

Επίδραση της διάβρωσης στη μηχανική συμπεριφορά δομικών χαλύβων S500s και B500c.

Χ.Α. Αποστολόπουλος, Ν.Δ. Αλεξόπουλος & Μ.Π. Παπαδόπουλος

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

Λέξεις κλειδιά: Χάλυβας, οπλισμένου σκυροδέματος, B500c, S500s, μηχανική απόδοση, δείκτης ποιότητας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάζεται και αποτιμάται η μηχανική συμπεριφορά αδιάβρωτων και διαβρωμένων προϊόντων σιδηροπλισμού κατηγορίας S500s tempcore και B500c tempcore που έχουν παραχθεί από την ίδια Ελληνική Βιομηχανία. Η αξιολόγηση της μηχανικής συμπεριφοράς πραγματοποιείται με την χρήση του δείκτη ποιότητας Q_D ο οποίος συνυπολογίζει τις μηχανικές ιδιότητες αντοχής και ολκιμότητας των εν λόγω υλικών. Η διάβρωση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε μετά από διάφορους χρόνους έκθεσης σε εργαστηριακό περιβάλλον αλατονέφωσης. Οι μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού έγιναν, προκειμένου να αποτιμηθεί η μηχανική απόδοση των δύο χαλύβων S500s και B500c με βάση τη συσσώρευση βλάβης λόγω διάβρωσης, η οποία εκδηλώνεται συχνά στη διάρκεια της ζωής μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί το κυρίαρχο δομικό υλικό χρησιμοποιείται σήμερα ως κύριο υλικό κατασκευής του φέροντα οργανισμού των περισσότερων δομικών έργων όπως κτίρια, γέφυρες, σήραγγες, λιμενικά έργα κλπ. Το σκυρόδεμα ως υλικό παρουσιάζει υψηλές ιδιότητες αντοχής σε θλίψη, σε αντίθεση με την δυνατότητα ανάληψης εφελκυστικών τάσεων όπου η «επίδοσή του» είναι σημαντικά χαμηλότερη. Η κάλυψη της ανάγκης μεταφοράς εφελκυστικών φορτίων από το σκυρόδεμα πραγματοποιείται με την βοήθεια χαλύβδινων ράβδων οπλισμού.

Τα τελευταία χρόνια, αρκετοί ερευνητές (Papadakis 1999, Capozucca 1995, Diamond 1986, Alvarez 1984, Ibrahim 1993, Fang 2004) αναφέρουν ως σημαντικότερη αιτία πρόωρης της υποβάθμισης και της αστοχίας των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, τη διάβρωση του

σιδηροπλισμού. Παρότι είναι γνωστό (Apostolopoulos 2005, Cairns 2005) πλέον ότι η διάβρωση υποβαθμίζει τις περισσότερες μηχανικές ιδιότητες του σιδηροπλισμού, ωστόσο ακόμη και σήμερα εξακολουθεί να αγνοείται από τις υπάρχουσες προδιαγραφές και τους ισχύοντες κανονισμούς (Ε.Α.Κ 2000, Ε.Κ.Ω.Σ 2000, Κ.Τ.Χ).

Το σκυρόδεμα, υπό κανονικές συνθήκες προστατεύει τον σιδηροπλισμό από την επίδραση της διάβρωσης. Η πυκνή και σχετικά αδιαπέρατη δομή του σκυροδέματος παρέχει παθητική προστασία στο χάλυβα οπλισμού, ενώ η υψηλή αλκαλικότητα του ($pH \approx 13,5$) συνεισφέρει στην χημική προστασία του. Στην επιφάνεια του χάλυβα, υπό αυτές τις συνθήκες pH σχηματίζεται ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα στον οπλισμό από την δράση διαφόρων δραστικών ιόντων όπως για παράδειγμα τα χλωριόντα. Κατά καιρούς διάφοροι ερευνητές αναφέρουν διαφορετική χημική σύσταση για το προστατευτικό αυτό στρώμα όπως $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Pourbaix, 1974, 1966) ή $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ (Page 1975, Leek and Pole 1990). Το λεπτό αυτό υπόστρωμα προστατεύει την προσβολή του χάλυβα από επικίνδυνα ιόντα και δρα ως αλκαλικός ρυθμιστής, αποτρέποντας μείωση του pH λόγω υδρόλυσης των προϊόντων διάβρωσης.

Για την έναρξη της διαδικασίας διάβρωσης, το προστατευτικό αυτό στρώμα πρέπει να καταστραφεί ή να διαλυθεί χημικά (Hora 1967). Η διάβρωση λόγω επίδρασης χλωριόντων ξεκινά όταν η συγκέντρωσή τους στην επιφάνεια του χάλυβα ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή (Tritthart 1990). Η διάβρωση του σιδηροπλισμού συνοδεύεται με αύξηση του όγκου του. Η αύξηση αυτή προκαλεί τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων στο σκυρόδεμα οι οποίες προκαλούν ρηγμάτωση και τελικά πλήρη εκτίναξη του σκυροδέματος, αφήνοντας τον σιδηροπλισμό εκτεθειμένο στο περιβάλλον, επιταχύνοντας έτσι τη διαδικασία διάβρωσής του.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται πειραματικά και αξιολογείται ο δείκτης μηχανικής απόδοσης (η δείκτης ποιότητας) του χάλυβα οπλισμού από τις τεχνικές κατηγορίες S500s και B500c υπό την επίδραση της διάβρωσης. Ο δείκτης ποιότητας Q_D επιτρέπει την έκφραση ενός συνδυασμού ιδιοτήτων αντοχής και ολκιμότητας με αξιοποίηση των μεγεθών της τάσης διαρροής, της ενέργειας παραμόρφωσης και της εμφανιζόμενης διασποράς των αποτελεσμάτων αυτών στο πείραμα του εφελκυσμού. Όμοια, με την εισαγωγή των υποβαθμισμένων μηχανικών ιδιοτήτων εφελκυσμού (λόγω συσσώρευσης βλάβης από διάβρωση) προσδιορίζονται οι αντίστοιχοι δείκτες ποιότητας. Στην συνέχεια με βάση τους δείκτες ποιότητας γίνεται ταξινόμηση και κατάταξη τόσο των μη διαβρωμένων όσον και των διαβρωμένων δοκιμίων σιδηροπλισμού.

Ο ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ Q_D

Η βάση μίας μεθόδου επιλογής ενός μετάλλου ή κράματος με την υψηλότερη μηχανική απόδοση αναφέρεται από τον M. Ashby ο οποίος εφάρμοσε μία διαδικασία απαίτησης για ικανοποίηση ορισμένων κριτηρίων και στην συνέχεια την ταξινόμηση με βάση έναν δείκτη ποιότητας Q_D . Ο δείκτης ποιότητας Q_D έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της ικανότητας διαφόρων υλικών για μηχανική απόδοση και για την κατάταξη των υλικών αυτών ως προς την καταλληλότητα τους για χρήση σε συγκεκριμένες μηχανολογικές εφαρμογές (Alexopoulos 2003, 2004). Στη παρούσα εργασία, ο δείκτης ποιότητας Q_D χρησιμοποιείται για τη σύγκριση της μηχανικής απόδοσης των χαλύβων οπλισμού

σκυροδέματος κατηγορίας S500s και B500c, καθώς και για την ποσοτική σύγκριση της υποβάθμισης που υφίστανται με την αύξηση του βαθμού διάβρωσης. Ο δείκτης ποιότητας Q_D ορίστηκε ως:

$$Q_D = K_D \times Q_0 \quad (1)$$

όπου Q_0 είναι η μηχανική απόδοση του υλικού και K_D είναι ένας αδιάστατος συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τη διασπορά που παρατηρείται στις εφελκυστικές μηχανικές ιδιότητες της τάσης διαρροής όπου R_p [MPa] και της ενέργειας παραμόρφωσης W [MJ/m³] του υλικού. Η ποσότητα Q_0 ορίστηκε ως:

$$Q_0 = R_p + a \times W \quad (2)$$

Ο εμπειρικός αδιάστατος συντελεστής a της παραπάνω εξίσωσης επιλέχθηκε τέτοιος ώστε να εξισορροπεί τη συνεισφορά του ορίου διαρροής και της ειδικής ενέργειας παραμόρφωσης στην ποσότητα Q_0 . Για την περίπτωση του δομικού χάλυβα αυτής της τεχνικής κατηγορίας, ο συντελεστής αυτός επιλέχθηκε $a=5$ (Alexopoulos 2005).

Ο αδιάστατος συντελεστής K_D ορίζεται ως:

$$K_D = \left(\frac{R_{pi}}{R_{p \max}} + \frac{W_i}{W_{\max}} \right) \quad (3)$$

Στην σχέση (3), τα R_{pi} και W_i είναι αντίστοιχα το όριο διαρροής και η ειδική ενέργεια παραμόρφωσης του i δείγματος ενώ τα $R_{p \max}$ και W_{\max} είναι αντίστοιχα οι μέγιστες τιμές του ορίου διαρροής και της ειδικής ενέργειας παραμόρφωσης που μετρήθηκαν στη συγκεκριμένη πειραματική σειρά. Ο συντελεστής K_D λαμβάνει τιμές ≤ 2 , καθώς η τιμή $K_D = 2$ αντιπροσωπεύει το ιδανικό υλικό που δεν παρουσιάζει διασπορά στις μηχανικές του ιδιότητες. Έτσι τελικά, ο δείκτης ποιότητας ενός υλικού ή μιας παρτίδας υλικού, υπολογισμένος από k δοκίμια ορίστηκε ως:

$$Q_D = \frac{\sum_{i=1}^k Q_{Di}}{k} \quad (4)$$

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Το υλικό που εξετάζεται στην παρούσα εργασία είναι δομικός χάλυβας δύο διαφορετικών κατηγοριών, του S500s και του νέου, βελτιωμένου χάλυβα κατηγορίας B500c. Το υλικό παρήχθη από την ίδια Ελληνική χαλυβουργία με τη μέθοδο “tempcore”. Ο δομικός χάλυβας κατηγορίας S500s τα τελευταία 15 χρόνια περίπου απετέλεσε την κυριότερη επιλογή στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ

η κατηγορία B500c είναι μια νέα κατηγορία η οποία ουσιαστικά αντικατέστησε τον S500s. Ο δομικός χάλυβας B500c παράγεται σύμφωνα με την υπό έκδοση, πιο απαιτητική προδιαγραφή ΕΛΟΤ 1421. Το υλικό παρελήφθη σε μορφή ράβδων ονομαστικής διαμέτρου Ø12. Από το υλικό κόπηκαν δοκίμια εφελκυσμού μήκους 470mm (350mm ελεύθερο μήκος + 120mm για συγκράτηση στις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού). Για τον υπολογισμό της πραγματικής διατομής και της απώλειας μάζας, μετρήθηκε συστηματικά το βάρος του κάθε δοκιμίου μετά από κάθε ειδικό χρόνο διάβρωσης.

Επιταχυνόμενη διάβρωση αλατονέφωσης

Για την διάβρωση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε η εργαστηριακή επιταχυνόμενη δοκιμή αλατονέφωσης. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν μεθοδολογίες ή προδιαγραφές για την συσχέτιση της εργαστηριακής και της φυσικής διάβρωσης που υφίστανται οι δομικοί χάλυβες κατά τη χρήση τους σε κατασκευές. Η συσχέτιση αυτή γίνεται ακόμη δυσκολότερη αν ληφθούν υπόψιν οι διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό διάβρωσης του σιδηροπλισμού στις κατασκευές όπως είναι η πυκνότητα και η ποιότητα του σκυροδέματος επικάλυψης, το πάχος επικάλυψης, οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες κλπ. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος της επιταχυνόμενης διάβρωσης επιλέχθηκε με βάση το γεγονός ότι το περιβάλλον στο θάλαμο αλατονέφωσης προσομοιώνει ικανοποιητικά το φυσικό περιβάλλον σε παραθαλάσσιες περιοχές. Η διάρκεια παραμονής των δοκιμίων στο θάλαμο αλατονέφωσης επιλέχθηκε τέτοια ώστε η προκαλούμενη απώλεια μάζας να είναι παραπλήσια με την παρατηρούμενη απώλεια μάζας σε πραγματικές κατασκευές.

Μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού.

Οι μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την προδιαγραφή ISO/FDIS 15630-1 στην σερβο-υδραυλική μηχανή γενικών δοκιμών MTS 250 kN του Εργαστηρίου Αντοχής και Τεχνολογίας των Υλικών του Πανεπιστημίου Πατρών. Για κάθε πειραματική σειρά πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον έξι μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού. Από τις δοκιμές εφελκυσμού αποτιμήθηκαν οι ιδιότητες του ορίου διαρροής, R_p , του ορίου αντοχής R_m και η παραμόρφωση θραύσης A_{gt} . Το ειδικό έργο παραμόρφωσης W υπολογίστηκε με τον κανόνα του τραπεζίου ως

$$W = \left(\frac{R_m + R_p}{2} \right) \times A_{gt} .$$

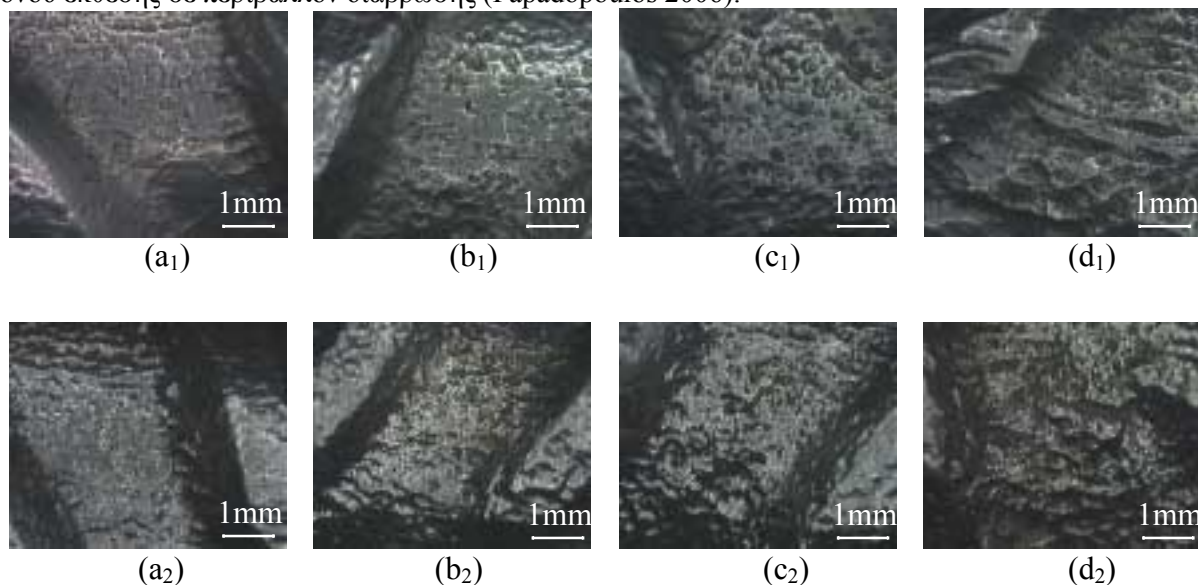
Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται ένα μη διαβρωμένο δοκίμιο μετά από την εφελκυστική αστοχία του.



Σχήμα 1. Δοκίμιο δομικού χάλυβα μετά την αστοχία.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στα διαβρωμένα δοκίμια παρατηρήθηκε εκτεταμένη διάβρωση υπό μορφή βελονισμών (Pitting). Στο Σχήμα 2 φαίνεται ότι οι βελονισμοί αυξάνουν τόσο σε μέγεθος όσο και σε βάθος με την αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον διάβρωσης (Papadopoulos 2006).



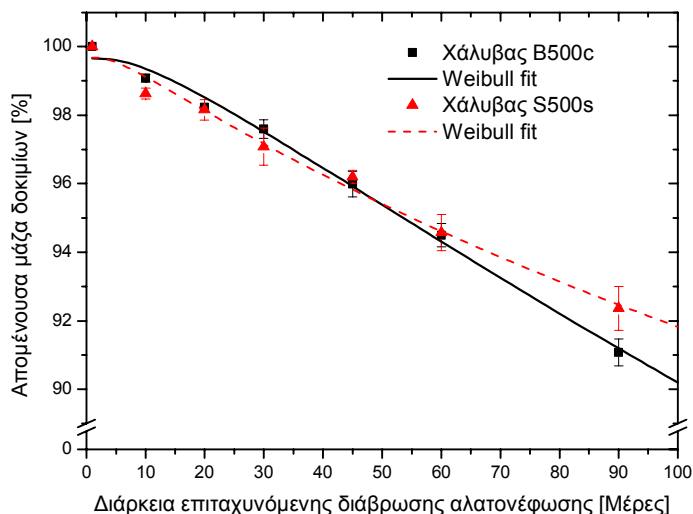
Σχήμα 2: Φωτογραφίες των υπό εξέταση υλικών (B500c⁽¹⁾ και S500s⁽²⁾) από στερεοσκόπιο για: (a) μη διαβρωμένο υλικό και υλικό μετά από (b) 10, (c) 30 και (d) 90 μέρες επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η απώλεια μάζας των δοκιμίων σαν συνάρτηση του χρόνου επιταχυνόμενης διάβρωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα προσεγγίστηκαν με μια εξίσωση Weibull 4 παραμέτρων της μορφής:

$$f(t) = C_1 + \frac{C_2 - C_1}{e^{(\log t / C_3)^{C_4}}} \quad (5)$$

όπου $C_1 - C_4$ είναι σταθερές εξαρτώμενες από το υλικό. Οι σταθερές $C_1 - C_4$ για την απώλεια μάζας των δύο υλικών δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1: Σταθερές Weibull για την απώλεια μάζας		
	S500s	B500c
C ₁	0.09173	-11.35139
C ₂	99.68215	99.65393
C ₃	3.82824	3.23524
C ₄	3.84879	5.02775



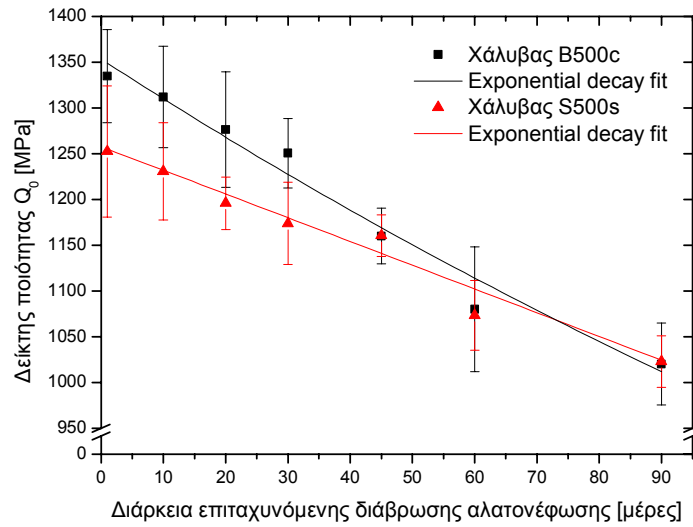
Σχήμα 3: Απομένουσα μάζα υλικού σαν συνάρτηση του χρόνου διάβρωσης.

Παρότι τα δύο υλικά αρχικά εμφανίζουν παραπλήσια ποσοστιαία απώλεια μάζας με την αύξηση του χρόνου έκθεσης σε περιβάλλον επιταχυνόμενης διάβρωσης, ωστόσο ο χάλυβας κατηγορίας B500c παρουσιάζει μια τάση για μεγαλύτερη απώλεια μάζας μετά από 50 μέρες περίπου. Παρόλα αυτά, για διάρκεια έκθεσης μέχρι 90 μέρες σε επιταχυνόμενη διάβρωση αλατονέφωσης, η ποσοστιαία διαφορά στην απώλεια μάζας μεταξύ των δύο υλικών είναι της τάξης του 2%.

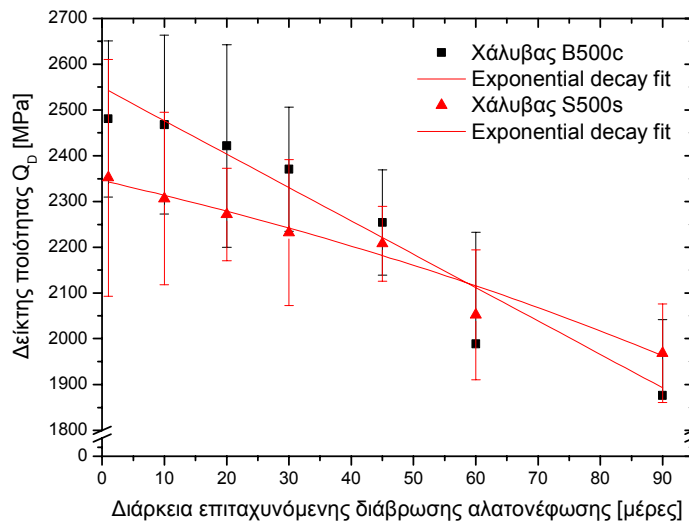
Η χρήση ενός δείκτη ποιότητας επιτρέπει την σύγκριση της μηχανικής απόδοσης μεταξύ όμοιων υλικών πριν και μετά από διάβρωση, συμψηφίζοντας τις μηχανικές ιδιότητες αντοχής και ολκιμότητας του υλικού. Για τη σύγκριση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες ποιότητας Q_0 και Q_D . Η ποσότητα Q_0 χαρακτηρίζει την ικανότητα του υλικού για μηχανική απόδοση, λαμβάνοντας υπόψιν τη μέση τιμή των ιδιοτήτων αντοχής και ολκιμότητας του υλικού, ενώ η ποσότητα Q_D λαμβάνει επι πλέον υπόψιν την παρατηρούμενη διασπορά στις μηχανικές ιδιότητες. Οι τιμές των ποσοτήτων Q_0 και Q_D καθώς και η τιμές του K_D (μέσος όρος και τυπική απόκλιση) παρατίθενται στον Πίνακα 2 και απεικονίζονται γραφικά στα Σχήματα 4 και 5. Τα πειραματικά αποτελέσματα προσεγγίστηκαν με μια συνάρτηση εκθετικής μείωσης (exponential decay) της μορφής:

$$f(t) = C_1 + C_2 \times e^{(-t/c_3)} \quad (6)$$

οι σταθερές της οποίας C_1-C_3 δίνονται στον Πίνακα 3.



Σχήμα 4: Μεταβολή του δείκτη ποιότητας Q_0 με αυξανόμενο επίπεδο διάβρωσης



Σχήμα 5: Μεταβολή του δείκτη ποιότητας Q_D με αυξανόμενο επίπεδο διάβρωσης

Πίνακας 2: Τιμές των ποσοτήτων K_D , Q_0 και Q_D			Χρόνος επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης [μέρες]						
Ποσότητα			0	10	20	30	45	60	90
K_D	S500s	Μέση τιμή	1.87	1.87	1.90	1.90	1.90	1.91	1.92
		Τυπ. Αποκλ.	0.10	0.07	0.04	0.07	0.03	0.07	0.05
	B500c	Μέση τιμή	1.86	1.88	1.89	1.89	1.94	1.83	1.84
		Τυπ. Αποκλ.	0.06	0.07	0.08	0.05	0.05	0.11	0.08
Q_0	S500s	Μέση τιμή	1252. 57	1230. 79	1195. 98	1173. 82	1160. 69	1073. 46	1022. 87
		Τυπ. Αποκλ.	71.77	53.02	28.55	44.95	22.62	37.22	28.26
	B500c	Μέση τιμή	1334. 76	1311. 97	1276. 48	1250. 54	1160. 17	1080. 07	1020. 21
		Τυπ. Αποκλ.	50.91	55.53	63.23	37.89	30.35	68.15	44.71
Q_D	S500s	Μέση τιμή	2351. 90	2306. 43	2271. 34	2231. 79	2207. 59	2052. 24	1968. 60
		Τυπ. Αποκλ.	258.5 9	188.8 0	101.2 5	159.6 4	81.86	142.0 0	107.4 7
	B500c	Μέση τιμή	2480. 47	2468. 12	2421. 20	2370. 59	2254. 09	1988. 56	1875. 80
		Τυπ. Αποκλ.	170.8 5	195.6 2	221.4 7	135.4 9	115.3 6	244.5 3	165.9 0

Στα διαγράμματα των Σχημάτων 4 και 5 αρχικά παρατηρείται μια υπεροχή της μηχανικής απόδοσης του χάλυβα B500c έναντι του S500s, όσον αφορά το μη διαβρωμένο υλικό. Όμως με αύξηση του επιπέδου διάβρωσης παρατηρείται μια εντονότερη μείωση της μηχανικής απόδοσης του χάλυβα B500c. Συνέπεια αυτού είναι ότι μετά από 90 μέρες επιταχυνόμενης διάβρωσης, οι δείκτες ποιότητας Q_0 των δύο υλικών ταυτίζονται. Ο ρυθμός μείωσης του δείκτη ποιότητας Q_D για τον χάλυβα B500c φαίνεται να είναι μεγαλύτερος του S500s καθώς συνδυάζει (ο B500c) υψηλότερη τυπική απόκλιση και φαίνεται ότι η μηχανική απόδοση μετά από 75 περίπου μέρες διάβρωσης αλατονέφωσης υπερισχύει της μηχανικής απόδοσης του «νεώτερου» χάλυβα B500c. Χρησιμοποιώντας τον δείκτη ποιότητας Q_D στην αξιολόγηση του υλικού λαμβάνεται επιπλέον υπόψιν και η διασπορά που παρατηρείται στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού.

Σημειώνεται ότι η καταγραφόμενη απώλεια μάζας που στα δύο αυτά υλικά μετά από 75 μέρες επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης είναι της τάξης του 6-7%, τιμές καθ' όλα ρεαλιστικές, αφού αντίστοιχες και πολύ μεγαλύτερες απώλειες μάζας έχουν παρατηρηθεί και έχουν μετρηθεί σε αριθμό πραγματικών κατασκευών (Apostolopoulos 2005).

Στο Σχήμα 5, καταγράφεται μια παρόμοια συμπεριφορά στη μηχανική απόδοση των δύο υλικών. Η τιμή της ποσότητας Q_D του μη διαβρωμένου χάλυβα, υπερέχει του S500s, ωστόσο, με αύξηση του

χρόνου έκθεσης σε διάβρωση παρουσιάζει μια εντονότερη τάση για υποβάθμιση. Συγκεκριμένα μετά από 60 μέρες διάβρωσης περίπου, η μηχανική απόδοση του χάλυβα B500c υποβαθμίζεται ιδιαίτερα και λαμβάνει τιμές κάτω από τις αντίστοιχες του χάλυβα S500s. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι ο χάλυβας B500c παρουσίασε αυξημένη διασπορά στις μηχανικές του ιδιότητες έναντι του χάλυβα S500s (στα δοκίμια των 60 και 90 ημερών επιταχυνόμενης διάβρωσης).

Πίνακας 3: Σταθερές exponential decay για τους δείκτες ποιότητας Q_0 και Q_D				
	Q_0		Q_D	
	S500s	B500c	S500s	B500c
C_1	-21848430.46062	87.16578	2833.79917	-91205446.15532
C_2	21849688.29316	1266.2965	-487.92424	91207995.57755
C_3	8429078.36953	286.44633	-155.31087	12503665.00131

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Στα πλαίσια της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε η έννοια του δείκτη ποιότητας για την σύγκριση της μηχανικής απόδοσης δύο τύπων δομικού χάλυβα, του S500s και του B500c. Ο «νεώτερος» τύπος χάλυβα B500c φαίνεται να υπερισχύει σε μηχανική απόδοση του προκάτοχου του, S500s, όσον αφορά το μη διαβρωμένο υλικό.
- Στα δύο αυτά υλικά παρατηρήθηκε μια τάση υποβάθμισης των μηχανικών τους ιδιοτήτων με αύξηση του επιπέδου διάβρωσης. Παρατηρήθηκε επίσης ότι η μηχανική απόδοση του χάλυβα B500c υποβαθμίζεται κάτω από αυτή του S500s μετά από 75 μέρες περίπου επιταχυνόμενης διάβρωσης αλατονέφωσης. Η απώλεια μάζας που παρατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο διάβρωσης είναι ρεαλιστική, αφού αντίστοιχα και μεγαλύτερες απώλειες μάζας έχουν παρατηρηθεί σε υπάρχουσες πραγματικές κατασκευές.
- Η υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του δομικού χάλυβα λόγω διάβρωσης, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψιν τόσο κατά την φάση της επιλογής του υλικού για νέες κατασκευές, όσο και κατά το σχεδιασμό επισκευών σε παλαιές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexopoulos N.D., Apostolopoulos C.A., Papadopoulos M.P., Pantelakis S.G. 2005. Mechanical performance of BStIV grade steel bars with regard to the long-term material degradation due to corrosion damage. Construction and Building Materials, accepted for publication.

Alexopoulos N.D., Pantelakis S.G. 2004. A new quality index for characterizing aluminum cast alloys with regard to aircraft structure design requirements. Metallurgical and Material Transactions A, Τόμος 35A, Τεύχος 1:301–8.

Alexopoulos N.D., Pantelakis S.G. 2003. Evaluation of the effects of variations in chemical composition on the quality of Al-Si-Mg, Al-Cu and Al-Zn-Mg cast aluminum alloys. Materials Engineering and Performance, Τόμος 12, Τεύχος 2:196–205.

Alvarez MG, Galvele JR. 1984. The mechanisms of pitting of high purity iron in NaCl solutions. Corrosion Science, Τεύχος 24:27-48.

Apostolopoulos C.A., Papadopoulos M.P., Pantelakis S.G. 2005. Tensile behavior of corroded reinforcing steel bars BSt 500s. Construction and Building Materials, in press.

Cairns J, Plizzari G, Du Y, Law D and Franzoni C. 2005. Mechanical properties of corrosion-damaged reinforcement. ACI Materials Journals, Τόμος 2, Τεύχος 4:256-264.

Capozucca R. 1995. Damage to reinforcement concrete due to reinforcement corrosion. Construction and Building Materials, Τόμος 9, Τεύχος 5:295-303.

Diamond SE. 1986. Chloride concentrations in concrete pore solutions resulting from calcium and sodium chloride admixtures. Cement and Concrete Aggregates, Τόμος 8, Τεύχος 2:97-102.

Fang C, Lundgren K, Chen L, Zhu C. 2004. Corrosion influence on bond in reinforced concrete. Cement and Concrete Research, Τόμος 34, Τεύχος 11:2159-67.

Hora T.P. 1967. The anodic behavior of metals. Corrosion Science, Τεύχος 7:341-55.

Ibrahim IM, Maslehuddin M, Saricimen H, Abdulaziz LA. 1993. Influence of atmospheric corrosion on the mechanical properties of reinforcing steel. Construction and Building Materials, Τόμος 8, Τεύχος 1:35-41.

Leek D.S., Poole AB. 1990. The breakdown of the passive film on high yield mild steel by chloride ions. Corrosion of reinforcement corrosion in concrete, London: Elsevier Science.

Page C.L. 1975. The mechanisms of corrosion protection in reinforced concrete marine structures. Nature Τόμος 2, Τεύχος 58:514–5.

Papadakis V.G 1999. Supplementary cementing materials in concrete – Activity, Durability and Planning, Danish Technological Institute concrete center.

Papadopoulos M.P., Apostolopoulos C.A., Alexopoulos N.D., Pantelakis Sp.G. 2006. Effect of salt spray corrosion exposure on the mechanical performance of different class reinforcing steel bars. Materials and Design, sent for publication.

Pourbaix M. 1966. Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions. New York: Pergamon Press.

Pourbaix M. 1974. Applications of electrochemistry in corrosion science and practice. Corrosion Science, Τεύχος 4:25-28

Tritthart J. 1990. Pore solution composition and other factors influencing the corrosion risk of reinforcement in concrete, Proc. Corrosion of reinforcement in concrete, Society of Chemical Industry, London: Elsevier.