονται πλαστικές αρθρώσεις κατά μήκος των μελών που έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της δυσκαμψίας τους. Όταν οι πλαστικές αρθρώσεις στα κύρια μέλη είναι τέτοιες που η κατασκευή δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις τότε έρχεται η αστοχία του κτηρίου(κατάρρευση). Κεντρικός στόχος της μη γραμμικής μεθόδου είναι η χάραξη της καμπύλης ικανότητας της κατασκευής και ο προσδιορισμός του λόγου $au/a1$. Αυτή αναπαριστά της οριζόντια μετακίνηση της κορυφής του δομήματος (κόμβος ελέγχου), ως συνάρτηση του μεγέθους της δύναμης που εφαρμόζεται στην κατασκευή αυτή. Για λόγους συντομίας και κατανόησης δεν επιλέχτηκε τυχηματική εκκεντρότητα, ο συντελεστής συνδυασμού εγκάρσιας φόρτισης είναι μηδέν, δηλαδή έγιναν 8 αναλύσεις συνολικά.

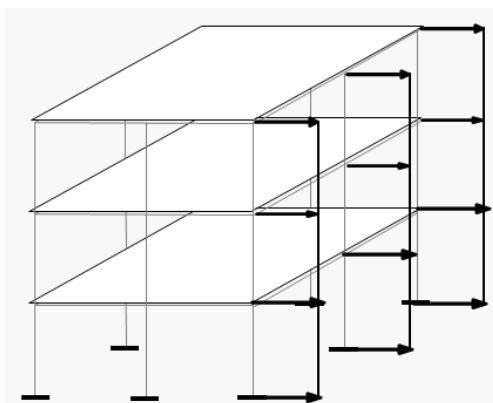
Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. η προσομοίωση της καμπύλης F-δ γίνεται μέσω ενός πολυγραμμικού διαγράμματος όπου η F εκφράζεται σε όρους ροπής και η δ σε όρους στροφής χορδής.



Σχήμα 2: Θεωρητικές καμπύλες εντατικού μεγέθους-παραμόρφωσης[3]

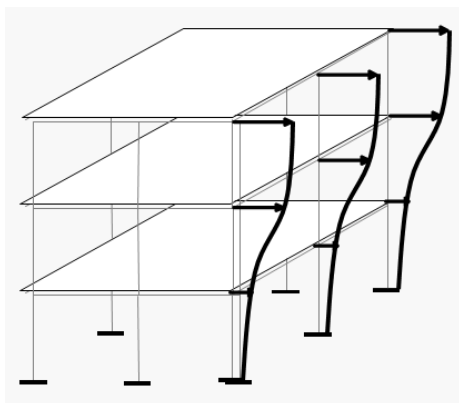
Η κατανομή φόρτισης που επιλέχτηκε να γίνει είναι η ομοιόμορφη και η ιδιομορφική.

1. **Ομοιόμορφη κατανομή:** Η επιλογή της κατανομής των οριζόντιων φορτίων βασίζεται σε οριζόντιες δυνάμεις, οι οποίες είναι ανάλογες της μάζας ανεξαρτήτου στάθμης.



Σχήμα 3: Ομοιόμορφη κατανομή οριζόντιων φορτίων [3]

2. **Ιδιομορφική κατανομή:** Η επιλογή της κατανομής των οριζόντιων φορτίων βασίζεται στο σχήμα της ιδιομορφής της κατασκευής που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό ιδιομορφικής μάζας.



Σχήμα 4: Ιδιομορφική κατανομή οριζόντιων φορτίων [3]

Ο υπολογισμός της στοχευόμενης μετακίνησης (δt) κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. υπολογίζεται με βάση το φάσμα μετακινήσεων. Ο τύπος είναι $\delta t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot (T_e^2 / 4\pi^2) \cdot S_e(T)$ (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §5.7.4.2), όπου C_0 , C_1 , C_2 , C_3 διορθωτικοί συντελεστές και $S_e(T)$ ελαστική φασματική ψευδοεπιτάχυνση.

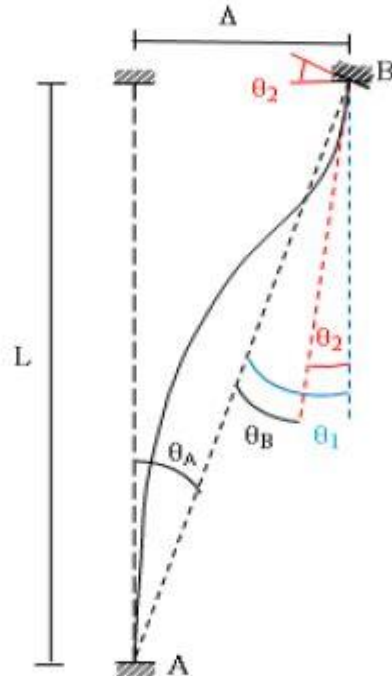
Επίσης, σύμφωνα με τον (ΚΑΝ.ΕΠΕ. §8.2.3) για τον υπολογισμό του καθολικού δείκτη συμπεριφοράς ισχύει:

$$q_\pi = 1 + T/T_c(\mu_\delta - 1) \quad \text{για } T < T_c$$

$$q_\pi = \mu_\delta \quad \text{για } T > T_c$$

ο συντελεστής υπεραντοχής $q_v = V_u/V_y$.

Για την περίπτωση της κάμψης ως λόγος επάρκειας λ για κάθε στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται ο λόγος της γωνίας στροφής χορδής προς την αντίστοιχη τιμή που ορίζει η κάθε στάθμη, ενώ για την περίπτωση της διάτμησης ως λόγος επάρκειας λ ορίζεται ο λόγος της τέμνουσας του μέλους που αντιστοιχεί στη στοχευόμενη μετακίνηση προς τη διατμητική αντοχή του μέλους.



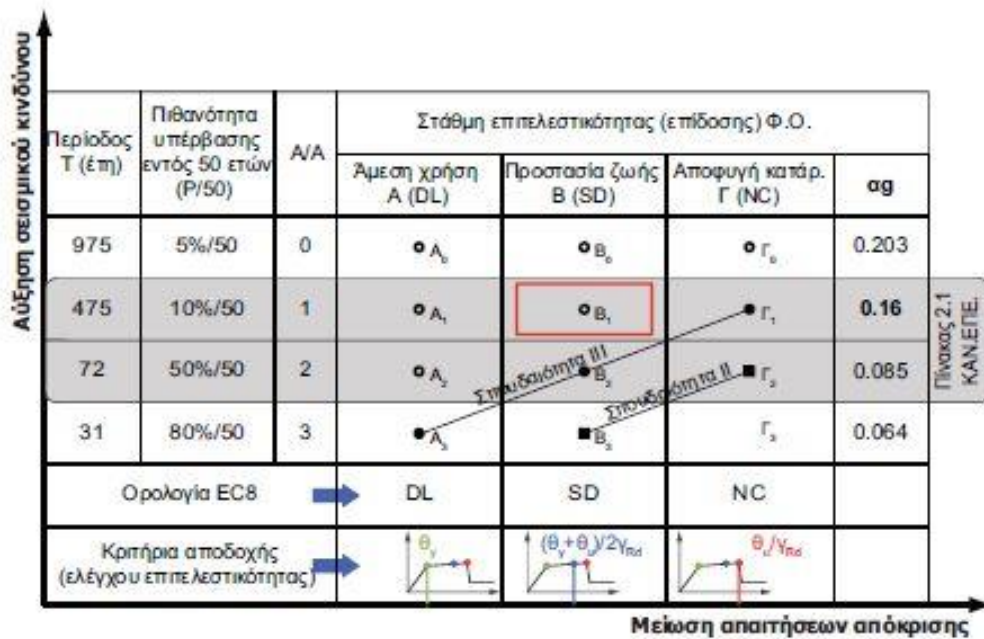
Σχήμα 5: Γωνίες στροφής χορδής σε κάθε κόμβο υποστυλώματος [3]

3.2 ΣΤΑΘΜΕΣ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ [3]

Ως στάθμες επιτελεστικότητας ορίζεται η ελάχιστη στάθμη αντοχής δηλαδή το αποδεκτό επίπεδο βλαβών που θα πρέπει να έχει η κατασκευή. Ο καθορισμός του στόχου σχεδιασμού εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφάλειας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής. Η κάθε στάθμη επιτελεστικότητας ορίζεται με βάση την οριακή γωνία στροφής χορδής ως εξής:

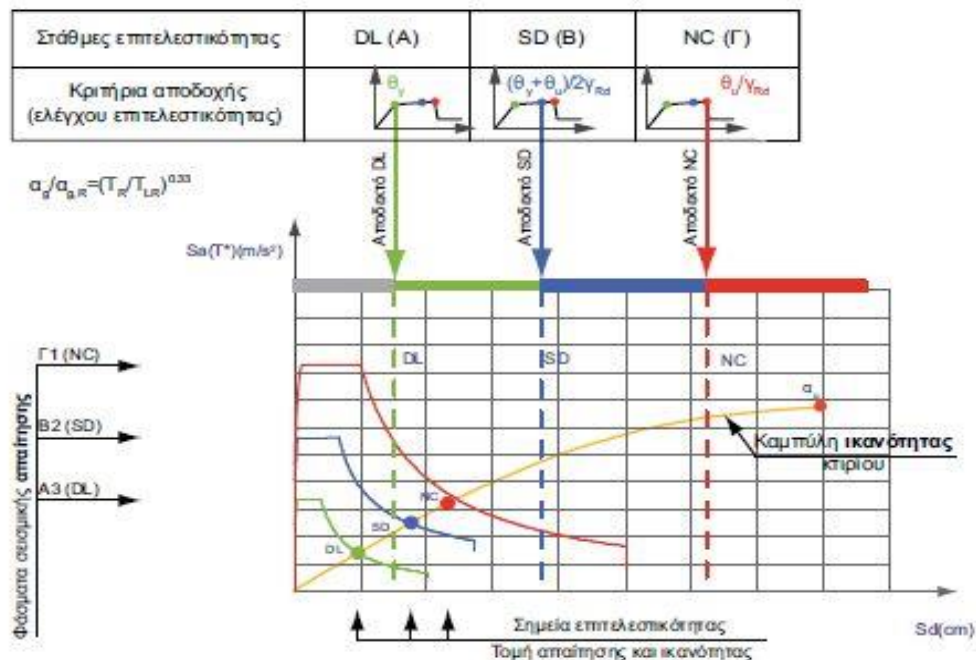
- Στάθμη περιορισμού βλαβών (Damage limitation-DL): Η οριακή κατάσταση περιορισμού βλαβών ή αλλιώς Στάθμη Επιτελεστικότητας Α (άμεση χρήση μετά το σεισμό), εισάγει το κριτήριο ο φορέας να έχει υποστεί μόνο ελαφριές βλάβες, με τα δομικά στοιχεία να μην έχουν περάσει τη διαρροή και να διατηρούν την αντοχή και τη δυσκαμψία τους. Η απαίτηση σε όρους γωνίας στροφής χορδής για τα κύρια και δευτερεύοντα είναι $\theta < \theta_y$.
- Στάθμη σημαντικών βλαβών (Severe Damage-SD): Κατά την οριακή κατάσταση σημαντικών βλαβών ή Στάθμη Επιτελεστικότητας Β (Προστασία ζωής), τα φέροντα στοιχεία επιτρέπεται να φέρουν σημαντικές ανελαστικές παραμορφώσεις. Τα πρωτεύοντα μέλη εξασφαλίζεται ότι διαθέτουν αρκετό περιθώριο ασφαλείας έναντι εξάντλησης της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας θ_u . Το κριτήριο συμμόρφωσης σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής: $\theta < (\theta_y + \theta_u)/2 * \gamma_{RD}$ για πρωτεύοντα μέλη ενώ για δευτερεύοντα μέλη $\theta < (\theta_y + \theta_u)/2$.
- Στάθμη Οιονεί Κατάρρευσης (Near Collapse-NC): Στην οριακή κατάσταση Οιονεί Κατάρρευση ή Στάθμη Επιτελεστικότητας Γ (Αποφυγή οιονεί κατάρρευσης) για τα φέροντα στοιχεία εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξει υπέρβαση της διαθέσιμης παραμόρφωσης αστοχίας. Το κριτήριο συμμόρφωσης σε όρους γωνίας στροφής χορδής εκφράζεται ως εξής: $\theta = \theta_u / \gamma_{RD}$ για πρωτεύοντα μέλη και $\theta = \theta_u$ για δευτερεύοντα μέλη.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συνοπτικά οι προαναφερθείσες στάθμες επιτελεστικότητας όπως αναφέρονται στον ΚΑΝ.ΕΠΕ. Σε κόκκινο πλαίσιο ορίζεται ο βασικός στόχος σχεδιασμού και αποτίμησης στον οποίο βασίζονται οι διατάξεις του EC8. Ο στόχος αυτός είναι η προστασία ζωής των ενοίκων σε ένα σεισμικό γεγονός που έχει περίοδο επανάληψης 10% στα 50 χρόνια. Επίσης μια υφιστάμενη κατασκευή, ανάλογα με τη σπουδαιότητά της παρουσιάζει διαφορετικούς στόχους αποτίμησης για διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας.



Σχήμα 6: Στάθμες επιπελεστικότητας [3]

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η καμπύλη αντίστασης για μια κατασκευή καθώς και τα ελαστικά φάσματα απαίτησης για τις 3 στάθμες επιπελεστικότητας. Με τις χρωματιστές κουκίδες πάνω στην καμπύλης ικανότητας του κτηρίου σημειώνονται οι στοχευόμενες μετακινήσεις και με τις κατακόρυφες διακεκομμένες οι αντίστοιχες ικανότητες μετακίνησης της κατασκευής για κάθε στάθμη.



Σχήμα 7: Καμπύλη αντίστασης κατασκευής [3]

3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για την αποτίμηση της υφιστάμενης κατασκευής λήφθηκαν υπόψη οι εξής παραδοχές: η σπουδαιότητα του κτηρίου είναι συνήθης, στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων Ικανοποιητική, $f_{cm}=17 \text{ MPa}$ και $f_{ym}=460 \text{ MPa}$.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης όσον αφορά τους λόγους επάρκειας των μελών τα οποία δεν εκπληρώνουν τον στόχο σχεδιασμού για τις στάθμες επιτελεστικότητας Β και Γ είναι τα εξής:

ΜΕΛΟΣ	ΟΡΟΦΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	λ_{SD}	λ_{NC}	λ_{VRy}	λ_{VRz}
K5	0	ΚΥΡΙΟ	0.57	1.27	1.02	1.04
K5	1	ΚΥΡΙΟ	0.35	0.42	0.72	1.01
K7	0	ΚΥΡΙΟ	0.4	0.81	1.03	1.02
K8	0	ΚΥΡΙΟ	0.5	1.87	1.0	1.01
K9	0	ΚΥΡΙΟ	0.47	2.28	1.03	1.03
K10	0	ΚΥΡΙΟ	0.61	2.06	1.03	1.03
K10	1	ΚΥΡΙΟ	0.42	0.56	1.03	1.0
K11	0	ΚΥΡΙΟ	0.45	1.32	1.03	1.02

Πίνακας 9: Αποτελέσματα μη γραμμικής ανάλυσης

• ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα απαίτησης-ικανότητας των 8 αναλύσεων:

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +5.2 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +5.2 cm (ιδιομορφική)

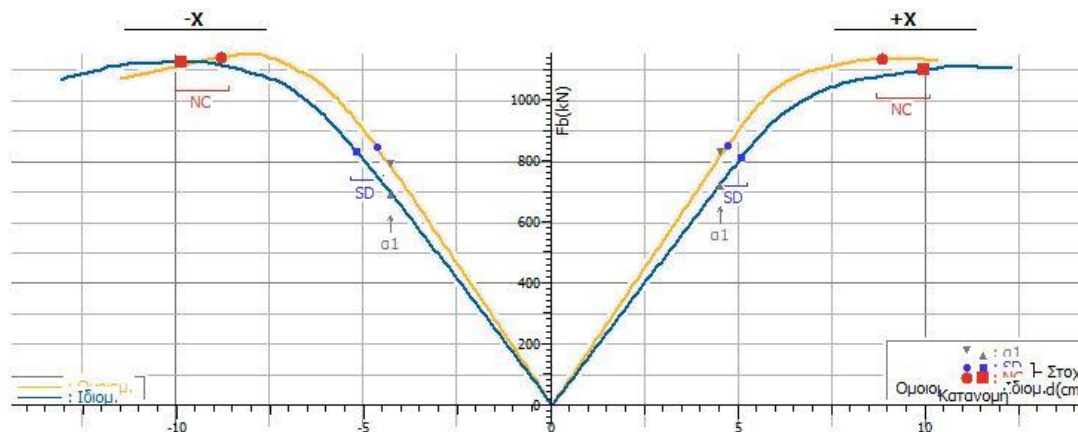
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.90 > T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=1.43$ ($q_\pi=1.09$, $q_v=1.32$)

• ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ

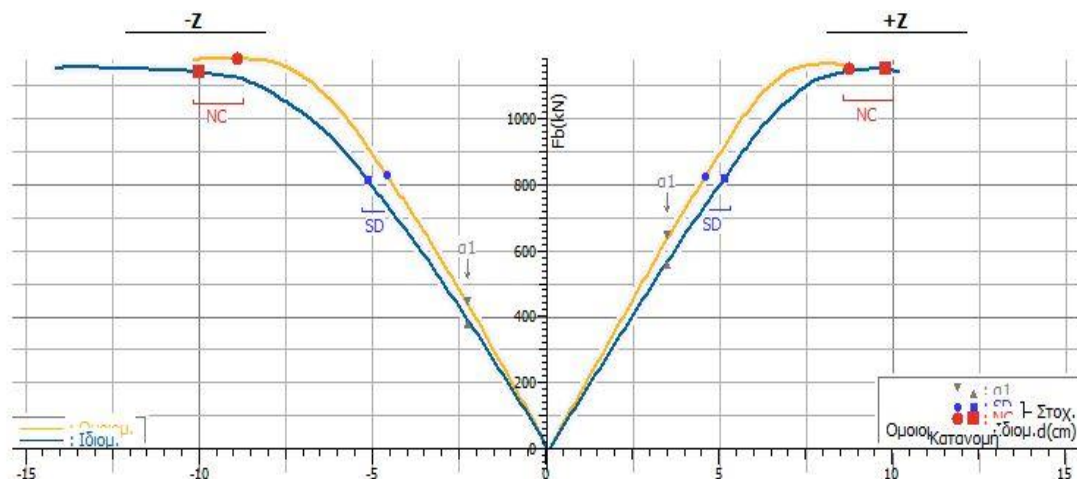
ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +10 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +9.9 cm (ιδιομορφική)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.93 > T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=1.54$ ($q_\pi=1.15$, $q_v=1.34$)



Σχήμα 8: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής



Σχήμα 9: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP)

Ενισχύουμε τα μέλη με 1 στρώση όπου το πάχος της στρώσης είναι 0.3 mm. Το μέτρο ελαστικότητας τους είναι 300 MPa και η εφελκυστική αντοχή 3000 MPa. Το ύφασμα έχει πλάτος 600 mm. Μετά την ενίσχυση τα αποτελέσματα είναι:

- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.92 > T_c$, $q_\pi = \mu_\delta$, $q=2.04$ ($q_\pi=1.18$, $q_v=1.72$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +5.3 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +5.3 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.217g

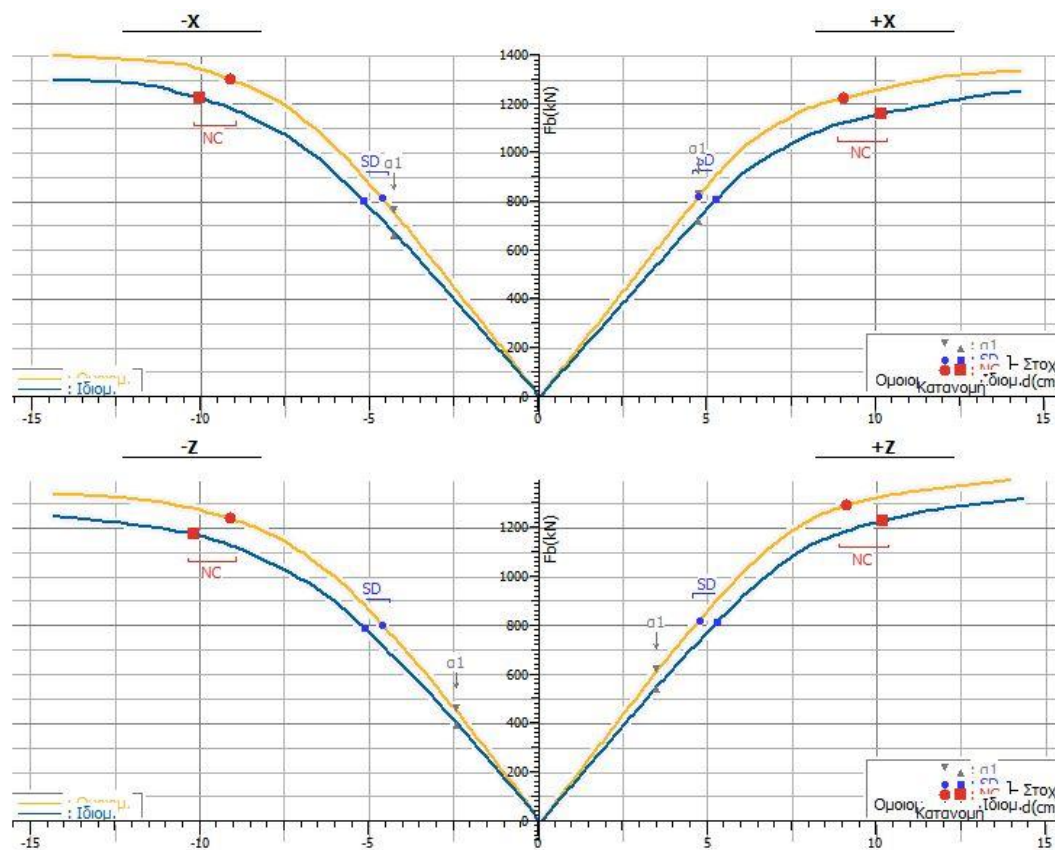
- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.95 > T_c$, $q_\pi = \mu_\delta$, $q=2.51$ ($q_\pi=1.32$, $q_v=1.9$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +10.2 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +10.1 cm (ιδιομορφική)

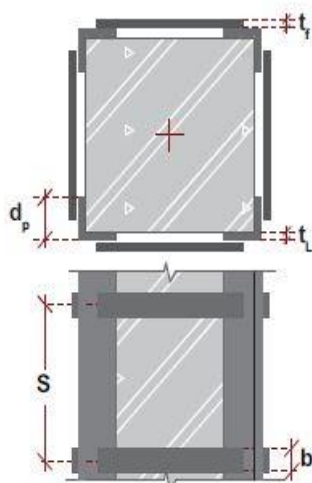
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.272g



Σχήμα 10: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής

4.2 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΛΩΒΟ

Η ενίσχυση των μελών πραγματοποιήθηκε με μεταλλικό κλωβό. Πιο συγκεκριμένα, το σκέλος του γωνιακού ορίστηκε 50 mm και το πάχος 5 mm. Η λάμα που συγκρατεί τα γωνιακά έχει πλάτος 50 mm και πάχος 5 mm. Η απόσταση που χωρίζει τις λάμες είναι 100 mm. Τέλος το υλικό έχει τάση διαρροής 275 MPa.



Σχήμα 11: Τυπική διάταξη του μεταλλικού κλωβού [3]

Μετά την ενίσχυση τα αποτελέσματα είναι:

- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.92>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.03$
($q_\pi=1.17$, $q_\nu=1.73$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +5.4 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +5.3 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.216g

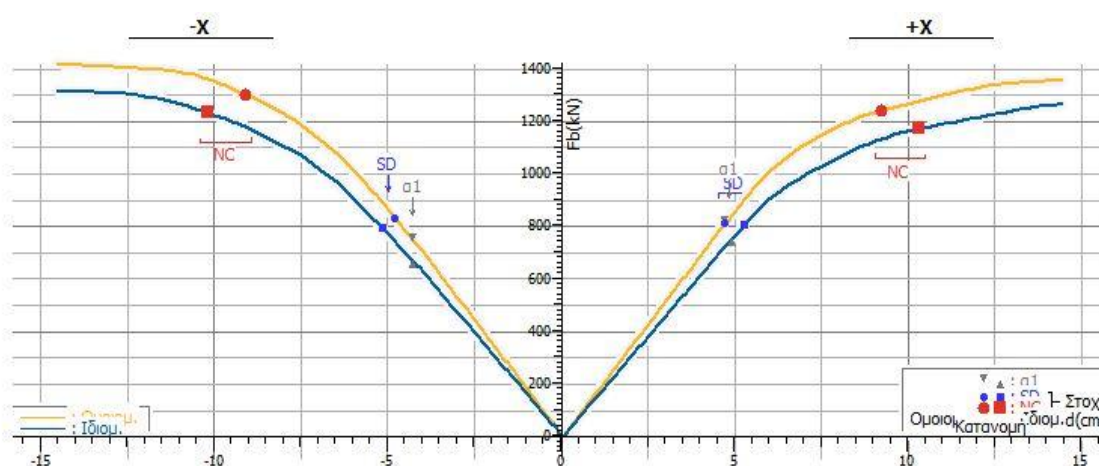
- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.96>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.50$
($q_\pi=1.3$, $q_\nu=1.92$)

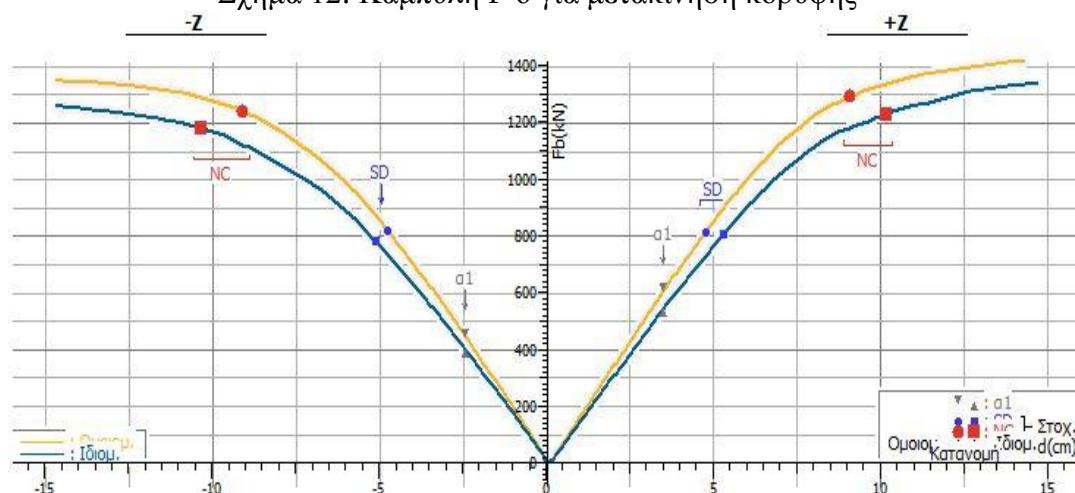
ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +10.3 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +10.2 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.27g



Σχήμα 12: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής



Σχήμα 13: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής

4.3 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η τεχνική της κατασκευής μανδυνών σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, διατμητικής και καμπτικής, δυσκαμψίας και πλαστιμότητάς τους. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις στοιχείων με σοβαρές βλάβες ή ιδιαίτερη ανεπάρκεια των χαρακτηριστικών τους. Η τεχνική περιλαμβάνει αύξηση της διατομής του στοιχείου με νέο σκυρόδεμα με νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς. Η κατασκευή τους μπορεί να γίνει είτε με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, η οποία είναι η πιο συνηθισμένη μέθοδος για την κατασκευή μανδυνών μικρού πάχους και δεν απαιτείται ξυλότυπος, είτε με έγχυτο σκυρόδεμα, για μανδύες μεγαλύτερου πάχους, όπου απαιτείται και ξυλότυπος.

Για την ενίσχυση χρησιμοποιήθηκαν μανδύες πάχους 10 cm, σκυρόδεμα C25/30 και χάλυβας B500C. Έγινε χρήση ολικού περιμετρικού μανδύα. Για τη σύνδεση παλαιού και νέου σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκαν βλήτρα B500C η διάμετρος και η απόσταση των οποίων είναι διαφορετική σε κάθε υποστύλωμα σύμφωνα με τις διατάξεις του ΚΑΝ.ΕΠΕ. Για την τελική μορφή ενίσχυσης η οποία παρουσιάζεται παρακάτω έγιναν διαφορετικές δοκιμές για διαφορετικές περιπτώσεις ενίσχυσης. Η ενίσχυση αυτή είναι η εξής:

	ΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΒΛΗΤΡΑ	ΜΗΚΟΣ ΕΜΠΛΗΞΗΣ ΣΤΟ ΥΠΑΡΧΟΝ(cm)	ΜΗΚΟΣ ΕΜΠΛΗΞΗΣ ΣΤΟ ΜΑΝΔΥΑ(cm)	ΣΥΝΔΕΤΗΡ ΕΣ
K5(1)	4Φ18+16Φ16	9Φ16/35	12.8	4.8	Φ8/100
K5(2)	4Φ18+16Φ16	9Φ16/35	12.8	4.8	Φ8/100
K7(1)	4Φ20+16Φ16	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100
K8(1)	4Φ20+16Φ18	34Φ14/8	11.2	4.2	Φ8/100
K9(1)	4Φ18+16Φ16	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100
K10(1)	4Φ18+16Φ16	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100
K10(2)	4Φ18+16Φ16	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100
K11(1)	4Φ20+16Φ18	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100
K7(2)	4Φ20+16Φ16	10Φ14/30	11.2	4.2	Φ8/100

Πίνακας 10: Αποτελέσματα ενίσχυσης με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Μετά την ενίσχυση τα αποτελέσματα είναι:

• ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.7>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=1.93$
($q_\pi=1.26$, $q_v=1.54$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +4.4 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +4.2 cm (ιδιομορφική)

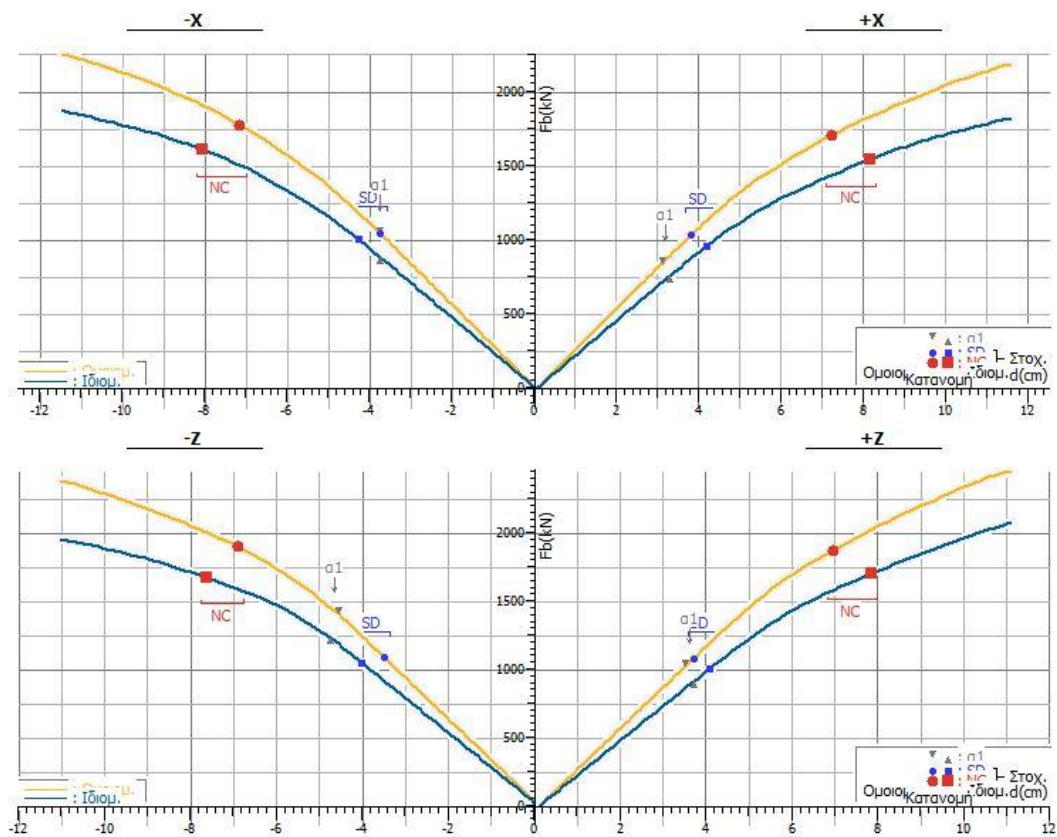
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.263g

• ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.77>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.3$
($q_\pi=1.38$, $q_v=1.67$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +8.4 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +8 cm (ιδιομορφική)
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.337g



Σχήμα 14: Καμπύλη F-d για μετακίνηση κορυφής

4.4 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ(FRP)

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ενίσχυση από μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος και ινοπλισμένα πολυμερή είναι μια συνδυαστική λύση που εφαρμόζεται στην πραγματικότητα τις περισσότερες φορές. Πιο συγκεκριμένα, τα υποστυλώματα K5, K8, K9, K10 και K11 του πρώτου ορόφου ενισχύθηκαν με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος ενώ όλα τα υποστυλώματα που δεν εκπληρώνουν το στόχο σχεδιασμού ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή. Η επιλογή αυτή έγινε διότι τα υποστυλώματα K5, K8, K9, K10, K11 κατά τον έλεγχο στροφής ο λόγος επάρκειας λ είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Επίσης η λύση που παρουσιάζεται προέρχεται μετά από δοκιμές.

Τα υποστυλώματα K5, K9, K10, του πρώτου ορόφου ενισχύθηκαν με μανδύα πάχους 10 cm σκυροδέματος C25/30 και με οπλισμό 4Φ18+16Φ16 ενώ τα υποστυλώματα K8, K11 ενισχύθηκαν με μανδύα πάχους 10 cm σκυροδέματος C25/30 και με οπλισμό 4Φ20+16Φ18. Οι συνδετήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι Φ8/100(ένας δύτημος και ένας οχταγωνικός). Τα βλήτρα που προτείνονται για το υποστυλώμα K5 είναι 21Φ14/14 και 11Φ14/28 για τα υπόλοιπα.

Τα υποστυλώματα K7 του πρώτου ορόφου και τα υποστυλώματα K5, K10 του δεύτερου ορόφου ενισχύθηκαν με ινοπλισμένα πολυμερή πάχους 0.3 mm.

Μετά την ενίσχυση τα αποτελέσματα είναι:

- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.77>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.21$
($q_\pi=1.20$, $q_v=1.84$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +4.6 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +4.5 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.262g

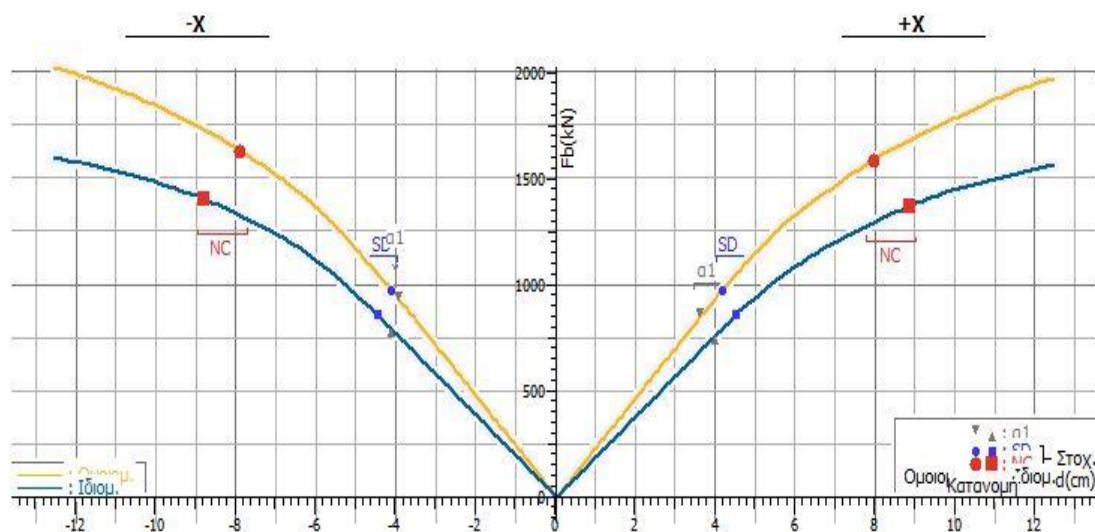
- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.8>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.74$
($q_\pi=1.28$, $q_v=2.13$)

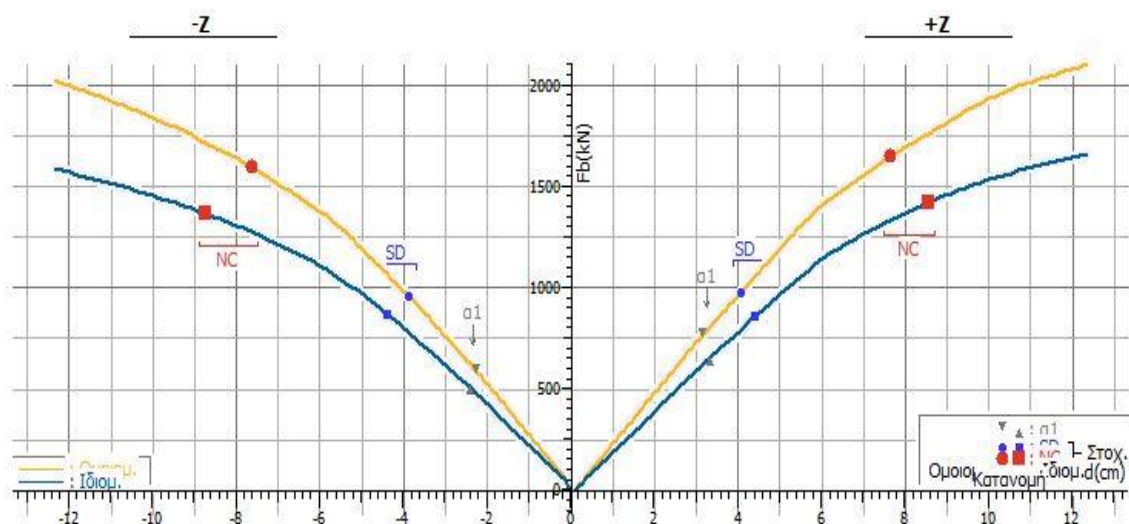
ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +8.9 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +8.7 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.336g



Σχήμα 15: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής



Σχήμα 16: Καμπύλη F-d για μετακίνηση κορυφής

4.5 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΛΩΒΟ

Μια άλλη συνδυαστική μορφή ενίσχυσης είναι από μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος και μεταλλικό κλωβό. Πιο συγκεκριμένα, τα υποστυλώματα K5, K8, K9, K10 και K11 του πρώτου ορόφου ενισχύθηκαν με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος ενώ όλα τα υποστυλώματα που δεν εκπληρώνουν το στόχο σχεδιασμού ενισχύθηκαν με μεταλλικό κλωβό. Η επιλογή αυτή έγινε διότι τα υποστυλώματα K5, K8, K9, K10, K11 κατά τον έλεγχο στροφής ο λόγος επάρκειας λ είναι μεγαλύτερος της μονάδας. Επίσης η λύση που παρουσιάζεται προέρχεται μετά από δοκιμές.

Τα υποστυλώματα K5, K9, K10 ενισχύθηκαν με μανδύα πάχους 10 cm σκυροδέματος C25/30 και με οπλισμό 4Φ18+16Φ16, ενώ τα υποστυλώματα K8, K11 ενισχύθηκαν με μανδύα πάχους 10 cm σκυροδέματος C25/30 και με οπλισμό 4Φ20+16Φ18. Οι συνδετήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι Φ8/100 (ένας δύτητος και ένας οχταγωνικός). Τα βλήτρα που προτείνονται για το υποστυλώμα K5 είναι 21Φ14/14 και 11Φ14/28 για τα υπόλοιπα. Το υποστυλώμα K7 του πρώτου ορόφου και τα υποστυλώματα K5, K10 του δεύτερου ορόφου ενισχύθηκαν με μεταλλικό κλωβό. Το σκέλος του γωνιακού ορίστηκε 50 mm και το πάχος 5 mm. Η λάμα που συγκρατεί τα γωνιακά έχει πλάτος 50 mm και πάχος 5 mm. Η απόσταση που χωρίζει τις λάμες είναι 100 mm. Τέλος το υλικό έχει τάση διαρροής 275 MPa.

Μετά την ενίσχυση τα αποτελέσματα είναι:

- **ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Β**

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.77 > T_c$, $q_\pi = \mu_\delta$, $q=2.22$ ($q_\pi=1.2$, $q_v=1.85$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +4.6 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +4.6 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.262g

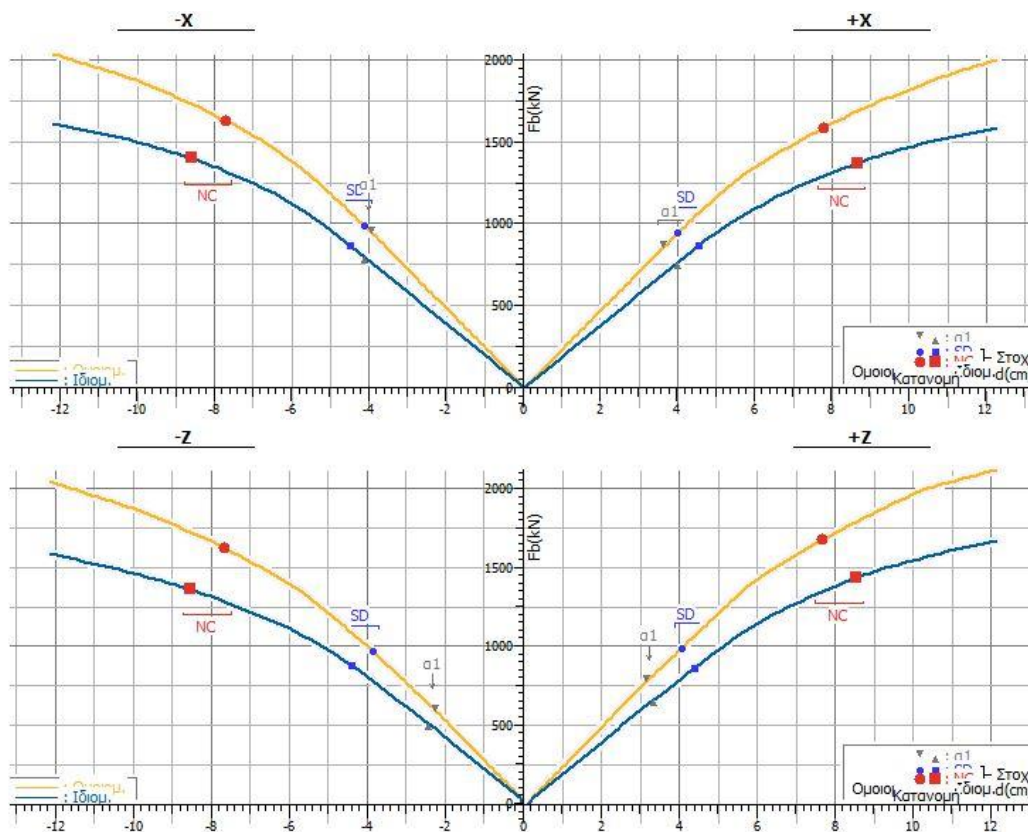
• ΣΤΑΘΜΗ ΕΠΙΤΕΛΕΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ Γ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ: $T=0.8>T_c$, $q_\pi=\mu_\delta$, $q=2.74$
($q_\pi=1.28$, $q_v=2.14$)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Χ ΑΞΟΝΑ: +8.9 cm (ιδιομορφική)

ΣΤΟΧΕΥΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΚΑΤΑ ΤΟΝ Ζ ΑΞΟΝΑ: +8.7 cm (ιδιομορφική)

ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΛΑΦΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ: 0.336g



Σχήμα 17: Καμπύλη F-δ για μετακίνηση κορυφής

5. ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Στις τιμές συμπεριλαμβάνονται το κόστος εργατών, η ασφάλιση τους και η προετοιμασία για κάθε εργασία.

Επικολλητά φύλλα FRP	23 €/m
Κόλλα ρητίνης	14 €/kg
Απαίτηση κόλλας	1,5 kg/m ²
Γωνιακά ελάσματα 50x5 mm	6 €/m
Λάμες που συγκρατούν τα γωνιακά	4 €/m
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα C25/30	600 €/m ³
Χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος	2,5 €/kg

Α) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ(FRP)

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΟΣ	ΤΙΜΗ (€)
K5	1	420
K7	1	372
K8	1	372
K9	1	372
K10	1	372
K11	1	372
K5	2	420
K10	2	372

Πίνακας 11: Τιμές ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή

Β) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΛΩΒΟ

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΟΣ	ΤΙΜΗ (€)
K5	1	315
K7	1	290
K8	1	290
K9	1	290
K10	1	290
K11	1	290
K5	2	290
K10	2	290

Πίνακας 12: Τιμές ενίσχυσης με μεταλλικό κλωβό

Γ) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΟΣ	ΤΙΜΗ (€)
K5	1	861
K7	1	825
K8	1	864
K9	1	827
K10	1	827
K11	1	892
K5	2	860
K7	2	842
K10	2	827

Πίνακας 13: Τιμές ενίσχυσης με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος

Δ) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΟΣ	ΤΙΜΗ (€)
K5	1	861
K7	1	372
K8	1	864
K9	1	827
K10	1	827

K11	1	892
K5	2	420
K7	2	372
K9	2	372
K10	2	372
K11	2	372

Πίνακας 14: Τιμές ενίσχυσης με μανδύες και ινοπλισμένα πολυμερή

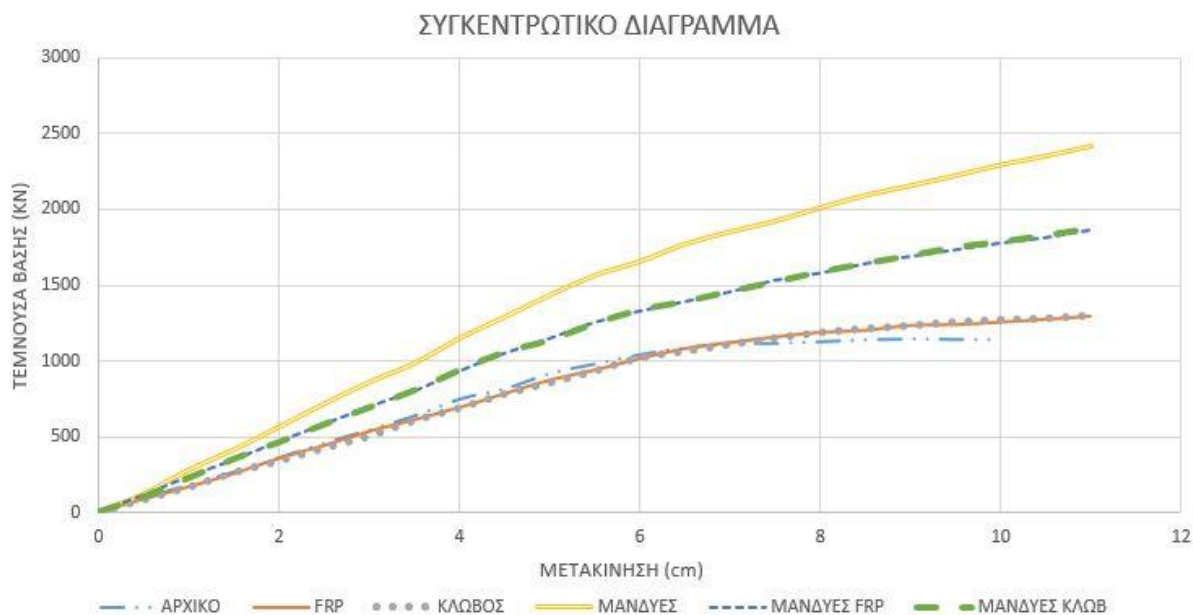
Ε) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΚΛΩΒΟ

ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑΤΑ	ΟΡΟΦΟΣ	ΤΙΜΗ (€)
K5	1	861
K7	1	290
K8	1	864
K9	1	827
K10	1	827
K11	1	892
K5	2	315
K7	2	290
K9	2	290
K10	2	290
K11	2	290

Πίνακας 15: Τιμές ενίσχυσης με μανδύες και μεταλλικό κλωβό

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, παρατίθεται ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μετατόπισης κόμβου ελέγχου για τις διάφορες μεθόδους ενίσχυσης του ίδιου συνδυασμού φόρτισης και για τις ίδιες στάθμες επιτελεστικότητας και ένας πίνακας με το συνολικό κόστος για κάθε ενίσχυση:



Σχήμα 18: Συνολικό διάγραμμα δύναμης-μετακίνησης κατά τον άξονα +X.

ΕΙΔΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ(€)
ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	3072
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΚΛΩΒΟΣ	2370
ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	7625
ΜΑΝΔΥΕΣ ΚΑΙ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ	6551
ΜΑΝΔΥΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΚΛΩΒΟΣ	6036

Πίνακας 16: Συνολικές τιμές για όλες τις ενισχύσεις

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, από το παραπάνω διάγραμμα, από τη κοστολόγηση των υλικών και των εργασιών και από τη γενικότερη σύγκριση των μεθόδων ενίσχυσης καταλήγουμε στα εξής συμπεράσματα:

- Ο αρχικός φορέας έχει μέτρια δυνατότητα παραμόρφωσης και ικανοποιητική αντοχή.
- Η εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης με ινοπλισμένα πολυμερή αυξάνει την πλαστιμότητα του κτηρίου σε αρκετά μεγάλο βαθμό ενώ την αντοχή του σε πιο μικρό βαθμό. Το κόστος για την ενίσχυση είναι 3072€. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στη στάθμη επιτελεστικότητας Γ είναι 0.27g, κάτι που ξεπερνάει και τις τιμές σχεδιασμού για τη δεύτερη ζώνη σεισμικότητας.
- Η εφαρμογή της μεθόδου ενίσχυσης με μεταλλικό κλωβό είναι μια πιο φθηνή λύση σε σχέση με τα ινοπλισμένα πολυμερή και δίνει περίπου τα ίδια αποτελέσματα. Το κόστος είναι 2370€.
- Η ενίσχυση με μανδύες σκυροδέματος αποτελεί την πιο ακριβή λύση όσον αφορά το οικονομικό κομμάτι. Το κόστος για την ενίσχυση μπορεί να φτάσει τα 7625€. Τα αποτελέσματα που δίνει όμως είναι η μεγάλη αύξηση της αντοχής του κτηρίου και της πλαστιμότητάς του. Η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση στη στάθμη επιτελεστικότητας Γ είναι **0.34g**, κάτι που ξεπερνάει σε μεγάλο βαθμό τη τιμή σχεδιασμού. Οι μανδύες αποτελούν την καλύτερη μέθοδο ενίσχυσης όσον αφορά την αντοχή του κτηρίου αλλά παράλληλα και την πιο ακριβή. Το κόστος είναι **διπλάσιο** σε σχέση με τη ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή.
- Η συνδυαστική μέθοδος μανδυνών και ινοπλισμένων πολυμερών αποτελεί μια πιο οικονομική λύση σε σχέση με τη ενίσχυση μόνο με μανδύες. Η τέμνουσα βάσης μπορεί να φτάσει κοντά στα 1800 KN ενώ ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς (q) στη στάθμη επιτελεστικότητας Γ είναι **2.74**. Χωρίς την ενίσχυση ο συντελεστής είναι **1.54**. Η αύξηση είναι σχεδόν **80%**.
- Η συνδυαστική μέθοδος μανδυνών και μεταλλικού κλωβού δίνει παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη μέθοδο με τη διαφορά ότι το κόστος ενίσχυσης είναι ελαφρώς μειωμένο.

7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τις οικονομικές προσφορές των τιμών και υλικών, των εργασιών, την παροχή τεχνογνωσίας και στατικού προγράμματος ευχαριστώ τους:

- ΛΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΗ Δ.ΧΑΡΑΜΙΔΟΠΟΥΛΟΣ-Σ.ΛΙΒΙΕΡΑΤΟΣ ΕΠΕ
- SIKΑ HELLAS ABEE

- ΕΜΠΟΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΥ ΘΑΝΑΣΟΥΛΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
- ΕΠΙΔΟΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΕ

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Στέφανος Η. Δρίτσος, «Ενισχύσεις-Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος», Έκδοση Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2018
- [2] Βοηθητικό εγχειρίδιο FESPA(FespaR_Paradeigma_apotimisis_KANEPE)
- [3] Βοηθητικό εγχειρίδιο FESPA(Pushover)
- [4] ΟΑΣΠ (2017) ΚΑΝ.ΕΠΕ., Κανονισμός Επεμβάσεων, 2^η Αναθεώρηση 2017 [ΦΕΚ 2984/Β/30-08-2017](#)

