

Επιφανειακή οξείδωση χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος: επίδραση στην συνάφεια

Κ.Γ. Τρέζος, Θ. Βασιλόπουλος, Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π
Σ. Μουγιάκος, Εργαστήριο Μετάλλων ΚΕΔΕ.

Λέξεις κλειδιά: Διάβρωση οπλισμού, συνάφεια, δοκιμή εξολκείσεως, Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Εξετάζεται η επίδραση του βαθμού επιφανειακής οξείδωσης ράβδων οπλισμού σκυροδέματος στην συνάφειά-τους με το σκυρόδεμα. Ελήφθησαν τμήματα ράβδων, από φυσικώς διαβρωμένους χάλυβες, μετρήθηκε η επιφανειακή-τους διάβρωση, τοποθετήθηκαν σε πρισματικές μήτρες στις οποίες χυτεύθηκε σκυρόδεμα. Ακολούθησε δοκιμή εξολκείσεως και μελετήθηκαν οι αντίστοιχες καμπύλες «τοπικής συνάφειας - τοπικής ολίσθησης» συναρτήσει του βαθμού επιφανειακής διάβρωσης.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

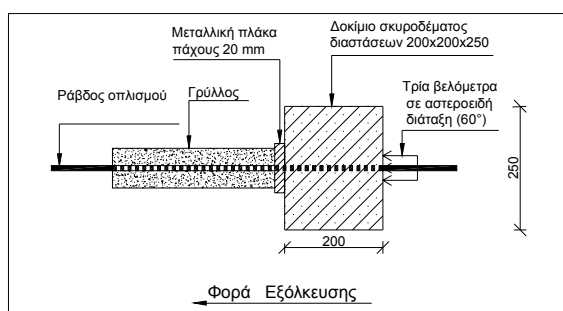
Η ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια του οπλισμού επηρεάζει τόσο την ταχύτητα περαιτέρω διάβρωσης όσο και την συνάφεια μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος. Έχει αποδειχθεί ότι μικρές ποσότητες οξειδίων σιδήρου στην επιφάνεια του οπλισμού είναι δυνατόν να αφομοιωθούν από το σκυρόδεμα μέσω της μετατροπής τους σε φεριτική φάση (C_4AF): το τσιμέντο πόρτλαντ έχει την δυνατότητα να αντιδράσει με τα οξείδια του σιδήρου και να δώσει $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$. Η ποσότητα των οξειδίων που μπορεί να αφομοιωθεί εξαρτάται από την σύσταση του τσιμέντου και ιδίως από το ποσοστό του C_3A του τσιμέντου αλλά και από το πορώδες του σκυροδέματος. Η ποσότητα την οποία μπορεί να αφομοιώσει το τσιμέντο είναι της τάξεως των 350 gr/m^2 (Μπατής et al 1999). Η τιμή αυτή έχει υιοθετηθεί και από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Χαλύβων. Εξ άλλου μικρές ποσότητες οξειδίων αυξάνουν την συνάφεια σκυροδέματος – χάλυβα, ενώ βέβαια μεγαλύτερες ποσότητες την μειώνουν. Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της επίδρασης που έχει ο βαθμός της επιφανειακής διάβρωσης των ράβδων οπλισμού σκυροδέματος στην συνάφεια τους με το σκυρόδεμα.

2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

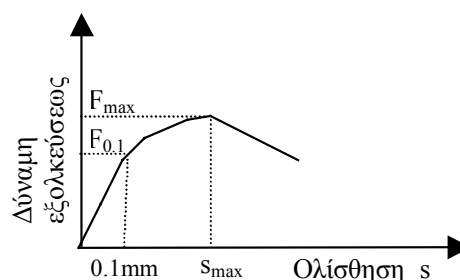
Ελήφθησαν δοκίμια ράβδων χάλυβα από αναμονές υποστρωμάτων σε εγκαταλελειμμένο παραθαλάσσιο εργοτάξιο. Οι ονομαστικές διαμέτροι των ράβδων ήταν από $\Phi 12$ έως και $\Phi 22$. Η κοπή έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε η υπάρχουσα σκουριά να μην αποσπασθεί από τις ράβδους λόγω κρούσεων ή τριβών με άλλα αντικείμενα. Από την κάθε ράβδο αποκόβονταν δύο τεμάχια για την παρασκευή δοκιμίων εξολκείσεως. Από τα δύο τεμάχια, το ένα χρησιμοποιούταν αυτούσιο (χωρίς να αφαιρεθεί καθόλου σκουριά) ενώ το άλλο χρησίμευε προηγουμένως για την μέτρηση του βαθμού διάβρωσης. Ο βαθμός διάβρωσης κάθε ράβδου μετρήθηκε στο ΚΕΔΕ. Η μέτρηση έγινε με εμφύσηση της ράβδου σε υδατικό διάλυμα HCl και αναστολέα διάβρωσης (εξαμεθυλενοτετραμίνη) μέχρι σταθερού βάρους. Έγινε αναγωγή της απώλειας βάρους στην παράπλευρη επιφάνεια της ράβδου (το αποτέλεσμα σε gr/m^2 φαίνεται στον Πίνακα 1). Η ελάχιστη τιμή της επιφανειακής διάβρωσης ήταν 424 gr/m^2 και η μέγιστη 1578 gr/m^2 . Μετά το πέρας της μετρήσεως αυτής, οι ράβδοι, που ήταν πλέον τελείως απαλλαγμένες από επιφανειακή σκουριά,

χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή δοκιμίων. Κάθε ράβδος τοποθετήθηκε σε καλούπι διαστάσεων 20*20*25cm με τρόπο ώστε τα δύο άκρα της ράβδου να προεξέχουν διαμπερώς από τις δύο απέναντι πλευρές του δοκιμίου (Σχ. 1). Σε όσα δοκίμια το προεξέχον τμήμα της ράβδου δεν είχε επαρκές μήκος, συγκολλούταν πρόσθετο τεμάχιο για να επιτευχθεί το επιθυμητό μήκος. Στην συνέχεια, μέσα στο καλούπι διαστρώθηκε σκυρόδεμα. Σε κάθε σκυροδέτηση παράγονταν οκτώ δοκίμια: τρία δοκίμια ήταν με ράβδους διαβρωμένες όλες ίδιας διαμέτρου, άλλα τρία δοκίμια ήταν με ράβδους που είχαν χρησιμοποιηθεί για την μέτρηση του βαθμού διάβρωσης (καθαρισμένες πλέον από την σκουριά) αντίστοιχες των τριών πρώτων δοκιμίων, και τέλος τα υπόλοιπα δύο δοκίμια ήταν με καινούργιες ράβδους ίδιας ονομαστικής διαμέτρου με τις προηγούμενες αλλά χωρίς ίχνος σκουριάς. Οι ράβδοι των δύο τελευταίων αυτών δοκιμίων το μόνο κοινό στοιχείο που είχαν με τις ράβδους των προηγούμενων έξι δοκιμίων ήταν η ονομαστική διάμετρος. Συνολικά έγιναν πέντε σκυροδετήσεις και παρασκευάστηκαν 40 δοκίμια (Πίνακας 1). Όταν το σκυρόδεμα του δοκιμίου είχε αποκτήσει επαρκή αντοχή (περίπου στις 14 ημέρες), η ράβδος υποβαλλόταν σε εξόλκευση και καταγραφόταν η δύναμη εξολκείσεως και η αντίστοιχη ολίσθηση του άλλου άκρου της ράβδου. Ταυτόχρονα μετρούνταν οι αντοχές του σκυροδέματος σε θλίψη και εφελκυσμό με τα συμβατικά κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια που είχαν παρασκευασθεί. Για τις πέντε σκυροδετήσεις οι αντοχές κυμάνθηκαν αντιστοίχως: $12.7\text{MPa} < f_{cc} < 16.0\text{MPa}$ και $1.1\text{MPa} < f_{ct} < 1.5\text{MPa}$.

Οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη στην εργασία αυτή είναι η διάμετρος των ράβδων (Φ12 έως Φ22) και ο βαθμός διάβρωσής τους (από 424gr/m² έως 1578gr/m²). Άλλες παράμετροι, όπως η ποιότητα και η ηλικία του σκυροδέματος καθώς και το μήκος συνάφειας διατηρήθηκαν σταθερά.



Σχήμα 1. Διαστάσεις δοκιμίου και διάταξη εξολκείσεως.



Σχήμα 2. Τυπικό διάγραμμα δύναμης εξολκείσεως χάλυβα συναρτήσει της ολίσθησεως.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δοκίμια αστόχησαν με δύο κυρίως τρόπους: είτε με ολίσθηση της ράβδου είτε με διάρρηξη του δοκιμίου σκυροδέματος. Η τυπική μορφή της καμπύλης εξολκείσεως φαίνεται στο Σχήμα 2 στο οποίο διακρίνουμε τα σημεία που αντιστοιχούν στην μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη εξολκείσεως (F_{max} , s_{max}) και σε ολίσθηση $s=0.1\text{mm}$ ($F_{0.1}$, 0.1). Στα σχήματα 3 έως 7 φαίνονται συγκεντρωτικά οι καμπύλες εξολκείσεως για τις πέντε σκυροδετήσεις. Στον Πίνακα 1 φαίνονται επίσης οι τάσεις συνάφειας ανηγμένες στην εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος:

$$f_{b0.1}/f_{ct} = N_{0.1}/[\pi\Phi L f_{ct}] \text{ και } f_{bmax}/f_{ct} = N_{max}/[\pi\Phi L f_{ct}]$$

όπου $N_{0.1}$ η δύναμη εξολκείσεως που αντιστοιχεί σε ολίσθηση της ράβδου $s=0.1\text{mm}$,

N_{max} η μέγιστη δύναμη εξολκείσεως και

s_{max} η ολίσθηση υπό την μέγιστη δύναμη εξολκείσεως

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ράβδων και αποτελέσματα δοκιμής εξολκεύσεως.

α/α	ονομαστική διάμετρος d (mm)	Ανηγμένη μάζα οξειδίων $\Delta m/A$ (gr/m ²) (*)	Ανηγμένη τάση συνάφειας για ολίσθηση s=0.1mm, f_{b01}/f_{ct}	Ανηγμένη μέγιστη τάση συνάφειας f_{bmax}/f_{ct}	Ολίσθηση υπό την μέγιστη δύναμη εξολκεύσεως S_{max} (mm)
1-1	20.0 μαρτ		0.3	2.77	2.1
1-2	23.6 καθ. αντ. 1-5		1.9	2.69	0.2
1-3	23.4 καθ. αντ. 1-6		2.0	2.09	0.1
1-4	23.8 καθ. αντ. 1-7		1.6	3.43	0.3
1-5	23.7	718	1.9	3.62	0.7
1-6	23.9	761	1.3	2.97	0.5
1-7	23.8	1048	1.4	2.98	0.4
1-8	24.0 μαρτ		0.8	3.70	1.0
2-1	μαρτ				
2-2	18.7 μαρτ		1.3	3.98	1.7
2-3	15.2 καθ. αντ. 2-6		2.0	2.78	1.1
2-4	15.1 καθ. αντ. 2-7		1.2	3.68	1.8
2-5	15.3 καθ. αντ. 2-8		1.2	4.27	1.4
2-6	15.0	630	1.3	3.97	1.4
2-7	15.0	635	1.8	4.03	0.9
2-8	15.1	723	0.8	3.12	2.0
3-1	13.2 μαρτ		0.8	3.33	1.9
3-2	15.9 μαρτ		2.1	4.55	1.3
3-3	12.0 καθ. αντ. 3-6		2.1	4.42	2.1
3-4	12.0 καθ. αντ. 3-7		1.8	3.47	0.4
3-5	καθ. αντ. 3-8				
3-6	12.2	460	1.5	2.92	0.4
3-7	12.2	451	2.3	4.31	1.1
3-8	15.2	643	1.5	3.73	1.2
4-1	16.0 μαρτ		1.0	4.07	1.7
4-2	15.8 μαρτ		0.9	4.71	2.0
4-3	18.9 καθ. αντ. 4-6		1.3	3.45	1.3
4-4	18.8 καθ. αντ. 4-7		1.4	3.01	0.4
4-5	18.6 καθ. αντ. 4-8		1.6	4.12	0.4
4-6	19.1	772	1.9	4.83	0.6
4-7	19.0	735	1.2	3.54	0.6
4-8	19.1	1578	1.6	4.07	1.4
5-1	15.9 μαρτ		1.6	4.67	1.7
5-2	15.8 μαρτ		1.5	4.67	1.9
5-3	15.1 καθ. αντ. 5-6		1.9	4.11	0.6
5-4	15.8 καθ. αντ. 5-7		2.3	4.28	0.9
5-5	15.9 καθ. αντ. 5-8		0.8	3.77	2.1
5-6	15.3	519	1.4	4.17	1.7
5-7	16.0	496	0.8	3.90	1.8
5-8	16.0	424	0.5	3.72	1.4

(*) μαρτ = δοκίμιο αναφοράς (μάρτυρας)

καθ. αντ. a-b = ράβδος απαλλαγμένη από επιφανειακή σκουριά, αντίστοιχη της ράβδου a-b

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν τα εξής:

Η μέγιστη τάση συνάφειας των δοκιμίων με επιφανειακή διάβρωση κυμαίνεται από 3 έως 5 φορές την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και όπως φαίνεται (Σχ. 8) είναι ανεξάρτητη του βαθμού διάβρωσης των ράβδων. Ομοίως και η αντίστοιχη ολίσθηση s_{max} υπό την μέγιστη δύναμη εξολκείσεως φαίνεται ότι είναι ανεξάρτητη του βαθμού διάβρωσης των ράβδων (Σχ. 9). Τέλος, και η τάση συνάφειας που αναπτύσσεται για την συμβατική ολίσθηση των 0.1mm δεν φαίνεται να εξαρτάται από τον βαθμό διάβρωσης της ράβδου (Σχήμα 10).

Στα Σχήματα 11 έως 13 εξετάζεται η επίδραση της αφαίρεσης της επιφανειακής σκουριάς, συγκρίνοντας τους λόγους των αντίστοιχων διδύμων δοκιμίων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι λόγοι που αντιστοιχούν στα καθαρισμένα δοκίμια χωρίς την επιφανειακή σκουριά (δείκτης «καθ») προς τα αντίστοιχα μεγέθη των δοκιμίων με την επιφανειακή σκουριά (δείκτης «σκουρ»):

$$[S_{max}]_{καθ}/[S_{max}]_{σκουρ}, [f_{b,max}]_{καθ}/[f_{b,max}]_{σκουρ}, [f_{b,0.1}]_{καθ}/[f_{b,0.1}]_{σκουρ},$$

Παρατηρείται ότι οι λόγοι αυτοί κυμαίνονται γύρω από την μονάδα χωρίς κάποια συστηματική επιρροή από τον βαθμό διάβρωσης των ράβδων.

Από τις γραφικές παραστάσεις παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση συνάφειας εμφανίζεται όταν ο δομικός χάλυβας έχει ολισθήσει από 0.5 έως 2.0mm. Οι μέγιστες τάσεις συνάφειας κυμαίνονται από 2.4MPa έως 6.6MPa, ενώ οι τάσεις συνάφειας για ολίσθηση $s=0.1mm$ κυμαίνονται από 0.6MPa έως 3.3MPa.

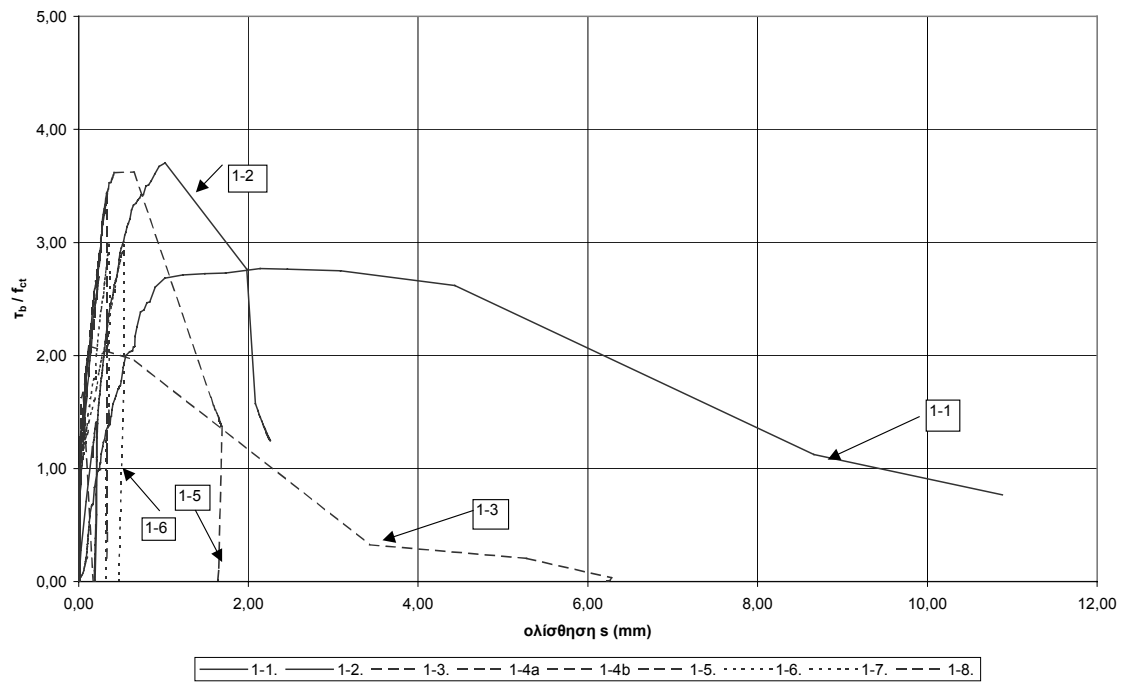
Όσον αφορά την ανηγμένη επιφάνεια προβολής των διαβρωμένων νευρώσεων των οπλισμών που εξετάστηκαν, αυτή βρίσκεται εντός των ορίων που ορίζει ο Κανονισμός. Η προχωρημένη διάβρωση δεν αλλοιώνει αισθητά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους.

3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

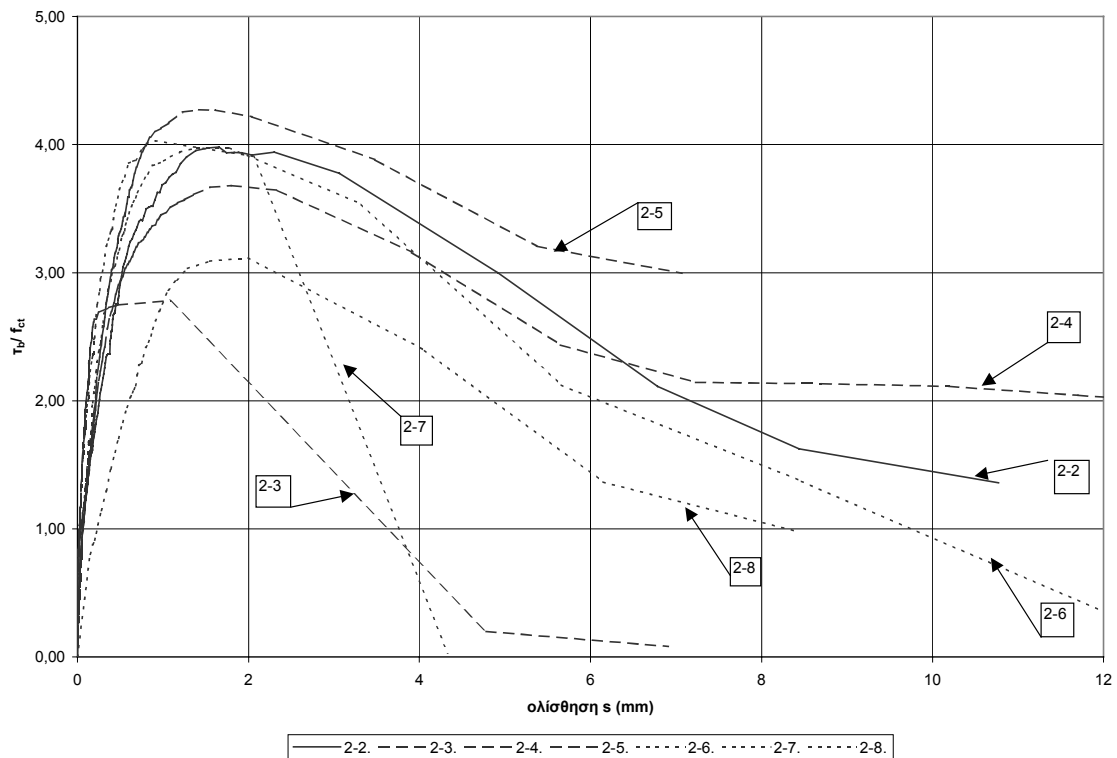
Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν αποτελέσματα από δοκιμές εξολκείσεως σε ράβδους με σημαντικό βαθμό επιφανειακής διαβρώσεως (από 424gr/m² έως 1578gr/m²). Από τα διαγράμματα της δυνάμεως εξολκείσεως συναρτήσεως της ολισθήσεως προέκυψε ότι ο βαθμός επιφανειακής διαβρώσεως δεν επηρεάζει τις συνθήκες αγκυρώσεως της ράβδου. Τόσο η μέγιστη αναπτυσσόμενη δύναμη όσο και η αντίστοιχη ολίσθηση δεν φαίνεται να επηρεάζονται από τον βαθμό διάβρωσης, αλλά ούτε και ο καθαρισμός των ράβδων από την επιφανειακή σκουριά είχε ως συνέπεια αλλαγή της συμπεριφοράς. Πάντως σημειώνεται ότι το όριο που ορίζει ο Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων (350gr/m²) έχει προκύψει από την δυνατότητα που έχει το σκυρόδεμα αφομοιώσει τα οξείδια και να ανασταλεί η περαιτέρω διάβρωση του οπλισμού. Γι' αυτό, στις περιπτώσεις με σημαντική επιφανειακή διάβρωση, είναι απαραίτητο να απομακρύνεται επιμελώς η επιφανειακή σκουριά όχι τόσο για λόγους συνάφειας όσο, κυρίως, για την προστασία του οπλισμού από περαιτέρω διάβρωση.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

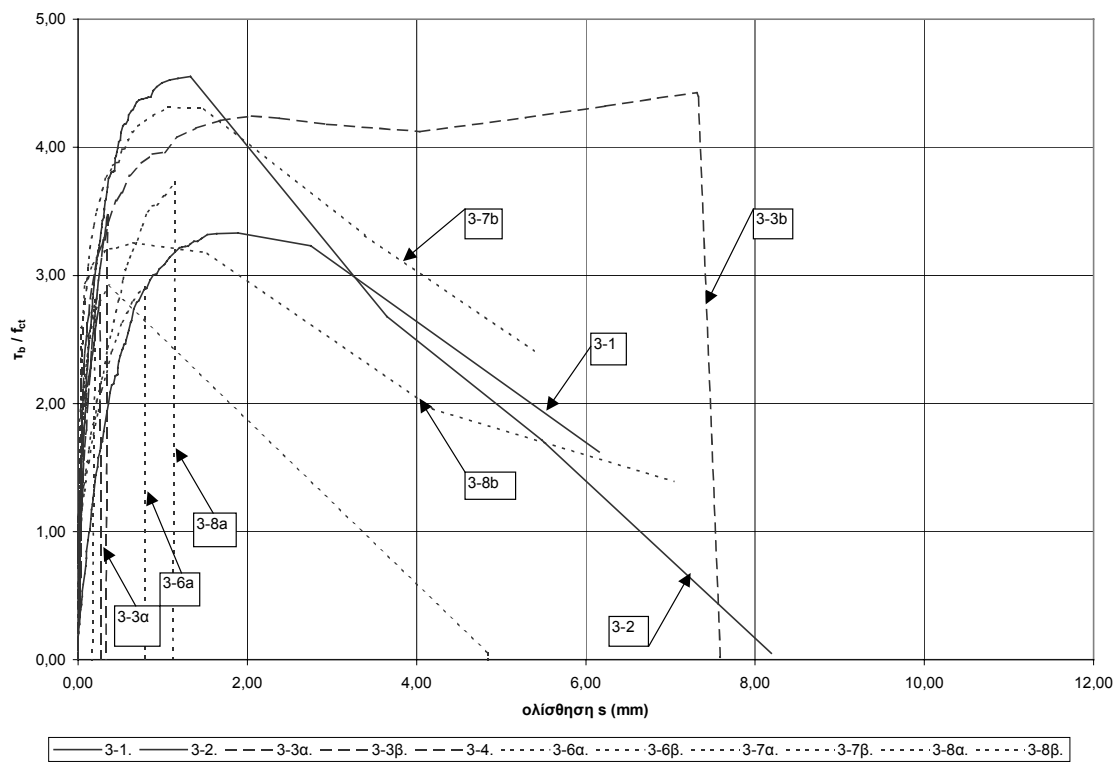
Μπατής Γ., Ρακαντά Ε., Τσάμπρας Λ., Μουγιάκος Σ., Αγναντιάρη Γ., 1999, *Διάβρωση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα*, 13^ο Ελληνικό Συνέδριο Σκυροδέματος, Ρέθυμνο 1999 ΥΠΕΧΩΔΕ, Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, Αθήνα 2000



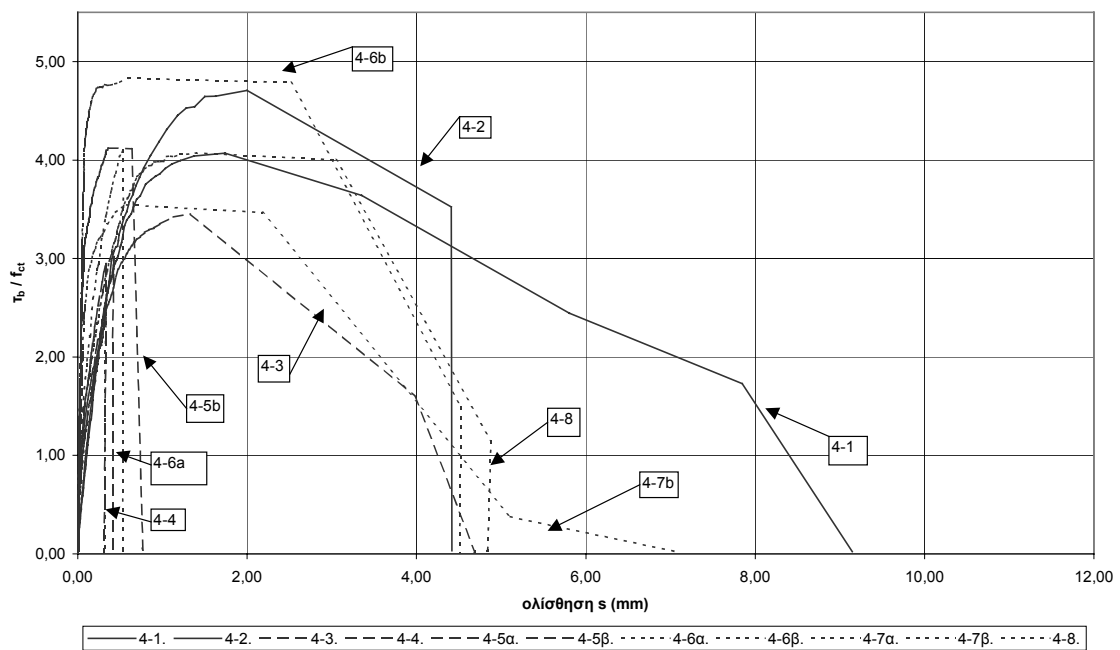
Σχήμα 3. Ανηγμένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ολισθήσεως (1^η σκυροδέτηση)



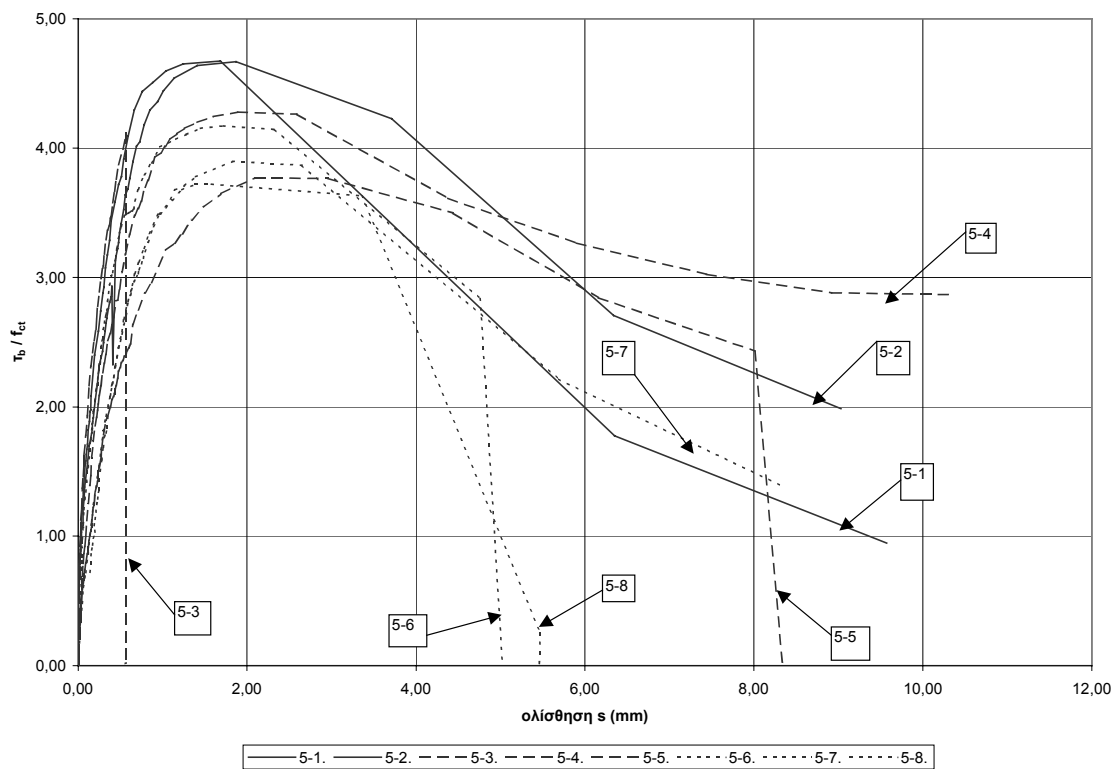
Σχήμα 4. Ανηγμένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ολισθήσεως (2^η σκυροδέτηση)



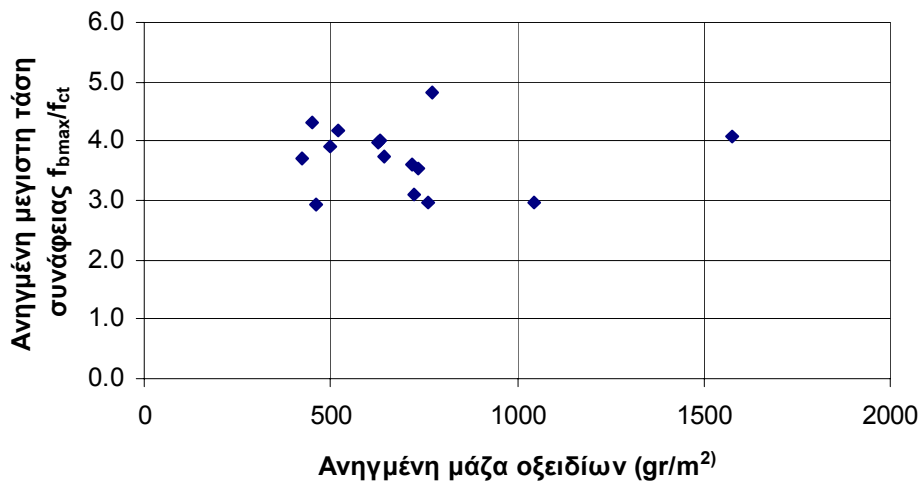
Σχήμα 5. Ανηγμένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ολισθήσεως (3^η σκυροδέτηση)



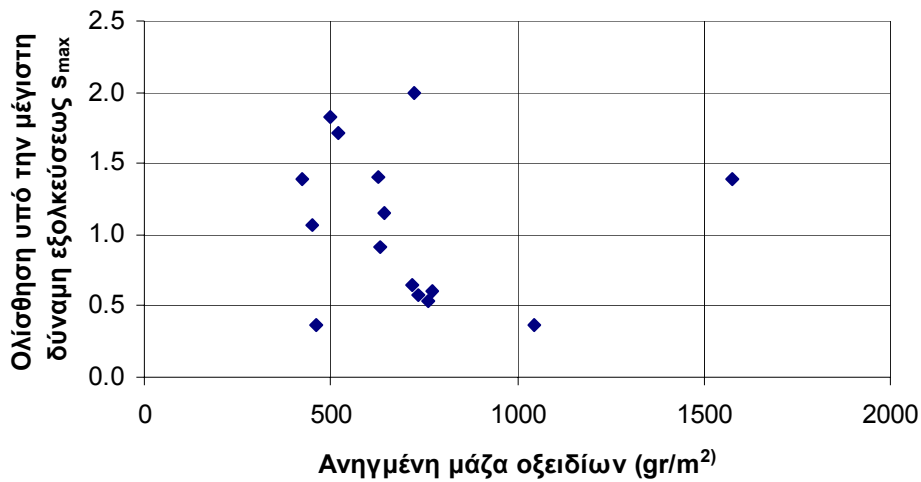
Σχήμα 6. Ανηγμένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ολισθήσεως (4^η σκυροδέτηση)



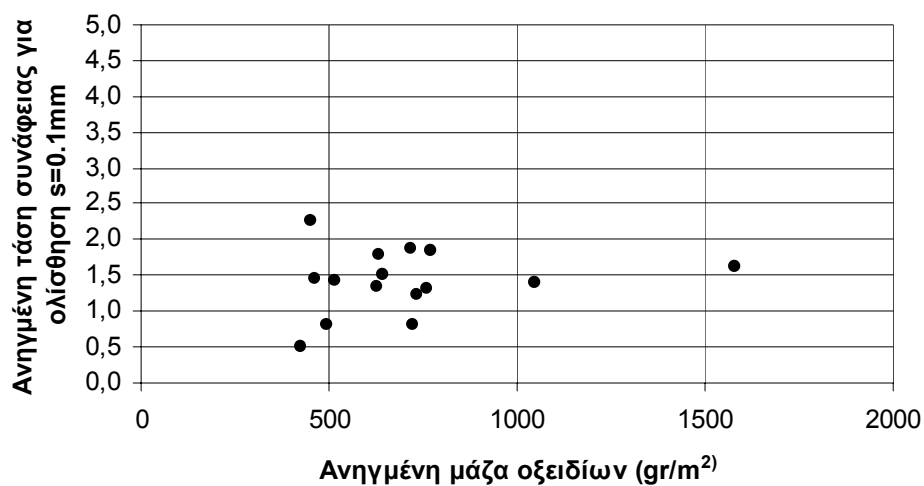
Σχήμα 7. Ανηγμένη τάση συνάφειας συναρτήσει της ολισθήσεως (5^η σκυροδέτηση)



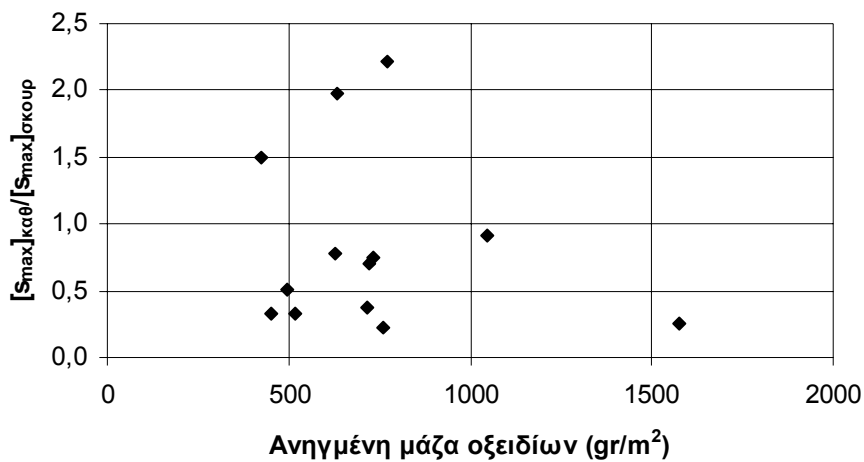
Σχήμα 8. Ανηγμένη μέγιστη τάση συνάφειας συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων



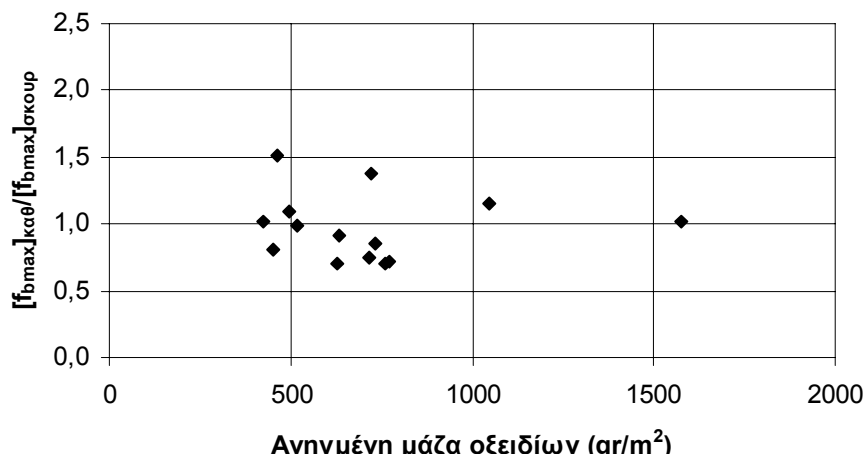
Σχήμα 9. Ολίσθηση υπό την μέγιστη δύναμη εξολκεύσεως συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων



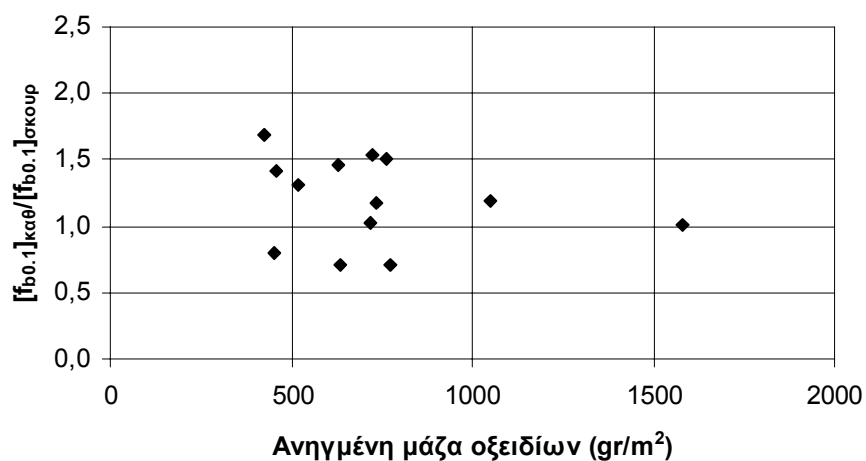
Σχήμα 10. Ανηγμένη τάση συνάφειας για ολίσθηση $s=0.1mm$ συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων



Σχήμα 11 Λόγοι $[S_{max}]_{καθ}$ δοκιμών χωρίς σκουριά προς $[S_{max}]_{σκουρ}$ δοκιμών με σκουριά συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων



Σχήμα 12 Λόγοι $[f_{bmax}]_{καθ}$ δοκιμών χωρίς σκουριά προς $[f_{bmax}]_{σκουρ}$ δοκιμών με σκουριά συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων



Σχήμα 13 Λόγοι $[f_{b0.1}]_{καθ}$ δοκιμών χωρίς σκουριά προς $[f_{b0.1}]_{σκουρ}$ δοκιμών με σκουριά συναρτήσει της ανηγμένης μάζας οξειδίων