

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΚΑΙ ΡΑΒΔΩΝ FRP

ΛΥΡΑΝΤΖΑΚΗ ΦΩΤΕΙΝΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάστηκε στο 13^ο Φοιτητικό Συνέδριο << Επισκευές Κατασκευών 2007 >> που πραγματοποιήθηκε στην Πάτρα στις 21-22 Φεβρουαρίου 2007 στα πλαίσια του μαθήματος << Ενισχύσεις- Επισκευές Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα >>.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ανθρακούχος χάλυβας είναι το κατεξοχήν χρησιμοποιούμενο υλικό για την όπλιση κατασκευών σκυροδέματος. Στην επικράτησή του συντέλεσαν οι εξαιρετικές ιδιότητες που τον χαρακτηρίζουν –αντοχή, πλαστιμότητα, συνεργασία με το σκυρόδεμα – σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος και την πλήρως βιομηχανοποιημένη διαδικασία παραγωγής. Παρόλα τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα, οι χαλύβδινες ράβδοι αντιμετωπίζουν προβλήματα διάβρωσης που μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση των χαρακτηριστικών τους. Ωστόσο, το υγιές σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή των ράβδων με τα διαβρωτικά μέσα (οξυγόνο, διοξείδιο του θείου, χλωριόντα κλπ). Αυτό εξασφαλίζεται με το κατάλληλο πάχος επικάλυψης. Επιπλέον η αλκαλικότητα του σκυροδέματος (pH 12.5-13.8), λόγω της δημιουργίας υδροξειδίου του ασβεστίου κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου, συντελεί στη δημιουργία ενός στρώματος παθητικής προστασίας στην επιφάνεια των οπλισμών, που μειώνει σημαντικά το ρυθμό διάβρωσης. Οι μηχανισμοί αυτοί συνήθως προσφέρουν επαρκή διαβρωτική προστασία, ώστε να είναι δυνατή η μόρφωση ασφαλών και λειτουργικών κατασκευών.

Συνεπώς το πρόβλημα της διάβρωσης φαντάζει δευτερεύον για την πλειοψηφία των κοινών οικοδομικών έργων. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για κατασκευές εκτεθειμένες σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα, όπως γέφυρες, κατασκευές σε λιμένες καθώς και καταστρώματα γεφυρών όπου γίνεται χρήση αντιπαγωτικών αλάτων. Στις περιπτώσεις αυτές ο συνδυασμός της υγρασίας, των ιόντων χλωρίου και των θερμοκρασιακών μεταβολών οδηγούν σε μείωση της αλκαλικότητας του σκυροδέματος και άρα αύξηση του κινδύνου διάβρωσης των οπλισμών. Τη διάβρωση ακολουθεί η πτώση των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος καθώς και η απώλεια λειτουργικότητας των κατασκευών.[1]

Τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω έκαναν επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας οπλισμών, ισάξιων με το χάλυβα όσον αφορά τις μηχανικές του ιδιότητες και τα πλεονεκτημάτα του, ανθεκτικών όμως στη διάβρωση. Παραδείγματα τέτοιων οπλισμών είναι οι χαλύβδινες ράβδοι επικαλυμμένες με εποξειδικές ρητίνες, ο ανοξείδωτος χάλυβας, οι ράβδοι από ινωπλισμένα πολυμερή (FRP rebars), ράβδοι από τιτάνιο κτλ. Επίσης έχουν αναπτυχθεί και διάφορες μέθοδοι προστασίας των χαλύβδινων οπλισμών όπως η καθοδική προστασία, ειδικοί τύποι τσιμέντου βελτιωμένου με διάφορα πρόσμικτα, καθώς και τοποθέτηση αδιάβρωχων μεμβρανών ή και άλλων υλικών στην επιφάνεια μελών από σκυρόδεμα [15].

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να αναδειχθούν τα χαρακτηριστικά των ράβδων οπλισμού από FRP και από ανοξείδωτο χάλυβα, που τα κάνουν αποτελεσματικά στην προστασία των κατασκευών από τη διάβρωση και να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα, όσο είναι δυνατό, σχετικά με το ποιο από τα δυο αυτά υλικά είναι πιο αποτελεσματικό για το σκοπό αυτό και σε ποιες περιπτώσεις.

Κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας εκτός από τις αναφερόμενες πηγές, χρησιμοποιήθηκε το βιβλίο του Μ.Ν. Φαρδής « Μαθήματα Οπλισμένου Σκυροδέματος » και

ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος για τη μελέτη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του χάλυβα. Τέλος, πληροφορίες σχετικές με τα ινοπλισμένα πολυμερή αντλήθηκαν από εργασίες στα πλαίσια του μεταπτυχιακού μαθήματος «Προηγμένα Υλικά και Εφαρμογές σε Νέες Κατασκευές και Ενισχύσεις» [17], [18].

2. ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ

Με τον όρο ανοξειδωτοί χάλυβες αναφερόμαστε σε μια ειδική κατηγορία χάλυβων, κατασκευασμένων από κράματα που περιέχουν στοιχεία όπως το χρώμιο, το νικέλιο, το μολυβδαίνιο, το τιτάνιο κ.α [3]. Το χρώμιο είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία, στην επιφάνεια των ανοξειδωτων ράβδων, ενός πολύ λεπτού στρώματος οξειδίου του χρωμίου (παθητικό) με εξαιρετική πρόσφυση σε αυτήν, το οποίο λειτουργεί ως ασπίδα προστασίας από τη διάβρωση. Το παθητικό αυτό στρώμα έχει την ικανότητα να ξαναδημιουργείται σε περίπτωση τοπικών αφαιρέσεων του υλικού [12].

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση οι ανοξειδωτοί χάλυβες χωρίζονται σε 60 και πλέον κατηγορίες ποιότητας, ενώ ανάλογα με τη μικρογραφική τους δομή κατατάσσονται σε τέσσερις τύπους (σε κάθε περίπτωση περιέχουν ελάχιστο άνθρακα).

- Μαρτενσιτικοί
- Φερριτικοί
- Ωστενιτικοί
- Φερριτικοί-Ωστενιτικοί (Duplex) [2]

Οι τρεις τελευταίοι είναι και οι αυτοί που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, με τους ωστενιτικούς να είναι οι πιο δημοφιλείς. Χρησιμοποιούνται με τη μορφή ευθύγραμμων ράβδων με επιφανειακές ραβδώσεις, των 12 ή 14 μέτρων και διατίθενται σε διαμέτρους από 6 έως 40 mm (εύρος διαμέτρων αντίστοιχο με το διατιθέμενο για ράβδους συμβατικού χάλυβα) [3].



ΕΙΚΟΝΑ 1: Ράβδοι Ανοξειδωτου Χάλυβα [19]



ΕΙΚΟΝΑ 2: Ράβδοι Συμβατικού (αριστερά) και Ανοξειδωτου Χάλυβα (δεξιά) [20]

2.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Οι διάφορες ιδιότητες του ανοξειδωτου χάλυβα καθορίζονται από τη χημική του σύσταση και ιδιαίτερα από την κραματοποίησή του. Οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες που αφορούν τη χρήση του στο σκυρόδεμα, είναι η πυκνότητα, η θερμική κατεργασία, η μαγνητική ιδιότητα και ο συντελεστής θερμικής διαστολής. Με τον τελευταίο, να είναι η σημαντικότερη από κατασκευαστικής άποψης. Οι φερριτικοί χάλυβες έχουν περίπου την ίδια τιμή με το σκυρόδεμα, για το συντελεστή αυτό. Ωστόσο οι ωστενιτικοί έχουν μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής διαστολής, γεγονός που θεωρητικά μπορεί να προκαλέσει ρηγματώση σε βαριές κατασκευές σκυροδέματος εκτεθειμένες σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο κάτι

τέτοιο δεν έχει επιβεβαιωθεί πειραματικά. Επίσης, έχουν διαφορετική τιμή για το συντελεστή αυτό και από το μαύρο χάλυβα, γεγονός το οποίο θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη στο σχεδιασμό στοιχείων όπου συνυπάρχουν τα δυο υλικά.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται χαρακτηριστικές τιμές των παραπάνω ιδιοτήτων

	Πυκνότητα g/cm ³	Θερμική κατεργασία W/m × °C	Συντελεστής Θερμικής διαστολής cm/cm × °C	Μαγνητικός
Φερριτικός χάλυβας	7,7	23	1,2*10 ⁻⁵	Ναι
Ωστενιτικός χάλυβας	7,8-8,0	12-15	1,7*10 ⁻⁵	Όχι
Duplex steel	7,7	20	1,3*10 ⁻⁵	Ναι

Πίνακας 1: Φυσικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα [3]

Επίσης αυτό το είδος χάλυβα χαρακτηρίζεται από:

- Εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση. Με τους ωστενιτικούς και τους Duplex να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί ακόμη και σε περιβάλλοντα με υψηλή περιεκτικότητα σε χλωρίοντα.
- Συγκολλησιμοι. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητη η χρήση ειδικών ηλεκτροδίων. Ενώ, ιδιαίτερη προσοχή συνιστάται στις περιοχές συγκόλλησης, οι οποίες είναι ευαίσθητες σε διάβρωση και σ' αυτές είναι πιθανό να εμφανιστούν μειωμένες αντοχές!
- Βάρος περίπου ίσο με αυτό του συμβατικού χάλυβα
- Μαγνητίζονται [3]
- Σε περιπτώσεις όπου ο ανοξείδωτος χάλυβας έρχεται σε επαφή με το συμβατικό, ενδέχεται να σχηματιστεί γαλβανικό μακροστοιχείο, το οποίο όμως προκαλεί ασήμαντη αύξηση του ρυθμού διάβρωσης λόγω ύπαρξης του ανοξείδωτου χάλυβα [2].

2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Γενικά οι ανοξείδωτοι χάλυβες αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε θερμοκρασία 500 °C η μείωση του συμβατικού ορίου διαρροής είναι πολύ μικρή. Είναι προφανές ότι είναι ανθεκτικοί σε πυρκαϊά.[3].

2.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

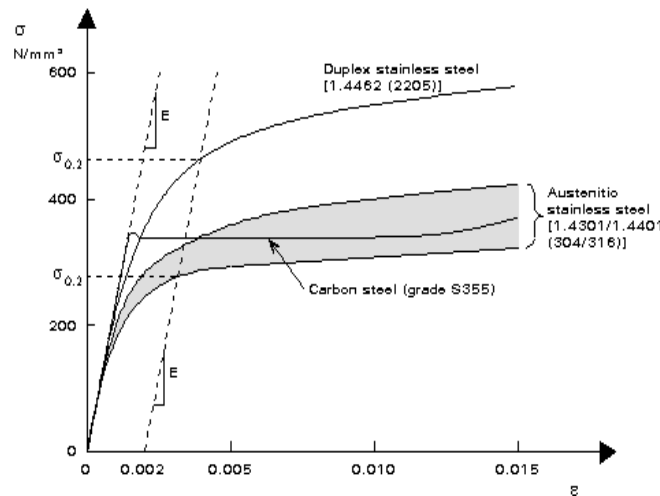
- Όλκιμη συμπεριφορά χωρίς ωστόσο να παρουσιάζουν ένα σαφές όριο διαρροής. Για το λόγο αυτό συνήθως ως χαρακτηριστικό τους αναφέρεται ένα συμβατικό όριο διαρροής (Rp0,2) που αντιστοιχεί σε μόνιμη πλαστική παραμόρφωση 0,2 %.
- Μέτρο ελαστικότητας παρόμοιο με αυτό του συμβατικού χάλυβα 200GPa.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες παράγονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά και ανεξάρτητα από τη χημική τους σύσταση. Ακολουθούν οι μηχανικές ιδιότητες των κατηγοριών αυτών, σύμφωνα με το υπό επεξεργασία Ευρωπαϊκό πρότυπο [3]

Strength grade	0.2%Proof Strength Rp0.2 (Mpa)		Total Elongation at maximum force Agt(%)	
	Fractile value	Minimum	Fractile value	Minimum value
InE235	235	220	8	7
InE500	500	475	5	4
InE650	650	625	5	4
InE800	800	775	5	4

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Μηχανικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα [3]

Παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικά, ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του ανοξείδωτου και του συμβατικού χάλυβα για λόγους καλύτερης κατανόησης της συμπεριφοράς των δυο υλικών.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Τυπικό Διάγραμμα Τάσεων- Παραμορφώσεων για Ανοξείδωτο και συμβατικό χάλυβα [12]

2.4 ΚΟΣΤΟΣ

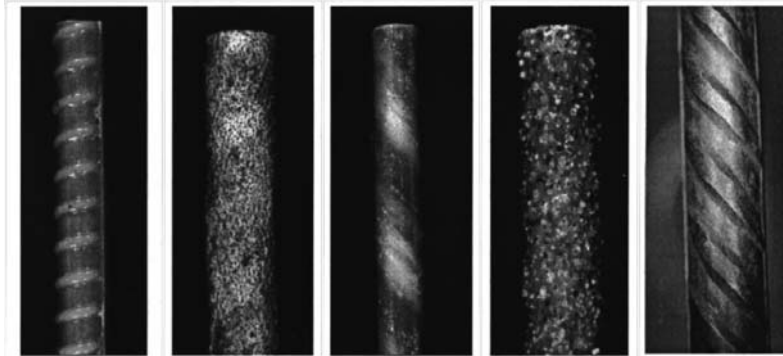
Το κόστος του ανοξείδωτου χάλυβα κυμαίνεται από 6 έως 10 ευρώ το κιλό, ανάλογα με τη διατομή των ράβδων και την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Τιμή που είναι κατά 10 περίπου φορές αυξημένη με αυτή του συμβατικού χάλυβα [10] , [15].

3. ΡΑΒΔΟΙ ΑΠΟ ΙΝΩΠΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ (FRP REBARS)

Τα σύνθετα υλικά προέρχονται από συνδυασμό ινών (γυαλιού, άνθρακα, αραμιδίου) σε μήτρα εποξειδικής ρητίνης. Οι ίνες αποτελούν το φορέα ανάληψης δυνάμεων (κατά κανόνα εφελκυστικών) παράλληλα στη διεύθυνση τους. Η μήτρα αποτελεί τη συγκολλητική ουσία μεταξύ των ινών, τις προστατεύει και εξασφαλίζει τη μεταφορά δυνάμεων σε αυτές. Τα FRPs κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο ινών από τις οποίες είναι κατασκευασμένα:

- GFRP από ίνες γυαλιού
- CFRP από ίνες άνθρακα.
- AFRP από ίνες αραμιδίου [4]

Διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία διαμέτρων, ανάλογη με αυτή που ισχύει για το συμβατικό χάλυβα [8].



ΕΙΚΟΝΑ 3: Είδη ράβδων FRP [16]

3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Μερικές από τις βασικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών όλων των τύπων ινών, παρατίθενται παρακάτω

- Δεν προσβάλλονται από τα χλωριόντα και έχουν αντοχή σε όξινα περιβάλλοντα
- Βάρος περίπου ίσο με το 1/4 -1/5 του βάρους των μεταλλικών οπλισμών
- Δεν επηρεάζονται από μαγνητικά πεδία και ραδιοσυχνότητες.
- Κακοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού [5]

	GFRP	CFRP	AFRP
Πυκνότητα g/cm ³	1,25-2,10	1,5-1,60	1,25-1,40

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Τυπικές τιμές πυκνοτήτων [6]

Κρίνεται χρήσιμο να αναφερθούν ξεχωριστά κάποιες ιδιότητες που αφορούν συγκεκριμένους τύπους ινών :

- Μειωμένη αντοχή των ινών γυαλιού σε αλκαλικό περιβάλλον όπως αυτό του σκυροδέματος
- Πολύ καλή συμπεριφορά των ινών αραμιδίου σε κρουστικά φορτία [4]

3.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων οπλισμών καθορίζουν τη συμπεριφορά τους στις διάφορες μορφές καταπόνησεων (εφελκυσμό, θλίψη, διάτμηση, κτλ). Οι σημαντικότερες από αυτές ακολουθούν.

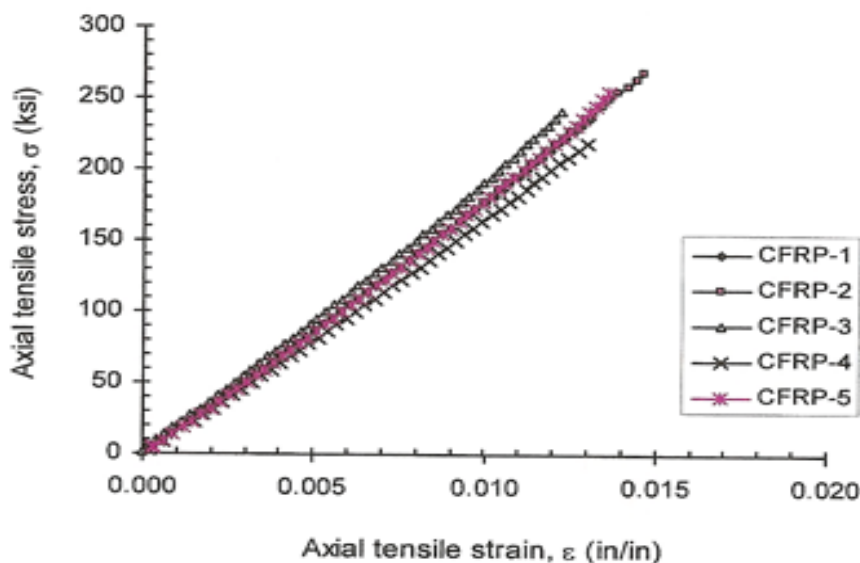
- Είναι ανισοτροπικά υλικά
- Γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι την αστοχία (κατά την καταπόνησή τους σε εφελκυσμό ή/ και θλίψη).

- Χαμηλή θλιπτική αντοχή ανάλογα με τον τύπο των ινών. Πρακτικά θεωρείται αμελητέα. Σε πειραματικές δοκιμές για τις Ιδιότητες Ράβδων FRP σε θλίψη έχουν προκύψει θλιπτικές αντοχές ίσες με το 55,78 και 20% των εφελκυστικών αντοχών για τις ίνες γυαλιού, άνθρακα και αραμιδίου αντίστοιχα. Οι αντίστοιχοι συντελεστές για τα μέτρα ελαστικότητας είναι 80,85 και 100% .
- Η καμπτική αντοχή των ράβδων δεν επηρεάζεται από τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Οι καμπτικές δυνάμεις μεταφέρονται μέσω της ρητίνης στις ίνες.
- Διατμητική αντοχή χαμηλή συγκριτικά με τους μεταλλικούς σπλισμούς [13].
- Γενικά χαμηλή αντοχή σε συνάφεια λόγω μειωμένης χημικής πρόσφυσης του υλικού με το σκυρόδεμα και μειωμένης μηχανικής εμπλοκής (αδυναμία της επιφάνειας των ράβδων μεταφοράς σημαντικών τάσεων που οφείλεται στη χαμηλή διατμητική αντοχή της ρητίνης) [7]. Η αντοχή συνάφειας δε φαίνεται να επηρεάζεται από τη θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος (σε αντίθεση με τις χαλύβδινες ράβδους). [13]
- Η κάμψη των ράβδων δεν μπορεί να γίνει στο εργοτάξιο. Αν για κάποιο έργο απαιτούνται κεκαμμένες ράβδοι αυτό θα πρέπει να γίνει κατά τη διαδικασία παραγωγής τους [5].

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τυπικές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των ράβδων FRP. Ενώ το διάγραμμα 2, είναι ενδεικτικό της συμπεριφοράς τους σε εφελκυσμό. Οι καμπύλες αυτές είναι αποτέλεσμα μιας σειράς πειραμάτων σε δοκίμια ράβδων CFRP. Την ίδια συμπεριφορά ακολουθούν και τα AFRP και GFRP [6].

Εφελκυστικές Ιδιότητες	Τύποι ράβδων		
	AFRP	CFRP	GFRP
Τάση διαροής f_{yt} (Mpa)	Δεν υπάρχει	Δεν υπάρχει	Δεν υπάρχει
Max Αντοχή σε εφελκ. f_{yu} (Mpa)	1000-1400	600-2900	483-1035
Μέτρο Ελαστικότητας $E_f \cdot 10^3$ (Gra)	60-87	120-300	35-45
Μέγιστη Παραμόρφωση ϵ_{ut} (%)	1,4-1,9	0,5-1,7	1,2-2,7

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 : Τυπικές Ιδιότητες Ράβδων FRP σε εφελκυσμό[6]



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: Πειραματικές καμπύλες τάσεων- παραμορφώσεων ράβδων CFRP [6].

3.4 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Η αύξηση της θερμοκρασίας πέρα από κάποια τιμή, που είναι ίση με τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g) και εξαρτάται από τον τύπο της ρητίνης (συνήθως 65-120 °C), προκαλεί σημαντική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων των ρητινών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι θερμοκρασίες της τάξης των 250 °C μειώνουν την εφελκυστική αντοχή των GFRP και CFRP κατά 20% [13]. Είναι προφανές ότι υψηλότερες θερμοκρασίες όπως αυτές που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαϊάς, προκαλούν πλήρη αποσύνθεση των ρητινών και επομένως οι ράβδοι FRP δεν μπορούν να φέρουν τάσεις. Βέβαια οι ράβδοι οπλισμού βρίσκονται μέσα στα μέλη σκυροδέματος δεν κινδυνεύουν να καούν, λόγω έλλειψης οξυγόνου. Ενώ, μειωμένη είναι και η συνάφεια των οπλισμών σε υψηλές θερμοκρασίες. Ωστόσο κατάρρευση της κατασκευής αναμένεται να συμβεί σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες [4].

3.5 ΧΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΩΜΕΝΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη μακροχρόνια συμπεριφορά των σύνθετων ράβδων είναι ο ερπυσμός. Οι ράβδοι FRP, κατά τη φόρτιση τους υπό σταθερή εφελκυστική τάση για κάποιο χρονικό διάστημα ίσο με το χρόνο αντοχής τους, είναι πιθανόν να αστοχήσουν λόγω ερπυστικής διάρρηξης (creep rupture) (ο συμβατικός χάλυβας μπορεί να έχει τέτοιου είδους αστοχία μόνο σε υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαϊάς). Ο τύπος της αστοχίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο των ινών των ράβδων [6]. Τα ανθρακονήματα φαίνεται να έχουν πρακτικά μηδενικές ερπυστικές παραμορφώσεις, ενώ οι ίνες γυαλιού έχουν το μεγαλύτερο πρόβλημα [13].

3.6 ΑΛΛΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται ως μια εναλλακτική λύση για την όπλιση κατασκευών σκυροδέματος εκτεθειμένων σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, λόγω της ανθεκτικότητάς τους. Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών αυτών καθορίζονται από το είδος των ινών τους. Όμως σε επιθετικά περιβάλλοντα, η ρητίνη, που σε κανονικές συνθήκες προστατεύει τις ίνες από επιβλαβείς παράγοντες, μπορεί να ρηγματωθεί αφήνοντας τις ίνες εκτεθειμένες σε αυτούς. Κάποιοι από αυτούς αναφέρονται παρακάτω σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις τους.

- Υγρασία. Γενικά τα σύνθετα υλικά έχουν πολύ καλή συμπεριφορά στην υγρασία. Ωστόσο μετά από μακροχρόνια έκθεση κάποιοι συνδυασμοί ινών-ρητίνης μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα. Όμως, τις περισσότερες φορές, το σκυρόδεμα αποτελεί αποτελεσματική ασπίδα προστασίας για τους οπλισμούς [4].
- Οξινό περιβάλλον. Η παρουσία διαφόρων τύπων αλάτων σε συνδυασμό με θερμοκρασιακούς παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ράβδων [13].
- Αλκαλικό περιβάλλον. Σύμφωνα με σχετικές έρευνες, τα ανθρακονήματα δε φαίνεται να επηρεάζονται. Σε αντίθεση με τις ίνες γυαλιού που είναι ιδιαίτερα ευπαθείς (εκτός

από αυτές που προστατεύονται από θερμοπλαστικές ρητίνες). Οι ίνες αραμιδίου παρουσιάζουν ενδιάμεση συμπεριφορά [14].

- Η υπεριώδης ακτινοβολία επηρεάζει την εξωτερική στρώση ρητίνης επιφέροντας ενδεχομένως μείωση της αντοχής των σύνθετων ράβδων μέχρι και 40%. Ωστόσο το πρόβλημα αυτό παρακάμπτεται με χρήση πρόσμικτων ουσιών στις ρητίνες [13].
- Τα σύνθετα υλικά είναι ανθεκτικά στη γαλβανική διάβρωση, με εξαίρεση αυτά που περιέχουν ανθρακονήματα [4].
- Πολύ καλή συμπεριφορά σε κρουστικά φορτία, ιδιαίτερα οι ίνες αραμιδίου.
- Πολύ καλή συμπεριφορά σε κόπωση [13]

3.7 ΚΟΣΤΟΣ

Σύμφωνα με στοιχεία που προέρχονται από εταιρεία παραγωγής ράβδων FRP στην Αμερική το κόστος για τα GFRP κυμαίνεται από 0,85 έως 5,94 ευρώ/m και για τα CFRP από 5,91 έως 9,45 ευρώ/m [8]. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα δεν υπάρχουν βιομηχανίες παραγωγής σύνθετων υλικών, το κόστος των εισαγόμενων ράβδων αναμένεται να είναι γύρω στις 10 φορές πάνω από την τιμή του συμβατικού χάλυβα ανάλογα με τη διάμετρο των ράβδων και το υλικό των ινών [9].

4. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΡΑΒΔΟΥΣ

Ένα βασικό πλεονέκτημα που έχουν οι ανοξείδωτοι χάλυβες σε σχέση με τα σύνθετα υλικά είναι η πλάσטיμη συμπεριφορά των στοιχείων σκυροδέματος τα οποία οπλίζουν. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι δίνουν κάποια προειδοποίηση πριν την αστοχία τους. Επίσης ακολουθούν τους ίδιους κανόνες σχεδιασμού με το συμβατικό χάλυβα, σε αντίθεση με τα FRP που λόγω του ψαθυρού τρόπου αστοχίας τους (γραμμική ελαστική συμπεριφορά) έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις όσον αφορά το σχεδιασμό των κατασκευών, οι οποίες δεν είναι ακόμη γνωστές στην πλειονότητα των μηχανικών.

Τέλος έχουν εξαιρετική συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες και καλή εργασιμότητα, ενώ δεν επηρεάζονται από μακροχρόνιες φορτίσεις.

5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΠΟ ΡΑΒΔΟΥΣ FRP ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΡΑΒΔΟΥΣ ΑΠΟ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

Βασικό πλεονέκτημα των ράβδων FRP είναι οι εξαιρετικά υψηλές εφελκυστικές αντοχές τους και η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων ανάλογα με τις απαιτήσεις των έργων όσον αφορά τον τύπο των ινών, το ογκομετρικό ποσοστό καθώς και τη διεύθυνσή τους. Με τον τρόπο αυτό διορθώνονται αρκετά από τα αρνητικά χαρακτηριστικά τους που αναφέρθηκαν παραπάνω, όπως η μειωμένη διατμητική αντοχή.

Επίσης τα σύνθετα υλικά είναι πολύ πιο ελαφριά από τους μεταλλικούς οπλισμούς, ιδιότητα που διευκολύνει κατά πολύ την τοποθέτησή τους από τους εργάτες και μειώνει αρκετά το κόστος μεταφοράς. Δεν ηλεκτρίζονται, δε μαγνητίζονται.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Δεδομένου ότι και τα δυο είδη οπλισμών είναι ανθεκτικά σε διάβρωση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές εκτεθειμένες σε έντονα διαβρωτικά περιβάλλοντα όπως

γέφυρες, παραθαλάσσια έργα, έργα οδοποιίας όπου γίνεται χρήση αντιπαγωτικών αλάτων κτλ. Ωστόσο, λόγω της γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς των ράβδων FRP, της περιορισμένης μέχρι στιγμής έρευνας και της ελλειπούς γνώσης όλων των παραμέτρων που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους, καθώς και της μικρής εμπειρίας λόγω περιορισμένης εφαρμογής τους, ίσως θα ήταν καλύτερο να προτιμούνται οι ανοξείδωτοι χάλυβες ως εναλλακτικός οπλισμός.

Παρόλαυτά, οι σύνθετοι οπλισμοί είναι καταλληλότεροι, για την όπλιση κατασκευών όπου υπάρχουν ιατρικά όργανα και γενικότερα μηχανήματα ευαίσθητα σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία, όπως επίσης και σε κατασκευές όπου απαιτείται ανθεκτικότητα σε κρουστικά φορτία, όπως είναι οι πυλώνες γεφυρών. Τέλος, θα μπορούσαν να αποτελούν καλή λύση και σε περιπτώσεις όπου επιδιώκεται η μείωση του ίδιου βάρους της κατασκευής.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, θα πρέπει να γίνεται προσεκτική αξιολόγηση των απαιτήσεων της κάθε κατασκευής, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα υλικά και να αξιοποιηθούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι ιδιότητές τους, ώστε να περιοριστεί όσο γίνεται περισσότερο ο προϋπολογισμός του έργου (δεδομένης της εξαιρετικά υψηλής τιμής των δυο υλικών σε σχέση με το συμβατικό χάλυβα). Μια συνηθισμένη πρακτική που αποσκοπεί στη μείωση του κόστους και την εκμετάλευση των ιδιοτήτων του μαύρου χάλυβα, είναι η τοποθέτηση ανθεκτικών οπλισμών στις εξωτερικές διατομές των στοιχείων και σε αυτές που είναι πιο ευπαθείς στις περιβαλλοντικές επιδράσεις, ενώ στις εσωτερικές διατομές (με τη μεγαλύτερη επικάλυψη σκυροδέματος) τοποθετούνται συμβατικοί χαλύβδινοι οπλισμοί. Τέλος, στον προϋπολογισμό του έργου θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν και η μακροχρόνια απόσβεση των εξόδων περάτωσης του έργου, λόγω μειωμένων επισκευαστικών απαιτήσεων και της αυξημένης κατά πολύ διάρκειας ζωής της κατασκευής!

7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Antonio R. Mendoza, (2003)

Corrosion of Reinforcing Steel in Loaded Cracked Concretes exposed to De-icing Salts, σσ.13-16.

<http://etd.uwaterloo.ca/etd/armendoz2003.pdf>

2. Παναγιώτης Μαυροειδής, Ελένη Ρακαντά, Γεώργιος Μπατής, (2006)

Ανοξείδωτοι Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος: Μηχανικές ιδιότητες και συμπεριφορά απέναντι στην διάβρωση, , 15^ο Ελληνικό Συνέδριο Οπλισμένου Σκυροδέματος-

Αλεξανδρούπολη 2006

3. Ulf Nürnberger, (2005)

Stainless Steel Reinforcement – A Survey, , Otto-Graf-Journal Vol. 16, σσ.113-138

http://mpa.unistuttgart.de/publikationen/otto_graf_journal/ogj_2005/beitrag_06_nuernberger.pdf

4. Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, (2006)

Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος και φέρουσας τοιχοποιίας με σύνθετα υλικά, κεφ 2 και 10.

5. www.aslan.com

6. Ching Chiaw Choo, (2005)
Investigation of Rectangular Concrete Columns Reinforced or Prestressed with Fiber Reinforced Polymer (FRP) Bars or Tendons, σσ.20-30.
http://lib.uky.edu/ETD/ukycien2005d00258/ChooPhDDissertation_Final.pdf
7. Ταστάνη Σ., Πανταζοπούλου Σ, (2000)
Πειραματική διερεύνηση της Συνάφειας Σύνθετων Ράβδων Οπλισμού Σκυροδέματος, Πρακτικά Ά Ελληνικού Συνεδρίου Σύνθετων Υλικών
8. www.fiberglass.com
9. Σ. Η. Δρίτσος, (2006)
Ενισχύσεις / Επισκευές κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, σσ. 80-86
10. info@moatsos
11. Jennifer L. Kepler, David Darwin, Carl E. Locke, Jr, (2000)
Evaluation of Corrosion Protection Methods for Reinforced Concrete Highway Structures, σσ. 39-42.
<http://www.iri.ku.edu/publications/SM58.PDF>
12. <http://www.bssa.org.uk/index.htm>
13. Francesco Micelli, Antonio Nanni, (2001)
Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, σσ. 21-33.
http://ceenve.calpoly.edu/kachlakev/440H-Oct_2000.pdf
14. Micelli, F. and A. Nanni, (2001)
Issues Related to Durability of FRP Reinforcement for RC Structures Exposed to Accelerated Ageing Tests, , ASC 16th Annual Conference -Virginia Tech, Blacksburg, VA, Sept. 9-12, 2001, M.W. Hyer and A.C. Loos, Eds., Paper 056, 12 pp.
<http://campus.umn.edu/rb2c/publications/conf/2001/issues.pdf>
15. Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, (2002)
Δομικά Υλικά, κεφ.7 σσ.299-308, κεφ. 11 σσ.418-426
16. A. Katz, N. Berman and L.C. Bank, (1999)
Effect of High Temperature on the Bond Strength of FRP Rebars, ASCE Journal of Composites for Construction, Vol. 3, No. 2, σσ. 73-81
http://www.engr.wisc.edu/cee/faculty/bank_lawrence/KatzBermanBankJCC1999.pdf
17. Φαράντος Αθανάσιος, (2006)
Οπλισμένο Σκυρόδεμα με Ράβδους από FRP
<http://eclass.upatras.gr/courses/CIV1507/>
18. Μπάρος Δημήτριος, (2006)
Χρήση Ράβδων FRP ως Μέσο Όπλισης Κατασκευών Σκυροδέματος: Διαδικασίες Διαστασιολόγησης – Σύγχρονες Αντιλήψεις

<http://eclass.upatras.gr/courses/CIV1507/>

19. [http://www.cartech.com/news/choosingstnlsrebar2004.pdf](http://www.carttech.com/news/choosingstnlsrebar2004.pdf)

20. <http://www.reval-stainless-steel.com>