



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΩΝ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ-FRPs

(Fiber Reinforced Polymers)



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΣΟΥΚΝΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΤΟΥ ΛΑΖΑΡΟΥ & ΤΣΟΥΚΝΟΣ ΣΩΤΗΡΙΟΣ ΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. Π. ΚΑΚΑΒΑΣ-ΠΑΠΑΝΙΑΡΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4	
ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ:	4	
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5	
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή	6	
1.1 Εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τα σύνθετα FRPs		6
1.2 Σκυρόδεμα	7	
1.3 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος		8
1.4 Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος		9
Κεφάλαιο 2ο Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με Ενισχυμένα Πολυμερή με ίνες (FRPs)	10	
2.1 Εισαγωγή	10	
2.2 Περιγραφή Συστατικών	10	
2.3 Χαρακτηριστικά και εφαρμογές συνθέτων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή – Τρόποι αστοχίας	14	
2.4 Συστήματα Ενίσχυσης	17	
2.5 Τεχνικές Εφαρμογής	19	
2.6 Προδιαγραφές – Κανονισμοί		20
2.7 Ενδεικτικές Εφαρμογές	21	
2.8 Απαιτήσεις ποιοτικών ελέγχων και δοκιμών για την παραλαβή		28
2.9 Ενδεικτικές εφαρμογές ενίσχυσης με ffr καταστρώματος γέφυρας οπλισμένου σκυροδέματος	30	
2.10 Συμπεράσματα	31	
Κεφάλαιο 3ο Επίσκεψη γεφυρών στην εθνική οδό Πατρών-Αθηνών στην περιοχή του Αιγίου		32
3.1 Εισαγωγή	33	
3.2 Υφιστάμενη κατάσταση των γεφυρών		33
3.3 Προαπαιτούμενες εργασίες για την αποκατάσταση των διαβρωμένων οπλισμών και της		35

απόμυξης σκυροδέματος	35	
3.4 Πρόγραμμα ερευνών και δοκιμών		36
3.5 Μοντελοποίηση βάση του προγράμματος Sofistik		37
3.6 Προτεινόμενες ενισχύσεις και επεμβάσεις		39
3.7 Συμπεράσματα	46	
Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογή της μελέτης για την ενίσχυση των αερογεφυρών Αιγίου με FRPs		47
4.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων γέφυρας Ολυμπίας οδού πλησίον νοσοκομείου Αιγίου		47
4.3 Δοκιμής ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε περίσφιγξη και αύξησης της θλιπτικής αντοχής.		70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91	

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρωτίστως, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον καθηγητή μας Δρ. Π. Κακαβά-Παπανιάρου για την εμπιστοσύνη και την αμέριστη συμπαράστασή του στην εκπόνηση της εργασίας μας. Στάθηκε πολύτιμος αρωγός της προσπάθειάς μας και καθοδηγητής σε όλα τα βήματά μας. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλουμε στις οικογένειες μας και ιδιαιτέρως στους γονείς μας τους οποίους ευγνωμονούμε για τη βοήθεια, τη στήριξη και τη συμβουλή τους φτάσαμε ως το σημείο να ολοκληρώνουμε πια τις προπτυχιακές σπουδές μας.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ:

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής δηλώνω υπεύθυνα σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά για τη συγκεκριμένη εργασία.

Οι φοιτητές:

Τσούκνος Σωτήριος του Λαζάρου & Τσούκνος Σωτήριος του Γεωργίου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο αριθμός των κατασκευών που πρέπει να ενισχυθεί έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, τόσο λόγω της απώλειας της ικανότητας μεταφοράς τους όσο και της αλλαγής στη χρήση τους, οδηγώντας σε αύξηση του φορτίου των υπηρεσιών τους. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνικές στην ενίσχυση αυτού του τύπου θήκης είναι τα χαλύβδινα φύλλα και η προσθήκη στρώματος σκυροδέματος στο υπάρχον. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως διάβρωση ή δυσκολίες στο χειρισμό και η απόδοσή τους οδήγησε στην αναζήτηση νέων μεθόδων. Έτσι εμφανίστηκε το πολυστρωματικό πολυμερές ινών (FRP), το οποίο με τις ιδιότητές του μπορεί να λύσει τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών μεθόδων.

Ο σκοπός της πτυχιακής αυτής είναι να παρουσιάσει μια κατάσταση της τεχνολογίας της χρήσης ενώσεων FRP σε ενίσχυση γέφυρας. Πρώτα απ' όλα, μιλάμε για βασικές πληροφορίες υλικού FRP, συμπεριλαμβανομένου του ορισμού, της περιγραφής των συστατικών του και των μηχανικών ιδιοτήτων που έχουν οι πολυμερείς ίνες ως δομικό υλικό.

Ο αριθμός των δομών που πρέπει να ενισχυθεί έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, είτε επειδή έχουν υποστεί απώλεια φέρουσας ικανότητας, είτε επειδή μια αλλαγή στη χρήση τους συνεπάγεται αυξημένα επίπεδα φορτίου υπηρεσίας. Μεταξύ των πιο κοινών τεχνικών ενίσχυσης κάμψης, υπάρχει η προσθήκη πάχους σκυροδέματος και συγκόλλησης χαλύβδινων πλακών. Ωστόσο, αρκετά μειονεκτήματα όπως προβλήματα διάβρωσης, δυσκολία χειρισμού και απόδοση έχουν προκαλέσει στην έρευνα για νέες μεθόδους. Τα εξωτερικά συγκολλημένα πολυμερή ενισχυμένα με¹ ίνες πολυμερή (FRP) εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 80 παρουσιάζοντας μερικές αξιοσημείωτες ιδιότητες που μπορούν να λύσουν τις ελλείψεις των παραδοσιακών μεθόδων.

Στο κεφάλαιο πρώτο περιγράφουμε εισαγωγικές έννοιες των ενισχύσεων κατασκευών με FRPs-ενισχυμένα πολυμερή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφερόμαστε στον τρόπο ενίσχυσης κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με FRPs.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφουμε τις διαδικασίες για την επισκευή της γέφυρας στην εθνική οδό Αθηνών-Πατρών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την εφαρμογή της μελέτης μας για την ενίσχυση της γέφυρας..

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τα σύνθετα FRPs

Πολυμερή σύνθετα ενισχυμένα με ίνες (FRP), που αναπτύχθηκαν κυρίως για την αεροδιαστημική και διάφορες βιομηχανίες είναι μια κατηγορία υλικών με μεγάλες δυνατότητες χρήσης σε πολιτικές υποδομές [1]. Από την κατασκευή της πρώτης σύνθετης υπερκατασκευής γεφυρών στο Miyun της Κίνας, το 1982, αποκτούν σταδιακά αποδοχή από πολιτικούς μηχανικούς ως νέο δομικό υλικό.

Κατά τη διάρκεια αυτών των 30 ετών, αποδείχθηκαν χρήσιμα σε μερικούς τομείς εφαρμογής: ως επί το πλείστον σε μορφή φύλλων και ταινιών για την ενίσχυση των υφιστάμενων κατασκευών γεφυρών και, ως ένα βαθμό, ως ενισχυτικές ράβδοι αντικατάσταση του χάλυβα ως οπλισμού σκυροδέματος.

Επίσης, πολλές κατασκευές στις οποίες τα σύνθετα FRP αντικατέστησαν παραδοσιακά υλικά έχουν κατασκευαστεί για δομικά στοιχεία όπως δοκούς, καταστρώματα γεφυρών και καλώδια παραμονής. Μεταξύ αυτών των κατασκευών υπάρχει μια σχετικά μεγάλη ποσότητα υβριδικών κατασκευών γεφυρών, όπου μόνο ένα μέρος της υπερκατασκευής είναι φτιαγμένο από σύνθετα FRP και πολύ μικρότερη ποσότητα κατασκευών γεφυρών από όλα τα σύνθετα, με υπερκατασκευές αποκλειστικά από αυτό το υλικό.

Ένας από τους πρωταρχικούς παράγοντες που οδήγησαν στην τρέχουσα μη ικανοποιητική κατάσταση της υποδομής μας είναι η διάβρωση της ενίσχυσης για επέκταση και έχει ως αποτέλεσμα την αποκόλληση ή αφαίρεση σκυροδέματος, απώλεια εφελκυσμού ή σε ορισμένες περιπτώσεις αστοχία. Επειδή οι ιδιοκτήτες υποδομής δεν μπορούν πλέον να αναβαθμίσουν και να αντικαταστήσουν υπάρχουσες κατασκευές χρησιμοποιώντας τα ίδια υλικά και μεθοδολογίες που είχαν

χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, είναι αναγκαίο να αναζητήσουν νεότερες τεχνολογίες, όπως η μη διαβρωτική ενίσχυση FRP, που θα αυξήσει τη διάρκεια ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα και θα μειώσει το κόστος συντήρησης. Τα FRPs, τα τελευταία δέκα έως είκοσι χρόνια, εμφανίστηκαν ως πολλά υποσχόμενο εναλλακτικό υλικό για ενίσχυση σκυροδέματος και ενίσχυση δομών.

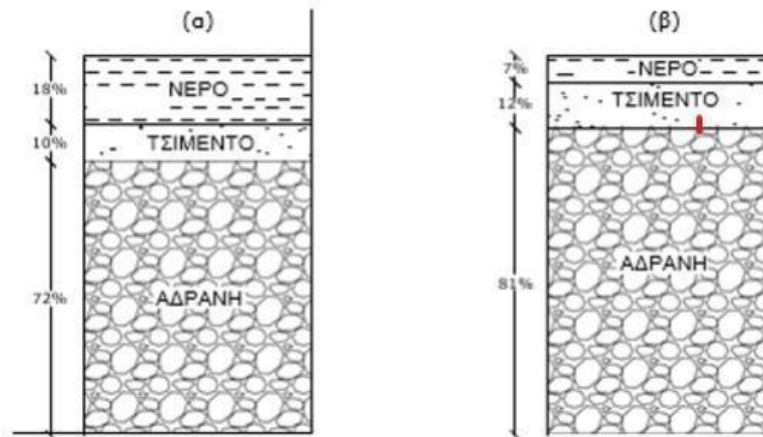
Είναι αυτός ο αυξανόμενος αριθμός δομών με την παρουσία πολυμερών ενίσχυσης ινών το κύριο κίνητρο για το οποίο πρέπει να μάθουμε περισσότερα σχετικά με τα ακριβή οφέλη αυτού του υλικού και ποια μπορεί να είναι το μέλλον του στον τομέα της πολιτικής μηχανικής και πιο συγκεκριμένα στην ενίσχυση γεφυρών με χρήση Fiber Reinforced Polymers (FRP). Ο στόχος της εργασίας είναι να κάνει μια ιστορική ανασκόπηση ενισχυμένου με ίνες πολυμερούς (FRP), να κάνει μια επισκόπηση των ιδιοτήτων τους και να προβάλλει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που έχει η χρήση FRP μπροστά από άλλα υλικά. Επίσης, θα θέλαμε να ελέγξουμε ότι, όπως συζητήθηκε σε αυτή την εργασία, το FRP είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την ενίσχυση των γεφυρών. Σε αυτήν την κατεύθυνση θα αναλυθεί σε βάθος μια ανάλυση περίπτωσης μελέτης.

1.2 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό υλικό (τεχνητός λίθος) που παρασκευάζεται με την ανάμιξη σε κατάλληλες αναλογίες τσιμέντου, αδρανών (άμμος, σκύρα κτλ.) και νερού. Τα τρία επιμέρους υλικά αναμιγνύονται με κατάλληλες αναλογίες και στη συνέχεια το νωπό σκυρόδεμα που προκύπτει συμπυκνώνεται και συντηρείται ούτως ώστε να έρθει στην τελική του μορφή (στερεό σώμα) και να αποκτήσει προδιαγεγραμμένες ιδιότητες αντοχής και ανθεκτικότητας.

Είναι προφανές ότι το ποσοστό των αδρανών και του τσιμέντου είναι μεγαλύτερο όταν παρουσιάζονται οι αναλογίες βάρους σε σχέση με τις αναλογίες όγκου, λόγω του μεγαλύτερου ειδικού βάρους των υλικών αυτών σε σχέση με το ειδικό βάρος του νερού.

Το ειδικό βάρος του άοπλου σκυροδέματος μπορεί να λαμβάνεται στους υπολογισμούς ίσο με 24 kN/m^3 , ενώ το ειδικό βάρος του οπλισμένου ή του προεντεταμένου σκυροδέματος ίσο με 25 kN/m^3 . Οι αντοχές (θλιπτική, εφελκυστική κτλ.) καθώς και διάφορες άλλες ιδιότητες του σκυροδέματος καθορίζονται βάσει τυποποιημένων δοκιμών, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (Κ.Τ.Σ. 1997).



1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ | ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΠΟΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, Msc ΚΙΡΤΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ, ΠΟΛ. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ, Msc²

1.3 Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

Η σημαντικότερη ίσως ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η θλιπτική του αντοχή. Το σκυρόδεμα, ακόμα και το άοπλο, εμφανίζει μεγάλη αντοχή σε θλίψη γεγονός στο οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η χρήση του υλικού στις κατασκευές.

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος συμβολίζεται ως f_c (c: concrete) στους κανονισμούς οπλισμένου σκυροδέματος και αναφέρεται στην μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Η αντοχή αυτή μετράται στις 28 ημέρες σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150mm και ύψους 300mm ή κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm, σύμφωνα με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος.

Ο κανονισμός οπλισμένου σκυροδέματος ορίζει σαν βάση τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή f_{ck} . Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου f_{ck} ή κυβικού

δοκιμίου $f_{ck,cube}$ θεωρείται εκείνη η τιμή αντοχής κάτω της οποίας υπάρχει 5% πιθανότητα να βρεθεί η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου.

Όπως είναι φυσικό, η μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος f_{cm} (m : mean), δηλαδή η μέση τιμή των αντοχών δύο ή περισσότερων δοκιμίων από το ίδιο δείγμα σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από την χαρακτηριστική αντοχή f_{ck} . Ο κανονισμός συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη με την παρακάτω σχέση: $f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa).

1.4 Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος

Ο όρος εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στη μέγιστη τάση την οποία μπορεί να παραλάβει το (άοπλο) σκυρόδεμα όταν υποβάλλεται σε μονοαξονικό εφελκυσμό μέχρι να ρηγματωθεί.

Συμβολίζεται ως f_{ct} (t : tension) και όπως είναι αναμενόμενο η τιμή της είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή σε θλίψη. Η μικρή τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος είναι ίσως το σημαντικότερο ρόβλημα του ως δομικό υλικό.

Για την αντιμετώπισή του τοποθετούνται στο σκυρόδεμα οπλισμοί από χάλυβα, οι οποίοι είναι αυτοί που καλούνται να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στα δομικά στοιχεία, όπως θα δούμε με λεπτομέρεια στα επόμενα κεφάλαια. Ως τάξη μεγέθους η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι περίπου το 1/10 της αντίστοιχης θλιπτικής αντοχής.

Στον πίνακα παρακάτω παρουσιάζεται η μέση τιμή της εφελκυστικής αντοχής καθώς και οι χαρακτηριστικές εφελκυστικές αντοχές $f_{ctk0.05}$ και $f_{ctk0.95}$.

F_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$F_{ctk 0.05}$	1.10	1.30	1.50	1.80	2.00	2.20	2.50	2.70	2.90
F_{ctm}	1.60	1.90	2.20	2.60	2.90	3.20	3.50	3.80	4.10
$F_{ctk 0.95}$	2.00	2.50	2.90	3.30	3.80	4.20	4.60	4.90	5.30

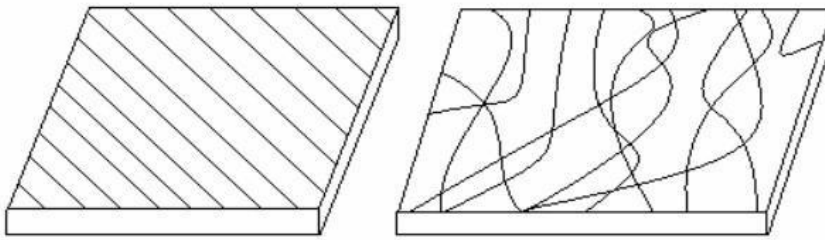
Κεφάλαιο 2ο Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με Ενισχυμένα Πολυμερή με ίνες (FRPs)

2.1 Εισαγωγή

Η ενίσχυση – αποκατάσταση της φέρουσας ικανότητας κατασκευών από σκυρόδεμα μέχρι πρόσφατα αποτελούσε μείζον πρόβλημα, καθώς απαιτούσε σημαντικό χρόνο, χώρο και κόπο για να επιλυθεί. Κύριο μειονέκτημα των έως τώρα επεμβάσεων ήταν η δυσκολία εφαρμογής τους. Η επιστημονική έρευνα στο πεδίο αυτό κατέληξε στην ανάπτυξη μιας νέας τεχνικής ενίσχυσης με χρήση σύνθετων υλικών που αποτελούνται από το συνδυασμό ινών (π.χ. άνθρακα, γυαλιού, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης ή πλεγμένες σε ύφασμα ώστε να σχηματίζουν αντίστοιχα δύσκαμπτα ελάσματα ή εύκαμπτα υφάσματα μίας ή δύο διευθύνσεων (Ινοπλισμένα πολυμερή – Fiber Reinforced Polymers- FRP). Η ενίσχυση με FRP μπορεί να εφαρμοσθεί σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως δοκοί, πλακοδοκοί, πλάκες, υποστυλώματα, τοιχία, κόμβοι, σε στοιχεία από φέρουσα τοιχοποιία καθώς και σε στοιχεία από ξύλο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως τένοντες ή ως μέσο ενίσχυσης στο σκυρόδεμα, είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό με προεντεταμένο χάλυβα ή χάλυβα οπλισμού. Η εφαρμογή τους ως οπλισμός ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας τοιχοποιίας συνίσταται στην μέσω εποξειδικών ρητινών επικόλληση τους σε εξωτερικές επιφάνειες δομικών μελών με προσανατολισμό ινών τέτοιο ώστε να παραλαμβάνουν εφελκυστικές δυνάμεις.

2.2 Περιγραφή Συστατικών

Τα σύνθετα υλικά ινών αποτελούνται από ίνες εμποτισμένες με ρητίνη ή μη. Ανάλογα με τον προσανατολισμό των ινών, διακρίνονται σε: προσανατολισμένα (directional) με ίνες συνεχείς και ίδιας διεύθυνσης και σε μη προσανατολισμένα (random), με ίνες τυχαία τοποθετημένες στο συνδετικό υλικό.



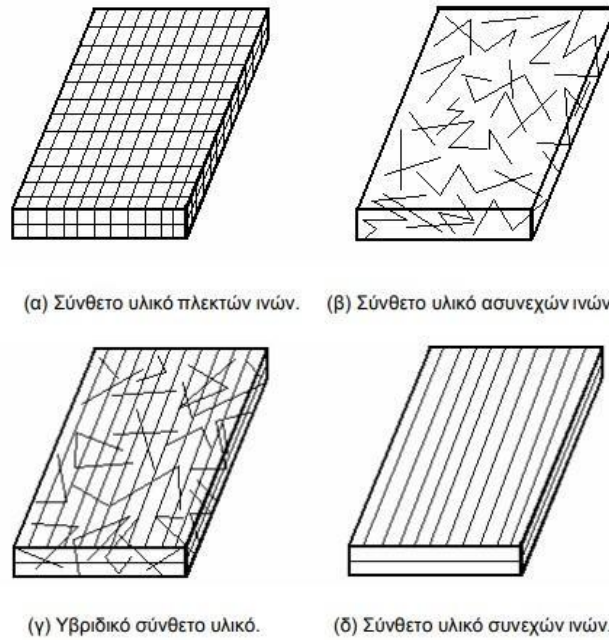
Εικόνα 2- 3:(α) Προσανατολισμένο σύνθετο υλικό

(β) Μη προσανατολισμένο σύνθετο υλικό

Ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης και τον συνδυασμό των ινών τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε:

- Πλεκτών ινών (woven fiber), που αποτελούν συνεχές σώμα χωρίς επιμέρους στρώματα, οπότε δεν παρουσιάζουν πιθανότητες αποκόλλησης. Έχουν όμως μικρή αντοχή λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης τάσεων και του μεγάλου ποσοστού ρητίνης
- Ασυνεχών ινών (chopped fiber) , τα οποία έχουν κοντές ίνες διάσπαρτες μέσα στο συνδετικό υλικό, και μηχανική αντοχή κατώτερη απ' αυτήν των συνεχών ινών.
- Υβριδικά (hybrid), τα οποία αποτελούνται είτε από συνεχείς, ή από συνεχείς ίνες, ή από περισσότερους του ενός τύπους ινών. Χρησιμοποιούνται για να πετύχουν επιθυμητές ιδιότητες που το σύνθετο υλικό δεν διαθέτει.

- Συνεχών ινών (continuous fiber), που στρώματα συνεχών ινών - ρητίνης τοποθετούνται στην κατάλληλη διεύθυνση και συνδέονται αποτελώντας ένα σώμα, παρουσιάζοντας έτσι, μεγάλη αντοχή. Η αποκόλληση μεταξύ των στρωμάτων συνεχών ινών- ρητίνης είναι πιθανή.



Εικόνα 2- 4: Τύποι σύνθετων υλικών ινών.

Για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών χρησιμοποιούνται κυρίως προσανατολισμένα σύνθετα υλικά συνεχών ινών τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή. Ο προσανατολισμός των ινών όμως, δίνει στο σύνθετο υλικό ανισοτροπική συμπεριφορά, σε αντιστοιχία με τη συμπεριφορά του οπλισμένου σκυροδέματος, δίνοντας τη δυνατότητα στους μελετητές να13 διευθετήσουν κατά τέτοιο τρόπο τις στρώσεις του υλικού ώστε να ενισχυθεί το μέλος στη διεύθυνση που αναπτύσσονται οι υψηλότερες τάσεις. Τα βασικά συστατικά των σύνθετων υλικών ως σύστημα

ενίσχυσης είναι: οι ίνες (Σχ.1) σε πολυμερική μήτρα και η κόλλα εφαρμογής τους σε επιφάνειες σκυροδέματος ή τοιχοποιίας. Πιο αναλυτικά:

Ίνες

Στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων οι πιο κοινές χρησιμοποιούμενες ίνες διαμέτρου 5-25μm είναι : α) Οι ίνες γυαλιού (με πυκνότητα 2300-2400 kg/m³). Υπάρχουν 4 τύποι υαλονημάτων: τύπου E με μειονέκτημα τη μείωση της αντοχής στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, τύπου Z ή AR με μεγάλη αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον, τύπου S με υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας. β) Οι ίνες άνθρακα(με πυκνότητα 1800-1900 kg/m³). Οι τύποι των ανθρακονημάτων διαφέρουν ανάλογα αν παρασκευάζονται από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου (υψηλής εφελκυστικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας) είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωριστά ή από κοινού με τις ίνες γυαλιού ως υβρίδιο για να αυξηθεί η ακαμψία ενός δομικού μέλους. γ) Οι ίνες αραμιδίου (με πυκνότητα 1450 kg/m³)- διακρίνονται ανάλογα αν προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Κέβλαρ 29-χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, Κέβλαρ 49-υψηλού μέτρου ελαστικότητας) ή αρωματικό πολυαιθεραμίδιο, με κύριο πλεονέκτημα την πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία.

Μήτρα

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι πολυμερών που χρησιμοποιούνται ως μήτρες: θερμοσκληρυνόμενα και θερμοπλαστικά. Τα θερμοσκληρυνόμενα χρησιμοποιούνται στον κλάδο των οικοδομικών και τεχνικών έργων και είναι οι εποξειδικές ρητίνες και σπανιότερα ο πολυεστέρας ή βινυλεστέρας. Οι εποξειδικές ρητίνες υπερέχουν των άλλων τύπων μήτρας λόγω των εξαιρετικών μηχανικών χαρακτηριστικών και της μεγάλης ανθεκτικότητας σε δυσμενείς περιβαλλοντικές επιδράσεις. Προσφάτως έχουν γίνει προσπάθειες αντικατάστασης των πολυμερικών μητρών με υλικά βασισμένα στο τσιμέντο (τσιμεντο- κονιάματα τροποποιημένα με πολυμερή, TRM).

Κόλλα

Κατά κανόνα χρησιμοποιείται ως κόλλα εποξειδική ρητίνη δυο συστατικών που εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών: χρόνος εργασιμότητας (pot life), χρόνος εφαρμογής (open time), θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g (glass transition temperature).

2.3 Χαρακτηριστικά και εφαρμογές συνθέτων υλικών από ινοπλισμένα πολυμερή – Τρόποι αστοχίας.

Τα ελάσματα ΙΟΠ συνδέονται εξωτερικά στα δομικά μέλη με χρήση συγκολλητικών ουσιών (π.χ. εποξικής κόλλας,) αυξάνοντας τη φέρουσα ικανότητα του μέλους. Όπως σε κάθε εξωτερικά συνδεόμενο σύστημα, ο δεσμός μεταξύ των σύνθετων υλικών και του ήδη υπάρχοντος σκυροδέματος είναι κρίσιμος, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή συμπεριφορά του σύνθετου με το υπάρχον μέλος. Συνεπώς η κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του μέλους είναι μια απαραίτητη διαδικασία με στόχο την απομάκρυνση αδύναμων και ενανθρακωμένων στρώσεων ή σκόνης από την επιφάνεια του σκυροδέματος, καθώς και η εξομάλυνσή της, για να έχουμε μια επιτυχημένη συγκόλληση που θα ενισχύσει την κατασκευή. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που εμφανίζουν τα ελάσματα ΙΟΠ στην εφαρμογή τους ως εξωτερικά επικολλούμενος οπλισμός στοιχείων σκυροδέματος είναι η πολύ υψηλή εφελκυστική αντοχή (όσο και των ισχυρότερων χαλύβων προέντασης), η αντοχή στη διάβρωση, η διάθεση σε πολύ μεγάλα μήκη και η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ακόμα και σε μέλη κατασκευής που έχουν δύσκολη πρόσβαση. Επιπροσθέτως, το χαμηλό κόστος εφαρμογής (ανάλογο των παραδοσιακών μεθόδων επισκευής και ενίσχυσης), το γεγονός ότι απαιτούν ελάχιστο ή και καθόλου βαρύ εξοπλισμό για την τοποθέτηση τους καθώς έχουν πολύ απλή εφαρμογή και το πολύ μικρό ίδιο βάρος που σε συνδυασμό με τη μεγάλη ευκαμψία καθιστά πολύ εύκολη τη μεταφορά και διευκολύνει την εφαρμογή. Ακόμα, οι 16 διαστάσεις του ενισχυόμενου δομικού υλικού παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες, λόγω του μικρού πάχους του σύνθετου υλικού και μπορούν επίσης, να επιχριστούν και να χρωματιστούν, διατηρώντας έτσι την αισθητική και την αρχιτεκτονική της υπάρχουσας κατασκευής. Μειονεκτήματα αποτελούν ο ψαθυρός χαρακτήρας της αστοχίας τους και οι υψηλές διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια σκυροδέματος – συνδετικού μέσου στην περιοχή των αγκυρώσεών τους. Ο “δεσμός” σύνθετων υλικών -σκυροδέματος,

μπορεί να αστοχήσει πρόωρα, δηλαδή πριν εξαντληθεί η καμπτική αντοχή του ενισχυμένου στοιχείου. Ειδικότερα, οι τρόποι αστοχίας λόγω έλλειψης συνάφειας, είναι είτε με διάδοση ρωγμών στη διεπιφάνεια μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού που μπορεί να οφείλονται σε ατέλειες του συνδετικού υλικού, σε ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών λόγω κάμψης, σε τοπική αποκόλληση του σύνθετου φύλλου όταν η επιφάνεια του σκυροδέματος δεν είναι επίπεδη και σε καταπόνηση του μέλους λόγω κόπωσης. Ακόμα με αποκόλληση του σύνθετου φύλλου λόγω του κατακόρυφου και οριζόντιου ανοίγματος ενδεχομένων διατμητικών ρωγμών ή με διατμητική αστοχία της στρώσης του σκυροδέματος μεταξύ του οπλισμού ενίσχυσης και του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού, κοντά στα άκρα του σύνθετου φύλλου. Τα παραπάνω προϋποθέτουν την λήψη κατάλληλων μέτρων για την αποφυγή της αποκόλλησης, όπως είναι να λαμβάνεται επαρκές μήκος αγκύρωσης (lb) των εξωτερικών οπλισμών και να ικανοποιούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις κρίνεται σκόπιμη η βελτίωση της αγκύρωσης με μηχανικούς τρόπους, όπως η εξωτερική περίσφιξη των άκρων των φύλλων μέσω κατακόρυφου εξωτερικού οπλισμού. Ο οπλισμός ενίσχυσης των σύνθετων υλικών στην κατάσταση οριακής φέρουσας ικανότητας, δεν διαρρέει όπως ο χάλυβας, αλλά έχει μεγάλη ελαστική παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή εξαρτάται κυρίως από την ικανότητα του σκυροδέματος να μεταφέρει μέσω διάτμησης τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στα σύνθετα υλικά και είναι, κατά κανόνα, μικρότερη από τη μέγιστη εφελκυστική παραμόρφωση (θραύσης) των σύνθετων υλικών. Τα ΙΟΠ εξαιτίας της μεγάλης ανθεκτικότητας στην ηλεκτροχημική διάβρωση και του υψηλού λόγου της αντοχής προς το βάρος τους, βρήκαν μεγάλη εφαρμογή στην επισκευή και ενίσχυση των κατασκευών, όπως στην όπλιση και προένταση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τη σεισμική ενίσχυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα αλλά και από άοπλη τοιχοποιία, την ενίσχυση κτιριακών κατασκευών και γεφυρών. Εφαρμόζονται σε δοκούς και σε πλάκες για να αυξήσουν την καμπτική τους ικανότητα και τη διατμητική τους αντοχή και σε υποστυλώματα για να αυξήσουν την ικανότητα μεταφοράς φορτίων και την ολκιμότητα τους για περιπτώσεις σεισμού.



Advanced Structural Technologies



Advanced Structural Technologies

Εικόνα 2- 4: Εργάτες τοποθετούν δύο τμήματα περικάλυμτος ινοπλισμένου πολυμερούς σε ένα υποστήλωμα.

Εικόνα 2- 8: Στο ίδιο υποστήλωμα τοποθετείται γκρι χρωματισμός για να ταιριάζει με το σκυρόδεμα του υποστυλώματος.



Advanced Structural Technologies

Εικόνα 2- 9: Αυτή η όψη της γέφυρας (Chatham County bridge) είναι στα τελικά στάδια περικάλυψης με ινοπλισμένα πολυμερή και τα στάδια του βαψίματος. Η ολοκληρωμένη εργασία διακρίνεται από το ανοιχτό γκρι χρώμα.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 2- 11(α, β, γ): Κατάστρωμα γέφυρας σε ανισόπεδη διάβαση. Ζημιά από όχημα με ύψος πέραν του επιτρεπόμενου και επισκευή με σύνθετα υλικά.

2.4 Συστήματα Ενίσχυσης

Τα συστήματα ενίσχυσης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ή φέρουσας ικανότητας με σύνθετα υλικά είναι γενικά δύο τύπων; α. “υγρής εφαρμογής”(ή επί τόπου σκλήρυνση της μήτρας) και β. προκατασκευασμένα” (η σκλήρυνση τη μήτρας έχει προηγηθεί της εφαρμογής).

Παρακάτω γίνεται συνοπτικά η παρουσίαση αυτών των συστημάτων.

Συστήματα υγρής εφαρμογής:

- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας (κυρίως) διεύθυνσης, χωρίς μήτρα
- Υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνέχεις ίνες σε δύο τουλάχιστον διευθύνσεις, χωρίς μήτρα
- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μίας διεύθυνσης προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή.
- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε τουλάχιστον δύο διευθύνσεις, προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος, το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος. Προεμποτισμένες συνεχείς ίνες, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος (tow), το οποίο ενώ τυλίγεται στο υπό ενίσχυση δομικό μέλος, υφίσταται ενδεχομένως και πρόσθετο σπλισμό.

Προκατασκευασμένα Υλικά :

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα (strips), τα οποία επικολούνται μέσω ρητίνης. Τα ελάσματα διατίθενται συνήθως σε μορφή ρολών “κουλούρες”, και παράγονται με τη μέθοδο εξελασης ή σπανιότερα της στρωμάτωσης.
- Προκατασκευασμένες ράβδοι (bars)κυκλικής ή συνήθως ορθογωνικής διατομής, οι οποίες τοποθετούνται σε επιφανειακές εγκοπές γεμισμένες με ρητίνη ή πολυμερή κονίαμα.
- Προκατασκευασμένα κελύφη (shells), μανδύες (jackets) ή γωνίες (angles), τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης.

Σε γενικές γραμμές τα προκατασκευασμένα ελάσματα προτιμώνται έναντι των υφασμάτων (ή φύλλων) όταν η εφαρμογή γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες (π.χ. καμπτική ενίσχυση δοκών ή πλακών, χιαστί ή οριζόντια διάταξη για τοιχοποιίες σε εντός επιπέδου τέμνουσα) και απαιτούνται σημαντικά πάχη, ενώ σε άλλες περιπτώσεις (π.χ. μανδύες υποστυλωμάτων, διατμητική ενίσχυση δοκών) η εφαρμογή υφασμάτων μέσω της υγρής μεθόδου είναι προτιμητέα.

2.5 Τεχνικές Εφαρμογής

Η επιλογή του τύπου, της μορφής και της μεθόδου εφαρμογής των σύνθετων υλικών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η γεωμετρία και οι διαστάσεις των ως προς ενίσχυση στοιχείων, το είδος της εντατικής τους καταπόνησης, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η εμπειρία του μηχανικού και του εργατικοτεχνικού προσωπικού καθώς και ο προϋπολογισμός της επέμβασης.

Βασική τεχνική:

Η βασική τεχνική, η οποία είναι και η πλέον συνηθισμένη (και εφαρμόζεται ουσιαστικά κατ' αποκλειστικότητα στη χώρα μας), περιλαμβάνει την δια χειρός επικόλληση είτε υφασμάτων (προεμπροτισμένων με ρητίνη ή μη προεμπροτισμένων), είτε προκατασκευασμένων στοιχείων (π.χ. ελάσματα) σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος ή τοιχοποιίας, μέσω εποξειδικών ρητινών.

Ειδικές τεχνικές:

- Αυτοματοποιημένη περιτύλιξη
- Εφαρμογή με προένταση
- Επιταχυμένη σκλήρυνση με θέρμανση
- Προκατασκευασμένα στοιχεία
- Εφαρμογή ράβδων εγκοπής
- Μηχανική στερέωση ελασμάτων με αγκύρια
- Πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα

2.6 Προδιαγραφές – Κανονισμοί

ΕΠΙΚΟΛΛΗΣΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ/ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ

Αποδεκτά υλικά:

A. Για την εξομάλυνση της επιφάνειας του υποστρώματος, χρησιμοποιούνται μη συρρικνούμενα τσιμεντοειδή κονιάματα ή εποξειδικές πάστες με συνάφεια και εφελκυστική αντοχή, τουλάχιστον κατά 50% μεγαλύτερη από την εφελκυστική αντοχή του υποστρώματος. Τα υλικά πρέπει να συνοδεύονται από αναλυτικά τεχνικά φυλλάδια του παραγωγού, υπόκειται σε έγκριση της Υπηρεσίας.

B. Η χρήση ελασμάτων από ανθρακονήματα υψηλού μέτρου ελαστικότητας δε συνίσταται, επειδή τα υλικά αυτά έχουν μικρή παραμορφωσιμότητα. Κρίσιμος παράγων είναι η θερμική αντοχή των ελασμάτων, η οποία ορίζεται ως η θερμοκρασία άνω της οποίας το πολυμερές και το συγκολλητικό υλικό αρχίζουν να αποδομούνται και να χάνουν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Η κρίσιμη θερμοκρασία για τα ελάσματα CFRP κυμαίνεται μεταξύ 100οC - 300οC. Από θερμικής άποψης ασθενέστερο είναι το συγκολλητικό υλικό. Ο προσδιορισμός της θερμικής διαστολής των ελασμάτων γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 1770:1998. Επισημαίνεται ότι η ενίσχυση με ινοπλισμένα πολυμερή δεν αίρει τυχόν άλλα προβλήματα του στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως π.χ. διάβρωση του οπλισμού. Σύμφωνα με το πρότυπο EN 1542:1999 το σκυρόδεμα επί του οποίου θα συγκολληθούν τα ελάσματα πρέπει να διαθέτει αντοχή τουλάχιστον

Γ. Για την επικόλληση των ινοπλισμένων υφασμάτων θα χρησιμοποιούνται εποξειδικές κόλλες χωρίς ανενεργούς διαλύτες με τα εξής χαρακτηριστικά:

α) Εποξειδικές κόλλες δυο συστατικών (ρητίνη, σκληρυντής)

β) Η κατ' όγκον αναλογία ανάμειξης σκληρυντή προς ρητίνη θα υπερβαίνει το 1:3

γ) Το μέτρο ελαστικότητας του σκληρυμένου μίγματος δε θα είναι μικρότερο από το 1/30 του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος.

δ) Οι αντοχές της κόλλας σε θλίψη και εφελκυσμό θα είναι τουλάχιστον 50% μεγαλύτερες των αντίστοιχων αντοχών του σκυροδέματος.

Οι απαιτήσεις για τα συγκολλητικά υλικά πρέπει να είναι σύμφωνα με το πρότυπο του

EN 1504-4:2004 και το Δελτίο της FIB (Federation International du Beton).

ΠΡΟΣΩΠΙΚΟ-ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Το τεχνικό προσωπικό που θα ασχοληθεί με την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να έχει αποδεδειγμένη εμπειρία (βεβαιώσεις) εργοδοτών, σε έργα επισκευών και ενισχύσεων. Πριν την έναρξη των εργασιών να γίνεται δοκιμαστική εφαρμογή, προκειμένου η υπηρεσία να διαπιστώσει την ικανότητα του συνεργείου, το οποίο πρέπει να είναι πλήρως εξοπλισμένο. Η επίβλεψη τέλος να γίνεται από μηχανικό 5ετούς τουλάχιστον εμπειρίας.

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ/ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίδεται στην αποθήκευση τους πριν την χρήση τους. Πρέπει να αποφεύγεται η άμεση τοποθέτησή τους σε έδαφος ή δάπεδο κυρίως σε εξωτερικό περιβάλλον ενώ ένα κατάλληλο κάλυμμα κρίνεται απαραίτητο. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες θα πρέπει να λαμβάνονται επίσης υπόψη (όπως υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ακτίνες, χημικές ουσίες κτλ) τόσο κατά την αποθήκευση όσο και κατά τη χρήση και εφαρμογή τους. Τα FRP είναι επιρρεπή σε επιφανειακές φθορές και τομές με αιχμηρά αντικείμενα καταστάσεις που μπορούν να μειώσουν την αντοχή τους.

2.7 Ενδεικτικές Εφαρμογές

ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ Ή ΠΛΑΚΑΣ

Σχετικά υλικά:

- Ελάσματα από ίνες άνθρακα
- Εποξειδική πάστα επικόλλησης δύο συστατικών
- Ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μία διεύθυνση
- Εποξειδική ρητίνη εμπότισμού δύο συστατικών
- Εποξειδική πάστα δύο συστατικών
- Ινοπλισμένο, επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα υψηλών αντοχών

ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η απαίτηση αύξησης της καμπτικής αντοχής δοκού ή πλάκας οπλισμένου σκυροδέματος, μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις:

- Αύξηση των φορτίων ή αλλαγή χρήσης του χώρου.
- Ανάγκη προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανση των δομικών υλικών, διάβρωση του οπλισμού ή/και κατασκευαστικών ελαττωμάτων.
- Ανάγκη αποκατάστασης μετά από σεισμό.

ΛΥΣΗ

Η ενίσχυση σε κάμψη στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα (δοκοί, πλάκες, τοιχία κλπ.) επιτυγχάνεται με την εξωτερική επικόλληση σύνθετων υλικών στο εφελκόμενο πέλμα των παραπάνω στοιχείων. Κατά κύριο λόγω χρησιμοποιούνται για τη χρήση αυτή βιομηχανικά ελάσματα από ίνες άνθρακα, καθώς επίσης και υφάσματα από ανθρακονήματα μίας διεύθυνσεως, τα οποία τοποθετούνται με τις ίνες τους κατά την διεύθυνση του οπλισμού του στοιχείου. Με την εν λόγω ενίσχυση επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της καμπτικής αντοχής.
- Αύξηση της καμπτικής ακαμψίας (μείωση τωνπαραμορφώσεων).
- Μείωση της αναμενόμενης ρηγμάτωσης.
- Βελτίωση της συμπεριφοράς σε κόπωση.

Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης, όπως είναι η επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων, τα ελάσματα ανθρακονημάτων παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχουν μικρό βάρος, διατίθενται σε ρολά και κόβονται επιτόπου στο επιθυμητό μήκος. Γενικά, η εφαρμογή τους είναι εύκολη, γρήγορη και οικονομική.
- Αντέχουν στο χρόνο, την κόπωση, την υγρασία και τη διάβρωση.
- Έχουν μικρό πάχος και καλύπτονται/βάφονται πολύ εύκολα.

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

Τα στοιχεία προς ενίσχυση θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν αποφορτισμένα δεδομένου ότι τα σύνθετα υλικά αρχίζουν να ενεργούν με την αύξηση της υπάρχουσαςπαραμόρφωσης.

Η βέλτιστη δυνατή συγκόλληση του ελάσματος (άριστη προετοιμασία υποστρώματος), καθώς και η επαρκής αγκύρωσή του (πέραν της περιοχής που απαιτείται καμπτική ενίσχυση), είναι απαραίτητη προϋπόθεση για τη μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα τηςενίσχυσης.

Συνιστάται να αποφεύγονται οι ματίσεις, οι οποίες ούτως ή άλλως δεν είναι απαραίτητες λόγω της διαθεσιμότητας των υλικών σε μεγάλα μήκη, ενώ επιτρέπονται οι διασταυρώσεις ελασμάτων ή υφασμάτων (με επικόλληση στις επιφάνειες επαφής). Εάν απαιτείται έλεγχος αντοχής του υποστρώματος, αυτός γίνεται με τη μέθοδοPull off.

Τα ελάσματα έχουν ενσωματωμένη ειδική ταινία και στις δύο επιφάνειές τους, που αφαιρείται λίγο πριν την εφαρμογή και διασφαλίζει χωρίς καθάρισμα και τρίψιμο,

μια αδρή και απόλυτα καθαρή επιφάνεια, για καλύτερη πρόσφυση τόσο της ρητίνης, όσο και της τελικής τσιμεντοειδούς επικάλυψης.

Για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής θα μπορούσαν να τοποθετηθούν 1- 2 επιπλέον της στατικής μελέτης ελάσματα τα οποία θα ελεγχθούν με τη μέθοδο Pull off αμέσως μετά την σκλήρυνση του συστήματος ή περιοδικά στη διάρκεια ζωής της ενίσχυσης. Ο χρόνος κατεργασίας των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.). Η προστασία είναι απαραίτητη και σε περιπτώσεις έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5oC.

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ

Σχετικά υλικά:

- Ύφασμα από ίνες άνθρακα σε μία διεύθυνση
- Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού 2 συστατικών
- Εποξειδική πάστα 2 συστατικών
- Ινοπλισμένο, επισκευαστικό τσιμεντοκονίαμα υψηλών αντοχών

ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ-ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ

Η απαίτηση αύξησης της αντοχής δοκών οπλισμένου σκυροδέματος σε τέμνουσα, μπορεί να παρουσιαστεί στις εξής περιπτώσεις:

- Αύξηση των φορτίων ή αλλαγή χρήσης του χώρου.

- Ανάγκη προσαρμογής παλαιών κατασκευών σε νέους κανονισμούς.
- Γήρανση των δομικών υλικών, διάβρωση του οπλισμού ή/και κατασκευαστικών ελαττωμάτων.
- Ανάγκη αποκατάστασης μετά από σεισμό

ΛΥΣΗ

Μέσω της επικόλλησης του υφάσματος σε διεύθυνση κάθετη προς αυτή των δοκών, επιτυγχάνεται:

- Αύξηση της διατμητικής αντοχής.
- Δραστική μείωση της πιθανότητας ψαθυρής αστοχίας.
- Σημαντική βελτίωση της συμπεριφοράς των δοκών σε ανακυκλιζόμενες φορτίσεις (σεισμούς) και αύξηση της πλαστιμότητας. Η ενίσχυση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη μορφή:
- Συνεχών μανδύων ή λωρίδων ανά διαστήματα
- Κλειστών μανδύων (περιβάλλουν εντελώς τη δοκό) ή μανδύων ανοιχτού τύπου (λωρίδες με αγκύρωση στα άκρα τους, κατά προτίμηση στη θλιβόμενη ζώνη της δοκού).

Αν και οι κλειστοί μανδύες αποτελούν τη βέλτιστη λύση από άποψη μηχανικής συμπεριφοράς, αυτό δεν είναι εφικτό στις περισσότερες περιπτώσεις δοκών, λόγω της ύπαρξης πλακών και άλλων στοιχείων στηριζόμενων σε αυτές που δεν επιτρέπουν το τύλιγμα του υφάσματος γύρω από την άνω παρειά της δοκού. Έτσι, σε περίπτωση πλακοδοκών, ο συνήθης τρόπος ενίσχυσης είναι με το σύνθετο υλικό σε σχήμα U στις πλευρές και στην κάτω παρειά του στοιχείου. Σε σχέση με τις συμβατικές επεμβάσεις ενίσχυσης, όπως είναι οι μεταλλικοί μανδύες ή οι μανδύες από οπλισμένο σκυρόδεμα, οι μανδύες παρουσιάζουν τα εξήςπλεονεκτήματα:

- Ευκολία και ταχύτητα εφαρμογή.
- Αύξηση της αντοχής των δομικών στοιχείων χωρίς μεταβολή της γεωμετρίας ή αύξηση της δυσκαμψίας τους.
- Ανθεκτικότητα στο χρόνο και προστασία του οπλισμού από την υγρασία και τη διάβρωση.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Το υπόστρωμα καθαρίζεται επιμελώς από χαλαρά τμήματα, σοβάδες, χρώματα, λίπη κλπ. και στη συνέχεια τρίβεται καλά με σκληρή βούρτσα. Υφιστάμενες ρηγματώσεις αποκαθίστανται με τη βοήθεια ρητινενέσεων. Οι εξωτερικές γωνίες στρογγυλεύονται σε ακτίνα 10-30 mm. Οι επιφάνειες εφαρμογής πρέπει να είναι επίπεδες. Τυχόν επιδιορθώσεις στην επιπεδότητα του υποστρώματος γίνονται με τη βοήθεια του ινοπλισμένου τσιμεντοκονιάματος ή της εποξειδικής πάστας. Η σωστά προετοιμασμένη επιφάνεια επαλείφεται με την εποξειδική ρητίνη. Το ύφασμα κόβεται με ψαλίδι στις απαιτούμενες διαστάσεις, τοποθετείται προσεκτικά, καλά τεντωμένο στη νωπή επίστρωση και πατιέται σχολαστικά με πλαστικό ρολό, για καλύτερη επαφή με το υπόστρωμα, πλήρη εμποτισμό του και απομάκρυνση των φυσαλίδων αέρα. Εάν παρά το σχολαστικό πάτημα, παραμένουν στεγνά σημεία στο ύφασμα, τα σημεία αυτά επαλείφονται και εξωτερικά με εποξειδική ρητίνη (ώστε ολόκληρο το ύφασμα να είναι τέλεια εμποτισμένο). Κατά την περιτύλιξη υποστρωμάτων απαιτείται επικάλυψη των δύο άκρων της λωρίδας κατά 15-20 cm. Εφόσον η μελέτη προβλέπει περισσότερες στρώσεις, η παραπάνω διαδικασία εφαρμογής επαναλαμβάνεται. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει η προηγούμενη επίστρωση με εποξειδική ρητίνη να μην έχει στεγνώσει εντελώς, ειδάλως απαιτείται καλό τρίψιμο της επιφάνειας πριν τη νέα εφαρμογή. Η τελευταία στρώση επαλείφεται επίσης με εποξειδική ρητίνη και στη νωπή ακόμα τελική επάλειψη γίνεται επίταση χαλαζακής άμμου, προκειμένου να ακολουθήσει αργότερα προστατευτική τσιμεντοειδής επικάλυψη.

Η αποδοτικότητα της περίσφιγξης καθορίζεται από το λόγο πλευρών της διατομής του υποστρώματος (μεγαλύτερος λόγος πλευρών συνεπάγεται μικρότερο συντελεστή απόδοσης), καθώς και την ακτίνα καμπυλότητας στις γωνίες (μεγαλύτερη καμπυλότητα συνεπάγεται καλύτερη απόδοση της περίσφιγξης). Εάν απαιτείται έλεγχος αντοχής του υποστρώματος, αυτός γίνεται με τη συσκευή Pull off.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται κατά την κοπή του υφάσματος ώστε να μη δημιουργηθούν διπλώσεις και τσακίσεις στο ύφασμα. Επίσης, η επιφάνεια των υφασμάτων πρέπει να είναι καθαρή κατά την τοποθέτησή τους χωρίς σκόνη, γράσα κλπ.

Κατά την περιτύλιξη των υποστηλωμάτων δεν απαιτείται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ δύο διαδοχικών καθ' ύψος λωρίδων. Η απόστασή τους ωστόσο δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 10 mm.

Ο χρόνος εφαρμογής των εποξειδικών συστημάτων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του σκυροδέματος κατά την ενίσχυση με σύνθετα υλικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη των +5°C. Επειδή κατά την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών στην κατασκευή (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιάς), μειώνεται σημαντικά η αποτελεσματικότητα της ενίσχυσης, είναι απαραίτητη η εξωτερική προστασία του μανδύα σύνθετων υλικών (ειδικά επιχρίσματα, γυψοσανίδες κλπ.).

Επίσης προστατευμένη πρέπει να είναι η τελική επισκευασμένη επιφάνεια και σε περιπτώσεις έκθεσης αυτής σε ηλιακή ακτινοβολία. Κατά την εφαρμογή είναι απαραίτητη η χρήση προστατευτικού εξοπλισμού (γάντια, γυαλιά κλπ.).

ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

Τυπικοί βαθμοί βλάβης που επισκευάζονται με εφαρμογές FRP είναι:

- Απλή ρηγμάτωση (πάχος ρωγμής: για δοκούς 2-5 mm, για υποστρώματα 0.53 mm). Οι βλάβες σε αυτό το βαθμό αποκαθίστανται με χρήση

εποξειδικών ρητινών και επικόλληση ελασμάτων ή σύνθετων υλικών στο σκυρόδεμα.

- Μερική Αποδιοργάνωση.

Οι βλάβες αυτού του βαθμού αποκαθίστανται με μερική καθαίρεση του βλαμμένου σκυροδέματος και αντικατάσταση αυτού με νέο σκυρόδεμα, ενίσχυση με νέους οπλισμούς ή επικόλληση χαλύβδινων ελασμάτων ή σύνθετων υλικών ή προσθήκη εξωτερικού μανδύα σκυροδέματος.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΜΕ FRP

- Επικόλληση Ελασμάτων σε Σκυρόδεμα (beton plaque)

Η επικόλληση γίνεται με εποξειδική ρητίνη στο εφελκυσμένο πέλμα των δοκών, στις κατακόρυφες παρειές των δοκών ή στους κόμβους. Τα ελάσματα πρέπει να είναι λεπτά (συνήθως 1 έως 1.5 mm) για να περιορισθεί η τάση αποκολλήσεως και επίσης για να είναι εύκαμπτα ώστε να κολλήσουν καλά και να συνεργαστούν με την παλαιάδοκό.

- Επισκευή με Σύνθετα Υλικά από Ίνες Υάλου Υψηλής Αντοχής.

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υάλου υψηλής αντοχής «συραμμένες ή πλεγμένες» σε μορφή «υφάσματος». Τα «υφάσματα» ινών, αφού εμποτιστούν με ειδικές εποξειδικές ρητίνες, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό υψηλής αντοχής το οποίο επικολλάται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου αποτελώντας μόνιμη επένδυση επισκευής και ενίσχυσής του. Η χρήση των σύνθετων υλικών μπορεί να θεωρηθεί ως εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα

- Σύνθετα υλικά ινών υάλου υψηλής αντοχής εμποτισμένων με κατάλληλες εποξειδικές ρητίνες

Τα σύνθετα υλικά εφαρμόζονται σε δομικά στοιχεία των οποίων οι ρηγματώσεις έχουν προετοιμασθεί με τσιμεντενέσεις, τσιμεντοκονιάματα, εποξειδικές ρητίνες ή εποξειδικά κονιάματα. Η εφελκυστική αντοχή των σύνθετων υλικών πρέπει να είναι τουλάχιστον 500 Μρα στην κύρια διεύθυνση των ινών υάλου. Λόγω του μικρού τους πάχους (περίπου 1.3 mm ανά στρώση) οι διαστάσεις του δομικού στοιχείου

παραμένουν πρακτικά αμετάβλητες, και το πρόσθετο βάρος στην κατασκευή είναι ουσιαστικά αμελητέο.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ

Ο μελετητής πρέπει να έχει υπόψη του ότι η επισκευή ενός κτιρίου με βλάβες από σεισμό που επηρεάζουν γενικότερα την ασφάλειά του αποτελεί ειδικό πρόβλημα που χρειάζεται βαθιά και εμπειριστατωμένη μελέτη για να καταλήξει σε λύση επιστημονικά, τεχνικά αλλά και οικονομικά αποδεκτή. Ιδιαίτερη σημασία έχει η συστηματική επίβλεψη καθώς και αυστηροί ποιοτικοί έλεγχοι τόσο για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν όσο και για τις τεχνικές που θα εφαρμοστούν.

2.8 Απαιτήσεις ποιοτικών ελέγχων και δοκιμών για την παραλαβή

Για την διαπίστωση της ορθής εφαρμογής των ινοπλισμένων πολυμερών πρέπει να διεξάγονται οι ακόλουθοι έλεγχοι:

ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο οπτικός έλεγχος αποσκοπεί στον εντοπισμό κακοτεχνιών (π.χ. ύπαρξη πτυχώσεων, φθορών ή τραυματισμών εγκλωβισμός αέρα μεταξύ υφάσματος και υποστρώματος ή μεταξύ υφασμάτων, ο ελλιπής εμποτισμός των υφασμάτων, η ανομοιομορφία της κατεύθυνσης των ινών, η δημιουργία πτυχώσεων, ο ελλιπής πολυμερισμός της εποξειδικής κόλλας, η μειωμένη συγκολλητική ικανότητα της εποξειδικής κόλλας, το ανεπαρκές μήκος αλληλοκάλυψης των υφασμάτων κλπ). Κατά την διάρκεια της επικόλλησης, θα ελέγχεται η εφαρμογή των κανόνων έντεχνης εκτέλεσης της υγρασίας ώστε τυχών κακοτεχνίες να εντοπίζονται έγκαιρα και να αίρονται πριν από την ολοκλήρωση της εργασίας.

ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ (ΚΡΟΥΣΤΙΚΟΣ) ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο μηχανικός έλεγχος γίνεται στο τέλος ή και σε ενδιάμεσα στάδια εκτέλεσης της εργασίας για την διαπίστωση της στερεότητας και της συνοχής της επέμβασης με ελαφριές κρούσεις με σφυρί πλαστικής ή ελαστικής επαφής με στρογγυλεμένα άκρα, με προσοχή ώστε να μην τραυματιστεί το ύφασμα. Υπόκωφος ήχος συνεπάγεται πλημμελή συγκόλληση, εγκλωβισμό αέρα, μη τήρηση των χρονικών ορίων εφαρμογής της κόλλας.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΣΦΥΣΗΣ

Η πρόσφυση των υφασμάτων επί του σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται με δοκιμή αποκόλλησης δείγματος. Η δοκιμή θεωρείται επιτυχής όταν κάθε δοκίμιο που ελέγχεται δεν εμφανίζει αστοχία στην επιφάνεια υφάσματος και υποστρώματος ή την διεπιφάνεια μεταξύ των υφασμάτων.

2.9 Ενδεικτικές εφαρμογές ενίσχυσης με frp καταστρώματος γέφυρας οπλισμένου σκυροδέματος

Παράδειγμα 1

Η γέφυρα Sierrita de la Cruz Creek Bridge in Potter Country, στο Τέξας έχει αντικατασταθεί επειδή κρίθηκε κατασκευαστικά ανεπαρκής και λειτουργικά απαρχαιωμένη. Η καινούρια γέφυρα έχει μήκος 168,6 m και αποτελείται από 7 ανοίγματα στα οποία χρησιμοποιείται προεντεταμένο σκυρόδεμα. Η χρήση FRP εφαρμόστηκε στο πάνω μέρος του νοτίου άκρου της γέφυρας ενώ στο κάτω μέρος

εφαρμόστηκε συμβατικός χάλυβας. Εκτός από την αντοχή και τα επιτρεπόμενα όρια τάσεων, το πάχος των ρωγμών είναι ο κύριος παράγοντας σχεδιασμού και καθορισμού του μεγέθους και του ανοίγματος των FRP στο κατάστρωμα της γέφυρας.

Παράδειγμα 2

Η έρευνα από το πανεπιστήμιο του WISCONSIN-MADISON με τη συνεργασία της Innovative Bridge Research and Construction Program (IBRC) USA, ξεκίνησε αναζητώντας μη διαβρώσιμα υλικά για την ενίσχυση καταστρωμάτων γεφυρών εθνικών οδών, καθώς η διάβρωση του συμβατικού χάλυβα οπλισμού(κυρίως εξ' αιτίας των εναλλαγών θερμοκρασίας) είναι η βασική αιτία καταστροφής των καταστρωμάτων από σκυρόδεμα. Έτσι κατέληξαν στην ενίσχυση με FRP αντικαθιστώντας το συμβατικό χάλυβα οπλισμού.

Συγκεκριμένα αναφέρεται η κατασκευή υπερυψωμένης(υπέργειας) διάβασης, μέρος της US Highway 151 στο Wisconsin. Τρία είδη FRP συνδυάστηκαν για την ενίσχυση του κατασκευασμένου από σκυρόδεμα καταστρώματος: FRP stay in place SIP (panels), ράβδοι FRP (διαμέτρου #4, #6, #8) και προκατασκευασμένες εσχάρες FRP (δύοδιευθύνσεων).

Τα FRP χρησιμοποιούνται εκτενέστερα τα τελευταία χρόνια .Ωστόσο ο συγκεκριμένος συνδυασμός που έγινε είναι αυτό που κάνει τη γέφυρα αυτή μοναδική.

Ο σχεδιασμός του έργου έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του American Concrete Institute (ACI).

Η κατασκευή της γέφυρας ξεκίνησε στις αρχές του 2003 και δόθηκε στην κυκλοφορία το καλοκαίρι του 2004.Κατα τη διάρκεια των εργασιών έγιναν εργαστηριακές δοκιμές του συστήματος ενίσχυσης καθώς και δοκιμές διάτμησης ,κάμψης, κόπωσης, για να διαπιστευτεί η ικανότητα του συστήματος καταστρώματος για την παραλαβή των φορτίων κυκλοφορίας. Τέλος έγιναν δοκιμές για την εναλλαγή θερμοκρασιών .Οι δοκιμές απέδειξαν πως το σύστημα ενίσχυσης με FRP μπορούσε αξιόπιστα να αναλάβει τα φορτία σχεδιασμού και ήταν ανθεκτικό στις εναλλαγές θερμοκρασίας.

Συγκριτικά με την κατασκευή πανομοιότυπης γέφυρας ενισχυμένη με συμβατικό χάλυβα που έλαβε χώρα την ίδια περίοδο, στην ίδια εθνική οδό (με διαφορά το πάχος του σκυροδετημένου καταστρώματος το οποίο αυξήθηκε από 200mm σε 215,9mm στη γέφυρα με FRP διότι στο κέντρο της υπήρξε πρόβλημα κάλυψης των εσχάρων), διαπιστώθηκαν τα εξής: Το κόστος την ενισχυμένης με FRP γέφυρας ήταν 60% αυξημένο σε σχέση με τη συμβατική γέφυρα. Ωστόσο η χρήση των FRP είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση έως 57% σε εργατικά έξοδα και κατασκευαστικό χρόνο. Βασιζόμενοι στην εξοικονόμηση χρόνου κατασκευής και εργατικών εξόδων καθώς και στην υποτιθέμενη μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα και στα οφέλη διατήρησης / συντήρησης , φαίνεται πως η ενίσχυση με FRP των καταστρωμάτων είναι αποτελεσματική και εντυπωσιακή παρά το αρχικό υψηλό κόστος συγκριτικά με το συμβατικό χάλυβα. [4],[13]

2.10 Συμπεράσματα

Ακόμα και αν υπάρχουν κάποια άλυτα θέματα, που πρέπει να έχουν προτεραιότητα στις μελλοντικές έρευνες, καταλήγουμε ότι η δυνατότητα σχεδιασμού και εφαρμογής ενισχύσεων με τη χρήση FRP, παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων ενίσχυσης επέμβασης παρόλο το υψηλό κόστος που όμως μειώνεται δραματικά με το χρόνο. Τα υλικά και οι μέθοδοι εφαρμογής εξελίσσονται ταχύτατα δίνοντας προηγμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Ωστόσο, δεν παύει να θεωρείται ως μια ακόμα τεχνική ενίσχυσης η οποία συμπληρώνει τις υφιστάμενες. Κυρίως στη χώρα μας, υπάρχει έλλειψη βασικών γνώσεων και παιδείας η οποία πρέπει να καλυφθεί με περαιτέρω έρευνα και ενημέρωση ώστε η συγκεκριμένη τεχνική ενίσχυσης να δίνει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 3^ο Επισκευή γεφυρών στην εθνική οδό Πατρών-Αθηνών στην περιοχή του Αιγίου

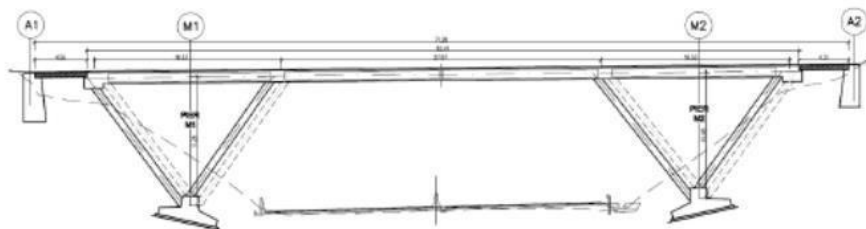
3.1 Εισαγωγή

Οι τρεις υφιστάμενες Άνω Διαβάσεις (A297 στην Χ.Θ. 89+293.50, A296 στην Χ.Θ. 88+812.43 και A294 στην Χ.Θ. 88+083.97) της Εθνικής Οδού Κορίνθου-Πατρών βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του Αιγίου, μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου. Η μελέτη και κατασκευή τους χρονολογούνται από το 1969 έως 1971 και αποτελούν σημαντικό τοπόσημο για την περιοχή. Η υφιστάμενη Εθνική Οδός στην περιοχή αυτή αποτελεί μέρος της χάραξης του νέου αυτοκινητόδρομου ΕΚΠΠΤ της Ολύμπιας Οδού. Συνεπώς η διατήρηση και η δομική αναβάθμισή τους εκτός από τεχνικά και οικονομικά προτιμότερη λύση σε σχέση με την λύση της καθαίρεσης και κατασκευής νέων γεφυρών σε φάση πλήρους λειτουργίας της υφιστάμενης Εθνικής Οδού ικανοποιεί επιπλέον την ανάγκη διατήρησης της δομικής κληρονομιάς της περιοχής .

3.2 Υφιστάμενη κατάσταση των γεφυρών

Οι άνω διαβάσεις αποτελούνται από ένα ιδιαίτερο στατικό σύστημα με στήριξη σε στύλους μορφής V. Ο κύριος φορέας καταστρώματος αποτελείται από προεντεταμένη πλάκα τριών ανοιγμάτων με κυκλικά κενά. Το συνολικό πλάτος του

φορέα καταστρώματος είναι 9.65m και το πάχος της πλάκας κυμαίνεται για τις τρεις Άνω Διαβάσεις από 2.00m (A294) έως 2.12m (A297). Το κεντρικό άνοιγμά τους κυμαίνεται από 28.0m (A294) έως 34.0m (A297). Το κατάστρωμα στηρίζεται σε κάθε θέση στήριξης σε ζεύγος κεκλιμένων στύλων οι οποίοι καταλήγουν ανά τέσσερις σε κοινή επιφανειακή θεμελίωση επί πέλδου το οποίο έχει επίσης κεκλιμένη επιφάνεια έδρασης (βλ. Σχήμα 3-1). Η διατομή των στύλων είναι μορφής παραλληλογράμμου με σταθερή διατομή για τους στύλους που καταλήγουν στα άκρα του καταστρώματος και μεταβλητή διατομή (μεταβλητό πλάτος κατά την εγκάρσια διεύθυνση) για τους στύλους που καταλήγουν στις στηρίξεις του κεντρικού ανοίγματος. Επιπλέον του κύριου φορέα το κατάστρωμα συμπληρώνεται σε κάθε άκρο του με δύο αμφιέριστα ανοίγματα μήκους περίπου 4.50m αποτελούμενα από συμπαγή πλάκα πάχους 0.40m εδραζόμενα στον κύριο φορέα και στο αντίστοιχο υφιστάμενο ακρόβαθρο. Στο Σχήμα 3-1 παρουσιάζεται μηκοτομή της Άνω Διάβασης A297, στο Σχήμα 3-2 γενική άποψη της Άνω Διάβασης A296 ενώ στο Σχήμα 3-3 άποψη του μεσοβάθρου M2 της Άνω Διάβασης A296.





Σχήμα 3- 2 Γενική άποψη της Άνω Διάβασης Α296.



Σχήμα 3- 3 Άποψη μεσοβάθρου Μ1 Άνω Διάβασης Α296.

3.3 Προαπαιτούμενες εργασίες για την αποκατάσταση των διαβρωμένων οπλισμών και της απόμιξης σκυροδέματος

Σε γενικές γραμμές η κατάσταση των τεχνικών χαρακτηρίζεται καλή, δεδομένης και της ηλικίας τους (περίπου 45 έτη). Παρατηρήθηκαν όμως αρκετά τοπικά προβλήματα στο κατάστρωμα και τους στύλους, όπως μακροχρόνια διάβρωση οπλισμών, απόμιξη σκυροδέματος (βλ. Σχήμα 3-4), ελλιπής μόνωση πλάκας καταστρώματος και ελλιπής αποστράγγισή του. Όλες οι παραπάνω βλάβες είναι αποκαταστάσιμες.

Όλα τα τεχνικά που εντάσσονται στο δίκτυο του νέου αυτοκινητόδρομου οφείλουν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του έργου δηλαδή κατηγορία φορτίων κυκλοφορίας, σεισμικότητα καθώς και απαιτήσεις ανθεκτικότητας κατά την διάρκεια λειτουργίας του έργου. Τα φορτία κυκλοφορίας που εφαρμόστηκαν κατά την μελέτη των υπόψη τεχνικών ήταν κλάσης 30T ενώ οι απαιτήσεις του έργου θέτουν κλάση 60/30. Επίσης τα τεχνικά μελετήθηκαν με σεισμικό συντελεστή που ίσχυε την περίοδο εκείνη, με τιμή δηλαδή $\varepsilon=0.08$. Η παρούσα σύμβαση του έργου προβλέπει για την εν λόγω περιοχή σεισμική επιτάχυνση εδάφους από 0.31g έως 0.36g (σεισμική ζώνη κατηγορίας II και επαύξηση λόγω εγγύτητας σε σεισμικά ρήγματα). Το σύστημα άντωσης των τεχνικών λειτουργεί στην διαμήκη διεύθυνση επαρκώς για την ανάληψη κατακόρυφων φορτίων έχει όμως περιορισμένη ικανότητα ανάληψης οριζόντιων σεισμικών φορτίων. Επιπλέον στην εγκάρσια διεύθυνση ο μηχανισμός ανάληψης οριζόντιων σεισμικών φορτίων αποτελείται από τέσσερα πλαίσια που μορφώνονται από τα τέσσερα ζεύγη των στύλων και την αντίστοιχη διαδοκίδα στην κορυφή τους. Ο μηχανισμός αυτός σχεδιάστηκε για την ανάληψη μικρών εγκάρσιων σεισμικών φορτίων. Τα παραπάνω καθιστούν τα συγκεκριμένα τεχνικά ανεπαρκή για την

ανάληψη σεισμικών φορτίων τόσο κατά την διαμήκη όσο και κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Για τους παραπάνω λόγους αναζητήθηκαν τεχνικές λύσεις αφενός για την μείωση της σεισμικής δράσης που καλούνται να αναλάβουν τα υφιστάμενα τεχνικά και αφετέρου της ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητάς τους. Οι μελέτες αναβάθμισης πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 2013 και 2015 από την εταιρεία DENCO (DENCO Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε. & DENCO Στατικές Μελέτες Ι.Κ.Ε) και αποτελούν την πρώτη εφαρμογή στην Ελλάδα των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 3 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. σε γέφυρες.

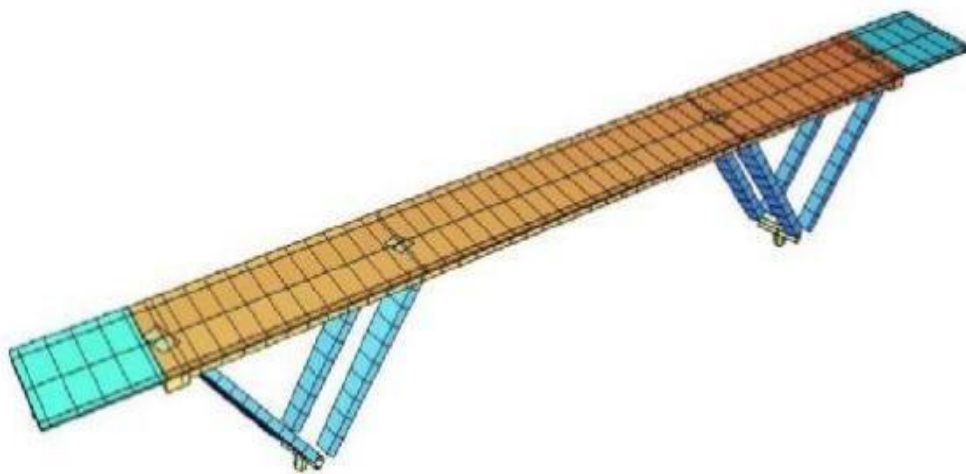
3.4 Πρόγραμμα ερευνών και δοκιμών

Για την ανάλυση της συμπεριφοράς των τεχνικών και σύμφωνα με όσα αναγράφονται στο κεφάλαιο 3 του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 (EN 1998-3) υλοποιήθηκε εκτενές πρόγραμμα ερευνών και δοκιμών των τεχνικών. Ως αποτελέσματα των ερευνών αποτυπώθηκε η γεωμετρία των δομικών στοιχείων, το πλήθος η θέση και η κατάσταση των οπλισμών τους και του συστήματος προέντασης. Επίσης αποτέλεσμα των δοκιμών ήταν ο προσδιορισμός της μέσης τιμής αντοχής 38 του σκυροδέματος και του χάλυβα οπλισμού καθώς και της έκτασης της διάβρωσης τους και της «προδιάθεσης» τους για μελλοντική επιπλέον διάβρωση. Σε ορισμένα τεχνικά (A297 και A294) αξιοποιήθηκε τμήμα της αρχικής στατικής μελέτης το οποίο βρέθηκε κατά την φάση συλλογής δεδομένων (σχέδια και τεύχη υπολογισμών).

3.5 Μοντελοποίηση βάση του προγράμματος

Sofistik

Η ανάλυση και ο έλεγχος του φορέα της ανωδομής των μεσοβάθρων πραγματοποιήθηκε με κατάλληλο χωρικό προσομοίωμα πεπερασμένων στοιχείων το οποίο αποδίδει με ικανοποιητική προσέγγιση την κατανομή των δυσκαμψιών, των μαζών και των συνθηκών στήριξης. Ο φορέας ανωδομής (κατάστρωμα και βάθρα) της γέφυρας προσομοιώνεται με γραμμικά στοιχεία δοκού. Η στήριξη των μεσοβάθρων προσομοιώνεται με κατάλληλα αξονικά και στροφικά ελατήρια, τα οποία προσομοιώνουν την ενδοσιμότητα του εδάφους θεμελίωσης. Κατά την ανάλυση λαμβάνονται υπόψη όλα τα στάδια κατασκευής και ενίσχυσης του τεχνικού (εφαρμογή προέντασης, ανάπτυξη συστολής ξήρανσης και ερπυσμού από την κατασκευή έως σήμερα, εφαρμογή επεμβάσεων και ενισχύσεων κλπ.). Για την ανάλυση υπό στατικά φορτία χρησιμοποιείται το πρόγραμμα SOFiSTiK. Το προσομοίωμα που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-5.



Σχήμα 3- 5 Προσομοίωμα Άνω Διάβασης A296 για την ανάλυση υπό στατικά φορτία.

Ο φορέας καταστρώματος αναλύθηκε υπό τα αυξημένα στατικά φορτία κυκλοφορίας που ορίζουν οι προδιαγραφές του έργου. Για τις Άνω Διαβάσεις A296 και A294 προέκυψε διατμητική ανεπάρκεια στα άκρα του κεντρικού ανοίγματος και προτάθηκαν μέτρα ενίσχυσης της διατμητικής αντοχής του

Για την αποτίμηση της υφιστάμενης και της ενισχυμένης κατάστασης του φορέα καταστρώματος υπό τα νέα σεισμικά φορτία εφαρμόζεται ο EN 1998-3. Εφαρμόζεται η μέθοδος της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης που περιγράφεται στο κεφάλαιο 4 του EN 1998-3. Το φάσμα που εφαρμόζεται είναι το ελαστικό φάσμα για την περιοχή του έργου και το οποίο περιγράφεται στο κεφάλαιο 3 του EN 1998-2. Η ανάλυση γίνεται με μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων. Η εκτενής αποτύπωση και διενέργεια δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες μελέτες των υφιστάμενων τεχνικών μας επιτρέπουν την θεώρηση επιπέδου γνώσης ΕΓ3 (πλήρης γνώση) σύμφωνα με την παρ. 3.3 του EN 1998-3 .

Το κριτήριο συμμόρφωσης κατά τον ορισμό της παρ. 2.2 του EN 1998-3 που εφαρμόστηκε για τις μελέτες είναι Οριακή Κατάσταση Σημαντικών Βλαβών (SD) σε συνδυασμό με το ελαστικό φάσμα του ΕΑΚ. Ο συντελεστής αξιοπιστίας (CF) που εφαρμόστηκε είναι $CF_{ΕΓ3} = 2.00$. Με εφαρμογή της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης προσδιορίζονται τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη που αντιστοιχούν στην μετακίνηση στόχο (μετακίνηση σχεδιασμού).

Κάθε κρίσιμη διατομή ελέγχεται για την επάρκειά της για μεν καμπτική μορφή αστοχίας σε όρους 40 στροφών της διατομής πλαστικής άρθρωσης και για δε ψαθυρή μορφή αστοχίας σε όρους τέμνουσας δύναμης.

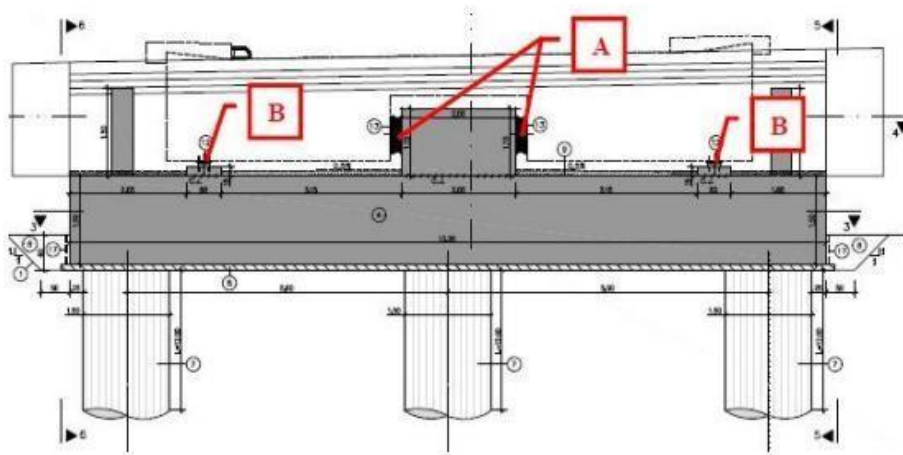
Από την ανάλυση των τεχνικών στην υφιστάμενη κατάστασή τους υπό σεισμικά φορτία προέκυψαν τα εξής:

- Καμπτική και διατμητική ανεπάρκεια των διαδοκίδων καταστρώματος
- Διατμητική ανεπάρκεια στην βάση των υποστυλωμάτων
- Ανεπάρκεια των υφιστάμενων αρμών να παραλάβουν τις μετακινήσεις σχεδιασμού
- Μη ικανοποίηση γεωτεχνικού ελέγχου μέγιστης επιτρεπόμενης εκκεντρότητας πέλδων θεμελίωσης

- Μη ικανοποίηση ελέγχου έναντι κινδύνου αστοχίας ολίσθησης εδάφους μορφής κύκλου του συστήματος πεδίλο-εδάφος θεμελίωσης.

3.6 Προτεινόμενες ενισχύσεις και επεμβάσεις

Η λύση που προτάθηκε περιλαμβάνει την κατασκευή νέων ακροβάθρων ικανών να αναλαμβάνουν στην εγκάρσια διεύθυνση σεισμικά φορτία. Για τον σκοπό αυτό η θεμελίωση τους πραγματοποιείται με πασσάλους. Νέα ακραία ανοίγματα στην θέση των καθαιρούμενων υφιστάμενων ανοιγμάτων συνδέονται μονολιθικά με τον διατηρούμενο κύριο φορέα καταστρώματος και μεταφέρουν μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων σε κατακόρυφη διάταξη τα εγκάρσια φορτία του φορέα καταστρώματος στα ακρόβαθρα. Στην διαμήκη διεύθυνση η σύνδεση ακροβάθρου και νέου ακραίου ανοίγματος δεν προβλέπει μεταφορά φορτίων μέσω της τοποθέτησης εφεδράνων σημειακής στήριξης με δυνατότητας ολίσθησης στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις, τα οποία παραλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία. Στο Σχήμα 3-7 παρουσιάζεται σχέδιο της όψης του ακροβάθρου.

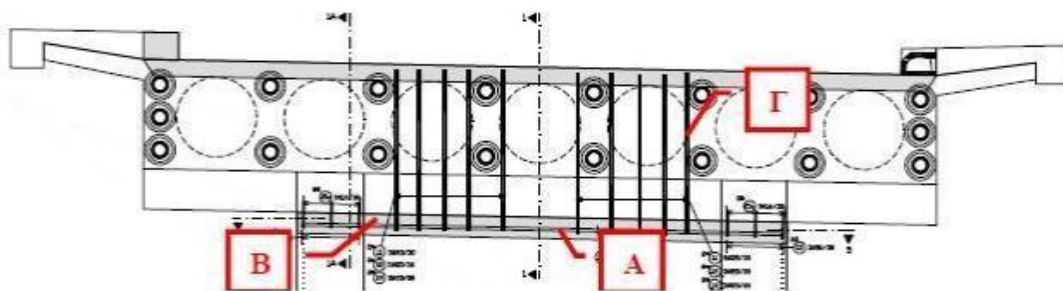


Σχήμα 3- 7 Σχέδιο με την διαμόρφωση των νέων ακροβάθρων και την τοποθέτηση των εφεδράνων.

A: Ελαστομεταλλικά εφεδράνα σε κατακόρυφη διάταξη

B: Εφεδράνα ολίσθησης για παραλαβή κατακόρυφων φορτίων

Στις θέσεις των διαδοκίδων της πλάκας καταστρώματος του κύριου φορέα που συνδέουν τους δύο κεκλιμένους στύλους των μεσοβάθρων πραγματοποιείται ενίσχυση της καμπτικής αντοχής τους μέσω προσθήκης διαμήκων ράβδων οι οποίοι ενσωματώνονται στο κάτω πέλμα των υφιστάμενων διαδοκίδων με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.20 m και της διατμητικής αντοχής τους μέσω ενσωμάτωσης με ρητίνη κατακόρυφων συνδετήρων διαμέσου του πάχους της διαδοκίδας. 42 Στο Σχήμα Β8 παρουσιάζεται σχέδιο με τις προτεινόμενες επεμβάσεις στην ακραία (προς το ακρόβαθρο) διαδοκίδα. Στο σχήμα 9 φαίνονται οι εργασίες υδροκαθάρισης του άνω τμήματος της διαδοκίδας στην ενδιάμεση και ακραία διαδοκίδα αντίστοιχα. Οι εργασίες πραγματοποιούνται με επιμέλεια για την διατήρηση ανέπαφων των υφιστάμενων οπλισμών και των σωλήνων περιβολής των τενόντων προέντασης. Στο Σχήμα 10 φαίνονται οι διαδοκίδες με διανοιγμένες τις οπές διαμέσου των οποίων θα διέλθουν οι κατακόρυφοι οπλισμοί για την διατμητική ενίσχυσή τους. Τέλος στο Σχήμα 11 φαίνεται άνοψη της διαδοκίδας με ολοκληρωμένη την κατασκευή του εκτοξευμένου σκυροδέματος στην βάση της.



Σχήμα 3- 8 Σχέδιο με τις προτεινόμενες επεμβάσεις στην ακραία διαδοκίδα.

A: Καμπτική ενίσχυση με προσθήκη διαμήκων ράβδων οπλισμού B: Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 0.20m

Γ: Διατμητική ενίσχυση με προσθήκη κατακόρυφων σκελών συνδετήρων



Σχήμα 3- 9 Υδροκαθαίρεση σκυροδέματος στο άνω τμήμα των διαδοκίδων.

άνω: ενδιάμεση διαδοκίδα (διακρίνονται οι σωλήνες τσιμεντεσέων των τενόντων προέντασης),
κάτω: ακραία διαδοκίδα

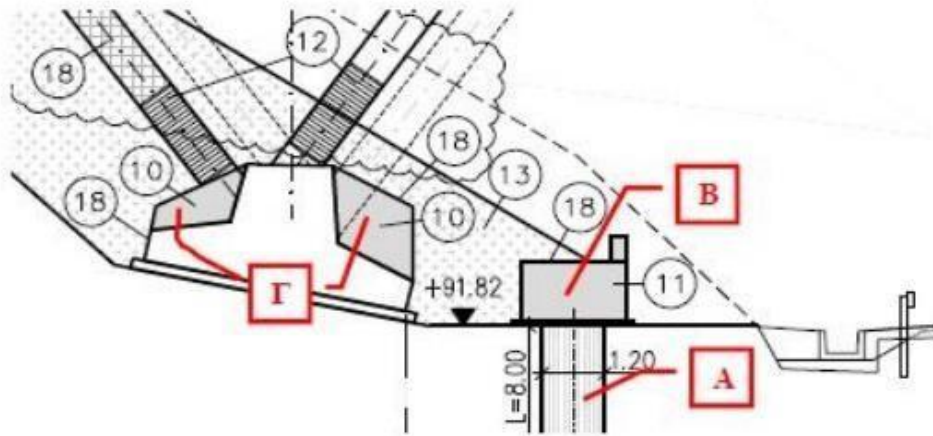
Στην πλάκα καταστρώματος και στις ακραίες περιοχές του μεσαίου ανοίγματος ενισχύεται η διατμητική αντοχή της διατομής πλάκας με κενά με προσθήκη συνδετήρων με κατακόρυφα σκέλη και αγκύρωσή τους στο σκυρόδεμα με ρητίνη. Η διατομή των στύλων των βάθρων ενισχύεται διατμητικά με τοποθέτηση δύο στρώσεων υφασμάτων οπλισμένων πολυμερών (FRP). Η ενίσχυση αφορά τμήμα της βάσης τους μέχρι ΔΙΑΝΟΙΓΜΕΝΕΣ ΟΠΕΣ 45 ορισμένο ύψος, ενώ γίνεται επέκταση της εφαρμογής μίας στρώσης υφασμάτων σε όλο το ύψος για λόγους ανθεκτικότητας στον χρόνο. Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει ακόμα την ενίσχυση των θεμελίων και του εδάφους θεμελίωσης. Συγκεκριμένα απαιτήθηκε ενίσχυση των πέλδων θεμελίωσης με αύξηση του πάχους των πρόσθετο οπλισμένο σκυρόδεμα συνδεδεμένο με το υφιστάμενο σκυρόδεμα με οπλισμούς μέσω ρητίνης. Στο Σχήμα 12 φαίνονται οι εργασίες διάνοιξης και τοποθέτησης των οπλισμών σύνδεσης πελμάτων

τους με στην περιοχή που συντρέχει στύλος μεσοβάθρου πριν την σκυροδέτηση του πρόσθετου πάχους των πέδινων.



Σχήμα 3- 12 Προετοιμασία πέδινων για σκυροδέτηση του επιπλέον πάχους τους (τοποθέτηση οπλισμού σύνδεσης υφιστάμενου με νέο σκυρόδεμα).

Τέλος απαιτήθηκε ενίσχυση του εδάφους θεμελίωσης έναντι κινδύνου αστοχίας ολίσθησης εδάφους μορφής κύκλου με κατασκευή μπροστά από τα πέδιλα θεμελίωσης (προς την πλευρά του αυτοκινητόδρομου) πασσαλότοιχου ικανού βάθους ώστε να αντιμετωπιστεί ο παραπάνω κίνδυνος. Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται σχέδιο με τον προτεινόμενο πασσαλότοιχο ενώ στο Σχήμα 14 φαίνεται η κεφαλοδοκός του πασσαλότοιχου, καθώς και το ενισχυμένο πέδιλο θεμελίωσης.



Σχήμα 3- 13 Σχέδιο με την προτεινόμενη κατασκευή πασσαλότοιχου μπροστά από το υφιστάμενο πέδιλο θεμελίωσης.

A: Πάσσαλοι

B: Κεφαλοδοκός πασσαλότοιχου

Γ: Αύξηση πάχους υφιστάμενου πέδιλου θεμελίωσης



Σχήμα 3- 14 Όψη κεφαλοδοκού κατασκευασμένου πασσαλότοιχου μπροστά από ενισχυμένο πέδιλο θεμελίωσης.

A: Κεφαλοδοκός πασσαλότοιχου

B: Ενίσχυση υφιστάμενου πέδιλου θεμελίωσης

Στην μελέτη αποκατάστασης προτείνονται ακόμα ορισμένες γενικές επεμβάσεις όπως κατασκευή νέας στεγάνωσης του φορέα καταστρώματος, τοποθέτηση νέων υδρορροών και καναλιού συλλογής όμβριων (βλ. Σχήμα 15), πρόβλεψη αποστράγγισης των κυκλικών κενών του φορέα καταστρώματος, αντικατάσταση των υφιστάμενων στηθαίων ασφαλείας (βλ. Σχήμα 16) με νέα στηθαία συμβατά με τις προδιαγραφές ασφαλείας του έργου, βαφή των ράβδων οπλισμού με αναστολέα διάβρωσης και εξωτερική βαφή των στοιχείων σκυροδέματος για την προστασία από μακροχρόνια διάβρωση και προστασία τμημάτων σκυροδέματος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με διπλή ασφαλτική επάλειψη.



Σχήμα 3- 15 Καθαίρεση τμήματος του υφιστάμενου πεζοδρομίου για ενσωμάτωση σε αυτό καναλιού συλλογής όμβριων.



Σχήμα 3- 16 Υφιστάμενο στηθαίο ασφαλείας (προς αντικατάσταση).

3.7 Συμπεράσματα

Οι εν λόγω τρεις Άνω Διαβάσεις στην περιοχή του Αιγίου αποτελούν σημαντικό τοπόσημο της περιοχής με ηλικία ήδη 45 έτη. Η προτεινόμενη λύση διατήρησης και ενίσχυσης τους αποτελεί όμως και για τεχνικοοικονομικούς λόγους συγκριτικά πλεονεκτικότερη λύση από την λύση της καθαίρεσης τους αφού αποφεύγεται η χρονοβόρα και επισφαλής για τους χρήστες της εν λειτουργία Εθνικής Οδού διαδικασία καθαίρεσής τους και κατασκευής νέων τεχνικών. Επιπλέον όμως αποτελεί πρόκληση η εφαρμογή για πρώτη φορά στην Ελλάδα μιας ολοκληρωμένης λύσης ενίσχυσης με εφαρμογή σε γέφυρες των διατάξεων του Ευρωκώδικα 8 – Μέρος 3 και του ΚΑΝ.ΕΠΕ. η οποία μπορεί να υλοποιηθεί κατά κύριο λόγο από το εγχώριο δυναμικό. Η προτεινόμενη λύση περιλαμβάνει μια ποικιλία επεμβάσεων και ενισχύσεων τόσο σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος όσο και στο έδαφος, με κατασκευή νέων δομικών στοιχείων, όπως τα ακρόβαθρα και οι πασσαλότοιχοι, καθώς και με ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων με πρόσθετους οπλισμούς και με σύνθετα υλικά.

Κεφάλαιο 4ο : Εφαρμογή της μελέτης για την ενίσχυση των αερογεφυρών Αιγίου με FRPs

4.1 Ενίσχυση υποστυλωμάτων γέφυρας Ολυμπίας οδού πλησίον νοσοκομείου Αιγίου

Σκοπός της ενίσχυσης των υποστυλωμάτων με υφάσματα ΙΟΠ είναι:

Η αύξηση της διατμητικής αντοχής (τέμνουσας αντοχής). Η τέμνουσα προκύπτει από την φόρτιση της γέφυρας. Αναλαμβάνεται κατά ένα μέρος από το σκυρόδεμα και σε μεγαλύτερο βαθμό από τους συνδετήρες. Η πρόσθετη τέμνουσα είναι η τέμνουσα που αναλαμβάνουν τα frp's. Η αύξηση της θλιπτικής αντοχής του περισφιγμένου σκυροδέματος.

Η αύξηση της πλαστιμότητας του υποστυλώματος (με τον όρο πλαστιμότητα εκφράζεται η ικανότητα ενός φορέα ή μιας διατομής να έχει μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας. Εισαγωγή δεδομένων για το σκυρόδεμα και τα σύνθετα υλικά επισκευής (frps).

Η κατηγορία του σκυροδέματος με βάση τα στοιχεία που ελήφθησαν από τη στατική μελέτη της γέφυρας (Φ. Τσίρλης Πολ. Μηχ.- Στατικός) είναι B300=C20/25 με βάση τον EC 2 (κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα). Για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων έγινε χρήση frps της εταιρίας SIKA τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί παρακάτω

Παραδείγματα Προδιαγραφών Έργων								Εναλλακτικά :	
Περιγραφή Έργου	Εφελκυστική Αντοχή Ινών (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας Ινών (GPa)	Βάρος (g/cm ³)	Πυκνότητα Ινών (mm) ³	Πάχος Υφάσματος (g/m ²)	Αριθμός Στρώσεων	ΕxΑ (MN/m) **	Fu (kN) ***	Τύπος Υφάσματος Sika
Αύξηση Διατμητικής Αντοχής									
Διατμητική Ενίσχυση Δοκού Ω.Σ.	(3800)	230	300	1,80	0,167	3	115,0	-	SikaWrap [®] -400C HiMod NW
Διατμητική Ενίσχυση Δοκού Ω.Σ.	(2800)	640	250	2,12	0,118	1	75,5	-	SikaWrap [®] -300C NW
Αύξηση Παραμορφωσιμότητας									

4.2 Δοκιμή ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε τέμνουσα με χρήση του προγράμματος FRP STRENGTH

SIKAWRAP -400 HIMOD NW

Η δοκιμή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε τέμνουσα, με χρήση του μοντέλου SIKAWRAP -400 HIMOD NW, το οποίο έχει μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ GPa, αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800$ MPa οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για μία στρώση υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 238$ KN.

Εικόνα 4- 1: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για μία στρώση υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
	Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία η <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού C20/25 $f_{cd} = 0$ [N/mm ²]	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800$ [N/mm ²] Ενεργής αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$	
	Τρόπος Τοποθέτησης <input checked="" type="radio"/> Συνεχής μανδύας Πλάτος $b_f = 0$ [m] <input type="radio"/> Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]	
	Αύξηση Τέμνουσας Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 238$ [kN] <div style="text-align: right;"> <input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/> </div>	
Τρόπος Αγκύρωσης <input checked="" type="radio"/> Κλαστικός μανδύας <input type="radio"/> Ανοκτός μανδύας		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0,8$ [m] Στατικό ύψος $d = 1,15$ [m] Ύψος $d_f = 0$ [m] Γωνία πλάνης προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μόρες]		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²] Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm] Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm] Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm] Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ <input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>	Ενίσχυση σε Τέμνουσα Πάχος FRP $t_f = 0,17$ [mm] Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 238,03$ [kN]
	Περίσφιγξη Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²] Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm] Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccud} = 0$ [-] Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
	Εισαγωγή διαστάσεων FRP <input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 238.03$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.17$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων : **1**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.17$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.17$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 238.53$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,o} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,o} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
		Εισαγωγή διαστάσεων FRP	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

Για δύο στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd}=436$ KN.

Εικόνα 4- 2: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για δύο στρώσεις υλικού

ΕΙΣΙΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΙΣΙΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
-------------------	----------------------	------------

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία: C20/25 ή Αντοχή σχεδιασμού: $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας: $E_f = 230$ [kN/mm²]
 Αντοχή σχεδιασμού: $f_{fd} = 3800$ [N/mm²]
 Ενεργή αντοχή σχεδιασμού: $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$

Τρόπος Τοποθέτησης

Συνεχής μανδύας Πλάτος: $b_f = 0$ [m]
 Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση: $s_f = 0$ [m]

Αύξηση Τέμνουσα

Πρόσθετη τέμνουσα: $V_{fd} = 478$ [kN]

Επίλυση
Νέα Δεδομένα

Τρόπος Αγκύρωσης

Κλειστός μανδύας Ανοικτός μανδύας

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος: $b = 0.8$ [m]
 Στατικό ύψος: $d = 1.15$ [m]
 Ύψος: $d_f = 0$ [m]
 Γωνία ινών ως προς άξονα μέλους: $\alpha = 90$ [μοίρες]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.33$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 476.05$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγγη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0}$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής		Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccuid} = 0$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{cod} = 0$ [N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP			
		Εκτύπωση	Επιστροφή
		Έξοδος	

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 476.05$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.33$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **2**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.33$ [mm]

Επιστροφή χωρίς Επίλυση Επιστροφή με Επίλυση Έξοδος

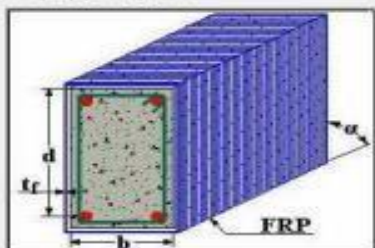
(γ)

Ενίσχυση σε Κάρφη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.33$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 477.05$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
<input type="button" value="Παραμορφωσική κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{csud} = 0$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]
		<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Για τρεις στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd}=715$ KN.

Εικόνα 4-3: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τένουσα για τρεις στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΗ
Εισαγωγή δεδομένων		
	Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία f_{ctd} = [C20/25] $[N/mm^2]$ <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού f_{ctd} = [0] $[N/mm^2]$	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας E_f = [230] $[kN/mm^2]$ Αντοχή σχεδιασμού f_{td} = [3800] $[N/mm^2]$ Ενταξη αντοχή σχεδιασμού f_{tds} = [0.8] x f_{td}	
	Τρόπος Τοποθέτησης <input checked="" type="radio"/> Συνεχής μανδύας Πλάτος b_f = [0] [m] <input type="radio"/> Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση a_f = [0] [m]	
	Αύξηση Τένουσας Πρόσθετη τένουσα V_{td} = [715] [kN] <div style="text-align: right;"> <input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/> </div>	
Τρόπος Αγκύρωσης <input checked="" type="radio"/> Κλαστικός μανδύας <input type="radio"/> Ανεκτός μανδύας		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος b = [0.8] [m] Στενικό ύψος d = [1.15] [m] Ύψος d_f = [0] [m] Γωνία κών ως προς άξονα μέλους α = [90] [μοίρες]		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP A_f = 0 $[mm^2]$ Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση M_{Rd} = 0 $[kNm]$ Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση N_{Rd} = 0 $[kNm]$ Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,e}$ = 0 $[kNm]$ Βαθμός ενίσχυσης M_{Rd} = 0 $M_{Rd,e}$ = 0 <input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>	Ενίσχυση σε Τένουσα Πάχος FRP t_f = 0.50 [mm] Πρόσθετη τένουσα V_{td} = 715.01 [kN]
	Περίσφιγξη Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{ct,e}$ = 0 $[N/mm^2]$ Πάχος FRP t_f = 0 [mm] Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{cs,d}$ = 0 [-] Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{cs,d}$ = 0 $[N/mm^2]$
<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Εξοδος"/>	

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 715.01$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.50$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **3**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.50$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.50$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 715.58$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,s} = 0$ [kNm]	Αποχή πριν την ενίσχυση	$f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd,e} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
		Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{cu,d} = 0$ [-]
		Αποχή μετά την ενίσχυση	$f_{cd} = 0$ [N/mm ²]
Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής		Εισαγωγή διαστάσεων FRP	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Σχήμα 4- 1: Διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας



SIKAWRAP -300C NW

Η δοκιμή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε τέμνουσα, με χρήση του μοντέλου SIKAWRAP -300C NW, το οποίο έχει μέτρο ελαστικότητας $E_f=640$ GPa, αντοχή σχεδιασμού $f_{fd}= 2600$ MPa οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για μία στρώση υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd}=468$ KN.

Εικόνα 4-3: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για μία στρώση υλικού

ΕΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
------------------	---------------------	------------

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία ή Αντοχή σχεδιασμού

C20/25 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 640$ [kN/mm²]

Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 2600$ [N/mm²]

Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$

Τρόπος Τοποθέτησης

Συντάξ μονθίας Πλάτος $b_f = 0$ [m]

Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]

Αύξηση Τέμνουσας

Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 468$ [kN]

Τρόπος Αγκύρωσης

Κλασός μονθίας Ανοκός μονθίας

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος $b = 0.8$ [m]

Στατικό ύψος $d = 1.15$ [m]

Ύψος $d_f = 0$ [m]

Γωνία κών ως προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μοίρες]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.12$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 468.18$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγγη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,o} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$\frac{M_{Rd}}{M_{Rd,o}} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
		Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>		Εισαγωγή διαστάσεων FRP	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 468.18$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.12$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **1**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.12$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.12$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 468.98$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Αιτοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
<input type="button" value="Παραμορφωσική κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0$ [-]
		Αιτοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
		<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Για δύο στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd}=937$ KN.

Εικόνα 4- 4: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για δύο στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
-------------------	----------------------	------------

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία ή Αντοχή σχεδιασμού

C20/25 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 640$ [kN/mm²]

Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 2600$ [N/mm²]

Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$

Τρόπος Τοποθέτησης

Συνεχής μανδύας Πλάτος $b_f = 0$ [m]

Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]

Αύξηση Τέμνουσας

Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 937$ [kN]

Τρόπος Αγκύρωσης

Κλειστός μανδύας Ανοκτός μανδύας

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος $b = 0,8$ [m]

Στατικό ύψος $d = 1,15$ [m]

Ύψος $d_f = 0$ [m]

Γωνία ινών ως προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μοίρες]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη	Ενίσχυση σε Τέμνουσα
Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP $t_f = 0,24$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 937,16$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0}$	Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>	Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccud} = 0$ [-]
	Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 0$ [N/mm ²]
	Εισαγωγή διαστάσεων FRP
	<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Εξόδος"/>

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 937.16$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.24$ [mm]

Ύφασμα FRP πάχους [mm]

Υπολογισμός

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **2**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.24$ [mm]

Επιστροφή χωρίς
Επίλυση

Επιστροφή με
Επίλυση

Έξοδος

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέμνουσα		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.24$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 937.96$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίληψη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{ctd} = 0$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	M_{Rd} $M_{Rd,0} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Παραμετρική κατάσταση διατομής			Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{csd} = 0$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{csd} = 0$	[N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP					
		Εκτύπωση	Επιστροφή	Έξοδος	

(δ)

Για τρεις στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd}=1406$ KN.

Εικόνα 4-5: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τένουσα για τρεις στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγική Δεδομένων		
	Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία ή <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού C20/25 $f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 640$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 2800$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{tde} = 0.8 \times f_{td}$	
Τρόπος Αγκύρωσης <input checked="" type="radio"/> Κλαστές μανδύας <input type="radio"/> Ανακτές μανδύας	Τρόπος Τοποθέτησης <input checked="" type="radio"/> Συνολής μανδύας Πλάτος $b_f = 0$ [m] <input type="radio"/> Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $a_f = 0$ [m]	
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0.6$ [m] Στατικό ύψος $d = 1.15$ [m] Ύψος $a_f = 0$ [m] Γωνία πην ως προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μόρες]	Αύξηση Τένουσας Πρόσθετη τένουσα $V_{td} = 1406$ [kN] <div style="text-align: right;"> <input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/> </div>	

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²] Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm] Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm] Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm] Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0}$	Ενίσχυση σε Τένουσα Πάχος FRP $t_f = 0.35$ [mm] Πρόσθετη τένουσα $V_{td} = 1405.14$ [kN]
Παραμορφωτική κατάσταση διατομής	Περίσφιξη Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{ctd,0} = 0$ [N/mm ²] Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm] Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{s,lim} = 0$ [-] Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP	
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 1406.14$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.35$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **3**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.35$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη

Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]

Ροπή ατοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]

Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]

Ροπή ατοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,e} = 0$ [kNm]

Βαθμός ενίσχυσης M_{Rd}
 $M_{Rd,e} = 0$

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Πάχος FRP $t_f = 0.35$ [mm]

Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 1406.94$ [kN]

Περιοφίεξη

Ατοχή πριν την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]

Οριακή αξονική παραμόση
μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ctud} = 0$ [-]

Ατοχή μετά την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Εισαγωγή Δεστώσεων FRP

(δ)

Σχήμα 4- 2: Διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας



Εφαρμοσθέν ΙΟΠ

Η δοκιμή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε τέμνουσα, με χρήση του εφαρμοστέον ΙΟΠ από την εταιρία ΑΚΤΩΡ, το οποίο έχει μέτρο ελαστικότητας $E_f = 105.4 \text{ GPa}$, αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 986 \text{ MPa}$ οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για μία στρώση υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 333 \text{ KN}$.

Εικόνα 4- 6: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για μία στρώση υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ
ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία: C20/25 η Αντοχή σχεδιασμού

$f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 105.4$ [kN/mm²]

Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 368$ [N/mm²]

Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{tse} = 0.5 \times f_{td}$

Τρόπος Τοποθέτησης

Συνεχής μονόστιβα Πλάτος $b_f = 0$ [m]

Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]

Αύξηση Τέμνουσας

Πρόσθετη τέμνουσα $V_M = 333$ [kN]

Τρόπος Αγκιρώσεως

Κλαστικός μονόστιβος Ανασπός μονόστιβος

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος $b = 0.8$ [m]

Επιπέδο ύψος $d = 1.15$ [m]

Υψος $d_f = 0$ [m]

Γωνία κώνωσής προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μόλις]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη

Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]

Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]

Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]

Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm]

Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$
 $M_{Rd,0}$

Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Πάχος FRP $t_f = 0.51$ [mm]

Πρόσθετη τέμνουσα $V_M = 333.03$ [kN]

Περίσφιγγξη

Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]

Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{csd} = 0$ [-]

Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 333.03$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.51$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **1**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.51$ [mm]

Επιστροφή χωρίς Επίλυση | Επιστροφή με Επίλυση | Έξοδος

(γ)

Ενίσχυση σε Κλίση		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0.51$ [mm]
Ροπή αποχής μετά την ενίσχυση	$M_{rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 333.81$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{rd} = 0$ [kNm]	Περιγραφή	
Ροπή αποχής πριν την ενίσχυση	$M_{rd,0} = 0$ [kNm]	Ανοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{rd} = 0$ $M_{rd,0} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
<input type="text" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$f_{ccud} = 0$ [-]
		Ανοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ocd} = 0$ [N/mm ²]
		<input type="text" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
		Εκτύπωση	Επιστροφή
		Έξοδος	

(δ)

Για δύο στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 667$ kN.

Εικόνα 4- 7: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για δύο στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ
ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία ή Αντοχή σχεδιασμού

C20/25 $f_{cm} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 105.4$ [kN/mm²]

Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 986$ [N/mm²]

Επιταγή αντοχή σχεδιασμού $f_{tdk} = 0.8 \times f_{td}$

Τρόπος Τοποθέτησης

Συνεχές μαντύλις Πλάτος $b_f = 0$ [m]

Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_f = 0$ [m]

Αύξηση Τέμνουσας

Πρόσθετη τέμνουσα $V_{td} = 667$ [kN]

Τρόπος Αγκύρωσης

Κλασικός μαντύλις Αντακός μαντύλις

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος $b = 0.8$ [m]

Στατικό ύψος $d = 1.15$ [m]

Ύψος $d_f = 0$ [m]

Γωνία των ινών ως προς άξονα μέλους $\alpha = 90$ [μοίρες]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη

Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]

Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]

Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]

Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm]

Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} / M_{Rd,0} = 0$

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Πάχος FRP $t_f = 1.02$ [mm]

Πρόσθετη τέμνουσα $V_{td} = 667.00$ [kN]

Περίσφιξη

Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]

Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{conf} = 0$ [-]

Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ctd} = 0$ [N/mm²]

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

(β)

Ενίσχυση σε Τέμνουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 667.00$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 1.02$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **2**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 1.02$ [mm]

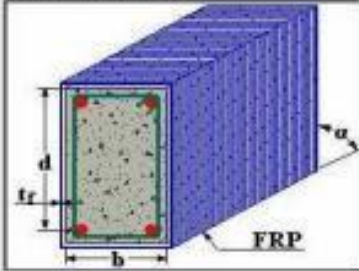
(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 1.02$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 667.63$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περιγραφή	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{ctd,0} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	M_{Rd} $M_{Rd,0} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
			Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{c,lim} = 0$ [-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ctd} = 0$ [N/mm ²]
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>			<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
			<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
			<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Για τρεις στρώσεις υλικού αποδίδεται πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 1001$ kN.

Εικόνα 4- 8: Αποτελέσματα ενίσχυσης σε τέμνουσα για τρεις στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
	Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία $f_{cm} = \sqrt{\quad}$ [N/mm ²] <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = \sqrt{105.4}$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = \sqrt{966}$ [N/mm ²] Εντατή αντοχή σχεδιασμού $f_{tds} = \sqrt{9.8} \times f_{td}$	
	Τρόπος Υποθέτησης <input checked="" type="radio"/> Συνεχής μονάδας Πλάτος $b_1 = \sqrt{0}$ [m] <input type="radio"/> Λωρίδες ανά διαστήματα Απόσταση $s_1 = \sqrt{0}$ [m]	
	Αύξηση Τέμνουσας Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = \sqrt{1001}$ [kN] <div style="text-align: right;"> <input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/> </div>	
Τρόπος Αγκυρώσεως <input checked="" type="radio"/> Κλειστές μονάδες <input type="radio"/> Ανοικτές μονάδες		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = \sqrt{0.8}$ [m] Στενό ύψος $d = \sqrt{1.15}$ [m] Ύψος $d_1 = \sqrt{0}$ [m] Γωνία πλάνης προς οξόνιο μέλους $\alpha = \sqrt{90}$ [αίρες]		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέμνουσα		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πλάτος FRP	$t_f = 1.53$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 1001.01$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγγη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cct,0} = 0$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$		Πλάτος FRP	$t_f = 0$	[mm]
	$M_{Rd,0} = 0$		Οριστική αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{cct,d} = 0$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{cct} = 0$	[N/mm ²]
Παραμορφωστική κατάσταση διατομής			Εισαγωγή διαστάσεων FRP		
			<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>	<input type="button" value="Έξοδος"/>

(β)

Ενίσχυση σε Τένουσα

Για ενίσχυση: $V_{fd} = 1001.01$ [kN]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 1.53$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **3**

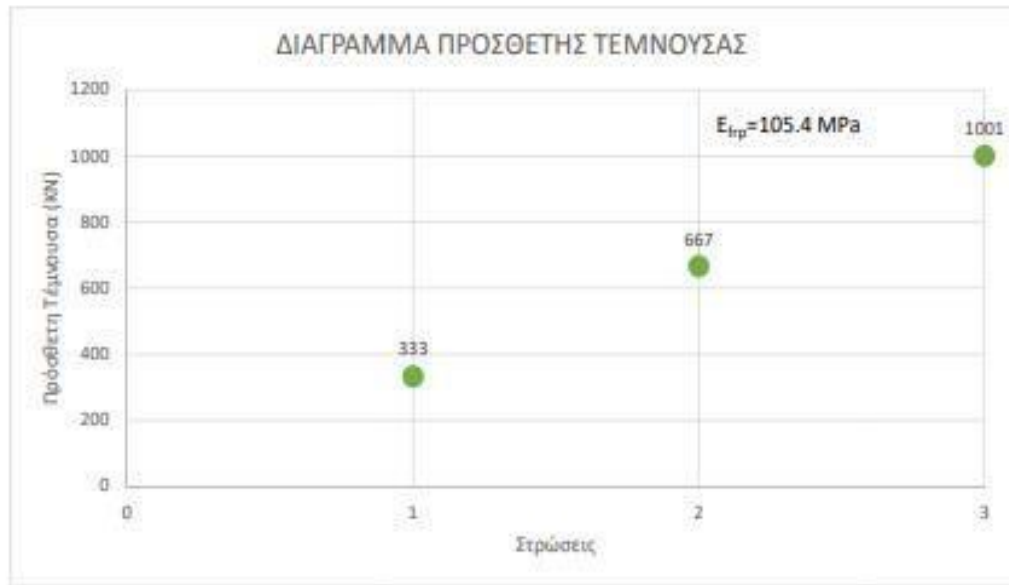
Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 1.53$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τένουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 1.53$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τένουσα	$V_{fd} = 1001.44$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kN]	Περίσφιξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{oc1d} = 0$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
<input type="button" value="Παρομορφωτική κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ocud} = 0$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ocd} = 0$ [N/mm ²]
<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>			
<input type="button" value="Εκτύπωση"/>		<input type="button" value="Επιστροφή"/>	<input type="button" value="Έξοδος"/>

(δ)

Σχήμα 4- 3: Διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας



Σχήμα 4- 4: Συγκριτικό διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας για μία στρώση υλικού



Σχήμα 4- 5: Συγκριτικό διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας για δύο στρώσεις υλικού



Σχήμα 4- 6: Συγκριτικό διάγραμμα πρόσθετης τέμνουσας για τρεις στρώσεις υλικού

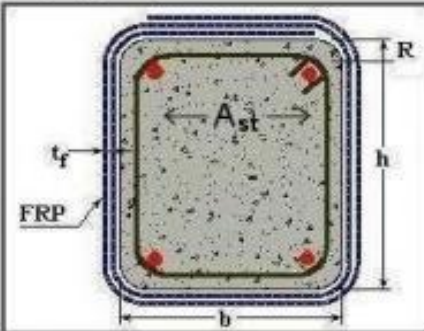


4.3 Δοκιμής ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε περίσφιγξη και αύξησης της θλιπτικής αντοχής.

SIKAWRAP -400 HIMOD NW

Από την άλλη πλευρά, η ενίσχυση σε περίσφιγξη περιλαμβάνει μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230 \text{ GPa}$ και αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800 \text{ MPa}$ με αποτέλεσμα για μια στρώση υλικού να προκύπτει αύξηση αντοχής $f_{ccd} = 28.7 \text{ MPa}$.

Εικόνα 4- 9: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για μία στρώση υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
		
Τύπος Διατομής <input checked="" type="radio"/> Ορθογώνιο υποστίγμα <input type="radio"/> Κυκλικό υποστίγμα		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0.8 \text{ [m]}$ Ύψος $h = 1.20 \text{ [m]}$ Ακτίνα καμψίας γωνίας $R = 0.05 \text{ [m]}$ Διάμετρος $D = 0 \text{ [m]}$		
Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία $C20/25$ ή <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού $f_{cd} = 0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$		
Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$		
Οπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{ywk} = 420 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ Απόσταση συνδετήρων $s = 0.2 \text{ [m]}$ Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316 \text{ [mm}^2\text{]}$ Επκάλυψη οπλισμών $c = 0.03 \text{ [m]}$		
Ζητούμενα Προβλήματος <input checked="" type="radio"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{ccd} = 28.7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής αξονικής παράσης $\epsilon_{ccud} = 0 \text{ [-]}$ <input type="radio"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην : <input type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά		
Αύξηση δείκτη πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0 \text{ [-]}$ <input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέντωση	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγξη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$\frac{M_{Rd}}{M_{Rd,0}} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0.17$	[mm]
			Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.43905$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 28.70$	[N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP					
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>					

(β)

Περίσφιγξη	
Για ενίσχυση:	$f_{ccd} = 28.70$ [N/mm ²] $\epsilon_{ccud} = 0.43905$ [-]
Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση	$t_f = 0.17$ [mm]
Υφασμα FRP πάχους	<input type="text" value="0.167"/> [mm]
<input type="button" value="Υπολογισμός"/>	Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: 1
	Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.17$ [mm]
<input type="button" value="Επιστροφή χωρίς Επίλυση"/> <input type="button" value="Επιστροφή με Επίλυση"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέντωση	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγξη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$\frac{M_{Rd}}{M_{Rd,0}} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0.17$	[mm]
			Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.41016$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 28.70$	[N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP					
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>					

(δ)

Για δύο στρώσεις υλικού προκύπτει αύξηση αντοχής $f_{ccd}=36.1$ MPa.

Εικόνα 4- 10: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής ακυροδέματος για δύο στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ
ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυρόδεμα

Κατηγορία: C20/25 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm²]
 Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800$ [N/mm²]
 Ενεργής αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$

Οπλισμοί Διατομής

Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm²]
 Απόσταση συνδέσμων $s = 0.2$ [m]
 Εμβαδόν συνδέσμων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316$ [mm²]
 Επικάλυψη οπλισμών $c = 0.03$ [m]

Ζητούμενα Προβλήματα

Αξονική καταπόνηση $f_{ccd} = 36.1$ [N/mm²]
 Αύξηση αντοχής $f_{ccsd} = 0$ [-]
 Αύξηση οριακής αξονικής παράσις

Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην:
 μικρή πλευρά
 μεγάλη πλευρά

Αύξηση δόσης πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-]

Επίλυση Νέα Δεδομένα

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη

Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]

Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{rd} = 0$ [kNm]

Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{rd} = 0$ [kNm]

Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{rd,e} = 0$ [kNm]

Βαθμός ενίσχυσης $M_{rd} = 0$
 $M_{rd,e} = 0$

Περιοριστική κατάσταση διατομής

Ενίσχυση σε Τέντωση

Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]

Πρόσθετη τέντωση $V_{fd} = 0$ [kN]

Περίσφιγξη

Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm²]

Πάχος FRP $t_f = 0.33$ [mm]

Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccsd} = 0.55226$ [-]

Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 36.10$ [N/mm²]

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

Εκτύπωση Επιστροφή Έξοδος

(β)

Περίσφιγξη

Για ενίσχυση: $f_{ccud} = 36.10$ [N/mm²] $\epsilon_{ccud} = 0.55226$ [-]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.33$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους 0.167 [mm]

 Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **2**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.33$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τένταση	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [κNm]	Πρόσθετη τένταση	$V_{td} = 0$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [κNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [κNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	M_{Rd} $M_{Rd,0}$	Πάχος FRP	$t_f = 0.33$ [mm]
Παραμορφωστική κατάσταση διατομής		Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.51979$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccud} = 36.10$ [N/mm ²]
		Εισαγωγή διαστάσεων FRP	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Για τρεις στρώσεις υλικού προκύπτει αύξηση αντοχής $f_{ccd}=39.8$ MPa.

Εικόνα 4- 11: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για τρεις στρώσεις υλίκου

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΦΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
		
Σκυροδέμα Κατηγορία: C25/25 $f_c = 0$ [N/mm ²]		
Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 3800$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{de} = 0.8 \times f_{td}$		
Οπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm ²] Απόσταση συνδέσμων $s = 0.2$ [m] Εμβαδόν συνδέσμων ανά διεύθυνση $A_{sc} = 316$ [mm ²] Επικάλυψη οπλισμών $c = 0.03$ [m]		
Ζητούμενα Προβλήματα <input checked="" type="checkbox"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{c,d} = 39.8$ [N/mm ²] <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής αξονικής παράσης $\epsilon_{c,d} = 0$ [-] <input type="checkbox"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην: <input type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά Αύξηση δοκίμης πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-]		
<input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²] Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm] Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm] Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm] Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0}$		Ενίσχυση σε Τέντωση Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm] Πρόσθετη τέντωση $V_{td} = 0$ [kN]	
Παρομοιωφαστική κατάσταση διατομής		Περίσφιγξη Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{ct,d} = 14.34$ [N/mm ²] Πάχος FRP $t_f = 0.50$ [mm] Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{c,d} = 0.60885$ [-] Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{c,d} = 39.80$ [N/mm ²]	
Εισαγωγή διαστάσεων FRP			
<input type="button" value="Εκτύπωση"/>		<input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

Περίσφιγξη

Για ενίσχυση: $f_{ccd} = 39.80$ [N/mm²] $\epsilon_{ccud} = 0.60885$ [-]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.50$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους $\boxed{0.167}$ [mm]

 Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **3**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.50$ [mm]

(γ)

<p>Ενίσχυση σε Κάμψη</p> <p>Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]</p> <p>Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]</p> <p>Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]</p> <p>Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd0} = 0$ [kNm]</p> <p>Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ M_{Rd0}</p> <p><input type="button" value="Παρομοιωτική κατάσταση διατομής"/></p>		<p>Ενίσχυση σε Τέντωση</p> <p>Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]</p> <p>Πρόσθετη τέντωση $V_{fd} = 0$ [kN]</p> <p>Περίσφιγξη</p> <p>Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm²]</p> <p>Πάχος FRP $t_f = 0.50$ [mm]</p> <p>Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccud} = 0.57557$ [-]</p> <p>Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 39.80$ [N/mm²]</p> <p><input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/></p> <p><input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/></p>	
---	--	--	--

(δ)

Σχήμα 4- 7: Διάγραμμα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος



Εφαρμοστέον ΙΟΠ

Εικόνα 4- 15: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για μία στρώση υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγική Δεδομένων		
		
Τύπος Διατομής <input checked="" type="radio"/> Ορθογώνιο υποστύλιο <input type="radio"/> Κυκλικό υποστύλιο		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0.8$ [m] Ύψος $h = 1.20$ [m] Ακτίνα καμπύλας γωνίας $R = 0.05$ [m] Διάμετρος $D = 0$ [m]		
Σκυροδέμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία ή <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού C20/25 ή $f_{cd} = 0$ [N/mm ²]		
Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 105.4$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{td} = 986$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{tde} = 0.8 \times f_{td}$		
Οπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm ²] Απόσταση συνδετήρων $s = 0.2$ [m] Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316$ [mm ²] Επικάλυψη οπλισμών $c = 0.03$ [m]		
Ζητούμενα Προβλήματος <input checked="" type="radio"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{ood} = 27.1$ [N/mm ²] <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής αξονικής παράσης $f_{ood} = 0$ [-]		
<input type="radio"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην : <input type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά Αύξηση δείκτη πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-] Επίλυση Νέα Δεδομένα		

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέντωση	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιξη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,o} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,o} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0.51$	[mm]
			Οριακή αξονική παραμίσση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.23512$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 27.10$	[N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP					
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>					

(β)

Περίσφιξη	
Για ενίσχυση:	$f_{ccd} = 27.10$ [N/mm ²] $\epsilon_{ccud} = 0.23512$ [-]
Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση	$t_f = 0.51$ [mm]
Υφασμα FRP πάχους	<input type="text" value="0.51"/> [mm]
<input type="button" value="Υπολογισμός"/>	Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: 1
	Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.51$ [mm]
<input type="button" value="Επιστροφή χωρίς Επίλυση"/> <input type="button" value="Επιστροφή με Επίλυση"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τέντωση	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιξη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,o} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,o} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 0.51$	[mm]
			Οριακή αξονική παραμίσση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.22168$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 27.10$	[N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP					
<input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>					

Εικόνα 4- 16: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για δύο στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΦΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
	Σκυροδέμα Κατηγορία: C20/25 Αντοχή σχεδιασμού: $f_{cd} = 0$ [N/mm ²]	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας: $E_f = 105.4$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού: $f_{fd} = 986$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού: $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$	
Όπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα: $f_{yk} = 420$ [N/mm ²] Απόσταση συνδετήρων: $s = 0.2$ [m] Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση: $A_{st} = 318$ [mm ²] Επικάλυψη οπλισμών: $c = 0.03$ [m]		
Τύπος Διατομής <input checked="" type="checkbox"/> Ορθογώνιο υποστύριμα <input type="checkbox"/> Κυκλικό υποστύριμα	Ζητούμενα Προβλήματα <input checked="" type="checkbox"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{add} = 34.5$ [N/mm ²] <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής αξονικής παράρτησης $f_{ccadd} = 0$ [-]	
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος: $b = 0.8$ [m] Ύψος: $h = 1.20$ [m] Ακτίνα καμπύλης γωνίας: $R = 0.05$ [m] Διάμετρος: $D = 0$ [m]	<input type="checkbox"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην : <input type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά Αύξηση δόκιμη πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-]	<input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέμνουσα	$V_{fd} = 0$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,e} = 0$ [kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,e} = 0$	Πάχος FRP	$t_f = 1.01$ [mm]
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>		Οριακή αξονική παραμόλη μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccadd} = 0.29933$ [-]
		Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 34.50$ [N/mm ²]
Εισαγωγή διαστάσεων FRP			
<input type="button" value="Εκτύπωση"/>		<input type="button" value="Επιστροφή"/>	<input type="button" value="Έξοδος"/>

(β)

Περίσφιγξη

Για ενίσχυση: $f_{ccd} = 34.50$ [N/mm²] $\epsilon_{ccud} = 0.29933$ [-]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 1.01$ [mm]

Ύψος FRP πάχους [mm]

 Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων : 2

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 1.02$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη			Ενίσχυση σε Τένουσα		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τένουσα	$N_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγξη		
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Αντοχή πριν την ενίσχυση	$f_{cc1d} = 14.34$	[N/mm ²]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$		Πάχος FRP	$t_f = 1.02$	[mm]
<input type="text" value="Παραμορφωσική κατάσταση διατομής"/>			Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση	$\epsilon_{ccud} = 0.28454$	[-]
			Αντοχή μετά την ενίσχυση	$f_{ccd} = 34.50$	[N/mm ²]
			Εισαγωγή διαστάσεων FRP		
			<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>	<input type="button" value="Έξοδος"/>

(δ)

Εικόνα 4- 17: Αποτελέσματα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για τρεις στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ
ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ
ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ

Εισαγωγή Δεδομένων

Σκυροδέμα

Κατηγορία: C20/25 η Αντοχή σχεδιασμού
 $f_{cd} = 0$ [N/mm²]

Σύνθετα Υλικά

Μότρο ελαστικότητας $E_f = 105.4$ [kN/mm²]
 Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 966$ [N/mm²]
 Ενταγμένη αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$

Οπλισμοί Διατομής

Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm²]
 Απόσταση συνδετήρων $s = 0.2$ [m]
 Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316$ [mm²]
 Επικάλυψη οπλισμών $c = 0.03$ [m]

Ζητούμενα Προβλήματος

Αξονική καταπόνηση $f_{ccd} = 38.7$ [N/mm²]
 Αύξηση οριακής αξονικής παρήλσης $\epsilon_{ccid} = 0$ [-]

Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην:
 μικρή πλευρά
 μεγάλη πλευρά

Αύξηση δείκτη πλαστικότητας $\mu_{\Delta} = 0$ [-]

Επίλυση Νέα Δεδομένα

Τύπος Διατομής

Ορθογώνια υποστύλα Κυκλικό υποστύλα

Γεωμετρία Διατομής

Πλάτος $b = 0.8$ [m]
 Ύψος $h = 1.20$ [m]
 Ακτίνα καμπύλης γωνίας $R = 0.05$ [m]
 Διάμετρος $D = 0$ [m]

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη

Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]
 Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]
 Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]
 Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm]
 Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$
 $M_{Rd,0}$

Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής

Ενίσχυση σε Τένουσα

Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]
 Πρόσθετη τένουσα $V_{fd} = 0$ [kN]

Περίσφιξη

Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm²]
 Πάχος FRP $t_f = 1.52$ [mm]
 Οριακή αξονική παραμόρφωση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccid} = 0.33577$ [-]
 Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 38.70$ [N/mm²]

Εισαγωγή διαστάσεων FRP

Εκτύπωση Επιστροφή Έξοδος

(β)

Περίσφιγξη

Για ενίσχυση: $f_{ccd} = 38.70$ [N/mm²] $\epsilon_{ccud} = 0.33577$ [-]

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 1.52$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

 Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: 3

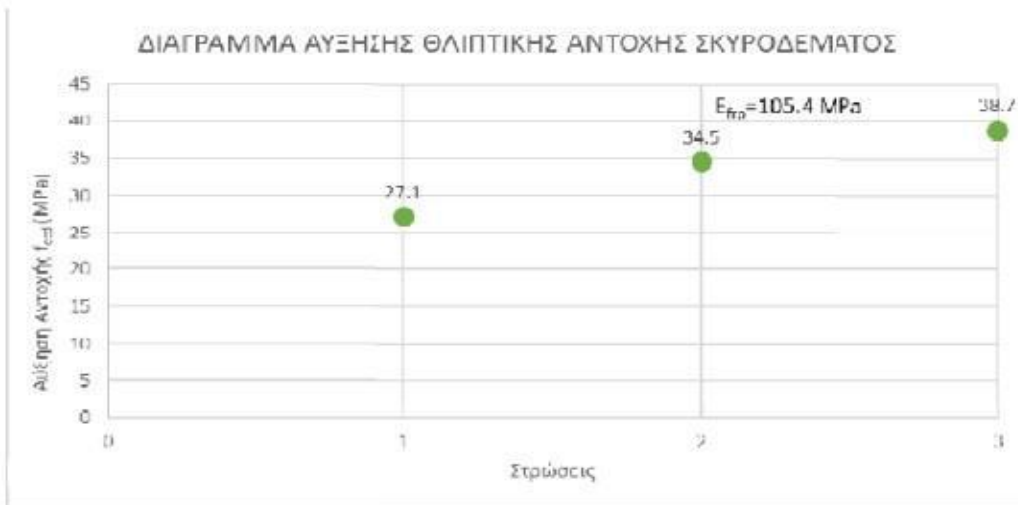
Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 1.53$ [mm]

(γ)

<p>Ενίσχυση σε Κάμψη</p> <p>Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm²]</p> <p>Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm]</p> <p>Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm]</p> <p>Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,o} = 0$ [kNm]</p> <p>Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,o} = 0$</p> <p><input type="button" value="Παραμορφωσική κατάσταση διατομής"/></p>		<p>Ενίσχυση σε Τίμνωσα</p> <p>Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm]</p> <p>Πρόσθετη τίμνωσα $V_{fd} = 0$ [kN]</p> <p>Περίσφιγξη</p> <p>Αντοχή πριν την ενίσχυση $f_{cc1d} = 14.34$ [N/mm²]</p> <p>Πάχος FRP $t_f = 1.53$ [mm]</p> <p>Οριακή αξονική παραμόση μετά την ενίσχυση $\epsilon_{ccud} = 0.32039$ [-]</p> <p>Αντοχή μετά την ενίσχυση $f_{ccd} = 38.70$ [N/mm²]</p> <p><input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/></p> <p><input type="button" value="Εκτύπωση"/> <input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/></p>	
--	--	--	--

(δ)

Σχήμα 4- 9: Διάγραμμα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος



Σχήμα 4- 10: Συγκριτικό διάγραμμα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για μία στρώση υλικού



Σχήμα 4- 11: Συγκριτικό διάγραμμα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για δύο στρώσεις υλικού



Σχήμα 4- 12: Συγκριτικό διάγραμμα αύξησης θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος για τρεις στρώσεις υλικού



SIKAWRAP -400 HIMOD NW

Η δοκιμή της ενίσχυσης υποστυλωμάτων σε περίσφιγξη και αύξηση του δείκτη πλαστιμότητας $\mu\Delta$, με χρήση του μοντέλου SIKAWRAP -400 HIMOD NW, το οποίο έχει μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230 \text{ GPa}$, αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800 \text{ MPa}$ οδήγησε στο συμπέρασμα ότι για μία στρώση υλικού αποδίδεται αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu\Delta = 3.2$

Εικόνα 4- 18: Αποτελέσματα αύξησης δείκτη πλαστιμότητας $\mu\Delta$ για μία στρώση υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
		
Τύπος Διατομής <input checked="" type="radio"/> Ορθογώνιο υποστήμιο <input type="radio"/> Κυκλικό υποστήμιο		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0.8 \text{ [m]}$ Ύψος $h = 1.20 \text{ [m]}$ Ακτίνα καμπής γωνίας $R = 0.05 \text{ [m]}$ Διάμετρος $D = 0 \text{ [m]}$		
Σκυρόδεμα Κατηγορία: C20/25 ή Αντοχή σχεδιασμού $f_{cd} = 0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$		
Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230 \text{ [kN/mm}^2\text{]}$ Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0.8 \times f_{fd}$		
Οπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ Απόσταση συνδετήρων $s = 0.2 \text{ [m]}$ Εμβαδόν συνδετήρων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316 \text{ [mm}^2\text{]}$ Επικάλυψη οπλισμών $c = 0.03 \text{ [m]}$		
Ζητούμενα Προβλήματος <input checked="" type="radio"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{add} = 38.7 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής ελαστικής παραμόρφωσης $\epsilon_{sadd} = 0 \text{ [-]}$ <input checked="" type="radio"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην: <input checked="" type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά <input type="button" value="Επίλυση"/>		
Αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu\Delta = 3.2 \text{ [-]}$ <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>		

(α)

- Ενίσχυση σε Κάμψη			- Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή ατοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τήμνουσα	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγξη		
Ροπή ατοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Πάχος FRP	$t_f = 0.16$	[mm]
Βαθμός ενίσχυσης	M_{Rd} $M_{Rd,0} = 0$		Δείκτης πλαστιμότητας μετατοπίσεων	$\mu_{\Delta} = 3.2$	[-]
Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής			Εισαγωγή διαστάσεων FRP		
			Εκτύπωση	Επιστροφή	Έξοδος

(β)

Περίσφιγξη	
Για αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 3.2$	
Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.16$ [mm]	
Ύψος FRP πάχους <input type="text" value="0.167"/> [mm]	
<input type="button" value="Υπολογισμός"/>	Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: 1
Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.17$ [mm]	
<input type="button" value="Επιστροφή χωρίς Επίλυση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή με Επίλυση"/>
<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(γ)

- Ενίσχυση σε Κάμψη			- Ενίσχυση σε Τέντωση		
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$	[mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$	[mm]
Ροπή ατοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$	[kNm]	Πρόσθετη τήμνουσα	$V_{fd} = 0$	[kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$	[kNm]	Περίσφιγξη		
Ροπή ατοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$	[kNm]	Πάχος FRP	$t_f = 0.17$	[mm]
Βαθμός ενίσχυσης	M_{Rd} $M_{Rd,0} = 0$		Δείκτης πλαστιμότητας μετατοπίσεων	$\mu_{\Delta} = 3.3$	[-]
Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής			Εισαγωγή διαστάσεων FRP		
			Εκτύπωση	Επιστροφή	Έξοδος

(δ)

Εικόνα 4- 19: Αποτελέσματα αύξησης δείκτη πλαστιμότητας μ_{Δ} για δύο στρώσεις υλικού

ΕΙΣΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΙΣΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
	Σκυρόδεμα Κατηγορία: C20/25 $f_{td} = 0$ [N/mm ²]	
	Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [kN/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$	
Όπλισμοι Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή γάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm ²] Απόσταση συνδέσμων $s = 0,2$ [m] Εμβαδόν συνδέσμων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316$ [mm ²] Επκάλυψη οπλισμών $c = 0,03$ [m]		
Τύπος Διατομής <input checked="" type="radio"/> Ορθογώνιο υποστύλο <input type="radio"/> Κυκλικό υποστύλο		
Γεωμετρία Διατομής Πλάτος $b = 0,8$ [m] Ύψος $h = 1,20$ [m] Ακτίνα καμπής γωνίας $R = 0,05$ [m] Διάμετρος $D = 0$ [m]		
Ζητούμενα Προβλήματος <input type="radio"/> Αξονική καμπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{add} = 38,7$ [N/mm ²] <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής ελαστικής παράσης $\epsilon_{total} = 0$ [-]		
<input checked="" type="radio"/> Οριζόντια καμπόνηση παράλληλα στην: <input checked="" type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά		
Αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 6,4$ [-]		<input type="button" value="Επίλυση"/> <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²] Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm] Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm] Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm] Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0}$		Ενίσχυση σε Τένουσα Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm] Πρόσθετη τένουσα $V_{fd} = 0$ [kN]	
<input type="button" value="Παραμορφωσιακή κατάσταση διατομής"/>		Περίσφιγξη Πάχος FRP $t_f = 0,33$ [mm] Δείκτης πλαστιμότητας μεταποτίστων $\mu_{\Delta} = 6,4$ [-]	
<input type="button" value="Εκτύπωση"/>		<input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>	

(β)

Περίσφιξη

Για αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 6.4$

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.33$ [mm]

Ύφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων : **2**

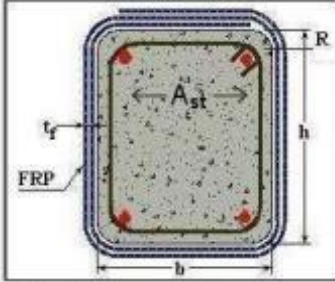
Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.33$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τίμνουσα	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τίμνουσα	$V_{Rd} = 0$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιξη	
Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Πάχος FRP	$t_f = 0.33$ [mm]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$	Δείκτης πλαστιμότητας μετασπασίων	$\mu_{\Delta} = 6.5$ [-]
<input type="text" value="Παρομοιωστική κατάσταση διατομής"/>		<input type="text" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/>
		<input type="button" value="Έξοδος"/>	

(δ)

Εικόνα 4- 20: Αποτελέσματα αύξησης δείκτη πλαστιμότητας μ_{Δ} για τρεις στρώσεις υλικού

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ	ΠΕΡΙΣΦΙΓΞΗ
Εισαγωγή Δεδομένων		
		
Σκυρόδεμα <input checked="" type="radio"/> Κατηγορία $C20/25$ ή <input type="radio"/> Αντοχή σχεδιασμού $f_{cd} = 0$ [N/mm ²]		
Σύνθετα Υλικά Μέτρο ελαστικότητας $E_f = 230$ [N/mm ²] Αντοχή σχεδιασμού $f_{fd} = 3800$ [N/mm ²] Ενεργή αντοχή σχεδιασμού $f_{fde} = 0,8 \times f_{fd}$		
Οπλισμοί Διατομής Χαρακτηριστική αντοχή χάλυβα $f_{yk} = 420$ [N/mm ²] Απόσταση συνδέσμων $s = 0,2$ [m] Εμβαδόν συνδέσμων ανά διεύθυνση $A_{st} = 316$ [mm ²] Επικάλυψη οπλισμών $c = 0,03$ [m]		
Ζητούμενα Προβλήματα <input type="radio"/> Αξονική καταπόνηση <input checked="" type="checkbox"/> Αύξηση αντοχής $f_{red} = 38,7$ [N/mm ²] <input type="checkbox"/> Αύξηση οριακής αξονικής περιστες $\epsilon_{soud} = 0$ [-]		
<input checked="" type="radio"/> Οριζόντια καταπόνηση παράλληλα στην : <input checked="" type="checkbox"/> μικρή πλευρά <input type="checkbox"/> μεγάλη πλευρά <input type="button" value="Επίλυση"/>		
Αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 9,7$ [-] <input type="button" value="Νέα Δεδομένα"/>		

(α)

Ενίσχυση σε Κάμψη Εμβαδόν διατομής FRP $A_f = 0$ [mm ²] Ροπή αντοχής μετά την ενίσχυση $M_{Rd} = 0$ [kNm] Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση $N_{Rd} = 0$ [kNm] Ροπή αντοχής πριν την ενίσχυση $M_{Rd,0} = 0$ [kNm] Βαθμός ενίσχυσης $M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$		Ενίσχυση σε Τέμνουσα Πάχος FRP $t_f = 0$ [mm] Πρόσθετη τέμνουσα $V_{fd} = 0$ [kN]	
Περίσφιγξη Πάχος FRP $t_f = 0,50$ [mm] Δείκτης πλαστιμότητας μετασπίσεων $\mu_{\Delta} = 9,7$ [-]			
<input type="button" value="Παραμετρική κατάσταση διατομής"/>			
<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>			
<input type="button" value="Εκτύπωση"/>		<input type="button" value="Επιστροφή"/>	
<input type="button" value="Εξόδος"/>			

Περίσφιγξη

Για αύξηση δείκτη πλαστιμότητας $\mu_{\Delta} = 9.7$

Απαιτούμενο πάχος FRP για την ενίσχυση $t_f = 0.50$ [mm]

Υφασμα FRP πάχους [mm]

Απαιτούμενος αριθμός στρώσεων: **3**

Εφαρμοζόμενο πάχος FRP $t_f = 0.50$ [mm]

(γ)

Ενίσχυση σε Κάμψη		Ενίσχυση σε Τέντωση	
Εμβαδόν διατομής FRP	$A_f = 0$ [mm ²]	Πάχος FRP	$t_f = 0$ [mm]
Ροπή αποχής μετά την ενίσχυση	$M_{Rd} = 0$ [kNm]	Πρόσθετη τέντωση	$N_{Rd} = 0$ [kN]
Αξονική δύναμη μετά την ενίσχυση	$N_{Rd} = 0$ [kNm]	Περίσφιγξη	
Ροπή αποχής πριν την ενίσχυση	$M_{Rd,0} = 0$ [kNm]	Πάχος FRP	$t_f = 0.50$ [mm]
Βαθμός ενίσχυσης	$M_{Rd} = 0$ $M_{Rd,0} = 0$	Δείκτης πλαστιμότητας μετατοπίσεων	$\mu_{\Delta} = 9.7$ [-]
<input type="button" value="Παραμορφωσική κατάσταση διατομής"/>		<input type="button" value="Εισαγωγή διαστάσεων FRP"/>	
		<input type="button" value="Εκτύπωση"/>	<input type="button" value="Επιστροφή"/> <input type="button" value="Έξοδος"/>

(δ)

Σχήμα 4- 13: Διάγραμμα αύξησης δείκτη πλαστιμότητας μ_{Δ}



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Οι τρεις προς διερεύνηση παράμετροι (Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος, τέμνουσα αντοχής, πλαστιμότητα υποστυλώματος $\mu\Delta$) αυξάνονται, με την αύξηση των στρώσεων του υφάσματος.
- Οι παραπάνω παράμετροι αυξάνονται γραμμικά σε σχέση με τις στρώσεις των υλικών.
- Λόγω του μεγάλου πάχους του υφάσματος, το εφαρμοσθέν από την κατασκευάστρια εταιρεία ΙΟΠ παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές αύξησης των παραπάνω παραμέτρων.
- Και με τα τρία υφάσματα ΙΟΠ επιτυγχάνονται επιθυμητές τιμές του δείκτη πλαστιμότητας $\mu\Delta$, πράγμα που είναι αναγκαίο για τη συμπεριφορά της γέφυρας στις αυξημένες απαιτήσεις αντισεισμικότητας μετά την ενίσχυση.

Βιβλιογραφία

- [1] Τριανταφύλλου Αθ., “Ενισχύσεις Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος και Φέρουσας Τοιχοποιίας με Σύνθετα Υλικά”, Πάτρα, 2006.
- [2] Δρίτσος Σ.Η., “Ενισχύσεις / Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”, Πάτρα, 2006.
- [3] Nanni, A., Faza, S., “Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars: An Emerging Technology”, (2001), www.campus.umn.edu/rb2c/publications/journal/2002
- [4] Berg, Adam, C., Bank, Lawrence, C., Oliva, Michael, G., Russell, Jeffrey, S., “Construction and Cost Analysis of an FRP Reinforced Concrete Bridge Deck”
Construction and Building Materials 20 (2006) 515-526
- [5] Υ.Π.Ε.ΧΩ.ΔΕ.,
Ινστιτούτο Οικονομίας Κατασκευών (Ι.Ο.Κ.), ΠΕΤΕΠ, 14-01-08-01: “Strengthening of Concrete Structures Using Externally Bonded Preformed FRP Fabrics
- [7] www.isomat.eu
- [8] www.kemlite.com
- [9] Japan Society of Civil Engineers www.jsce-int.org.jp
- [10] Japan Concrete Institute www.jci.net.or.jp
- [11] www.iifc-hq.org/photocompetition05/album.htm
- [12] www.isiscanada.com
- [13] American Concrete Institute www.aci-int.org
- [14] American Society of Civil Engineers www.asce.org
- [15] Αφιερώματα ΤΕΕ, Τεύχος 2072, “Συνοπτικές Διαδικασίες για την Επισκευή του Φέροντος Οργανισμού Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Βλάβες από Σεισμό” www.tee.gr
- [16] Τριανταφύλλου, Αθ. Χ., Παπανικολάου, Αικ. Γ., Μπουρνάς, Δ., Λόντου, Π., “Νέα γενιά συνθέτων υλικών ανόργανης μήτρας (TRM) για την ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος” 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, 25-27 Οκτ., Αλεξανδρούπολη, 2006 [17] www.fib.org
- [18] www.fhwa.dot.gov/bridge/ibrc/ [19] www.iso.org 116
- [20] www.projects.bre.co.uk.
- [21] CEN (2004), “Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General Rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1)”, Brussels. [22]

CEN (2009), "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 2: Bridges (EN 1998-2:2005+A1)", Brussels.

[23] CEN (2005), "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings (EN 1998-3)", Brussels