

Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ- ΠΡΟΛΗΨΗ- ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ

ΤΣΩΝΗ ΝΙΚΟΛΕΤΤΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διάβρωση του οπλισμού και η ενανθράκωση του σκυροδέματος είναι το φαινόμενο εκείνο που περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μας έκανε να συνειδητοποιήσουμε ότι το οπλισμένο μετόν γερνάει και απαξιώνεται. Στην αρχή της παρούσας εργασίας διατυπώνονται οι διάφορες θεωρήσεις από ηλεκτροχημικής απόψεως. Στη συνέχεια διατυπώνονται τα θέματα από τεχνολογικής άποψης και γίνονται συστάσεις τόσο για την πρόληψη του φαινομένου της διάβρωσης όσο και για την επιτυχή αντιμετώπιση προβλημάτων σε υφιστάμενες κατασκευές. Επίσης αναφέρονται τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται κατά την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του δομήματος με έμφαση στις συγκολλήσεις διαβρωμένου οπλισμού με νέο.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Ανάλογα με την εποχή ανέγερσης του κάθε δομήματος και με τους τότε ισχύοντες κανονισμούς χρησιμοποιούνταν και συγκεκριμένος τύπος χάλυβα (πίνακας 1). Κατά τα πρότυπα του ΕΛΟΤ και του Νέου Κανονισμού Τεχνολογίας Οπλισμού Σκυροδέματος ΚΤΧ 2008 στην Ελλάδα σήμερα χρησιμοποιούνται οι χάλυβες B500A και B500C. Οι χάλυβες αυτοί παράγονται με κατάλληλη θερμική επεξεργασία (μέθοδο Temprocore). Στην επιφάνεια και εξωτερικό περίβλημα των χάλυβων αυτών υπάρχει η σκληρή μαρτενιτική δομή η οποία έχει μεγάλη μηχανική αντοχή αλλά μειωμένη πλαστιμότητα. Στο δε εσωτερικό επικρατεί η φερριτο-περλιτική δομή η οποία έχει υψηλή πλαστιμότητα αλλά μικρότερη μηχανική αντοχή. Ο συνδυασμός αυτός έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή χάλυβα με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, ωστόσο δεν παύει να είναι ευάλωτος σε διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Κατηγορία χάλυβα	Τυπική χημική σύνθεση (% κ.β.)					Τρόπος Παραγωγής	Κύρια Περίοδος Χρήσης (δεκαετίες)
	C	Mn	Si	S	P		
St I και S220	0,08-0,12	≈0,50	≈0,10	0,03-0,06	0,01-0,05	-	Θ.Ε.-Χ. έως '70
St IIIa και S400	0,30-0,40	0,80-1,00	0,20-0,30	0,03-0,06		-	Θ.Ε.-Χ. '60 έως '95
St IIIβ ελικ/βας	0,10-0,15	≈0,50	≈0,10			-	Ψ.Κ.-Σ '60 έως '70
S500	0,35-0,40	1,00-1,20	0,20-0,30	0,03-0,06		0,02-0,03	Θ.Ε.-Χ. '90 -'95
S400s	≈0,15	0,60-1,00	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ. '90 -'95
S500s	0,18-0,20	1,00-1,20	0,20-0,30	0,03-0,05		0,04-0,09	Θ.Ε.-Χ. '90 -'95
S500s	0,15-0,20	0,60-1,00	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ. '92 έως 2007
B500A	0,20-0,22	0,90-1,20	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ. ή Ψ.Κ.-Ο από 2006
B500C	0,20-0,22	0,90-1,20	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ. από 2006

Πίνακας 1: Χημικές συνθέσεις, τρόποι παραγωγής κ' περιόδος χρήσης Χ.Ο.Σ.[6]

Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η διάβρωση του οπλισμού σκυροδέματος είναι μία ηλεκτροχημική δράση, που λαμβάνει χώρα κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Η ηλεκτροχημική δράση απαιτεί την ύπαρξη ανόδου, καθόδου και ηλεκτρολύτου μέσω του οποίου διακινούνται τα ιόντα. Η διεξαγωγή των ηλεκτροχημικών δράσεων πραγματοποιείται στην διεπιφάνεια μετάλλου-ηλεκτρολύτη και η μετακίνηση των ιόντων γίνεται μέσω του ηλεκτρολύτη. [1]

Η ανοδική και η καθοδική (ηλεκτροχημική) δράση συμβαίνουν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές του χάλυβα, ενώ ένας αριθμός ηλεκτρονίων μετακινείται μέσα στον χάλυβα. Η ανοδική δράση στην περίπτωση της διάβρωσης του οπλισμού είναι η ανοδική διάλυση του σιδήρου. Η δράση αυτή είναι μια οξειδωτική αντίδραση με απόδοση ηλεκτρονίων κατά την αντίδραση:



Η τάση προς οξείδωση είναι αυξανόμενη κατά την σειρά: S220, S400, S500s (βανάδιο), S500s (Tempcore)[17]. Η ταχύτητα της δράσης αυτής είναι πολύ μικρή στην περίπτωση δημιουργίας παθητικού στρώματος. Όταν όμως το PH πέσει κάτω από το 9,0 η ταχύτητα αυξάνει σημαντικά. Το ίδιο θα συμβεί και όταν το παθητικό στρώμα καταστραφεί από ικανό αριθμό χλωριόντων. Η καθοδική δράση είναι συνυφασμένη με την πρόσληψη ηλεκτρονίων.



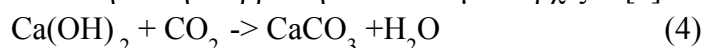
Τα μεταλλοίοντα από την ανοδική αντίδραση και τα υδροξυλιόντα από την καθοδική μετακινούνται μέσα στον ηλεκτρολύτη και τελικά αντιδρούν προς σχηματισμό στερεών προϊόντων οξείδωσης.



Το σχηματιζόμενο υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου παρουσία οξυγόνου μετατρέπεται σε υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). Ανάλογα με το είδος του ηλεκτρολύτη ο σχηματισμός του υδροξειδίου του σιδήρου πραγματοποιείται στην επιφάνεια του χάλυβα ή σε μεγαλύτερη απόσταση από αυτόν. Η σκουριά εναποτίθεται στη ράβδο στις περιοχές των καθόδων και επειδή είναι διαπερατή τόσο από το νερό όσο και από τα αέρια, η διαδικασία οξείδωσης συνεχίζεται. Νέα προϊόντα σκουριάς παράγονται με περαιτέρω αντιδράσεις με το διαλυμένο οξυγόνο. Ο όγκος των παραγόμενων προϊόντων σκουριάς διαρκώς αυξάνει κι οι συνοδευτικές αυξανόμενες εσωτερικές τάσεις προκαλούν ρηγματώσεις, αποτινάξεις και αποκολλήσεις ολόκληρων κομματιών από μπετόν. Οι διαδικασίες αυτές μπορούν να επιταχυνθούν από την παρουσία χλωριούχων αλάτων. [5]

Στην γενική περίπτωση το σκυρόδεμα αποτελεί ένα προστατευτικό περιβάλλον του σιδηροοπλισμού για δύο λόγους 1) Το υδατικό διάλυμα των πόρων του σκυροδέματος είναι έντονα αλκαλικό εξαιτίας της υδρασβέστου $\text{Ca}(\text{OH})_2$, προϊόν της αντίδρασης της ενυδάτωσης (σκλήρυνσης) του τσιμέντου, με PH μεταξύ 12,5 και 13,9. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο χάλυβας καλύπτεται επιφανειακά από ένα παθητικό στρώμα οξειδίων σιδήρου που παρεμποδίζει την διάβρωσή του. 2) Το σκυρόδεμα αποτελεί ένα φυσικό εμπόδιο στην επαφή του οπλισμού με τα διάφορα διαβρωτικά συστατικά του περιβάλλοντος και άλλες ουσίες που βοηθούν την διάβρωση (όπως χλωριόντα Cl^{-}). Με την πάροδο του χρόνου το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει την προστατευτική του ικανότητα εξαιτίας παραγόντων που οδηγούν σε ενανθράκωση ή διείδυσης χλωριόντων. Οι κυριότεροι μηχανισμοί που απαξιώνουν το οπλισμένο σκυρόδεμα είναι:

Μέσω ενανθράκωσης: Ενανθράκωση είναι η αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το υδροξείδιο του ασβεστίου προς ανθρακικό ασβέστιο, οπότε το PH μπορεί να αποκτήσει τιμές χαμηλότερες του 9,0 με συνέπεια ο χάλυβας μεταπηδά από την παθητική στην ενεργή κατάσταση και η διάβρωση του οπλισμού αρχίζει. [2]



Για την πραγματοποίηση της αντιδράσεως, απαιτούνται μικρές ποσότητες νερού. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενανθράκωσης παρατηρείται σε αέρα με σχετική υγρασία 60 έως 70% (Το ξηρό σκυρόδεμα δε θα ενανθρακωθεί, λόγω απουσίας της απαιτούμενης υγρασίας, ενώ σε κορεσμένο

με νερό σκυρόδεμα εμποδίζεται η διάχυση του αερίου CO₂ στους πόρους του σκυροδέματος.) Το νερό που δημιουργείται μετά την αντίδραση, διαχέεται προς το εσωτερικό του σκυροδέματος και η διαδικασία συνεχίζεται σε μεγαλύτερα βάθη του σκυροδέματος. Το PH μειώνεται, σε πλήρως δε ενανθρακωμένο σκυρόδεμα παίρνει περίπου την τιμή 8.3. Όταν έχει χρησιμοποιηθεί μικρό πάχος επικάλυψης των οπλισμών ή κακή ποιότητα μπετόν επικάλυψης, το μέτωπο ενανθράκωσης φθάνει στους οπλισμούς πιο γρήγορα.

Με την προσβολή χλωριούχων αλάτων: Ένας άλλος λόγος για την διάβρωση του οπλισμού είναι η παρουσία των χλωριόντων. Τα χλωριόντα διαπερνούν το παθητικό στρώμα των οξειδίων και προκαλούν διάβρωση με βελονισμούς. Για να αρχίσει η διαβρωτική δράση των χλωριόντων αυτά πρέπει να υπερβούν μία ορισμένη τιμή, η οποία συνήθως εκφράζεται σε γραμμάρια χλωριόντων ανά 100 γραμμάρια τσιμέντου.(2) Αφορά παραθαλάσσια έργα και έργα υποδομής όπως π.χ. γέφυρες στα οποία γίνεται χρήση αλάτων για λόγους αποπαγοποίησης.

Σχηματισμός μακροστοιχείων: Ένα κράμα όπως ο δομικός χάλυβας από την μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής του έχει αιτίες σχηματισμού τοπικών γαλβανικών στοιχείων. Ανομοιομορφίες μικρής κλίμακας στην χημική σύσταση του κράματος, γεωμετρικές ανωμαλίες στην επιφάνεια, η ύπαρξη οξειδίων στην επιφάνεια οδηγούν στον σχηματισμό τοπικών γαλβανικών στοιχείων με μία διαφορά (ηλεκτρικού συνεχούς) δυναμικού της τάξης των μερικών δεκάδων mV. Οι διαφορές αυτές δυναμικού είναι αρκετές για να οδηγήσουν στον σχηματισμό ανοδικών και καθοδικών περιοχών. Η δημιουργία των τοπικών αυτών γαλβανικών στοιχείων είναι αποτέλεσμα της παραγωγικής διαδικασίας του χάλυβα. Εάν υπήρχε μόνο η διαδικασία αυτή διάβρωσης μέσω των τοπικών γαλβανικών στοιχείων τότε οι αστοχίες από την διάβρωση θα ήταν σημαντικά μικρότερες από αυτές που έχουν παρατηρηθεί. [1]

Τα μακροστοιχεία σε αντίθεση με τα τοπικά γαλβανικά στοιχεία εμφανίζονται σε μεγάλες περιοχές του οπλισμού. Οφείλονται στην όλη συγκρότηση και λειτουργία του οπλισμένου σκυροδέματος και όχι μόνο στον χάλυβα. Στην περίπτωση όμως του οπλισμένου σκυροδέματος η δημιουργία μακροστοιχείων οφείλεται σε επιδράσεις του περιβάλλοντος. Τα χλωριόντα φθάνουν μετά από ένα χρονικό διάστημα στους πρώτους οπλισμούς ενώ οι ευρισκόμενοι προς το εσωτερικό τμήμα του κτιρίου δεν έχουν γύρω τους χλωριόντα. Μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών χαλύβων δημιουργείται μέσω των συνδετήρων μακροστοιχείο. Οι οπλισμοί που έχουν ήδη γύρω τους χλωριόντα αποτελούν την άνοδο ενώ οι οπλισμοί χωρίς χλωριόντα αποτελούν την κάθοδο του γαλβανικού στοιχείου. Η ταχύτητα διάβρωσης εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος του γαλβανικών μακροστοιχείου. Η ένταση του ρεύματος εξαρτάται από το δυναμικό του μακροστοιχείου, την ηλεκτρική αντίσταση του σκυροδέματος και τον λόγο μεταξύ της ανοδικής προς την καθοδική επιφάνεια.[2]

Γαλβανικά μακροστοιχεία επίσης εμφανίζονται όταν υπάρχουν: Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος αεριζόμενες δίπλα σε μη αεριζόμενες. Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος υγρές δίπλα σε στεγνές. Περιοχές οπλισμένου σκυροδέματος με χαμηλό PH (λόγω ενανθράκωσης) δίπλα σε περιοχές με υψηλό PH. Η ύπαρξη και λειτουργία γαλβανικών μακροστοιχείων οδηγεί σε διάβρωση μεγάλης έκτασης και ταχύτητας.[3]

Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η διάβρωση του οπλισμού στο σκυρόδεμα η οποία οφείλεται είτε στην ενανθράκωση είτε στην είσοδο χλωριόντων στο σκυρόδεμα και ο σχετικός σχηματισμός μακροστοιχείων η σημερινή τεχνολογία προσφέρει διάφορες λύσεις. Οι λύσεις αυτές έχουν διαφορετικό κόστος εφαρμογής αλλά και διαφορετικούς χρόνους επέκτασης της διάρκειας ζωής της κατασκευής. Πριν όμως από την κάθε εφαρμογή λύσης προστασίας του οπλισμού θα πρέπει να αναφερθούν ορισμένα σχετικά, με την ποιότητα του σκυροδέματος η οποία ασκεί σημαντικό ρόλο στην όλη αντίσταση κατά της διάβρωσης.

Η ποιότητα γενικώς του σκυροδέματος ως γνωστόν εξαρτάται, πέραν των διαδικασιών παρασκευής του κυρίως από: Την ποιότητα και την σωστή κοκκομετρική διαβάθμιση των σκύρων, την ποιότητα και το είδος του τσιμέντου καθώς και από την ποσότητα του νερού στην παρασκευή του σκυροδέματος. Για τον περιορισμό της διάβρωσης σημαντικός είναι ο περιορισμός των κενών του σκυροδέματος καθώς τα χλωριόντα εισέρχονται στην μάζα του σκυροδέματος δια των κενών. Για τα σκύρα επιδιώκεται να μην υπάρχουν κενά στην μάζα τους δηλαδή να μην είναι πορώδη και προσεγμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Για το τσιμέντο, δεν συνιστάται ο τύπος τσιμέντου ανθεκτικού σε θείκιά. Συνιστάται η χρήση τσιμέντου τύπου CEM II ή IV κατά ΕΛΟΤ EN 197. Για την αναλογία νερού προς τσιμέντο επιβάλλεται το πολύ 0.50 που είναι πολύ δύσκολο στην επεξεργασία του σκυροδέματος.[1]

ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ-ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗΣ

Σε μία νέο - σχεδιαζόμενη κατασκευή, ο Μηχανικός πρέπει: Να εκτιμήσει σωστά το περιβάλλον και την βλαπτικότητα του. Να αναγνωρίσει τις πιθανές επιδράσεις και να μελετήσει τους μηχανισμούς φθοράς. Να εκλέξει τα κατάλληλα υλικά και τα στοιχεία της κατασκευής (είδος τσιμέντου, ποιότητα και διαβάθμιση των αδρανών, επικαλύψεις κ.λπ.). Να δώσει την αντίστοιχα απαιτούμενη μορφολογική και στατική λύση, ανάλογα με την βλαπτικότητα του περιβάλλοντος και τις απαιτήσεις και δυνατότητες συντηρήσεως. Να εξασφαλίσει καλή ποιότητα σκυροδέματος κατά την κατασκευή, με επαρκή συμύκνωση και συντήρηση. Έχει παρατηρηθεί ότι οι μισές φθορές οφείλονται σε λάθη τα οποία εμφανίζονται κατά την φάση της κατασκευής. Παράλληλα πρέπει να προβλεφθεί ώστε στο μέλλον να γίνεται τακτικός έλεγχος για την γενική κατάσταση του κτιρίου ή να ανανεώνονται τα προστατευτικά μέτρα, πχ. επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με αδιάβροχες μεμβράνες.[2]

1. Το περιβάλλον. Περιβάλλοντα στα οποία υπάρχει αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ επιταχύνουν τις διαδικασίες ενανθράκωσης. Τέτοια περιβάλλοντα είναι τα βιομηχανικά και τα αστικά. Ιδιαίτερα επιβαρυνμένα είναι τα πάρκινγκ αυτοκινήτων λόγω των αυξημένων εκπομπών σε CO₂. Για τον ίδιο λόγο, στα αστικά περιβάλλοντα οι χαμηλότεροι όροφοι είναι πάντα πιο επιβαρυνμένοι από τους υψηλότερους.

2. Το πάχος και η ποιότητα επικάλυψης των οπλισμών. Προφανώς μεγάλες επικαλύψεις προσφέρουν μακρόχρονη προστασία. Όσον αφορά την ποιότητα της επικάλυψης, αυτή βελτιώνεται: Με τη μείωση του υδατοτσιμεντοσυντελεστή: μείωση πορώδους. Να κρατιέται σε επίπεδα μικρότερα του 0,50. Με την αύξηση της ποσότητας του τσιμέντου: αυξάνεται η ποσότητα του προστατευτικού Ca(OH)₂. Με καλή συμύκνωση και ωρίμανση: μείωση κακοτεχνιών, φωλιών αδρανών, ρωγμών κλπ.

3. Σχετική υγρασία του σκυροδέματος. Μια Σ.Υ. της τάξης του 50-60% θεωρείται η ως πιο επιβλαβής για την εξέλιξη της ενανθράκωσης. Όταν έχουμε Σ.Υ. $\leq 40\%$ η διαδικασία επιβραδύνεται, γιατί δεν μπορεί να υπάρξει διάλυση του CO₂ στο νερό και σχηματισμός H₂CO₃. Σε επίπεδα Σ.Υ. $\leq 20\%$ η ενανθράκωση πρακτικά μηδενίζεται. Στο άλλο άκρο: όταν η σχετική υγρασία του μπετόν προσεγγίζει το 85-90%, το CO₂ δεν μπορεί να διεισδύσει επειδή οι πόροι του μπετόν είναι γεμάτοι με νερό.

4. Ύπαρξη ρωγμών. Οι ρωγμές αποτελούν μονοπάτια για τη δίοδο του CO₂. Έλεγχος του αριθμού και του εύρους τους τόσο στο νωπό όσο και στο σκληρυμένο μπετόν οδηγεί σε καλύτερο έλεγχο της ενανθράκωσης. Έλεγχος της ρηγμάτωσης μπορεί να γίνει με μέτρα όπως χρήση συνθετικών ινών, προσεγγισμένη συντήρηση, χάραξη αρμών διαστολής, επαρκή οπλισμό.

5. Φράγματα κατά της ενανθράκωσης. Πρόκειται για βαφές, εμποτισμούς ή και λεπτά επιχρίσματα που λειτουργούν σαν φράγματα κατά της εισόδου του CO₂. Τα υλικά αυτά είναι συνήθως διαπερατά από τους υδρατμούς, γιατί το μόριο του H₂O είναι μικρότερο από αυτό του CO₂. [4][2]

ΈΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Η κατάσταση του χάλυβα από πλευράς διάβρωσης εκτιμάται κατ' αρχάς με τον οπτικό έλεγχο. Αν η διαδικασία σχηματισμού οξειδίων του σιδήρου έχει ήδη προχωρήσει, τότε το πιθανότερο είναι τα αποτελέσματα της οξείδωσης να είναι ορατά στην επιφάνεια του σκυροδέματος (ακόμη και αν ο χάλυβας βρίσκεται στο εσωτερικό του σκυροδέματος) από τις κηλίδες σκουριάς και από τη διόγκωση. Η οπτική επιθεώρηση μιας κατασκευής διευκολύνεται εάν από πριν ο μηχανικός έχει συντάξει έναν τυπικό κατάλογο των οπτικών ελέγχων που πρέπει να κάνει επιτόπου. Συγκεκριμένα θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε τοπικές φθορές σκυροδέματος, αποφλοίωση, φθορές λόγω κακής στεγανότητας, διείσδυση νερού, απόθεση αλάτων, χρωματικές αλλοιώσεις, χάλυβες απογυμνωμένοι, διαβρωμένοι, σπασμένοι, κηλίδες σκουριάς, διαμήκειες ρηγματώσεις, εκτίναξη επικάλυψης, παραμορφώσεις και αλλοίωση της ευθυγραμμίας (οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις) σε πλάκες.

Στην περίπτωση τοπικής βλάβης και σε αδυναμία εκτέλεσης ακριβέστερων εργαστηριακών ελέγχων θα αποκαλυφθεί τοπικά η ράβδος ή οι ράβδοι του οπλισμού, με τρόπο που να καθίσταται εφικτή η διαπίστωση της βλάβης. Θα εκτιμηθεί ο βαθμός προσβολής, κατ' αρχάς οπτικά ή και με μέτρηση της απώλειας διατομής της ράβδου. Αν εκτιμηθεί ότι από την προσβολή έχει μειωθεί ουσιαστικά η διατομή ή η συνάφεια ή η γεωμετρία των νευρώσεων, θα πρέπει να γίνει επέμβαση αποκατάστασης. Ενδεικτικά σημειώνεται ότι η μείωση της διατομής κατά 5% ή της διαμέτρου κατά 0,5mm, θα μπορούσε να οδηγήσει ενδεχομένως σε επέμβαση. Η ενδεχόμενη αλλοίωση της γεωμετρίας των νευρώσεων θα εκτιμηθεί οπτικά ή με κάθε άλλον πρόσφορο τρόπο. Το πλήθος αυτών των θέσεων και το είδος των δομικών στοιχείων στα οποία εμφανίζονται, θα ληφθούν υπόψη στην λήψη της τελικής απόφασης, για τον βαθμό και την έκταση της επέμβασης. [7]

Στην πράξη, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι περιπτώσεις κατά τις οποίες ο χάλυβας δεν παρουσιάζει μεν ακόμα επιφανειακή διάβρωση, αλλά έχουν επιδεινωθεί τόσο οι συνθήκες περιβάλλοντος, ώστε να τίθεται σε αμφιβολία η ανθεκτικότητά του. Τέτοιες είναι οι περιπτώσεις κατά τις οποίες το βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος πλησιάζει τη θέση των οπλισμών ή όταν τα χλωριόντα έχουν εισχωρήσει στο σκυρόδεμα μετά τη σκλήρυνσή

του. Όταν το σκυρόδεμα γύρω από τον χάλυβα ενανθρακωθεί, τότε ως γνωστόν χάνεται η παθητική προστασία έναντι διαβρώσεως που προσφέρει στον χάλυβα το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, οπότε η (ομοιόμορφη) διάβρωση του χάλυβα είναι σχεδόν βέβαιη. Τα χλωριόντα είναι επίσης υπεύθυνα για την διάβρωση με βελονισμούς (φαινόμενο πιο επικίνδυνο). Για την εκτίμηση του κινδύνου ή/και του βαθμού εξέλιξης της διάβρωσης του χάλυβα, μπορούν να γίνουν οι εξής έλεγχοι:

Μέτρηση βάθους ενανθράκωσης του σκυροδέματος: Σε επιφάνεια σκυροδέματος (στεγνή κατά το δυνατόν), η οποία δημιουργήθηκε πρόσφατα με αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος (συνήθως μέχρι τον οπλισμό) ψεκάζεται διάλυμα φαινολοφθαλείνης (άχρωμο). Ο βαθμός ενανθράκωσης προσδιορίζεται από την αλλαγή του χρώματος της φαινολοφθαλείνης. Το υγιές σκυρόδεμα, με $\text{PH} > 9$, προσδίδει χρώμα κόκκινο, ενώ το ενανθρακωμένο, με $\text{PH} < 9$, δεν επιφέρει χρωματισμό. Μπορεί έτσι να μετρηθεί το πάχος του επιφανειακού σκυροδέματος που έχει υποστεί ενανθράκωση. Η μέτρηση μπορεί να γίνει επίσης με ψεκασμό διαλύματος στην παράπλευρη επιφάνεια πυρήνα σκυροδέματος, ο οποίος μόλις έχει αποκοπεί από την υπό εξέταση περιοχή. Για έναν σημειακό προσδιορισμό του βάθους ενανθράκωσης, μπορεί να εφαρμοσθεί και η ακόλουθη τεχνική: Διανοίγεται μικρή οπή (π.χ. $\Phi 8\text{mm}$) στο στοιχείο με ηλεκτρικό δράπανο, συλλέγεται η σκόνη και ψεκάζεται με το διάλυμα φαινολοφθαλείνης, αν δεν αλλάξει χρώμα, σημαίνει ότι η ενανθράκωση έχει προχωρήσει μέχρι το διατηρηθέν βάθος. Συνεχίζεται η διάτρηση στην ίδια οπή μέχρις ότου προκύψει ερυθρή απόχρωση το οποίο σημαίνει ότι το σκυρόδεμα στην συγκεκριμένη θέση είναι υγιές.[6]

Μέτρηση περιεκτικότητας χλωριόντων: Για τον σκοπό αυτό αποκόπτονται τεμάχια σκυροδέματος, από την περιοχή της επικάλυψης των οπλισμών, και αποστέλλονται σε ειδικευμένο εργαστήριο, όπου συνήθως μετριέται η συνολική ποσότητα χλωριόντων (ελεύθερων και δεσμευμένων) κατά βάρος σκυροδέματος. Η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, καθότι η πρώτη επιταχύνει σημαντικά τη δεύτερη. Το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζοντας την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από την οριακή συγκέντρωση του 0,4% έως 0,6% που απαιτείται για τη διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Όταν όμως το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί με την ενανθράκωση σε CaCO_3 , τα χλωριόντα που έχει δεσμεύσει ελευθερώνονται και διατίθενται πλέον για την προσβολή του χάλυβα.[6]

Έμμεσες ηλεκτροχημικές μέθοδοι: όπως η μέτρηση δυναμικού του χάλυβα, η σύνταξη καμπυλών πόλωσης, η μέτρηση της αντίστασης του σκυροδέματος και η μέτρηση της αντίστασης πόλωσης με τις οποίες εκτιμάται η πιθανότητα διάβρωσης του χάλυβα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το ASTM C 876-87, ανάλογα με το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, E, μπορεί να λεχθεί ότι:

- ο Όταν $E > -200 \text{ mV}_{\text{cse}}$, με πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση
- ο Όταν $E < -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$, με πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση
- ο Όταν $-200 \text{ mV}_{\text{cse}} > E > -350 \text{ mV}_{\text{cse}}$, δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

Το ηλεκτρικό δυναμικό χάλυβα-σκυροδέματος μετριέται με ειδικά ηλεκτρόδια χαλκού - θεικού χαλκού. Η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη, όχι ιδιαίτερος ακριβής, απαιτεί όμως ειδίκευση τόσο στην εφαρμογή όσο και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.[6]

Μέτρηση Επιφανειακής Υγρασίας Σκυροδέματος: Μέτρηση ποσοστού επιφανειακής υγρασίας στο σκυρόδεμα ή άλλα υλικά για ελέγχους διάβρωσης και πριν από νέες επιστρώσεις σε υφιστάμενα στοιχεία κατασκευής.

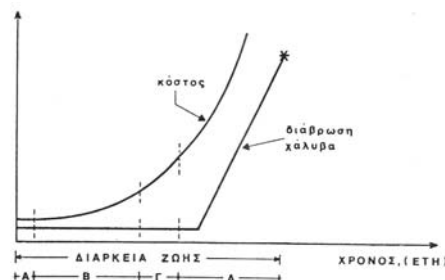
Έλεγχος Πάχους Επικάλυψης: Εύρεση θέσης και μεγέθους ράβδων οπλισμού και μεταλλικού πλέγματος σε κατασκευές από σκυρόδεμα.

Έλεγχος Σκυροδέματος και Οπλισμών με Ραντάρ: Έλεγχος σκυροδέματος και οπλισμού σε κτίρια, σήραγγες, γέφυρες μέσω παραγωγής εικόνων υψηλής ανάλυσης με μεγάλη ταχύτητα.[2]

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΕΓΧΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΗΣ

Σε μία υπάρχουσα κατασκευή η οποία υφίσταται τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους γίνεται με την λήψη έγκαιρων αποφάσεων. Πότε θα επέμβουμε, αλλά και με ποιόν τρόπο, έχει μεγάλη σημασία για την πρόληψη αστοχίας και για την ελαχιστοποίηση της καταβαλλόμενης δαπάνης. Πολλές φορές γίνεται "προληπτική" επισκευή, άλλοτε γίνεται τελική παρέμβαση για επισκευή, ή πλήρης αντικατάσταση, ανάλογα με το κόστος κάθε λύσεως.

Υπάρχουν τέσσερις φάσεις που μπορούμε να κατατάξουμε το μέγεθος της διάβρωσης και να αξιολογήσουμε τον τρόπο επέμβασης (σχήμα 1). Στη φάση Α (φάση σχεδιασμού, κατασκευής, συντηρήσεως σκυροδέματος), δεν έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Εδώ συνίστανται η τακτή συντήρηση με τα κατάλληλα υλικά ανάλογα με τη διαβρωτικότητα του περιβάλλοντος.



Σχήμα 1: Διάβρωση χάλυβα και το αντίστοιχο κόστος επισκευής ως συνάρτηση του χρόνου επέμβασης.[2]

Στη φάση Β έχει συμβεί ενανθράκωση του σκυροδέματος ή διείδυση χλωριόντων ή άλλες βλαβερές ουσίες έχουν διαπεράσει την επικάλυψη, χωρίς να έχει συμβεί διάβρωση του οπλισμού. Επαρκή μέτρα για να προστατευθεί ο χάλυβας είναι η αφαίρεση της επικάλυψης και η κατασκευή νέας με μεγαλύτερο πάχος. Στη φάση Γ έχει αρχίσει η διεργασία διαβρώσεως του οπλισμού και έχει αρχίσει η διαμήκης ρηγμάτωση και μερική αποφλοίωση της επικάλυψης. Η επέμβαση περιλαμβάνει αφαίρεση όλου του κατεστραμμένου σκυροδέματος, κατασκευή νέου και επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος. Οι δε οπλισμοί θα πρέπει να καθαριστούν ως είναι δυνατόν, να βαφτούν και να εμποτιστεί το περιβάλλον σκυρόδεμα με αναστολείς διάβρωσης ή να επανακατασκευαστούν και να περιγραφεί παραπάνω. Στη φάση Δ ο οπλισμός έχει διαβρωθεί σε εκτεταμένες περιοχές. Πρέπει να αφαιρεθούν και να αντικατασταθούν τμήματα της κατασκευής.[2]

ΣΕΙΡΑ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η σωστή προετοιμασία των επιφανειών είναι απαραίτητη. Οι επιφάνειες που θα δεχθούν τα επισκευαστικά υλικά πρέπει να είναι καθαρές, υγιείς και συνεκτικές. Ο σίδηρος οπλισμός πρέπει να είναι καθαρός, απαλλαγμένος από κάθε σκουριά. Όταν το πρόβλημα είναι η ενανθράκωση και δεν υπάρχουν χλωριόντα, οι απαιτήσεις δεν είναι τόσο αυστηρές και η ελαφριά σκουριά είναι ανεκτή. Η απομάκρυνση του ενανθρακωμένου μπετόν γίνεται προσεκτικά με σφυροκάλεμο. Οι οπλισμοί αποκαλύπτονται εάν είναι δυνατόν πανταχόθεν. Οι επιφάνειες σκάβονται κάθετα κι αν είναι δυνατόν, σε αμβλείες γωνίες για να αγκυρωθεί καλά το επισκευαστικό κονίαμα. Οι οπλισμοί καθαρίζονται χειρωνακτικά με κατάλληλη συρματοβουρτσα. Το ζητούμενο είναι να φθάσουμε σε καθαρό μέταλλο. Δουλειές μεγάλης έκτασης θα απαιτήσουν αμμοβολή. Εάν η πλήρης αποκάλυψη του οπλισμού είναι ανέφικτη, μπορεί να γίνει μια τοπική επάλειψη με εμποτιστικούς αναστολείς διάβρωσης. Για τις εργασίες καθαρισμού απαιτούνται κατάλληλες καιρικές συνθήκες: Σ.Υ. περιβάλλοντος $\leq 70\%$ - όχι απειλή βροχής.

Οι οπλισμοί προστατεύονται με επαλειφόμενα κονιάματα που περιέχουν αναστολείς διάβρωσης, συνήθως απαιτούνται δύο στρώσεις. Τα υλικά αυτά προσφύονται τέλεια στους οπλισμούς, στο μπετόν και στα κάθε είδους επισκευαστικά κονιάματα. Ως κυρίως επισκευαστικό υλικό χρησιμοποιούνται τσιμεντοειδούς βάσης υλικά τροποποιημένα με πολυμερή και πιθανώς ενισχυμένα με προσθήκη ινών. Αυτά τα υλικά θα γεμίσουν τη διατομή και θα έρθουν πρόσωπο με το μπετόν εάν το φινίρισμά τους τους επιτρέπει να δεχθούν βαφή. Είναι άκρως επιθυμητό αυτά τα κονιάματα να διαθέτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά: Μηδενική συρρίκνωση ώστε να μην παρουσιάσουν ρωγμές πλαστικής συρρίκνωσης και δεν θα διαχωριστούν από το συνορεύον μπετόν. Λείο φινίρισμα, έτσι αποφεύγεται το κόστος και ο χρόνος που απαιτεί η εφαρμογή πρόσθετης εξομαλυντικής στρώσης πριν από τη βαφή. Στεγανότητα έναντι του νερού, των υδρατμών και χημικών παραγόντων. Μέτρο ελαστικότητας, μηχανικές αντοχές και συντελεστής θερμικής διαστολής παρόμοιο με του μπετόν, έτσι ώστε το σύστημα να έχει μια ομοιογένεια. Τα επισκευαστικά τσιμεντοειδή ανάλογα με την κοκκομετρία τους τοποθετούνται σε στρώσεις ορισμένου πάχους.

Για να ολοκληρωθεί η επισκευή, συνήθως χρειάζεται μια στρώση προστασίας έναντι της ενανθράκωσης. Επιθυμητά χαρακτηριστικά μιας τέτοιας στρώσης είναι: Η πλήρης φραγή στο CO₂. Πλήρης ατμοδιαπερατότητα. Αυτή η ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί σχετικά εύκολα μιας και το μόριο του CO₂ είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των υδρατμών.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΟΠΟΥ ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΔΥΝΑΤΟ ΝΑ ΑΦΑΙΡΕΘΕΙ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Επαναλκαλικοποίηση του σκυροδέματος: Η επαναλκαλικοποίηση είναι μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται στο σκυρόδεμα με σκοπό να αυξήσει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Η μέθοδος στηρίζεται στην αρχή της ηλεκτροσμώσεως παρουσία εξωτερικού δυναμικού. Πάνω στην επιφάνεια του σκυροδέματος απλώνεται ένα αλκαλικό υλικό και ένα ηλεκτρόδιο το οποίο λειτουργεί ως άνοδος. Ο χάλυβας του σκυροδέματος λειτουργεί ως κάθοδος. Με την εφαρμογή εξωτερικού ηλεκτρικού δυναμικού το αλκαλικό υγρό διεισδύει στους πόρους του σκυροδέματος αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο το PH του σκυροδέματος. Το μειονέκτημά - της είναι ότι μπορεί να μείνουν ενανθρακωμένες περιοχές του σκυροδέματος, χωρίς "θεραπεία". Ενδεικτικά αναφέρεται ότι απαιτείται ποσότητα αλκαλικού υλικού 2lt ανά 1m² σκυροδέματος για να επαναλκαλοποιηθεί σκυρόδεμα 1 cm με πορώδες περίπου 12%. Η μέθοδος εφαρμόζεται για 14 ημέρες.[2]

Ανασταλτικά διαβρώσεως: Χρησιμοποιούνται επιχρίσματα πάνω στον χάλυβα με σκοπό να εμποδίσουν τον χάλυβα να έρθει σε επαφή με οξυγόνο, υγρασία ή χλωριόντα. Τα επιχρίσματα εφαρμόζονται πάνω σε χάλυβα ο οποίος είναι απολύτως καθαρός, απαλλαγμένος από ελαιώδεις ουσίες, σκόνη ή σκουριά. Αναστολέας είναι μια χημική ουσία ο οποίος όταν προστίθεται σε μικρή συγκέντρωση σε ένα περιβάλλον, μειώνει αποτελεσματικά το ρυθμό διάβρωσης. Ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα στην προστασία μετάλλων με χρήση αναστολέων είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί ή να αλλαχθεί *in situ* χωρίς να αναστατώσει τη διαδικασία. Απαραίτητη είναι μια τυποποίηση που θα μας λέει ότι ανάλογα με το βαθμό ενανθράκωσης, το PH, το είδος του χάλυβα, και την σύνθεση του σκυροδέματος θα πρέπει να εφαρμόσουμε συγκεκριμένο αναστολέα για καταπολέμηση των αιτίων της διάβρωσης.[1]

Καθοδική προστασία: Η καθοδική προστασία χρησιμοποιείται ευρέως ως μέθοδος προστασίας των οπλισμών έναντι διαβρώσεως σε σημαντικές κατασκευές(λ.χ. γέφυρες, θαλάσσιες εξέδρες, υπόγειες σωληνώσεις από σκυρόδεμα οι οποίες υφίστανται διάβρωση λόγω εγκαταστάσεως γεωηλεκτρικών στοιχείων). Σε περίπτωση που το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό (ή αν υπάρχει αβεβαιότητα ως προς την τελική ποιότητα του σκυροδέματος), συνιστάται να εγκαθίστανται οι αναγκαίες "διευκολύνσεις" κατά τη φάση της κατασκευής, για μια ενδεχόμενη εκ των υστέρων εφαρμογή καθοδικής προστασίας. Αρχή της μεθόδου είναι η "αναίρεση" της διαφοράς δυναμικού μεταξύ ανοδικής και καθοδικής περιοχής του χάλυβα, ώστε να εμποδίζεται η μεταφορά ηλεκτρονίων από την άνοδο προς την κάθοδο, και να αναστέλλεται η διαδικασία διαβρώσεως του οπλισμού.[1]

Η μέθοδος παρέχει την μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της κατασκευής, η οποία μπορεί να φθάσει μέχρι και 500!!! χρόνια. Είναι σχετικά ακριβή λύση. Για την σωστή εφαρμογή της απαιτείται σωστή αναλογία μεταξύ της επιφάνειας των ανόδων και της επιφάνειας του οπλισμού. Στην περίπτωση που παρέχεται εξωτερικά, (μέσω μετασχηματιστή-ανορθωτή) συνεχές ρεύμα, απαιτείται και παρακολούθηση της λειτουργίας της καθοδικής προστασίας.[3]

Οργανικές επικαλύψεις: Η μέθοδος των οργανικών επικαλύψεων (χρωμάτων) είναι μια απλή και φθηνή λύση. Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή εφαρμογή της είναι η χρήση του κατάλληλου υποστρώματος (αστάρι) πριν την εφαρμογή της επικάλυψης. Η παράλειψη της χρήσης υποστρώματος (αστάρι) θα οδηγήσει στην αποκόλληση του χρώματος από την επιφάνεια του σκυροδέματος και αστοχία της επικάλυψης. Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όλες οι οργανικές επικαλύψεις προσβάλλονται από την υπεριώδη ακτινοβολία που περιέχεται στο ηλιακό φως. Επομένως η επαναβαφή τμημάτων της κατασκευής τα οποία «βλέπουν» ο ήλιος είναι απαραίτητη για την σωστή προστασία της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.[1]

ΥΠΟΜΝΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

Πάχη οξειδίων περίπου μεγαλύτερα του 1mm ή **απώλεια διατομής>20%**, προκαλούν εκτεταμένη μείωση της συνάφειας μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος, συχνά εκτίναξη της επικάλυψης, αλλά κυρίως υπάρχει μεγάλος κίνδυνος θραύσης από μηχανική καταπόνηση. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο οπλισμός δεν λειτουργεί και απαιτείται π.χ. για επισκευή με την μέθοδο ίσης διατομής τοποθέτηση νέας ράβδου με συγκόλληση και επικάλυψη στην περιοχή της φθοράς.[17]

Σύμφωνα με το κεφάλαιο 8 του ΚΑΝΕΠΕ [16] ακολουθεί μια σύντομη υπόμνηση των ενεργών επεμβάσεων. Αυτών δηλαδή που δεν σκοπούν κατευθείαν στην αναίρεση των περιβαλλοντικών αιτίων που προκάλεσαν τη βλάβη, αλλά κυρίως στην αποκατάσταση (ή την αύξηση) της

φέρουσας ικανότητας του δομήματος.

Καμπτική ενίσχυση (δοκών, υποστυλωμάτων, πλακών) : Επικόλληση λεπτών χαλύβδινων ελασμάτων ή ινοπλισμένων πολυμερών. Ανοιχτοί μανδύες εκτοξευόμενου οπλισμένου σκυροδέματος. Ευθυγράμμιση οπλισμών, προσθήκη νέων, συμπλήρωση κοινού ή πολυμερικού σκυροδέματος. Προσθήκη εξωτερικών τενόντων.

Διατμητική ενίσχυση: Όπως στην καμπτική ενίσχυση, αλλά με κατάλληλη αγκύρωση των άκρων των προσθέτων συνδετήρων. Προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων (κολλάρα) από ανθρακονήματα στις κρίσιμες τουλάχιστον περιοχές. Πλήρεις μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος (Κυρίως για υποστυλώματα και τοιχώματα).

Ακαμπτοποίηση πλαισίων: Προσθήκη ελαφρών τοιχωμάτων πληρώσεως. Προσθήκη στοιχειωδών δικτυωμάτων (μορφής Χ ή Κ) στο φάτνωμα πλαισίων.

ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Όταν πρόκειται για επισκευές που αφορούν βλάβες από περιβαλλοντικά αίτια, κυρίως δε στην περίπτωση βλάβης από διάβρωση χάλυβα, οφείλει να εξετάζεται το ενδεχόμενο έντονης συνεχίσεως της βλάβης στο μέλλον, παρά την επέμβαση ή μάλλον εξαιτίας της επεμβάσεως. Γι αυτό πριν την επισκευή θα πρέπει να γίνει προσπάθεια επαναλκαλικοποίησης του ενανθρακωμένου σκυροδέματος και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καταπολεμηθούν τα χλωριόντα που υπάρχουν στο σκυροδέμα. Ας πάρουμε το παράδειγμα μιας περιοχής όπου εμφανίστηκε έντονη διαμήκης ρηγμάτωση λόγω τοπικής διαβρώσεως χάλυβα. Η τοπική αφαίρεση κι αντικατάσταση του σκυροδέματος επικάλυψης "ακυρώνει" βεβαίως την τοπική άνοδο απ' το σίδηρο. Εφόσον όμως δεν έχει αναιρεθεί το αρχικό αίτιο, δύο νέες άνοδοι μπορεί να αναπτυχθούν αργότερα κοντά στα πέρατα της επισκευής, και να επιταχύνουν τη βλάβη διευρύνοντάς την στο μέλλον. Τούτο δε διότι η εκτεταμένη καθοδική περιοχή της ράβδου (ο "κινητήρας" του όλου φαινομένου της διαβρώσεως) συνεχίζει να παράγει τα αναγκαία υδροξύλια. Επειδή δεν είναι επαρκής η διατιθέμενη πείρα εν χρόνο συμπεριφοράς τέτοιων επισκευών, η ακόλουθη ασφαλέστερη γραμμή οφείλει να τηρείται κατά τον ανασχεδιασμό.

1) Η επέμβαση να γίνεται στην μεγαλύτερη δυνατή έκταση πέραν των θέσεων εμφανούς βλάβης.

2) Παράλληλα, να εφαρμόζεται πάντοτε και μια συντηρητική επέμβαση άρσεως ή αμβλύνσεως των αιτίων της βλάβης.[2]

ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΑΝΕΠΑΡΚΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Στις ενισχύσεις φέρουσας ικανότητας σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητο να γίνει συγκόλληση παλιού και διαβρωμένου οπλισμού με νέο. Κατά τη συγκόλληση, εκτός από τα φαινόμενα, τήξης και στερεοποίησης συμβαίνουν και διάφοροι μετασχηματισμοί σε στερεά κατάσταση. Οι μετασχηματισμοί αυτοί τείνουν να αλλοιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες. Για παράδειγμα ο σχηματισμός μαρτενσίτη τείνει να ευθραυστοποιήσει την περιοχή της συγκόλλησης και απαγορεύεται γενικά η παρουσία του, γι αυτό δεν πρέπει να γίνεται και ταχεία απόψυξη στην περιοχή της συγκόλλησης. Άλλα φαινόμενα που μειώνουν αισθητά την ποιότητα των συγκολλήσεων είναι η ανάπτυξη εσωτερικών τάσεων και παραμορφώσεων, η ανακρυστάλλωση που μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια αντοχής κ.α. Είναι δε σημαντικό να αναφερθεί εδώ ότι η αντοχή του χάλυβα εξαρτάται περισσότερο από τις μικροδομές που τον αποτελούν και λιγότερο από τη χημική του σύσταση.

Όσον αφορά τις συγκολλήσεις διαβρωμένου οπλισμού με νέο θα πρέπει να επισημανθούν κάποια πράγματα. Ο τρόπος συγκόλλησης που θα επιλεγεί είναι ο ίδιος με τις περιπτώσεις συγκόλλησης οπλισμού χωρίς διάβρωση. Ωστόσο ένα διαβρωμένο σίδερο θα πρέπει να καθαριστεί επιμελώς πριν τη συγκόλληση ώστε να μην υπάρχουν πιθανές θέσεις αστοχίας (ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί όταν η διάβρωση είναι βελονοειδούς μορφής). Προσοχή θα πρέπει να δοθεί και στην αναγνώριση του οπλισμού. Ο έλεγχος της συγκολλησιμότητας θα γίνεται με χημική ή φασματοσκοπική ανάλυση για τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης του κράματος, σε μικρό τμήμα ράβδου (αρκεί μήκος περίπου 2cm), το οποίο αποστέλλεται σε ειδικευμένο εργαστήριο (η μέθοδος είναι απλή, φθηνή και ακριβής). Το ιδανικό κάθε φορά θα ήταν να συγκολλούνται μέταλλα με παρόμοια χημική σύσταση ώστε να είμαστε σίγουροι για τις αντοχές των μικροδομών που θα σχηματισθούν τόσο στην περιοχή της συγκόλλησης όσο και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη. Προκειμένου να μην περάσει η διάβρωση από τον έναν οπλισμό στον άλλο θα πρέπει να γίνει επανακατασκευαστική του περιβάλλοντος παλιού σκυροδέματος και καταπολέμηση των χλωριόντων ώστε να μην υπάρχει διαφορά δυναμικού ανάμεσα στις 2 ράβδους και να αποφευχθεί σχηματισμός μακροστοιχείων. Η ύπαρξη γαλβανικών φαινομένων εξαιτίας της διαφορετικότητας των μετάλλων δεν παίζει ρόλο στις μικροδομές που θα δημιουργηθούν στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη εξαιτίας της συγκόλλησης αλλά στη μετέπειτα ανθεκτικότητα και αντοχή της.

Στις συγκολλήσεις παρατηρούνται όλοι οι γνωστοί τύποι διάβρωσης, αλλά σε εντονότερο βαθμό. Ιδιαίτερα ευαίσθητη παρουσιάζεται η θερμικά επηρεασμένη ζώνη, όπου τα μεταλλουργικά φαινόμενα ξεφεύγουν σε κάποιο βαθμό από τον έλεγχό μας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδια μικρής διαμέτρου και αυξάνουμε τον αριθμό των πάσων. Επίσης εφαρμόζουμε προθέρμανση στους 150-250°C και μεταθέρμανση στους 750°C.[6]

ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Γενική ή καθολική διάβρωση: Η γενική διάβρωση εκδηλώνεται σ' ολόκληρη την επιφάνεια που διαβρώνεται, με απώλεια βάρους, η επιφάνεια γίνεται ανώμαλη και χάνει τη στιλπνότητά της. Η γενική διάβρωση είναι ηλεκτροχημικό φαινόμενο και γι' αυτό προσβάλλει τις συγκολλήσεις ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση. Για τη βελτίωση της διάβρωσης σε όξινο περιβάλλον προστίθεται συνήθως Mo, ενώ διατηρείται ο C σε χαμηλά επίπεδα. Οι υψηλές περιεκτικότητες σε Cr και σε Ni βελτιώνουν την αντοχή στη γενική διάβρωση, με τις επιφυλάξεις που ισχύουν από μεταλλουργικής πλευράς. [10]

Διάβρωση με Βελονισμούς: Η διάβρωση με βελονισμούς είναι ηλεκτροχημικό φαινόμενο, όπως και η Γενική διάβρωση, αλλά οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις είναι τοπικής κλίμακας και οφείλονται σε χημικούς διαφορισμούς και ετερογένειες στην κλίμακα της μικρογραφικής δομής. Για το λόγο αυτό εκδηλώνεται συχνά σε συνδυασμό με την καθολική διάβρωση. Το χαρακτηριστικό της είναι ότι εκδηλώνεται με μορφή μικρών οπών σας τρυπήματα βελόνας τα οποία συχνά διευρύνονται και σχηματίζουν κρατήρες και σπηλαιώσεις. Είναι πολύ επικίνδυνο φαινόμενο για τις συγκολλήσεις διότι οι βελονισμοί είναι σημεία συγκέντρωσης τάσεων και διευκολύνουν τη δημιουργία ρωγμών. Το Mo χρησιμοποιείται και πάλι σας ανασχετικό της διάβρωσης με βελονισμούς ενώ ιδιαίτερο ρόλο παίζει και η κατάσταση της επιφάνειας η οποία πρέπει να είναι λεία και να μην επιτρέπει τη δημιουργία συνθηκών διαφορικής οξυγόνοσης.

Περικρυσταλλική διάβρωση: Είναι ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο που εμφανίζεται στις κλίμακα της μικρογραφικής δομής. Προσβάλλει τα όρια των κόκκων και σιγά σιγά αποσπώνται ο ένας από τον άλλο και η καταστροφή προχωράει με γρήγορο ρυθμό.

Οφείλεται στη θερμική ευαισθητοποίηση η οποία έχει απογυμνώσει τα όρια των κόκκων από χρώμιο καθιστώντας τα ευκολοδιάβρωτα. Στις συγκολλήσεις προσβάλλει περιοχές της θερμικά επηρεασμένης ζώνης όπου έγινε κατακρήμνιση καρβιδίων του χρωμίου.[10]

ΓΙΑΤΙ ΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΔΕΝ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΣΥΓΚΟΛΛΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΚΟΙΝΟΥΣ

Στην περίπτωση που θέλουμε να συγκολλήσουμε κοινό χάλυβα με ανοξείδωτο θα πρέπει να επισημάνουμε ότι υπάρχει κίνδυνος της εμφάνισης της μαρτενσιτικής δομής στην περιοχή της συγκόλλησης, η οποία παρουσιάζει ψαθυρή συμπεριφορά. Αυτός είναι ο κυριότερος απαγορευτικός λόγος που δεν πρέπει να συγκολλείται ανοξείδωτος με κοινό χάλυβα.

Επίσης στην περίπτωση μιας τέτοιας συγκόλλησης δημιουργούνται και έντονα γαλβανικά φαινόμενα και ο ανοξείδωτος χάλυβας χαλάει εκ των έσω. Συγκεκριμένα, οι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι ευαίσθητοι σε διάβρωση μεταξύ των κόκκων όταν σχηματίζονται χρωμιούχα καρβίδια τα οποία κατανέμονται ανομοιόμορφα μέσα στον μεταλλικό τους ιστό. Στις συγκολλήσεις κοινού με ανοξείδωτο χάλυβα στις περιοχές της θερμικά επηρεασμένης ζώνης γίνετε κατακρήμνιση καρβιδίων του χρωμίου και σ' αυτήν την περίπτωση έχουμε περικρυσταλλική διάβρωση στην περιοχή της συγκόλλησης.

Ο ανοξείδωτος χάλυβας, ο οποίος έχει υψηλό ηλεκτρικό δυναμικό και όταν έρχεται σε επαφή με κράμα το οποίο περιέχει ψευδάργυρο ή αλουμίνιο, επιταχύνει την διάβρωση του κράματος καθώς ένα μακροστοιχείο δημιουργείται με την επαφή των δύο διαφορετικών μετάλλων. Εάν ένας επιψευδαργυρωμένος (γαλβανιζέ) χάλυβας έλθει σε επαφή ηλεκτρικά αγωγίμη με έναν κοινό χάλυβα μέσα στην μάζα του σκυροδέματος δημιουργείται γαλβανικό μακροστοιχείο λόγω διαφορετικών μετάλλων. Το ίδιο θα συμβεί και στην επαφή ανοξείδωτου χάλυβα με κοινό χάλυβα.

Χαρακτηριστικό των ανοξείδωτων χαλύβων είναι η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, η οποία δημιουργεί απότομες θερμικές διαβαθμίσεις, και κατά συνέπεια μεγάλες εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις. Κι αυτός είναι ένας επιπλέον λόγος για τον οποίο δεν θα πρέπει να συγκολλάμε ανοξείδωτο με κοινό χάλυβα καθώς σε περιβάλλοντα με έντονες θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις θα έχουμε συστολο- διαστολές με σοβαρό κίνδυνο ρηγμάτωσης στην θερμικά επηρεασμένη ζώνη.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΝΕΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΑΛΑΙΟ

Όταν παρίσταται ανάγκη συγκόλλησης παλαιού οπλισμού η οπλισμού άγνωστης ποιότητας με νέο οπλισμό είναι απαραίτητο να γίνεται αρχικά αναγνώριση του υλικού. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα καθιστά το χάλυβα ουσιαστικά μη-συγκολλησιμο, αφού αύξηση πέραν του 0.2% περίπου αποτρέπει την επαναφορά των μηχανικών ιδιοτήτων της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης λόγω της συγκόλλησης. Για την αναγνώριση του υλικού του παλαιού οπλισμού επιβάλλεται να γίνεται χημική ανάλυση. Ανάλογα με τη περιεκτικότητα (%κ.β.) σε άνθρακα και την ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

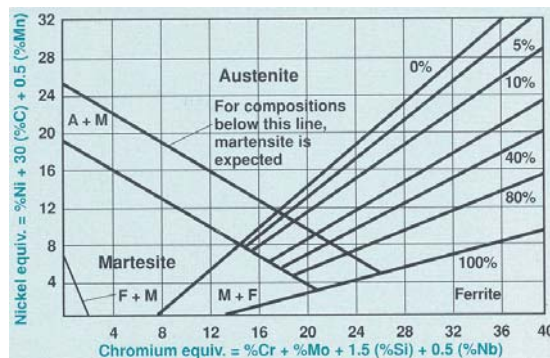
α) Αν προκύψει $C < 0,24$ και $C_{eq} < 0,52$, ο χάλυβας επιτρέπεται να συγκολληθεί, συγκολλάται σύμφωνα με τις Παραγρ. 8.1 έως 8.4 του ΚΤΧ 2008

β) Αν προκύψει $0,25 < C < 0,45$ και $C_{eq} < 0,70$ ο χάλυβας επιτρέπεται να συγκολληθεί υπό προϋποθέσεις. Η συγκόλληση εκτελείται, αφού προηγηθεί προθέρμανση, με εφαρμογή των αναφερομένων στην Παραγρ. 8.6.2.

γ) Αν προκύψει $C > 0,45$ ή/και $C_{eq} > 0,70$ ο χάλυβας εν γένει δεν επιτρέπεται να συγκολληθεί.

Σε περιπτώσεις εξαιρετικής ανάγκης, εξετάζεται το ενδεχόμενο της συγκόλλησης μετά από ειδική προς τούτο έρευνα. Εάν από την έρευνα προκύψει η δυνατότητα συγκόλλησης, η εργασία θα εκτελείται με βάση συγκεκριμένη τεχνική προδιαγραφή που θα συνταχθεί στο πλαίσιο της έρευνας, και υπό την παρακολούθηση εξειδικευμένου εργαστηρίου.

Ο καθαρισμός της σκουριάς μπορεί να γίνει με συρματοβουρτσα, με σφυριδόχαρτο ή σφυριδόπανο. Πάντως, μια κατ' αρχήν εκτίμηση της συγκολλησιμότητας του χάλυβα μπορεί να γίνει με έλεγχο της διάταξης των νευρώσεων της ράβδου. Πάντως, επειδή η αντιστοίχιση της διάταξης των νευρώσεων με την τεχνική κατηγορία μπορεί να μην είναι μοναδική (ιδιαίτερα στις παλαιότερες κατηγορίες) καλό είναι να γίνεται επιβεβαίωση με χημική ανάλυση. Επίσης, οι λείες ράβδοι (συνήθως StI και S220) θεωρούνται συγκολλησίμες. Επειδή όμως δεν προβλέπονταν περιορισμοί στην χημική σύσταση των χαλύβων αυτών, θα πρέπει η συγκολλησιμότητα να επιβεβαιώνεται με τη χημική σύστασή τους.[6]



Σχήμα 2: Διάγραμμα Schaeffler [15]

Ανατρέχοντας στη θεωρία της συγκόλλησης δύο διαφορετικών χαλύβων ή του ίδιου χάλυβα αλλά με διαφορετικό ηλεκτρόδιο, ενδιαφέρει να προβλέψουμε τη δομή της ζώνης συγκόλλησης, η οποία προκύπτει, από τα μέταλλα βάσης που τήκονται και από το μέταλλο του ηλεκτροδίου που αναμειγνύεται μ' αυτά. Η δυνατότητα πρόβλεψης της δομής του μετάλλου συγκόλλησης αποτελεί τη βάση για την επιλογή του καταλλήλου ηλεκτροδίου, κι αυτό έχει πολύ μεγάλη σημασία, διότι, όλες οι ιδιότητες των χαλύβων εξαρτώνται από τις φάσεις που σχηματίζονται, ωστενίτη, φερρίτη, μαρτενσίτη. Για να λύσουμε ένα τέτοιο πρόβλημα πρέπει να διαθέτουμε δύο δεδομένα: 1) Την αραίωση, δηλ. την αναλογία με την οποία συμμετέχει στη συγκόλληση το μέταλλο βάσης και το ηλεκτρόδιο. 2) Την χημική σύνθεση μετάλλου βάσης και ηλεκτροδίου. Πρέπει επίσης να μπορούμε να συσχετίσουμε τη σύνθεση του μετάλλου συγκόλλησης με την δομή του. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζουμε με τη βοήθεια του διαγράμματος Schaeffler.[10] Παρατηρούμε την ύπαρξη των μονοφασικών περιοχών A=ωστενίτης, F=φερρίτης, M=μαρτενσίτης, τις διφασικές περιοχές και την τριφασική περιοχή. Στο ίδιο διάγραμμα σημειώνονται οι επικίνδυνες περιοχές εμφάνισης μαρτενσίτη, οπότε έχουμε μειωμένη πλαστικότητα, ψυχρή και θερμή ρηγματώση και ευαισθητοποίηση. [10]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Γ. Μπατής, “Χρήση νέων υλικών για την αύξηση της ανθεκτικότητας των κατασκευών”, Εισηγήση στην ημερίδα του ΤΕΕ Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά.
- [2] Θ. Π Τάσιος, Κ. Αλιγιάκη, “Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος”, Αθήνα, 1993.
- [3] Γ. Μπατής, Ε. Ρακαντά, Κ. Μελετίου, “Προβλήματα διάβρωσης οπλισμού κτιρίων ΟΣ στην Ελλάδα”, Σκυρόδεμα, Τεύχος 8, σελ 10-18, 2004.
- [4] Γ. Μπατής, “Φθορά και προστασία υλικών”, Σημειώσεις ΕΜΠ, 2005.
- [5] Μ. Παπαδόπουλος, “Μηχανική συμπεριφορά διαβρωμένων χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος”, Διδακτορική Διατριβή, Πάτρα, 2007.
- [6] Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος, ΚΤΧ , 2008.
- [7] John P. Broomfield, “Corrosion of steel in concrete”, E&FN SPON, 1997.
- [8] Γ. Χρυσουλάκης, Δ. Παντέλης, “Επιστήμη και τεχνολογία μεταλλικών υλικών” Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2003.
- [9] Γ. Παπαδημητρίου, “Φυσική μεταλλουργία σιδήρου και χάλυβα”, εκδόσεις ΕΜΠ, 2000.
- [10] Γ. Παπαδημητρίου, “Εισαγωγή στην μεταλλουργία, την τεχνολογία, την επιστήμη και τον έλεγχο των συγκολλήσεων” εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1990.
- [11] Γ. Παπαδημητρίου, “Γενική Μεταλλογνωσία 1”, εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα, 1989.
- [12] Θ. Σκουλικίδης, “Διάβρωση και προστασία υλικών”, εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1994.
- [13] Σ. Δρίτσος, “Ενισχύσεις–Επισκευές Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος”. εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2009.
- [14] Θ. Διαμαντόπουλος, “Συγκολλήσεις Μετάλλων”, Θεσσαλονίκη, 2000.
- [15] http://www.nhml.com/i/resourcesNHML_Martensite-Austenitic-Stainless_f
- [16] ΚΑΝΕΠΕ, Τελικό σχέδιο κειμένου-3, 2009.
- [17] Σ. Μουγιάκος, “Βασικές απαιτήσεις Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων”, Β, ΚΕΔΕ.