

Λήψη Απόφασης Ενίσχυσης Κτιρίων με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ύνες (FRPs) / ΙΟΠ ή με Μανδύα από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Κωνσταντίνος Βαδαλούκας¹, Ελένη Αγγελοπούλου², Αριστείδης Παπαχρηστίδης³

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Γίνεται σύγκριση της μεθόδου ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ύνες (FRPs)/ΙΟΠ έναντι της ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, σε οριζόντια στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος, σε μελέτες σύμφωνα με ΚΑΝ.ΕΠΕ./ΕΚ8 - Μέρος 3. Εξετάζεται η εφαρμοσιμότητα ή μη της κάθε μεθόδου ενίσχυσης τόσο σε κανονιστικό επίπεδο (περιορισμοί που θέτει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ. στο Κεφάλαιο 8 / και ΕΚ8 - Μέρος 3) όσο και σε πρακτικό επίπεδο, μέσα από 6 μελέτες εφαρμογής που εκπονήθηκαν στο πρόσφατο παρελθόν. Μέσα από αυτές, συγκρίνονται οι δύο μέθοδοι ενίσχυσης κυρίως σε οικονομικούς όρους (κόστος εργατικών και κόστος υλικών με τιμές εμπορίου), αλλά και σε όρους λειτουργικότητας, αισθητικής, ταχύτητας κ.λ.π Τέλος, συγκρίνεται η επίδραση της κάθε μεθόδου ενίσχυσης στην συνολική στατικότητα του κάθε κτηρίου.

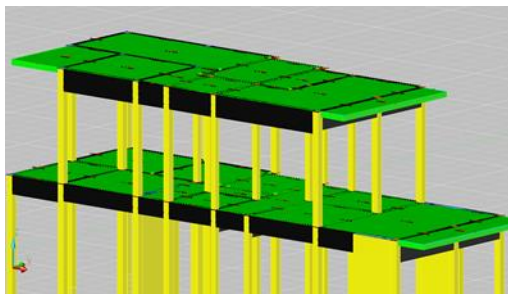
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ -ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ 6 ΚΤΙΡΙΩΝ

Από δείγμα 50 κτιρίων, με έτος κατασκευής από 1959 έως 1983, τα οποία μελετήθηκαν μεταξύ 2017 - 2019 (αποτίμηση ή/και ανασχεδιασμός κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ) με το λογισμικό 3DR.STRAD, λήφθηκαν τυχαία 6 κτίρια προς εξέταση:

¹ Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd., kostasv@3dr.eu

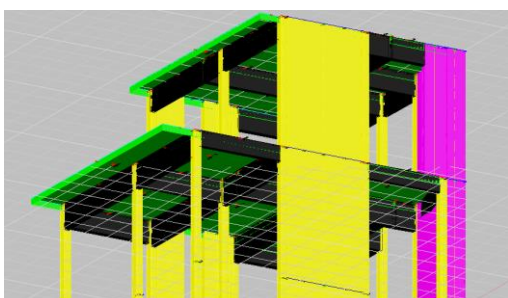
² Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd., ageleni@3dr.eu

³ Πολιτικός Μηχανικός, 3DR Engineering Software Ltd., aristidi@3dr.eu



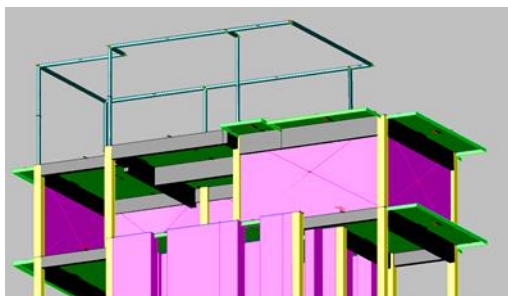
Κτίριο 1

Περιοχή: Νέο Ψυχικό (Αθήνα)
Στάθμες: Ισόγειο και Α' Όροφος (Τμήμα)
Χρήση: Κατοικία
Αιτία Μελέτης: Προσθήκη κατ επέκταση Α' Ορόφου
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube} = 23,3$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 5,3$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Ικανοποιητική
Επιτελεστικότητα: B1



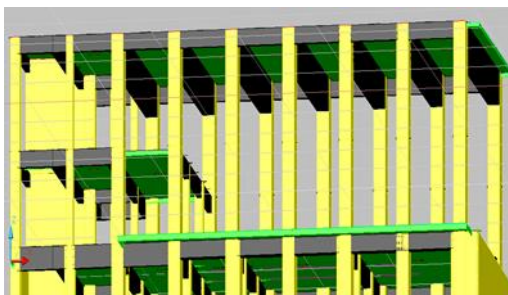
Κτίριο 2

Περιοχή: Ίλιον (Αθήνα)
Στάθμες: Ισόγειο και Α' Όροφος
Χρήση: Κατοικία
Αιτία Μελέτης: Εσωτερική Αναδιαμόρφωση
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube} = 14,4$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 2,4$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Υψηλή
Επιτελεστικότητα: B2



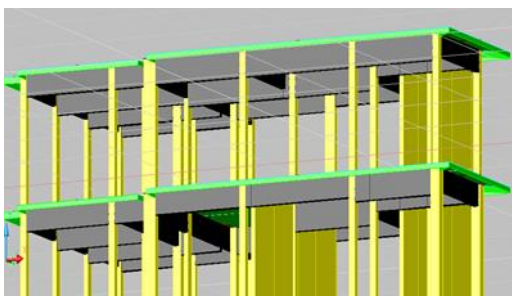
Κτίριο 3

Περιοχή: ΜΑΡΟΥΣΙ (Αθήνα)
Στάθμες: Ισόγειο , Α' Όροφος, Β' Όροφος (Μεταλλική Αυθαίρετη Προσθήκη)
Χρήση: Κατοικία
Αιτία Μελέτης: Τακτοποίηση Αυθαίρετου
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube} = 21,6$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 2,5$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Υψηλή
Επιτελεστικότητα: Γ1



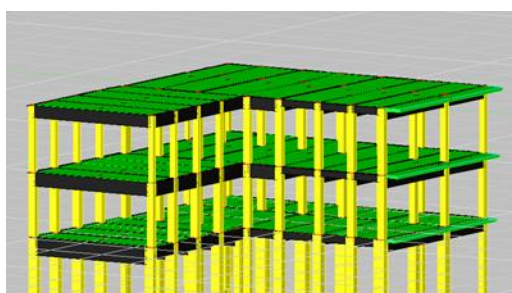
Κτίριο 4

Περιοχή: Αθήνα
Στάθμες: Υπόγειο, Ισόγειο, (Πατάρι)
Χρήση: Μουσείο
Αιτία Μελέτης: Αλλαγή Χρήσης & Αλλαγή Σπουδαιότητας
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube} = 20,0$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 1,3$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Ικανοποιητική
Επιτελεστικότητα: A1



Κτίριο 5

Περιοχή: Χαλάνδρι (Αθήνα)
Στάθμες: Ισόγειο , Α Όροφος,
Χρήση: Κατοικία
Αιτία Μελέτης: Άρση Επικινδυνότητας
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube}=28,5$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 5,5$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Υψηλή
Επιτελεστικότητα: B1



Κτίριο 6

Περιοχή: Κερατσίνι (Πειραιάς)
Στάθμες: Ισόγειο , Α Όροφος, Β' Όροφος
Χρήση: Βρεφονηπιακός Σταθμός
Αιτία Μελέτης: Αλλαγή Χρήσης & Σπουδαιότητας
Ποιότητα Υλικών: $f_{cm,cube}=21,5$ MPa
(Τυπική Απόκλιση $s = 6,6$ MPa) | StI
Σ.Α.Δ: Σκυροδέματος = Υψηλή
Χάλυβα = Ικανοποιητική
Γεωμετρίας = Ικανοποιητική
Επιτελεστικότητα: A2

2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

ΚΑΝ.ΕΠΕ (ΦΕΚ 2984B |30-08-2017)

Παρ. 8.2.1.3 Επεμβάσεις με στόχο την ενίσχυση της εφελκόμενης ζώνης έναντι ορθής έντασης

α) Προσθήκη ελασμάτων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή

i) [...] Η τεχνική δεν εφαρμόζεται σε περιοχές οι οποίες ενδέχεται να βρεθούν υπό θλιπτική καταπόνηση λόγω ανακυκλιζόμενης ροπής ή τυχηματικής δράσης

ii) Η εφαρμογή της τεχνικής επιτρέπεται υπό τον όρο ότι το υφιστάμενο δομικό στοιχείο είναι σε θέση να αναλάβει, χωρίς την ενίσχυση, την ένταση από τα μόνιμα φορτία του τελικού σχεδιασμού.

Σχόλια: Η εφαρμογή της τεχνικής των πρόσθετων εφελκωμένων οπλισμών, συνιστάται όταν η επιδιωκόμενη αύξηση της καμπτικής αντίστασης του στοιχείου δεν είναι μεγαλύτερη από την αρχική.

Συνίσταται:

Η αγκύρωση του οπλισμού ενίσχυσης πρέπει να γίνεται πέραν του σημείου μηδενισμού των ροπών (στην περιοχή υπό θλίψη)

Σχόλια:

Στις περιπτώσεις ενίσχυσης στο μέσο ανοίγματος, το υλικό ενίσχυσης πρέπει να επεκτείνεται και να αγκυρώνεται κοντά στις στηρίξεις. Στην περίπτωση ενίσχυσης στην περιοχή της στηρίξης δοκών ή πλακών, το υλικό ενίσχυσης επεκτείνεται και αγκυρώνεται στις θλιβόμενες περιοχές σε μήκος περίπου του 1 m, εντός αυτών.

Στις περιπτώσεις χρήσης περισσότερων παραλλήλων λωρίδων (συνήθως στην περίπτωση πλακών), η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3πλάσιο του πάχους του στοιχείου και του 0,10 l_0 , ο όπου l_0 είναι η απόσταση των σημείων μηδενισμού της ροπής κάμψης κατά μήκος του στοιχείου.

Παρ.8.2.2 Επεμβάσεις με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας έναντι τέμνουσας

Σχόλια:

Όταν η κατασκευή μανδύα (δηλ. “κλειστή ενίσχυση”) είναι ανέφικτη, η προσθήκη νέων στρώσεων σκυροδέματος ως “ανοικτή” ενίσχυση, πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον 3 πλευρές του αρχικού στοιχείου

Πάντως δεν επιτρέπονται “ανοικτές” ενισχύσεις με ανεξάρτητα ελάσματα ή υφάσματα ΙΟΠ επικολλημένα στις παρειές του στοιχείου: “Ανοικτές” ενισχύσεις επιτρέπονται μόνο υπό μορφή συνεχούς U.

Κατά παρέκκλιση, επιτρέπεται η εφαρμογή “ανοικτών” ενισχύσεων με αγκύρωση χωρίς πρόσθετα ακραία στοιχεία σύνδεσης, αλλά μόνο μέσω εποξειδικής κόλλας υπό τις ακόλουθες σύγχρονες προϋποθέσεις:

(α) Το ύψος του αρχικού στοιχείου που διατίθεται για την επικόλληση του στοιχείου ενίσχυσης είναι επαρκές για την εξασφάλιση της δύναμης η οποία ζητείται να αναληφθεί από τους νέους συνδετήρες. Η παραπάνω προϋπόθεση θεωρείται ότι εξασφαλίζεται αν $j \cdot L_e \geq h \geq 2h$ όπου $j \cdot h$ και h είναι τα ύψη του αρχικού στοιχείου και του στοιχείου ενίσχυσης, αντίστοιχα, και L_e το ενεργό μήκος αγκύρωσης όπως ορίζεται στην σχέση Σ8.4.

(β) Η ικανότητα του αρχικού στοιχείου χωρίς ενίσχυση είναι επαρκής για τον συνδυασμό φόρτισης $G+\psi_2 Q$,

και (γ) Ο ποιοτικός έλεγχος των εργασιών είναι υψηλής στάθμης.

Ευρωκώδικας 8 Μέρος 3

Παράσημα Α.4.4.1 Επικάλυψη με στρώσεις FRP (Ινοπλισμένων πολυμερών)

(1) Οι κύριες χρήσεις των εξωτερικά συνδεδεμένων FRP (ινοπλισμένων πολυμερών) κατά τις σεισμικές επεμβάσεις σε υφιστάμενα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος είναι οι ακόλουθες:

- βελτίωση της διατμητικής ικανότητας των υποστλωμάτων και των τοιχωμάτων, εφαρμόζοντας εξωτερικά συνδεδεμένα FRP (ινοπλισμένα πολυμερή) με τις ίνες στην κατεύθυνση των συνδετήρων
- βελτίωση της διαθέσιμης πλαστιμότητας στα άκρα των μελών, μέσω πρόσθετης περίσφιξης με τη μορφή μανδύων FRP, με τις ίνες προσανατολισμένες κατά μήκος της παραμέτρου
- αποτροπή της αστοχίας των ενώσεων με υπερκάλυψη, μέσω αυξημένης περίσφιξης της υπερκάλυψης πάλι με τις ίνες κατά μήκος της περιμέτρου

(2) Η επίδραση της επικάλυψης με στρώσεις FRP των μελών στην καμπτική αντοχή της ακραίας διατομής και στην τιμή της στροφής της χορδής στην διαρροή, θ_y , μπορεί να παραβλέπεται.

Εθνικό Προσάρτημα στον EN 1998-3:2005

4 Συμπληρωματικές μη αντικρουόμενες διατάξεις Συμπληρωματικά προς τις διατάξεις του EN 1998-3:2005 θα εφαρμόζονται στην Ελλάδα οι διατάξεις του ακόλουθου Προτύπου: "ΚΑΝ.ΕΠΕ: Κανονισμός Επεμβάσεων"

[Α: Άνοιγμα| Σ: Στήριξη]

Πίνακας 1: Πλάκες

Α/Α Κτιρίου	Αριθμός Πλακών	Αριθμός Πλακών Με Ανεπάρκεια	Αριθμός Πλακών που ΔΕΝ Μπορούν να Αναλάβουν τα Μόνομα Φορτία Χωρίς Ενίσχυση	Αριθμός Πλακών που η Επιδιωκόμενη Αύξηση της Καμπτικής Αντίστασης είναι Μεγαλύτερη από την Αρχική
1	17	4 (3Α 8Σ)	1 (25%) (0Α 0% 1Σ 12,5%)	1 (25%) (0Α 0% 1Σ 12,5%)
2	13	8 (6Α 9Σ)	3 (37,5%) (0Α 0% 3Σ 33,3%)	3 (37,5%) (0Α 0% 3Σ 33,3%)
3	20	10 (8Α 11Σ)	2 (20%) (1Α 12,5% 3Σ 27,3%)	7 (70%) (3Α 37,5% 6Σ 54,6%)
4	26	18 (18Α 24Σ)	6 (33,3%) (3Α 33,3% 9Σ 37,5%)	11 (61,1%) (8Α 44,4% 18Σ 75,0%)
5	27	9 (7Α 10Σ)	3 (33,3%) (2Α 28,6% 1Σ 10,0%)	3 (33,3%) (2Α 28,6% 2Σ 20,0%)
6	42	19 (7Α 32Σ)	3 (15,8%) (0Α 0% 3Σ 9,4%)	3 (15,8%) (0Α 0% 3Σ 9,4%)

Πίνακας 2: Δοκοί (Κάμψη)

A/A Κτιρίου	Αριθμός Δοκών	Αριθμός Δοκών Με Ανεπάρκεια Εφελεκνόμενης Ζώνης	Αριθμός Ενισχυόμενων Δοκών που Ενδέχεται να Βρεθούν υπό Θλιπτική Καταπόνηση	Αριθμός Δοκών που ΔΕΝ Μπορούν να Αναλάβουν τα Μόνιμα Φορτία Χωρίς Ενίσχυση	Αριθμός Δοκών που η Επιδωκόμενη Αύξηση της Καμπτικής Αντίστασης είναι Μεγαλύτερη από την Αρχική	Αριθμός Ακραίων Δοκών με Ανεφικτη την Αγκύρωση 1 m.
1	56	8 (1A 7Σ)	1 (12,5%)	2 (25%) (0A 0% 2Σ 28,6%)	2 (25%) (0A 0% 2Σ 28,6%)	2 (25%)
2	34	8 (1A 6Σ)	0 (0%)	1 (12,5%) (1A 100% 0Σ 0%)	2 (25%) (0A 0% 2Σ 33,3%)	3 (37,5%)
3	26	2 (1A 1Σ)	0 (0%)	0 (0%) (0A 0% 0Σ 0%)	0 (0%) (0A 0% 0Σ 0%)	0 (0%)
4	100	95 (79A 112Σ)	77 (81,1%)	33 (34,7%) (18A 22,8% 30Σ 26,8%)	83 (87,4%) (65A 82,3% 106Σ 94,6%)	37(39%)
5	60	22 (1A 19Σ)	0 (0%)	4 (18,2%) (0A 0% 4Σ 21,1%)	1 (4,5%) (0A 0% 1Σ 5,3%)	5 (22,7%)
6	134	134 (49A 127Σ)	61 (45,5%)	12 (9%) (6A 12,2% 13Σ 10,2%)	39 (29,1%) (22A 44,9% 40Σ 31,5%)	47 (35%)

Πίνακας 3: Δοκοί (Διάτμηση)

A/A Κτιρίου	Αριθμός Δοκών	Αριθμός Δοκών Με Ανεπάρκεια Έναντι Τέμνουσας	Αριθμός Δοκών που ο μανδύας είναι ανέφικτο να καλύπτει τουλάχιστον 3 πλευρές του αρχικού στοιχείου:	Αριθμός Δοκών που δεν επιτρέπεται η εφαρμογή “ανοικτών” ενισχύσεων με αγκύρωση χωρίς πρόσθετα ακραία στοιχεία σύνδεσης:
1	56	38	10 (26,3%)	13 (34,2%)
2	34	26	9 (34,6%)	21 (80,8%)
3	26	21	0 (0%)	13 (61,9%)
4	100	95	0 (0%)	69 (72,6%)
5	60	51	0 (0%)	25 (49%)
6	134	118	24 (20,3%)	64 (54,2%)

3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥΣ ΌΡΟΥΣ

Πίνακας 4: Πλάκες

A/A Κτιρίου	Κόστος Ενίσχυσης με Ινοπλισμένα Πολυμερή [€]	Κόστος Ενίσχυσης με Μανδύα Σκυροδέματος [€]
1	65.500,00	13.500,00
2	43.000,00	14.000,00
3	67.500,00	15.000,00
4	415.000,00	81.500,00
5	134.500,00	25.000,00
6	170.000,00	86.000,00

Πίνακας 5: Δοκοί (Κάμψη)

A/A Κτιρίου	Κόστος Ενίσχυσης με Ινοπλισμένα πολυμερή [€]	Κόστος Ενίσχυσης με Μανδύα Σκυροδέματος [€]
1	4.700,00	4.500,00
2	6.000,00	4.600,00
3	900,00	1.100,00
4	531.000,00	77.000,00
5	8.300,00	9.200,00
6	400.000,00	172.000,00

Πίνακας 6: Δοκοί (Διάτμηση)

A/A Κτιρίου	Κόστος Ενίσχυσης με Ινοπλισμένα πολυμερή [€]	Κόστος Ενίσχυσης με Μανδύα Σκυροδέματος [€]
1	12.900,00	7.100,00
2	7.200,00	5.400,00
3	5.000,00	6.400,00
4	106.000,00	καλύπτεται από κάμψη
5	19.000,00	9.900,00
6	69.000,00	καλύπτεται από κάμψη

Πίνακας 7: Δοκοί

A/A Κτιρίου	Κόστος Ενίσχυσης με Ινοπλισμένα πολυμερή [€]	Κόστος Ενίσχυσης με Μανδύα Σκυροδέματος [€]
1	17.600,00	11.600,00
2	13.200,00	10.000,00
3	5.900,00	7.500,00
4	637.000,00	77.000,00
5	17.300,00	19.100,00
6	469.000,00	172.000,00

4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ/ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Πίνακας 8: Πλάκες & Δοκοί

A/A Κτιρίου	"Χαμένο Ύψος" με Μανδύα Σκυροδέματος	"Χαμένος Όγκος" με Μανδύα Σκυροδέματος	Χρόνος Εργασιών για Ινοπλισμένα Πολυμερή [Μέρες]	Χρόνος Εργασιών για Μανδύα Σκυροδέματος [Μέρες]
1	5 - 12 cm	22,34	10	20
2	5 - 12 cm	21,56	10	15
3	5 - 12 cm	20,73	8	15
4	5 - 12 cm	118,65	30	45
5	5 - 12 cm	39,42	21	35
6	5 - 12 cm	196,71	50	75

5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΤΗΡΙΟ

Πίνακας 9: Πλάκες & Δοκοί

A/A Κτιρίου	Αύξηση Μάζας με Μανδύα Σκυροδέματος [kN]	Ποσοστό Αύξησης Μόνιμων Φορτίων [%]
1	558,5	13
2	539,0	17
3	518,0	17
4	2.966,0	27
5	985,5	19
6	4.918,0	24

6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η καμπτική ενίσχυση δοκών με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ, δεν είναι απόλυτα κανονιστικά τεκμηριωμένη αφού με βάση την διατύπωση του Ευρωκώδικα 8 Μέρος 3, μπορεί να παραβλέπεται η καμπτική ενίσχυση δοκών με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ.

Ως προς τους κανονιστικούς περιορισμούς, υπερτερεί (γενικώς) η ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, έναντι της μεθόδου ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ.

Ως προς τους κανονιστικούς περιορισμούς, προβληματική παραμένει η αντιμετώπιση της ενίσχυσης των περιμετρικών δοκών έναντι τέμνουσας σε κατασκευές με όμορα κτίρια.

Ως προς την οικονομική δαπάνη για την ενίσχυση των πλακών, υπερτερεί (γενικώς) η ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, έναντι της μεθόδου ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ.

Ως προς την οικονομική δαπάνη για την ενίσχυση των δοκών, για μικρής σπουδαιότητας έργα (κατοικίες), τα κόστη των δύο μεθόδων ενίσχυσης είναι παραπλήσια.

Ως προς την οικονομική δαπάνη για την ενίσχυση των δοκών, για σημαντικές μετατροπές (πχ αύξηση φορτίων από αλλαγή χρήσης - σπουδαιότητας κα), υπερτερεί (γενικώς) η ενίσχυση με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, έναντι της μεθόδου ενίσχυσης με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ.

Ως προς την λειτουργικότητα/αισθητική καθώς και την ταχύτητα εφαρμογής, υπερτερεί (γενικώς) η ενίσχυση με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ, έναντι της μεθόδου ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

Ως προς την "επιβάρυνση" άλλων μελών (πχ υποστυλώματα, πέδιλα κλπ) του κτιρίου υπερτερεί (γενικώς) η ενίσχυση με Σύνθετα Υλικά από Πολυμερικές Ίνες (FRPs)/ΙΟΠ, έναντι της μεθόδου ενίσχυσης με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κανονισμός Επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ 2η Αναθεώρηση (ΦΕΚ 2984_Β_30-08-2017)
2. EN 1998-3:2005
3. 3D.STRAD έκδοση 2019
4. Έγκριση Αντικατάστασης Παραρτήματος Ε' του ΕΑΚ 2000 (ΦΕΚ 350_Β_17-02-2016)
5. Μελέτη Στατικής Επάρκειας στον Ν.4495 (ΦΕΚ 1643_Β_11-05-2018)