

Δομική Αποτίμηση Υφιστάμενου Κτιρίου από Ωπλισμένο Σκυρόδεμα με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομικής Υποβάθμισης (r_{eff})

Δημήτριος Νικολαΐδης

Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, DIC., *d.nikolaidis@concentral.gr*

Θεόδωρος Ρουσάκης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, MSc, Επίκουρος Καθηγητής Δ.Π.Θ, *trousak@civil.duth.gr*

Εκτενής περίληψη

Η μέθοδος της Δομικής Αποτίμησης (Structural Assessment) με εφαρμογή Συντελεστών Δομικής Υποβάθμισης, είναι μια υβριδική διαδικασία μέσα από την οποία ο μηχανικός μπορεί να αποδώσει τη δομική υποβάθμιση μιας κατασκευής σε ειδικές περιπτώσεις δομικών φθορών και βλαβών (όπως αυτή της διάβρωσης των οπλισμών), οι οποίες δεν καλύπτονται από τα εθνικά κανονιστικά κείμενα. Η μεθοδολογία βασίζεται στη λογική της πρότασης Coronelli (2007) [1], σύμφωνα με την οποία γίνεται η αξιολόγηση προκαθορισμένων βλαβών (Defect List) [2, 3] ως προς τη βαρύτητα, την ένταση και τις επιπτώσεις της βλάβης στη κατασκευή. Στη προτεινόμενη μέθοδο υπολογισμού του συντελεστή δομικής υποβάθμισης r_{eff} , εφαρμόζονται απευθείας τα ευρήματα προκαθορισμένων εργαστηριακών ή επιτόπου μετρήσεων για τη κατάταξη της βαρύτητας της βλάβης (Διάβρωση) σε μια κλίμακα από το ένα μέχρι το τέσσερα (1-4, Πίνακας 1) [3]. Οι μετρήσεις που περιλαμβάνει η μέθοδος της αξιολόγησης αφορούν τη μέτρηση του βάθους της ενανθρακωμένης ζώνης, το βάθος προσβολής των χλωριόντων, τη περιεκτικότητα των χλωριόντων συνολικά στην επικάλυψη του σκυροδέματος (%κ.β σκυροδέματος), το εύρος των ρωγμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος [3], την αντίσταση του σκυροδέματος (K_{OHcm}), μετρήσεις ημι-δυναμικών (mV) με ημιστοιχείο (half cell) χαλκού/θεικού χαλκού (Cu/CuSO₄), τοπικές μετρήσεις του ρυθμού διάβρωσης με γαλβανοστατικούς παλμούς (μΑ/cm²), τη διάμετρο των οπλισμών (Ø mm) [4], το ποσοστό μείωσης της διαμέτρου των οπλισμών λόγω διάβρωσης, την υγρασία του σκυροδέματος (% Μέση ετήσια υγρασία) και τέλος τη κατηγορία του σκυροδέματος.

Οι παράγοντες επιρροής των μοντέλων φθοράς [3, 4] εμπεριέχονται στις παραπάνω μετρήσεις με αποτέλεσμα να μπορεί να αξιολογηθεί με τη κατάλληλη βαρύτητα η κάθε μέτρηση και να μπορεί να αποδοθεί ένας τελικός δείκτης βλάβης σε διάβρωση (Corrosion Damage Index, **CDI**) συνολικά για κάθε δομικό στοιχείο. Ο τελικός δείκτης διάβρωσης **CDI**, είναι η μέση τιμή του συνόλου των δεικτών βαρύτητας (DI) στο εξεταζόμενο στοιχείο και εκφράζει το βαθμό της βλάβης αλλά όχι την αιτία της.

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Δείκτες Βλάβης}}{\text{αριθμός βλαβών (n)}} \quad \text{όπου n: ο αριθμός των βλαβών} \quad (1)$$

Το αίτιο της βλάβης εξετάζεται στο μικρο-περιβάλλον του δομικού στοιχείου που εμφανίζει τις φθορές και κατατάσσεται στην αντίστοιχη κατηγορία έκθεσης βάσει του EN206-1. Η κατάταξη αυτή γίνεται με την εφαρμογή του αναθεωρημένου πίνακα έκθεσης **EN206-1** [5], στον οποίο δίνεται η βαρύτητα (Environmental Impact, **EI**) της κατηγορίας έκθεσης για κάθε περίπτωση (**X0, X1, XC1...XS1** κ.ο.κ). Ως Γενικός Δείκτης Βλάβης σε Διάβρωση (Corrosion Index **CI**), ορίζεται η μέση τιμή του αθροίσματος του δείκτη **CDI** με τον δείκτη **EI**. Βασική προϋπόθεση της μεθόδου, είναι να εφαρμοσθούν και οι 11 μετρήσεις που απαιτούνται για τη δημιουργία του Δείκτη **CDI**, με εξαίρεση τη περίπτωση μέτρησης του ρυθμού διάβρωσης, η οποία είναι ιδιαίτερα απαιτητική και κοστοβόρα. Για

την ιδιαίτερη περίπτωση της μέτρησης του ρυθμού διάβρωσης (I_{corr}), δημιουργήθηκε ένας πίνακας με τα όρια του ρυθμού διάβρωσης που μπορεί να εμφανίζονται σε κάθε κατηγορία έκθεσης που ορίζει το EN206-1.

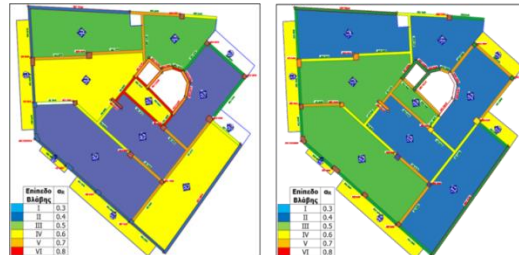
$$CI = \frac{CDI+EI}{2} \quad (2)$$

Πίν. 1 Βλάβες και Δείκτες Βαρύτητας

No	Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
			1	2	3	4
1	Βάθος Ενανθράκωσης	CRB	0	<c	=c	>c
2	Βάθος προσβολής χλωριόντων	CL	0	<c	=c	>c
3	% cl κ.β σκυροδέματος στην επικάλυψη	CLC	<0.025	0.025<CLC<0.03	0.025<CLC<0.03	CLC>0.04
4	Ρηγματώσεις	CR	κανένα	<0.3mm	>0.3	Αποτίναξη – εκτεταμένη ρηγματώση/ κενά - απομίξεις
5	Αντίσταση Σκυροδέματος (ΚΩcm)	R	>20	10< R<20	5<R<10	R<5
6	Μέτρηση Ημιδυναμικών (mV)(Cu/CuSO ₄)	HC	0-220	220-350	350-450	>450
7	Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (μΑ/cm ²)	CORR	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1
8	Ø mm (Διάμετρος Οπλισμών)	D	>18mm	18mm-16mm	16mm-12mm	<12mm
9	% μείωσης διαμέτρου οπλισμών	RD	0-2	2-5	5-10	>10
10	Υγρασία Σκυροδέματος (%)	MST	<2	2-4	4-6	>6
11	Κατηγορία Σκυροδέματος	CS	≥C 25/30	C 20/25	C 16/20	C 12/15

Πίν. 2 Επίπεδα βλάβης και συντελεστής ευαισθησίας α_R

Επίπεδο Βλάβης	Χαρακτηρισμός Επιπέδου Βλάβης	CI	α_R
I	Καμία βλάβη	0-0.65	0.3
II	Χαμηλή βλάβη	0.65-1.20	0.4
III	Μεσαία βλάβη	1.20-1.90	0.5
IV	Υψηλή βλάβη	1.90-2.55	0.6
V	Πολύ Υψηλή βλάβη	2.55-3.5	0.7
VI	Κρίσιμη βλάβη	>3.5	0.8



Σχ. 1 Επίπεδα βλάβης σε δομικά στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής.

Ο Δείκτης Διάβρωσης (Corrosion Index **CI**) σε κάθε δομικό στοιχείο τοπικά ή γενικά, ορίζει το επίπεδο της βλάβης όπως αυτό παρουσιάζεται στο Πίνακα 2. Ο συντελεστής α_R , ονομάζεται συντελεστής ευαισθησίας της **FORM** (First Order Reliability Analysis) [6, 3], ο οποίος έχει μια τιμή για κάθε επίπεδο βλάβης. Η αντίσταση R, των δομικών στοιχείων υπολογίζεται συναρτήσει των διαστάσεων της διατομής, της ποσότητας του υφιστάμενου οπλισμού και των αντοχών σκυροδέματος και οπλισμού. Ο Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝ.ΕΠΕ) [7], προβλέπει τη διαδικασία υπολογισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών καθώς και τον υπολογισμό των αντιστάσεων R των διατομών, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας μετακινήσεων. Ωστόσο, το κανονιστικό πλαίσιο του ΚΑΝ.ΕΠΕ καθώς και του Ευρωκώδικα 8 μέρος 3, είναι περιορισμένο σε σχέση με τη δομική υποβάθμιση των βλαμμένων στοιχείων σε φθορές όπως η διάβρωση των οπλισμών, απομίξεις και κενά στο σκυρόδεμα, τοπικές κακοτεχνίες και χαμηλές αντοχές του σκυροδέματος τοπικά στα δομικά στοιχεία. Προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας διαδικασίας μέσα από την οποία μπορεί να προσδιοριστεί στοχαστικά η δομική υποβάθμιση ως ένας συντελεστής (r_{eff} : **συντελεστής υποβάθμισης**) [7, 1] ο οποίος πολλαπλασιάζεται με την αντίστοιχη υπολογιζόμενη αντοχή –

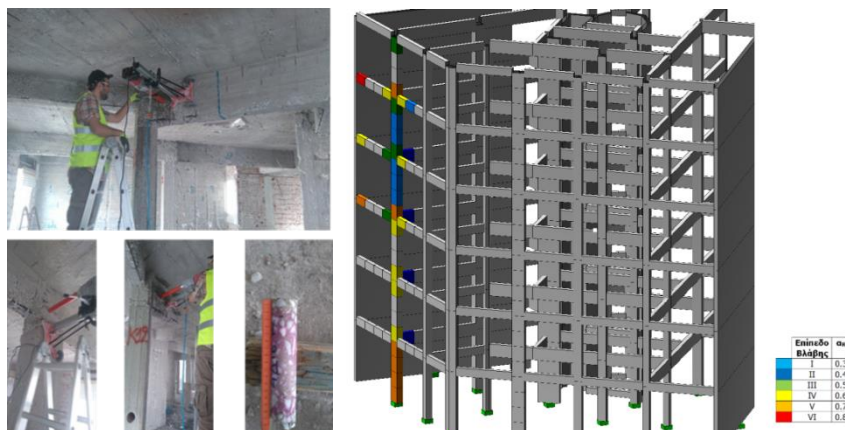
αντίσταση R των δομικών στοιχείων χωρίς βλάβες. Θεωρώντας R την αντίσταση των δομικών στοιχείων και S τις δράσεις, ο συντελεστής δομικής υποβάθμισης r_{eff} προσδιορίζεται από την σχέση:

$$r_{eff} = B e^{-\alpha_R \beta V_R} \quad (3)$$

B : Μειωτικός συντελεστής (ΣΑΔ γεωμετρικών μεσαία – χαμηλή: Κάμψη = 0.9, Διάτμηση = 0.85, Συνδυασμός = 0.7) (AASHTO) ή $B = 1$ όταν ΣΑΔ γεωμετρικών δεδομένων υψηλή α_R : Συντελεστής ευαισθησίας FORM.

V_R : Συντελεστής Διακύμανσης (σ/μ). β : Δείκτης Αξιοπιστίας, από Ευρωκώδικα EN1990 για κτιριακά (Σχεδιασμού) $\beta = 3.8$. Για υφιστάμενα μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη τιμή.

Κατά την προσομοίωση του φορέα λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα των επί τόπου ελέγχων (σχήμα 2) ώστε να μπορέσει να αποδοθεί η δομική υποβάθμιση των στοιχείων [1, 3] στις θέσεις των βλαβών (διατομές σχετικών περιοχών, **sections**). Υπολογίζονται οι ανεπάρκειες του φορέα για βασικούς συνδυασμούς φορτίσεων [7] ενώ αποτιμάται η σεισμική συμπεριφορά του φορέα [6] με ελαστικές μεθόδους (**Καθολικός δείκτης q^* – m**) καθώς και με τη μέθοδο της ανελαστικής στατικής ανάλυσης. Οι ανεπάρκειες του φορέα εξετάζονται σε όλες τις Στάθμες Επιτελεστικότητας που ορίζει ο ΚΑΝ.ΕΠΕ (σχήμα 2) [7].



Σχ. 2 Επί τόπου έλεγχου κτιρίου και προσομοίωση του φορέα με συνυπολογισμό του συντελεστή δομικής υποβάθμισης σε κάθε θέση βλάβης

Στη παρούσα μελέτη παρουσιάζονται αναλυτικά οι διερευνητικοί έλεγχοι που διενεργήθηκαν με σκοπό την αποτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε κάθε μέθοδο ξεχωριστά. Διερευνάται η επιρροή της προτεινόμενης μεθοδολογίας αποτίμησης των βλαβών στην επιτελεστικότητα του κτιρίου. Εντοπίζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προτεινόμενης μεθόδου του Συντελεστή Δομικής Υποβάθμισης r_{eff} καθώς και ζητήματα για περαιτέρω διερεύνηση με στόχο την επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων αξιοπιστίας στη δομική αποτίμηση κατασκευών.

Βιβλιογραφία

1. Coronelli D. (2007), “Condition Rating of RC structures”. *Journal of Building Appraisal*, Vol.3, No1., pp 29-51.
2. ACI (2004), “ACI Building Code Requirements for Structural Concrete”, 318M/318RM-279, chapter 20 – *Strength evaluation of existing structures*.
3. LIFECON, “Life Cycle Management of Concrete Infrastructures for Improved Sustainability”, Contract No. GIRD-CT-2000-00378 ;2004.
4. SINTEF Building and Infrastructure, “Modelling of reinforcement corrosion in concrete – State of the art”, COIN Project, report 7-2008.
5. EN 206-1 Concrete-Part1: “Specification, performance, production and conformity”. CEN European Committee for Standardisation, December 2000. Ref. No EN 206-1:2000 E. 72 pp.
6. JCSS Model Code. Joint Committee on Structural Safety. <http://www.jcss.ethz.ch>
7. ΚΑΝ.ΕΠΕ., 1^η αναθεώρηση – Ιούλιος 2013.