

Μηχανική συμπεριφορά του χάλυβα S500_s tempcore, σε σεισμογόνους περιοχές υπό διαβρωτικό περιβάλλον.

Χ. Α. Αποστολόπουλος

Εργαστήριο Τεχνολογίας και Αντοχής Υλικών, Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Λέξεις Κλειδιά: σιδηροοπλισμός S500s, διάβρωση αλατονέφωσης, βλάβη διάβρωσης, ολιγοκυκλική κόπωση, υποβάθμιση του ωφέλιμου χρόνου ζωής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται μία πειραματική μελέτη αποτίμησης της επίδρασης της βαθμιαίας συσσώρευσης βλάβης εξαιτίας εργαστηριακής διάβρωσης αλατονέφωσης (laboratory salt spray corrosion) στην μηχανική συμπεριφορά ράβδων σιδηροοπλισμού S500s tempcore, όταν αυτές υπόκεινται σε εναλλασσόμενες κυκλικές φορτίσεις στην περιοχή της ολιγοκυκλικής κόπωσης. Τα αποτελέσματα της ολιγοκυκλικής κόπωσης ($R=-1$) έδειξαν ότι τα προδιαβρωμένα δοκίμια σιδηροοπλισμού S500s παρουσιάζουν βαθμιαία μείωση τόσο της διατιθέμενης προς ανάλωση ενέργειας και του αριθμού κύκλων αστοχίας όσο και της δυνατότητας μεταφοράς αξονικών φορτίων. Καθώς οι δύο σημαντικοί παράγοντες υποβάθμισης η διάβρωση και η ολιγοκυκλική κόπωση είναι συναρτησίς του χρόνου, φαίνεται ότι η δομική ακεραιότητα του σιδηροοπλισμού S500s tempcore είναι χρονικά εξαρτώμενη.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες κατηγορίες σιδηροοπλισμού με κύριο στόχο την αύξηση της αντοχής και της ασφάλειας των κατασκευών. Σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές (ΕΛΟΤ) για τον χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος S500s tempcore, ενώ απαιτείται η ικανοποίηση ελάχιστων τιμών για τις μηχανικές ιδιότητες της τάση διαρροής (R_p), της μέγιστης τάσης (R_m), της παραμόρφωσης θραύσης (f_u) καθώς και του λόγου R_m/R_p , ωστόσο παραβλέπονται οι παράγοντες υποβάθμισης όπως η διάβρωση και η κόπωση που επηρεάζουν χρονικά την μηχανική απόδοση των χαλύβων σε βάθος χρόνου.

Η υποβάθμιση της αντοχής των παλαιών κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος λόγω διάβρωσης του σιδηροοπλισμού μόλις τελευταία άρχισε να προσελκύει την προσοχή των ερευνητών παγκοσμίως. Μέχρι τώρα σχετικά λίγη δουλειά έχει γίνει στην ποσοτικοποίηση της επίδρασης της διάβρωσης στις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων σιδηροοπλισμού και ακόμη λιγότερη πάνω στο θέμα της φέρουσας ικανότητας και της μηχανικής υποβάθμισης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος (Manning 1992, Apostolopoulos 2005). Ως συνήθεις επιδράσεις της διάβρωσης στα στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος καταγράφεται η μείωση της διατομής του

χάλυβα, η μικρορηγματώση, η εκτίναξη και η μείωση της διατομής του σκυροδέματος. Επιπλέον, (Apostolopoulos 2005, Broomfield 1997) παρουσιάζεται μία σημαντική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων αντοχής και ολκιμότητας στον εφελκυσμό προδιαβρωμένων ράβδων σιδηροοπλισμού S500s tempcore.

Η υποτίμηση του διαβρωτικού παράγοντα ξεκινάει από την εντύπωση ότι υπό κανονικές συνθήκες το ίδιο το σκυρόδεμα μπορεί να προστατεύσει τον σιδηροοπλισμό. Αποτέλεσμα της αυξανόμενης διαβρωτικής δράσης είναι η μείωση της ενεργού φέρουσας διατομής του σιδηροοπλισμού και μία σχετική αύξηση του όγκου της, από 3 μέχρι 8 φορές (Glass 2000). Αυτή η αύξηση του όγκου προκαλεί στα φέροντα στοιχεία της κατασκευής εσωτερικές τάσεις οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εκτίναξη του σκυροδέματος που επικαλύπτει τον σιδηροοπλισμό. Παράλληλα με την διαρκή αύξηση του όγκου, μειώνεται η συνάφεια (Bonding) μεταξύ σκυροδέματος και σιδηροοπλισμού (Maslehuddin 1993, Fang 2004).

Η Ελλάδα ως μία χώρα με πολλές παράκτιες πόλεις επόμενο είναι να υπόκειται σε προβλήματα που σχετίζονται με την διάβρωση των κατασκευών της. Τα ευρήματα μιας συνεχιζόμενης έρευνας επιβεβαιώνουν την σοβαρότητα του προβλήματος, της διάβρωσης των κατασκευών. Περιπτώσεις κατασκευών που ευρίσκονται ήδη σε χρήση μετρήθηκαν απώλειες μάζας 18% (Apostolopoulos 2005) και περισσότερο. Από την ίδια εργασία φαίνεται ότι η διάβρωση μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση των ιδιοτήτων αντοχής και ολκιμότητας κάτω από τα ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα που ορίζουν οι προδιαγραφές.

Ιδιαίτερα σημαντικές είναι οι μηχανικές ιδιότητες του σιδηροοπλισμού κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα που ευρίσκονται σε σεισμικό χώρο διότι ορίζουν σε μεγάλο βαθμό την σεισμική απόκριση των φερόντων στοιχείων. Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που εκδηλώνεται δίχως προειδοποίηση και συχνά έχει καταστροφικές συνέπειες για τον άνθρωπο και για τις κατασκευές. Οι ισχυρές σεισμικές δράσεις στα φέροντα στοιχεία μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίζονται ως επαναληπτικές φορτίσεις μεγάλων παραμορφώσεων οι οποίες μπορεί να εξομοιωθούν με συνθήκες αξονικής ολιγοκυκλικής κόπωσης (Sheng 1997). Το Fourier spectra (Yoshaki 1983) της κίνησης του εδάφους κατά την διάρκεια σεισμού στην Ιαπωνία δείχνει ότι τα σεισμικά φορτία είναι κυκλικά. Στην σεισμική καταστροφή στο Tang Shan (China) η συχνότητα προσέγγισε τα 2 Hz (Sheng 1997) και επιβεβαίωσε ότι το μοντέλο αστοχίας από το σεισμό προήλθε από ολιγοκυκλική κόπωση. Κατά την σεισμική κίνηση στα φέροντα στοιχεία επιβάλλονται ισχυρές εναλλασσόμενες διατμητικές δυνάμεις και καμπτικές ροπές. Αποτέλεσμα αυτής της κυκλικής κίνησης είναι η εκτίναξη της επικάλυψης και η αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε τέτοιο βαθμό μάλιστα ώστε τελικά οι ράβδοι σιδηροοπλισμού να αναλαμβάνουν το σύνολο της φόρτισης (Shigeru 1995). Όπως είναι φυσικό αυτό οδηγεί στην ανάπτυξη πλαστικών παραμορφώσεων και συσσώρευση βλάβης στον σιδηροοπλισμό.

Η Ελλάδα από πλευράς σεισμικότητας κατατάσσεται στην πρώτη θέση στην Ευρώπη, ενώ συγχρόνως η παράκτια ζώνη της υποφέρει από ένα έντονα διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή η δυνατότητα πρόβλεψης της σεισμικής απόκρισης του διαβρωμένου σιδηροοπλισμού καθίσταται παράγοντας υψηλής σπουδαιότητας και σημαντικό ζητούμενο αξιοπιστίας. Βιβλιογραφικές αναφορές στην ολιγοκυκλική κόπωση του οπλισμένου σκυροδέματος μετά από διάβρωση δεν βρέθηκαν. Εργασίες σχετικές με ολιγοκυκλική κόπωση είναι η (Riva 2001) με αναφορά συγκολλημένες ράβδοι tempcore / Thermex B450c και άλλες αναφορές όπως οι (Franchi 1996, Pira 1994, Pira 1996) με αναφορά την αστοχία φερόντων στοιχείων με σιδηροοπλισμό B400 and B500. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση της διάβρωσης στην συμπεριφορά χάλυβα S500s tempcore (κατά ΕΛΟΤ 971) με ονομαστική διάμετρο Ø12 κάτω από συνθήκες ολιγοκυκλικής κόπωσης σταθερού εύρους παραμόρφωσης. Ο σιδηροοπλισμός (προϊόν ελληνικής χαλυουργίας) αφού πρώτα διαβρώθηκε με την εργαστηριακή μέθοδο επιταχυνόμενης διάβρωσης, υπεβλήθη σε μηχανικές δοκιμές ολιγοκυκλικής αξονικής φόρτισης (R=-1) σταθερού εύρους παραμόρφωσης $\pm 1\%$, $\pm 2,5\%$ and $\pm 4\%$ με συχνότητα 1 Hz.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Η εγκάρσια διατομή των δοκιμίων του S500s ως γνωστό διακρίνεται από μία εξωτερική μαρτενσιτική ζώνη και ένα φερριτοπερλιτικό πυρήνα. Η ονομαστική διάμετρος του ραβδωτού χάλυβα ήταν 12mm (Φ12). Τα δοκίμια για την ολιγοκυκλική κόπωση είχαν μήκος 172mm. Το ελεύθερο μήκος των δοκιμίων μεταξύ των grips (αρπάγες της μηχανής) ήταν έξι φορές η ονομαστική διάμετρος (Φ12) δηλαδή μήκος 72mm. Προσπάθεια μεταβολής της κατά μήκος γεωμετρίας των δοκιμίων σε τρόπο ώστε οι δοκιμές να είναι απολύτως σύμφωνες με τις δοκιμές κόπωσης κάτω από συνθήκες ελεγχόμενης παραμόρφωσης ASTM E606 θα άλλαζε την μηχανική απόδοση του ελεγχόμενου υλικού λόγω αφαίρεσης του εξωτερικού μαρτενσιτικού δακτύλιου. Έτσι, τα δοκίμια σιδηροοπισμού υποβλήθηκαν σε δοκιμές κόπωσης «όπως είναι» χωρίς μηχανουργική διαμόρφωση της διατομής τους. Όλα τα πειράματα διάβρωσης και οι μηχανικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνολογίας και Αντοχής των Υλικών του τμήματος Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών του Πανεπιστημίου Πατρών. Οι μηχανικές δοκιμές έγιναν σε θερμοκρασία δωματίου σε σερβουδραυλική μηχανή MTS 250 kN πλήρως αυτοματοποιημένη. Όλες οι μηχανικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακα 1.

Διάρκεια έκθεσης σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης	Πίνακας 1: Πραγματοποιημένες μηχανικές δοκιμές ολιγοκυκλικής κόπωσης		
	Επιβαλλόμενο εύρος παραμόρφωσης		
	$\epsilon=\pm 1\%$	$\epsilon=\pm 2,5\%$	$\epsilon=\pm 4\%$
	Αριθμός μηχανικών δοκιμών		
Αδιάβρωτο	3	3	3
10 μέρες	3	3	3
20 μέρες	3	3	3
30 μέρες	3	3	3
45 μέρες	3	3	3
60 μέρες	3	3	3
90 μέρες	3	3	3

Δοκιμή αλατονέφωσης

Οι δοκιμές αλατονέφωσης πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM B117. Το διάλυμα ετοιμάστηκε με 5 μέρη μάζας χλωριούχου νατρίου σε 95 μέρη απεσταγμένο νερό. Ως χρόνοι έκθεσης των δοκιμίων ολιγοκυκλικής κόπωσης επιλέχθηκαν οι: 10, 20, 30, 45, 60 και 90 ημέρες. Στην συνέχεια ακολούθησε ο καθαρισμός των δοκιμίων από σχηματισθέντα οξείδια σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM G1, μετρήθηκε το μήκος το βάρος και η ενεργός διατομή A_s , υπολογίστηκε από την σχέση 1 σύμφωνα με το DIN 488:

$$A_s = \frac{1.274 * G}{\ell} \quad (1)$$

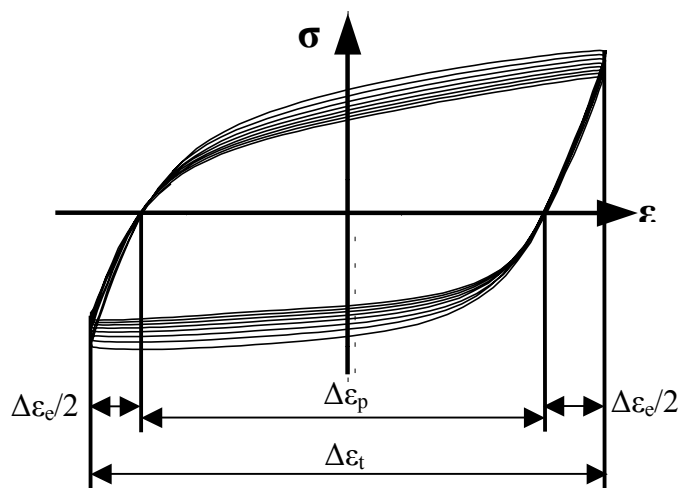
όπου G είναι το βάρος και ℓ το μήκος του εκάστοτε μετρηθέντος δοκιμίου. Στο Σχήμα 1 φαίνονται δύο διαβρωμένα δοκίμια, ένα μετά τον καθαρισμό και ένα με επικολημένα τα προϊόντα διάβρωσης.



Σχήμα 1: Διαβρωμένα δοκίμια πριν και μετά τον καθαρισμό.

Μηχανικές δοκιμές ολιγοκυκλικής κόπωσης

Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε μηχανικές δοκιμές ολιγοκυκλικής κόπωσης. Οι δοκιμές αυτές στόχο είχαν να δώσουν πληροφορίες σχετικά με την επίδραση τού επιπέδου διάβρωσης αφενός στην δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας και τού αριθμού κύκλων αστοχίας και αφετέρου στην αξονική φέρουσα ικανότητα τού σιδηροοπλισμού S500s tempcore. Πραγματοποιήθηκαν τρεις δοκιμές ολιγοκυκλικής κόπωσης για κάθε βαθμό διάβρωσης σε τρία διαφορετικά εύρη παραμόρφωσης, $\pm 1\%$, $\pm 2.5\%$ και $\pm 4\%$, δηλαδή σε σύνολο ένας αριθμός 63 δοκιμών ολιγοκυκλικής κόπωσης. Η επιλογή των επιπέδων παραμόρφωσης έγινε εμπειρικά, με βάση την παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί ο σιδηροοπλισμός κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων (Sheng 1997). Το ελεύθερο μήκος $6D$ επιλέχθηκε επίσης εμπειρικά, ως μια αποδεκτή απόσταση μεταξύ συνδετήρων σε κρίσιμα σημεία υποστυλωμάτων σε σεισμογόνους περιοχές. Από τις μηχανικές δοκιμές αποτιμήθηκαν οι κύκλοι αστοχίας, η απορροφώμενη ενέργεια και η μέγιστη εφελκυστική και θλιπτική δύναμη ανα κύκλο φόρτισης. Η απορροφώμενη ενέργεια υπολογίστηκε ως το άθροισμα των κύκλων υστέρησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Παράσταση τυπικού διαγράμματος τάσης παραμόρφωσης στην ολιγοκυκλική κόπωση ($\epsilon=\pm 4\%$) όπου δείχνονται οι βρόγχοι υστέρησης.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

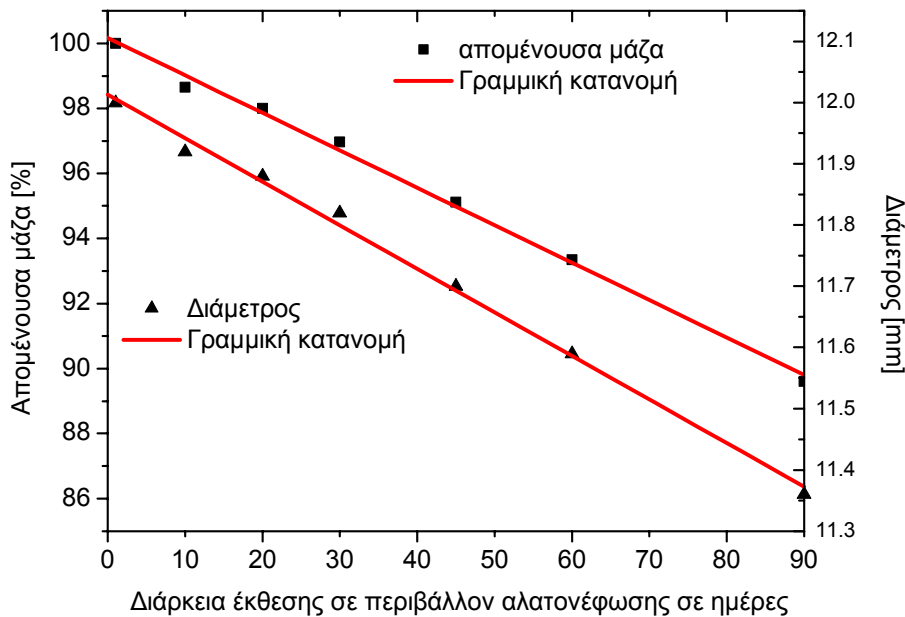
Στο Σχήμα 3 δείχνεται η γραμμικότητα στη μεταβολή της απώλειας μάζας λόγω της επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης, ενώ στον Πίνακα 2 αναφέρεται αντίστοιχα η ποσοστιαία μεταβολή της μάζας. Υποθέτοντας ομοιόμορφη απώλεια μάζας κατά μήκος των δοκιμίων, μπορούμε να υπολογίσουμε την μείωση της διαμέτρου με την αύξηση του επιπέδου διάβρωσης. Η μειωμένη διάμετρος d_r υπολογίζεται από την σχέση:

$$d_r = d\sqrt{1-a} \quad (2)$$

Όπου a είναι η ποσοστιαία απώλεια μάζας και d η ονομαστική διάμετρος (12mm) του μη διαβρωμένου δοκιμίου. Η μεταβολή της διαμέτρου δείχνεται στο Σχήμα 3 και οι αντίστοιχες τιμές στον Πίνακα 2.

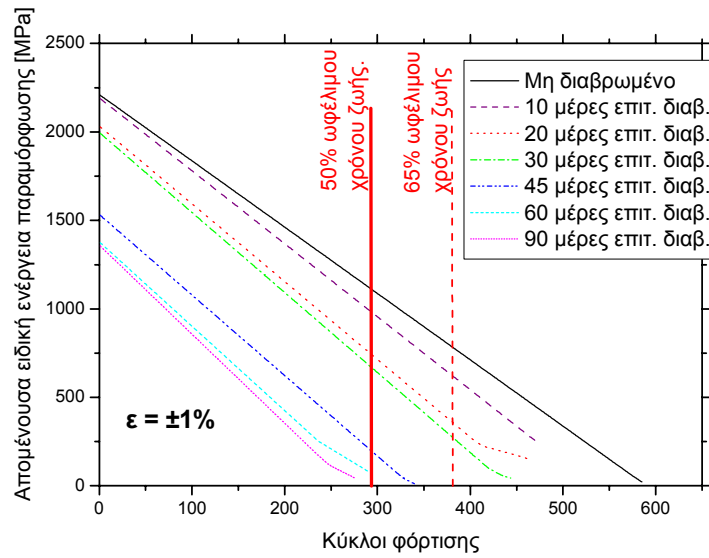
Τα πειραματικά αποτελέσματα των δοκιμών μονοαξονικής ολιγοκυκλικής κόπωσης, έδειξαν μία γενική υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του διαβρωμένου σιδηροοπλισμού S500s tempcore. Ο τύπος της διάβρωσης στην επιφάνεια των δοκιμίων δημιούργησε τραχύτητα που προκάλεσε βλάβη λόγω συγκέντρωσης τάσεων κάτω από εναλλασσόμενα φορτία κόπωσης. Επιπλέον το σχηματισθέν στρώμα των οξειδίων μείωσε την ονομαστική διατομή των δοκιμίων με αποτέλεσμα απώλεια μάζας περίπου 10% για 90 ημέρες διάβρωσης αλατονέφωσης. Ίση και μεγαλύτερη απώλεια μάζας παρατηρείται σε πραγματικές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα της δεκαετίας 1980 σε παραλιακές πόλεις.

Πίνακας 2: Επί τοις εκατό απώλεια μάζας και μειωμένες τιμές ονομαστικής διαμέτρου							
Χρόνος έκθεσης [μέρες]	0	10	20	30	45	60	90
Απώλεια μάζας [%]	0	1.35	2	3.03	4.89	6.65	10.4
Διάμετρος [mm]	12	11.92	11.88	11.82	11.70	11.59	11.36

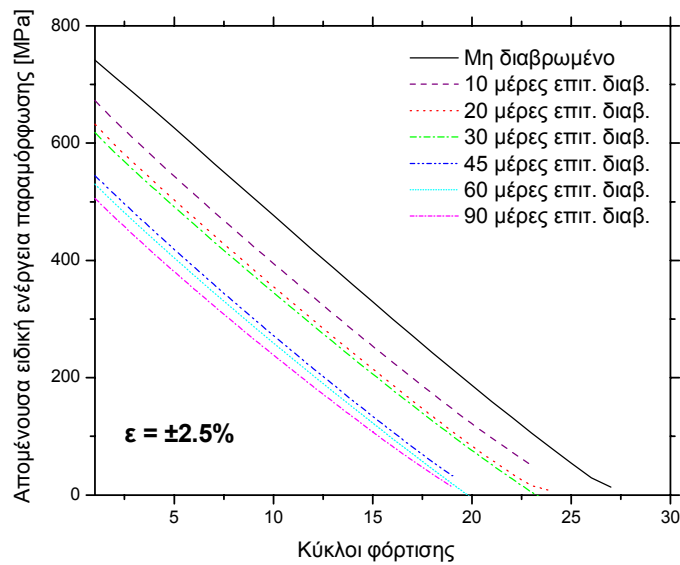


Σχήμα 3: Η μείωση της μάζας και της διαμέτρου του υλικού με αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον αλατονεφώσεως.

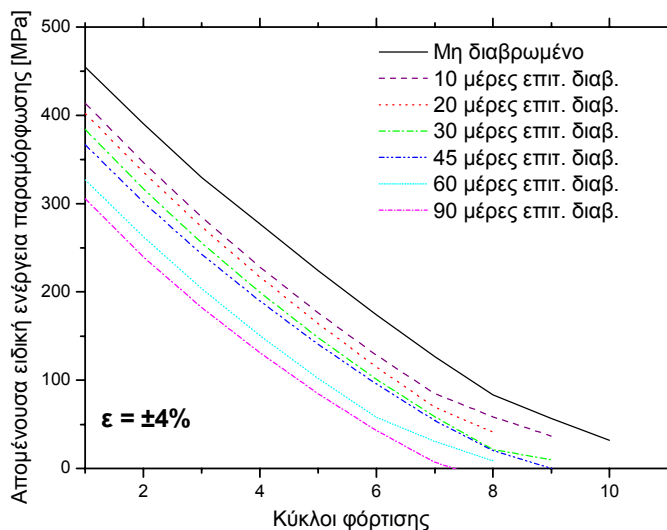
Από τις μηχανικές δοκιμές ολιγοκυκλικής κόπωσης υπολογίζεται η δαπανώμενη ενέργεια παραμόρφωσης σαν ένα άθροισμα της επιφάνειας των βρόγχων υστέρησης. Η ενέργεια αυτή είναι ένα μέτρο της ικανότητας του υλικού να απορροφήσει σεισμική ενέργεια. Μετά την αποτίμηση της απορροφηθείσας συνολικής ενέργειας (πιν. 3) χαραχτηκε η καμπύλη της απομένουσας ενέργειας παραμόρφωσης μετά από κάθε κύκλο σαν μία συνάρτηση του συνολικού αριθμού των κύκλων αντοχής. Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 4-6, η συνολική ενέργεια παραμόρφωσης που απορροφήθηκε από τα δοκίμια μειώθηκε με αύξηση της βλάβης λόγω διάβρωσης. Αυτό φαίνεται να επιβεβαιώνει την σταδιακή μείωση της ολκιμότητας του σιδηροοπισμού που καταγράφηκε στην εργασία (Apostolopoulos 2005) με αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον αλατονεφώσεως.



Σχήμα 4: Δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας μετά από κάθε κύκλο φόρτισης για $\epsilon = \pm 1\%$



Σχήμα 5: Δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας μετά από κάθε κύκλο φόρτισης για $\epsilon = \pm 2,5\%$



Σχήμα 6: Δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας μετά από κάθε κύκλο φόρτισης για $\epsilon = \pm 4\%$

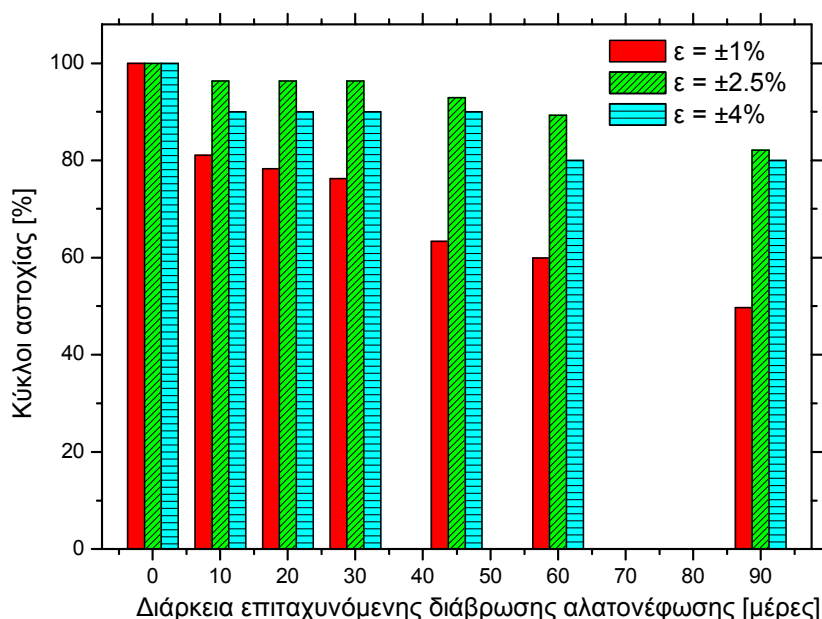
Πίνακας 3: Συνολική απορροφώμενη ενέργεια [MPa]

Διάρκεια διάβρωσης αλατονέφωσης	Εύρος επιβαλλόμενης παραμόρφωσης		
	$\pm 1\%$	$\pm 2,5\%$	$\pm 4\%$
Μη διαβρωμένο	2329	753	454
10 μέρες	2262	689	414
20 μέρες	2168	667	384
30 μέρες	2117	659	382
45 μέρες	1643	647	367
60 μέρες	1430	615	335
90 μέρες	1403	528	327

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4, αν προταθεί ένα πρόγραμμα περιοδικών αυτοψιών ενός μη διαβρωμένου χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος για παράδειγμα στο 65% της ωφέλιμης διάρκειας ζωής, τότε υπάρχει πιθανότητα ένας αριθμός δοκιμίων ($\varnothing 12$) με επίπεδο διάβρωσης μεγαλύτερο από 4,89% (αντιστοιχεί σε απομείνουσα διάμετρο 11,70mm) να έχει αστοχήσει. Αντίστοιχα εάν προταθεί ένα περισσότερο συντηρητικό πρόγραμμα περιοδικών αυτοψιών που θα απαιτεί έλεγχο στο 50% της ωφέλιμης διάρκειας ζωής του, τότε υπάρχει πιθανότητα ένας αριθμός δοκιμίων ($\varnothing 12$) με επίπεδο διάβρωσης μεγαλύτερο από 3,03% (αντιστοιχεί σε απομείνουσα διάμετρο 11,82mm) να έχει επίσης αστοχήσει η να ευρίσκεται κοντά στην αστοχία.

Η βλάβη που προκαλείται στο υλικό με αύξηση του χρόνου διάβρωσης προκαλεί σημαντική μείωση στον αριθμό των κύκλων αστοχίας του υλικού. Η μείωση του αριθμού των κύκλων

αστοχίας φαίνεται στο Σχήμα 7 ενώ ο αριθμός των κύκλων μέχρι την αστοχία του υλικού καταγράφεται στον Πίνακα 4. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, σε χαμηλά επίπεδα παραμόρφωσης ($\pm 1\%$) παρατηρείται μια μεγαλύτερη μείωση στον αριθμό των κύκλων αστοχίας (50,3% μείωση για 90 μέρες επιταχυνόμενης διάβρωσης) συγκρινόμενη με την ποσοστιαία μείωση που παρατηρείται για τα επίπεδα παραμόρφωσης 2,5% και 4% (σταθερή μείωση $\leq 20\%$). Αυτό δείχνει ότι όσο αυξάνει το εύρος παραμόρφωσης, η διάβρωση έχει μικρότερη επίδραση στην αντοχή του υλικού σε κόπωση.

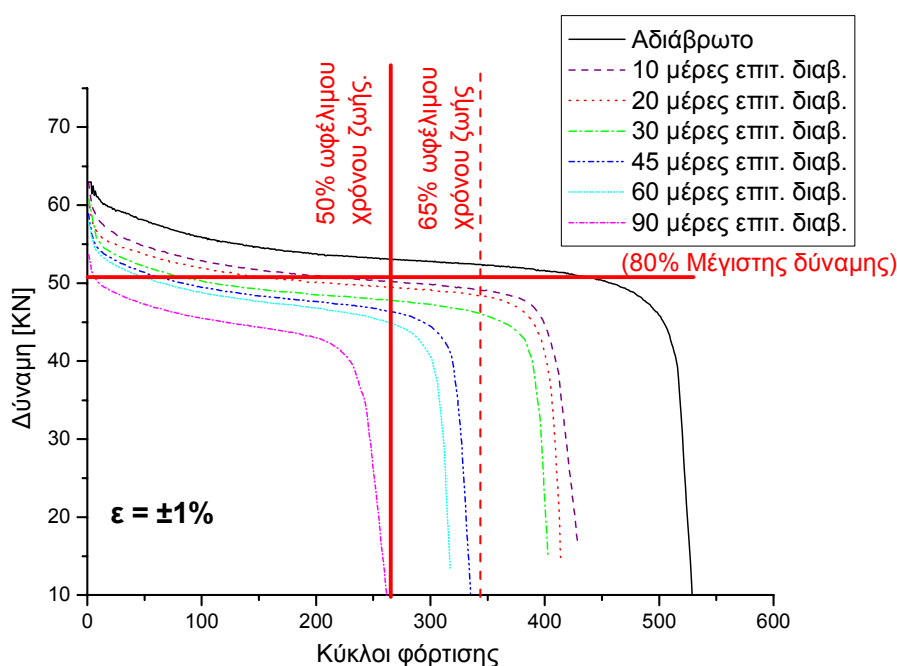


Σχήμα 7: Επίδραση της διάβρωσης στον αριθμό των κύκλων αστοχίας για όλα τα εύρη παραμόρφωσης

Διάρκεια διάβρωσης αλατονέφωσης	Εύρος επιβαλλόμενης παραμόρφωσης		
	±1%	±2,5%	±4%
Μη διαβρωμένο	529	28	10
10 μέρες	429	27	9
20 μέρες	414	27	9
30 μέρες	403	27	9
45 μέρες	335	26	9
60 μέρες	317	25	8
90 μέρες	263	23	8

Αφού οι μηχανικές δοκιμές έγιναν επιβάλλοντας σταθερό εύρος παραμόρφωσης στα υπό εξέταση δοκίμια, όπως ήταν αναμενόμενο η μέγιστη δύναμη με την οποία αντιστεκόταν το υλικό στην επιβαλλόμενη παραμόρφωση δεν ήταν σταθερή. Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 8, η δύναμη με την οποία τα δοκίμια αντιστέκονταν στην επιβαλλόμενη παραμόρφωση μειώνεται σημαντικά στους πρώτους κύκλους της καταπόνησης. Στη συνέχεια και για το μεγαλύτερο ποσοστό της διάρκειας

ζωής του δοκιμίου παρατηρείται μια μικρή αλλά συνεχής μείωση της αναλαμβανόμενης δύναμης και τέλος μια απότομη πτώση η οποία συνεχίζεται μέχρι την τελική αστοχία του δοκιμίου. Επιπλέον, παρατηρείται μια μείωση της φέρουσας αυτής δύναμης με αύξηση του χρόνου έκθεσης διάβρωσης. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, αφού με αύξηση του επιπέδου διάβρωσης παρατηρείται μείωση της διατομής του δοκιμίου. Στην πράξη όμως, ο δομικός χάλυβας καλείται να φέρει σταθερή μέγιστη δύναμη καθόλη την ωφέλιμη διάρκεια ζωής μιας κατασκευής, αφού τα φορτία των κατασκευών παραμένουν περίπου σταθερά και γνωστά σε βάθος χρόνου όπως και η αναμενόμενη σεισμική φόρτιση. Αν για παράδειγμα τεθεί ως ελάχιστο αποδεκτό όριο της φέρουσας δύναμης το 80% της μέγιστης τιμής, τότε από το Σχήμα 8 παρατηρείται ότι με αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον αλατονέφωσης, ο αριθμός των κύκλων φόρτισης για τους οποίους το υλικό μπορεί να φέρει την ελάχιστη αποδεκτή δύναμη μειώνεται σημαντικά. Επίσης, αν η αντοχή του υλικού σε κόπωση θεωρηθεί ανεπηρέαστη από τη διάβρωση, τότε η αστοχία του υλικού μπορεί να προκληθεί πιο σύντομα από ότι αρχικά είχε σχεδιαστεί.



Σχήμα 8: Μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη ανά κύκλο φόρτισης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η πειραματική μελέτη έδειξε τα ακόλουθα:

- Τα πειραματικά αποτελέσματα έδωσαν χρήσιμα δεδομένα για την συμπεριφορά του διαβρωμένου σιδηροοπλισμού S500s tempcore ο οποίος ως γνωστόν, σχεδόν κατά

αποκλειστικότητα χρησιμοποιήθηκε σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα την τελευταία δεκαπενταετία.

- Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο σιδηροοπλισμός S500s tempcore παρουσιάζει σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής του με αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη σημαντική μείωση της ολκιμότητας του διαβρωμένου σιδηροοπλισμού που παρατηρείται στο πείραμα του εφελκυσμού.
- Η μέγιστη φέρουσα ικανότητα των ράβδων σιδηροοπλισμού μειώνεται κατά την διάρκεια της φόρτισης ολιγοκυκλικής κόπωσης. Η μείωση αυτή είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των διαβρωμένων ράβδων. Έτσι στην περίπτωση των παλαιών κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε σειсмоγόνο χώρο δεν πρέπει να αναμένεται σταθερότητα στην μέγιστη αναλαμβανόμενη δύναμη των σιδηροοπλισμών πέραν ενός ορίου ωφέλιμης διάρκειας ζωής.
- Παρότι φαίνεται ότι στο θέμα αυτό θα απαιτηθεί περαιτέρω έρευνα, ωστόσο η καταγραφείσα υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων εφελκυσμού και κόπωσης του διαβρωμένου σιδηροοπλισμού θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπ όψιν σε μελλοντικούς κανονισμούς επισκευής κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Apostolopoulos CA, Papadopoulos MP, Pantelakis SG., 2005. “Tensile behavior of corroded reinforcing steel bars S500s Tempcore» Constr Build Mater (In print)

Broomfield JP., 1997. Corrosion of Steel in Concrete. London: E & FN Spon, p.22.

Congqi Fang, Karin Lundgren, Liuguo Chen, Chaoying Zhu., 2004. Corrosion influence on bond in reinforced concrete. Cement and concrete research, Τόμος 34, Τεύχος 11:2159-2167

Franchi A., Riva P., Ronca P., Roberti R., La Vecchia M., 1996. Failure Modalities of Reinforcement Bars in reinforced Concrete Elements Under Cyclic Loadind. Studi e ricerche, Τεύχος 17:157-187.

Glass GK, Buenfeld NR., 2000, Chloride-induced corrosion of steel in concrete. Prog. Struct. Engineering. Materials. Τόμος 2, Τεύχος 4:448-458

Hakuto Shigeru, 1995. Research report “Retrofitting of reinforced concrete moment Resisting Frames” supervised by Park, R and Tanaka, H. ISSN0110-3326.

Manning DG., 1992. Design life of concrete Highway structures – The North American Scene. The Design Life of Structures, 144–153.

Maslehuddin M, Ibrahim IM, Huseyin S., Abdulaziz I. Al-Mana., 1993. Influence of atmospheric corrosion on the mechanical properties of reinforcing steel. Construction and Building Materials, Τόμος 8, Τεύχος 1:35-41.

Pipa M., Carvalho E. C., Otes A., 1994. Experimental Behaviour of R.C. Beams with Grade 500 Steel. Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna.

Pipa M., Vercesi A., 1996. Cyclic Tests of Grade B400 and B500 Tempcore Bars. PREC8 report, LNEC.

Riva, P. Franchi, A and Tabeni D., 2001. eld Tempcore reinforcement behavior for seismic applications, materials and structures". Materials and structures, Τεύχος 34:240-247.

Sheng GM. and Gong SH., 1997. Investigation of low cycle fatigue behavior of building structural steels under earthquake loading. Acta Metallurgica Sinica (English letters) Τόμος 10, Τεύχος 1:51-55.

Tegoshi Yoshaki, 1983. Proceedings of Academic Lectures of JAS. Tokyo, p. 606 (In Japanese)