

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος από Πρακτική Σκοπιά – Προβλήματα και Προοπτικές

Σωτήρης Δέμης

Λέκτορας Π.Δ. 407/80 Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, sdemis@upatras.gr

Ευάγγελος Γ. Παπαδάκης

Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, vgpapadakis@upatras.gr

Εκτενής περίληψη

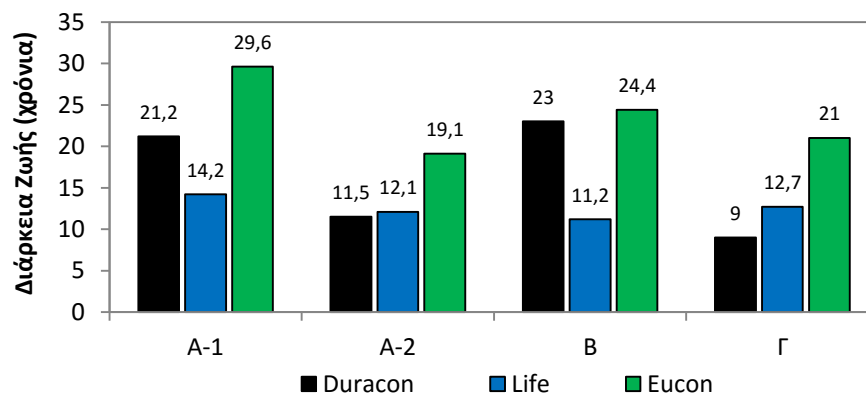
Στη παρούσα μελέτη αναδεικνύεται η ανάγκη του δομημένου σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΣ), όπως προκύπτει πρωτίστως από τη διαπίστωση πρόωρων βλαβών τους λόγω περιβαλλοντικών αιτιών, καθώς και μέσω της ανασκόπησης του υπάρχοντος κανονιστικού πλαισίου και της αξιολόγησης (από πρακτική σκοπιά) των διαθέσιμων σχετικών υπολογιστικών εργαλείων. Είναι γεγονός ότι πολύ συχνά παρατηρούνται περιπτώσεις όπου η πραγματική διάρκεια ζωής κατασκευών ΟΣ είναι σαφώς μικρότερη από την αρχικά έμμεσα επιλεγμένη ωφέλιμη διάρκεια ζωής συνήθων κατασκευών ΟΣ των 50 ετών, σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες. Αν και κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία εμφατικοί όροι (όπως τα «τα έντονα σημάδια υποβάθμισης») για την περιγραφή τέτοιων περιπτώσεων που ίσως μεγενθύνουν τη πραγματικότητα, το πρόβλημα δεν παύει να υφίσταται. Χαρακτηριστικά στατιστικά στοιχεία αναφέρουν ότι προβλήματα ανθεκτικότητας κατασκευών στο Γερμανικό οδικό δίκτυο (Sciebl and Mayer 2007) οφείλονται πρωτίστως στη διάβρωση λόγω χλωριόντων (κατά 66%) καθώς και στη κακή εκτέλεση/κατασκευή (18%). Γενικότερα η ανεπαρκής επικάλυψη και η επιλογή υλικών που δεν είναι ενδεδειγμένα για το επιθετικό περιβάλλον (σε ποσοστά 12% και 13% αντίστοιχα) σύμφωνα με το British Cement Association (BCA 2000) είναι οι λόγοι που συχνά παρατηρούνται βλάβες σε στοιχεία ΟΣ λόγω περιβαλλοντικών δράσεων.

Αναλογιζόμενοι ότι η ανθεκτικότητα είναι μία ικανότητα η οποία προσδίδεται στη κατασκευή, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ενός δομημένου σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών ΟΣ. Κατά αυτή τη διαδικασία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που διαδραματίζουν καταλυτικό ρόλο στη συμπεριφορά του σκυροδέματος το οποίο εκτίθεται σε έντονα επιθετικά περιβαλλοντικά αίτια, που δύναται να προκαλέσουν διάβρωση του χάλυβα οπλισμού. Στους εν ισχύ Ευρωπαϊκούς κανονισμούς η ανθεκτικότητα της κατασκευής προδιαγράφεται, μέσω του υπολογισμού της ελάχιστης απαιτούμενης επικάλυψης σκυροδέματος καθώς και μέσω αρκετά σημαντικών περιορισμών στη μελέτη σύνθεση σκυροδέματος, βάσει της κατηγορίας επιθετικής περιβαλλοντικής έκθεσης (η λεγόμενη «Deemed-to-satisfy» μέθοδος). Το σκεπτικό είναι, ότι εάν η μελέτη σύνθεσης γίνει σεβόμενοι τους σχετικούς περιορισμούς, τότε η απαιτούμενη επικάλυψη και η ποιότητα σκυροδέματος, επαρκούν προκειμένου να προστατευθεί ο οπλισμός κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Αν και για συνήθης κατασκευές αρκεί αυτό το είδος σχεδιασμού, παρόλα αυτά, λόγω του ότι σημάδια υποβάθμισης της ανθεκτικότητας των κατασκευών συνεχίζουν να παρατηρούνται, κρίνεται σκόπιμος ο περεταίρω εμπλουτισμός του σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών πέρα από την απλή

εφαρμογή της μεθόδου «deemed-to-satisfy», όπου η διάρκεια ζωής θα εισέρχεται άμεσα στη διαδικασία σχεδιασμού.

Στόχος του σχεδιασμού ανθεκτικότητας είναι ο προσδιορισμός της ωφέλιμης διάρκειας ζωής της κατασκευής, ή στα πλαίσια μίας γενικότερης οικονομικό-τεχνικής ανάλυσης ο προσδιορισμός του χρονικού σημείου της 1^{ης} επιδιόρθωση/ενίσχυσης της κατασκευής, που υπόκειται σε περιβαλλοντικές δράσεις υπαίτιες για τη διάβρωση του οπλισμού. Αμφότεροι στόχοι, δύναται να εκτιμηθούν μέσω υπολογιστικών εργαλείων (στοχαστικών ή ντετερμινιστικών) φυσικοχημικών διεργασιών φθοράς κατασκευών ΟΣ έναντι επιθετικών περιβαλλοντικών δράσεων, αρκεί να ορίζονται με ακρίβεια τα όρια εφαρμογής τους και να υπάρχει η σχετική πειραματική επιβεβαίωση.

Σήμερα, αν και έχει προταθεί μία δομημένη διαδικασία σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών, το πρόβλημα έγκειται στην εκτίμηση της διάρκειας ζωής. Αν και υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα υπολογιστικά εργαλεία, λόγω των διαφορετικών τους αρχών λειτουργίας, προσεγγίσεων στην αρχική τους παραμετροποίηση και στην εξομοίωση του τρόπου διεξόδου των CI στο σκυρόδεμα, δύναται να οδηγήσουν σε διαφορετικές εκτιμήσεις διάρκειας ζωής για το ίδιο υπό εξέταση δοκίμιο/περιβάλλον (όπως αναδεικνύεται σε αυτή τη μελέτη) και δημιουργούν μία εικόνα σύγχυσης στο μελετητή μηχανικό. Προκειμένου να αναδειχθούν τα παραπάνω εξετάζονται τέσσερα (4) δομικά στοιχεία ΟΣ κάτω από τον ίδιο επιθετικό παράγοντα (δράση χλωριόντων) μέσω τριών (3) αναγνωρισμένων υπολογιστικών εργαλείων (Life-365, Duracon, Eucon) εκτίμησης διάρκειας ζωής.



Σχ. 1 Εκτίμηση διάρκειας ζωής δομικών στοιχείων ΟΣ λόγω δράσης χλωριόντων

Παρατηρήθηκε ότι τα υπολογιστικά εργαλεία έδωσαν διαφορετική εκτίμηση διάρκειας ζωής (Σχήμα 1) για κάθε υπό εξέταση δομικό έργο παρά το ότι αυτά υπόκεινται στο ίδιο επιθετικό περιβάλλον. Το Life υπερεκτίμησε τη συγκέντρωση CI ενώ το Eucon αν και έδειξε μία μικρή υποεκτίμηση (ενώ προσέγγιζε αρκετά καλά την αρχική συγκέντρωση) μέχρι το βάθος των 25 mm, έδωσε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με το Duracon (εκτός του στοιχείου B). Όταν στο Life χρησιμοποιήθηκαν οι πειραματικές τιμές του συντελεστή διαχυτότητας, οι εκτιμήσεις ήρθαν στα πλαίσια των Duracon και Eucon (στα στοιχεία A-1 και B). Επίσης όταν στο Eucon λήφθηκε υπόψη η τυπική απόκλιση της επικάλυψης, δημιουργήθηκε ένα κατώτατο εύρος τιμών διάρκειας ζωής, που μπορεί να ληφθεί σαν η χειρότερη περίπτωση, κοντινές με αυτές του Duracon σε όλες τις περιπτώσεις. Κοινή διαπίστωση? Σαφώς υπάρχει πρόβλημα ανθεκτικότητας λόγω του ότι η ωφέλιμη διάρκεια ζωής της κατασκευής από 50 χρόνια που θεωρήθηκε κατά τη φάση σχεδιασμού στην καλύτερη περίπτωση έχει μειωθεί στο μισό, ενώ στη χειρότερη έως και 77% καθώς και λόγω (δεδομένου της ηλικίας των κατασκευών) η

απομένονσα διάρκεια τους είναι αρκετά μικρή. Αναζητώντας του λόγους για τις παραπάνω αποκλίσεις, διαπιστώνεται (όπως αναλύεται) ότι οφείλονται στη φύση των υπολογιστικών εργαλείων. Όπως παρουσιάζεται στη παρούσα μελέτη, δεδομένης της πληθώρας των διαθέσιμων υπολογιστικών μοντέλων, των διαφορετικών τους προσεγγίσεων στην προσομοίωση διεξόδου CI και στην αρχική τους παραμετροποίηση που οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα, τίθεται το σοβαρό θέμα αξιοποίησης τους και ευρείας αποδοχής τους. Ποιο υπολογιστικό εργαλείο θα πρέπει να επιλέξει ο μελετητής μηχανικός? Θα πρέπει να καταφύγει σε ένα επιβεβαιωμένο φυσικοχημικό υπολογιστικό εργαλείο? Θα πρέπει να λάβει υπόψη του στοχαστικές έννοιες προσδιορισμού της πιθανότητας υπέρβασης ενός συγκεκριμένου επιπέδου αξιοπιστίας? Η απάντηση δεν είναι μονοσήμαντη. Σαφώς το να απευθυνθεί σε ένα εργαλείο το οποίο υποεκτιμά τη διάρκεια ζωής, εμπεριέχει κινδύνους. Επιτάσσεται λοιπόν η ανάγκη για μία αποδεκτή ευρέως από την επιστημονική κοινότητα διαδικασία σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών ΟΣ, όπου η εκτίμηση της διάρκειας ζωής θα γίνεται μέσω κοινά ορισμένων παραμέτρων και επιβεβαιωμένων φυσικοχημικών διαδικασιών και λύσεων.

Απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα δίνει εν μέρει ο νέος κανονισμός (*fib Model Code*, 2012) της Διεθνούς Ομοσπονδίας Σκυροδέματος (*fib*), όπου η διάρκεια ζωής της κατασκευής εισέρχεται σαν παράμετρος σχεδιασμού. Η εκτίμηση της συνιστάται να γίνεται στοχαστικά, μέσω του γενικότερου ελέγχου της ανίσωσης ασφαλείας (δράση $S_d < \text{αντίσταση } R_d$), βασισμένη στην φιλοσοφία σχεδιασμού κατασκευών έναντι υπέρβασης (ή όχι) συγκεκριμένων οριακών καταστάσεων λειτουργικότητας (*OKI*) ή αστοχίας (*OKA*), με όρους ανθεκτικότητας, (π.χ. αποπαθητικοποίηση του χάλυβα οπλισμού μπορεί να οριστεί σαν *OKI*, ενώ αστοχία λόγω διάβρωσης σαν *OKA*), για συγκεκριμένο επίπεδο αξιοπιστίας.

Αν και η παραπάνω μέθοδος σχεδιασμού ανθεκτικότητας κατασκευών ΟΣ μπορεί να προσδώσει έγκυρες εκτιμήσεις, δεν είναι τόσο εύκολο να χρησιμοποιηθεί (για λόγους που αναλύονται). Τίθεται λοιπόν το θέμα, πως η όλη διαδικασία μπορεί να απλοποιηθεί χωρίς όμως να χάσει σε ακρίβεια. Η λύση έγκειται στην αξιοποίηση επιβεβαιωμένων φυσικοχημικών ντετερμινιστικών υπολογιστικών εργαλείων με στοχαστικές παραμέτρους, με άλλα λόγια στη χρησιμοποίηση ημι-στοχαστικών προσεγγίσεων εκτίμησης διάρκειας ζωής. Σε μία τέτοια μέθοδο η αβεβαιότητα της μέτρησης και υπολογισμού των όποιων παραμέτρων αντισταθμίζεται με την υιοθέτηση συντελεστών ασφαλείας ενσωματωμένους σε ένα επιβεβαιωμένο φυσικοχημικό ντετερμινιστικό εργαλείο, όπως έχει διατυπωθεί και αποδειχθεί πειραματικά για τη δράση της ενανθράκωσης (*fib bulletin 34 2006*). Αυτό είναι το ζητούμενο για το σχεδιασμό ανθεκτικότητας λόγω δράσης χλωριόντων. Με αυτό το σκεπτικό προτείνονται ξεκάθαρες ενέργειες που στοχεύουν στη καθιέρωση αυτής της διαδικασίας.

Βιβλιογραφία

- BCA (2000), “BCA Research Report C/21, Development of a holistic approach to ensure the durability of new concrete construction”, British Cement Association, Camberley, UK.
- Demis, S. Efstathiou, M.P. and Papadakis, V.G. (2014), “Computer-aided modeling of concrete service life”, *Cement & Concrete Composites*, Vol. 47, pp. 9-18.
- fib Model Code* (2012), “Model Code 2010 Final Draft”, International Federation for Structural Concrete.
- fib bulletin 34* (2006), “Model Code for Service Life Design”, International Federation for Structural Concrete.
- Sciebl, P. and Mayer, T.F. (2007), “Final report on the first phase of the DAFStb/BMBF joint research project Sustainable building with concrete”, German Committee for Reinforced Concrete, Issue 572, Beuth-Verlag, Berlin (in German).