

Καινοτόμο
Αξιόπιστο
Εύχρηστο

Αποτίμηση Κατασκευών Ο.Σ. με την Μέθοδο Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης

26^ο Φοιτητικό Συνέδριο : “Επισκευές
και Ενισχύσεις Κατασκευών”
Πάτρα - 2020
Βασίλειος Τσιτσίας
Πολιτικός Μηχανικός Παν.Πατρών



ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ & ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ - ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

REPAIR & STRENGTHENING OF STRUCTURES - UNIVERSITY OF PATRAS

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Τεκμηρίωση του Φέροντος Οργανισμού-Παθολογία Βλαβών

- Φθορές – Χαρτογράφηση βλαβών ανά τύπο και θέση στην κατασκευή.
- Καταγραφή, συλλογή όλων των απαραίτητων σχεδίων ή σκαριφήματα.
- Ρωγμές (θέση και εύρος)
- Εντοπισμός για διαβρωμένους οπλισμούς.
- Προβλήματα υγρασίας, ανερχόμενης ή κατερχόμενης.
- Κατηγορία έκθεσης κατασκευής.
- Μη Καταστροφικοί έλεγχοι επί τόπου του έργου (κρουσιμετρήσεις, υπέρηχοι).
- Ημι – Καταστροφικοί (πυρηνοληψίες σκυροδέματος, λήψη δειγμάτων χάλυβα οπλισμού).
- Χημικοί έλεγχοι

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

ΚΑΝ.ΕΠΕ. (Αναθεώρηση 2017) – Παράρτημα 7Δ

Συντελεστές r απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών (“δείκτες βλάβης”) στοιχείων Ο.Σ. Λόγω δομικών βλαβών:

- r_K : Απομείωση δυσκαμψίας
- r_R : Απομείωση αντοχής σχεδιασμού
- r_{du} : Απομείωση διαθέσιμης παραμόρφωσης



$$r_K (=K'/K) \leq r_R (=F'y/F_y) \leq r_{du} (=d'u/d_u).$$

Τυπ. Βαθμός	Περιγραφή βλάβης	r_K	r_R	r_{du}	F(=R)
A	Ελαφρές καμπτικές (καθόλου διατμ.) βλάβες. Απλές, μεμονωμένες ρωγμές περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου, < 2mm, απουσία λοξών ρωγμών	0,95	1,00	1,00	M ή V
A/B	Ελαφρές καμπτικές ή διατμητικές βλάβες. 1.Ρωγμές (μάλλον πολλαπλές) περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου (<2mm), λοξές ρωγμές (<1mm). Απουσία εμφανών μόνιμων μετακινήσεων ή λυγισμού. Απουσία αποφλοίωσης.	0,90	1,00	1,00	M
		0,80	0,90	1,00	V
	2.Μέτριες ρωγμές περίπου κάθετες στον άξονα του στοιχείου (3÷5mm), λοξές ρωγμές (1÷2mm). Απουσία εμφανών μόνιμων μετακινήσεων ή λυγισμού. Μικρή αποφλοίωση.	0,70	0,90	0,95	M
		0,50	0,80	0,90	V

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Coronelli D. (2007), Condition rating of RC Structures

(Journal of Building Appraisal. Vol.3. No.1.pp 29-51)

- Πρόταση μεθόδου για ποσοτικοποίηση της δομικής υποβάθμισης υφιστάμενων κατασκευών για φθορές και βλάβες που δεν περιλαμβάνονται στο κανονιστικό πλαίσιο.
- Αξιολόγηση του κάθε τύπου βλάβης ή φθοράς (Degree of damage) και κατηγοριοποίηση βάσει της βαρύτητας (Deterioration classes: I – VI).
- Υπολογισμός μειωτικού συντελεστή Φ επί της αντοχής χωρίς βλάβες, R_n .

$$\Phi = B_R \cdot e^{-\alpha_R \beta_C V_R}$$

$$S_d < \Phi R_n$$



Table 6: Deterioration classes

Deterioration class	Description of the condition, necessary intervention, deterioration examples	Rating	α_R
I	No defect, Only construction deficiencies. Action: No repair, only regular maintenance needed. Examples: geometrical irregularities, aesthetic imperfections, discolouring	0-5	0.3
II	Low degree deterioration, which only after a long period of time might be the cause for reduced serviceability or durability of the affected structural component, if not repaired in proper time Action: Deteriorated locations can be repaired with low costs as part of regular maintenance works Examples: Local cracks, smaller deficiencies resulting from bad concreting practice, locally cover too thin	3-10	0.4
III	Medium degree deterioration, which can be the cause for reduced serviceability and durability of the affected structural component, but still not requiring any limitation of use of the structure Action: Repair in reasonably short time is needed Examples: Cracking, greater deficiencies resulting from bad concreting practice, very thin cover on mostly wet areas, defect of waterproofing	7-15	0.5
IV	High degree deterioration, reducing the serviceability and durability of the structure, but still not requiring serious limitation of use Action: Immediate repair to preserve the designed serviceability and durability Examples: Reinforcement corrosion on main carrying members	15-25	0.6
V	Very heavy deterioration, requiring limitation of use, propping of most critical components, or other protective measures Action: Immediate repair and strengthening of the structure is required, or the carrying capacity shall be adequately reduced Examples: Heavy corrosion of reinforcement in the main carrying members, wide cracks because of overloading	22-35	0.7
VI	Critical deterioration, requiring immediate propping of the structure and strong limitation of use, for example, closing Action: Immediate and extensive rehabilitation works are needed; however, the design serviceability and use of the structure, as well as acceptable remaining service can no more be achieved with economic costs Examples: As Class V, plus lower level of safety	≤ 30	0.8

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από
Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

(17^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος – Θεσσαλονίκη - 2016)

- Μεθοδολογία που βασίζεται στην περαιτέρω ανάπτυξη της πρότασης Coronelli (2007).
- Ορισμός δομικών και μη-δομικών βλαβών που επηρεάζουν την υπολογιζόμενη αντοχή.
- Αξιολόγηση προκαθορισμένων βλαβών ως προς την βαρύτητα, την ένταση και τις επιπτώσεις της βλάβης.
- Λαμβάνονται υπόψιν τα ευρήματα από 11 προκαθορισμένες επί τόπου ή εργαστηριακές μετρήσεις.
- Κατάταξη της βλάβης με έναν Δείκτη Βαρύτητας σε μία κλίμακα από το ένα μέχρι το τέσσερα (1-4).
- Υπολογίζεται ο συντελεστής δομικής υποβάθμισης reff.

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Βάθος Ενανθράκωσης	CRB	0	<c	=c	>c
Βάθος προσβολής χλωριόντων	CL	0	<c	=c	>c
% CI κ.β. Σκυροδέματος στην επικάλυψη	CLC	<0.025	0.025<CLC <0.03	0.025<CLC <0.03	CLC>0.04
Ρηγματώσεις	CR	κανένα	<0.3mm	>0.3	Αποτίναξη -Εκτεταμένες ρωγμές - κενά, απομίξεις
Αντίσταση Σκυροδέματος (KΩcm)	R	>20	10< R<20	5<R<10	R<5
Μέτρηση Ημιδυναμικών (mV)(Cu/CuSO ₄)	HC	0-220	220-350	350-450	>450
Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (I _{corr} , μΑ/cm ²)	CORR	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1
Ømm (Διάμετρος Οπλισμών)	D	>18mm	18mm-16mm	16mm-12mm	<12mm
Μείωση διαμέτρου οπλισμών (%)	RD	0-2	2 - 5	5-10	>10
Υγρασία Σκυροδέματος ,EMC (%)	MST	<2	2- 4%	4 - 6%	>6
Κατηγορία Σκυροδέματος	CS	≥C25/30	C20/25	C16/20	C12/15

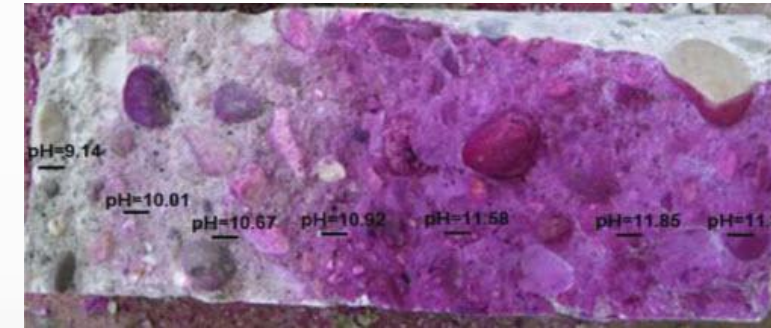
«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Βάθος Ενανθράκωσης	CRB	0	<c	=c	>c

• 1.Βάθος Ενανθράκωσης (CRB)

- Ψεκασμός με διάλυμα φαινολοφθαλείνης σε πυρήνες σκυροδέματος .
- Με την χρήση πολυχρωματικού δείκτη ή ειδικού τύπου μολυβιού, καθορίζεται η τιμή του pH του σκυροδέματος.
- Η περιοχές με μειωμένο pH φανερώνουν την αντίδραση των αλκαλικών συστατικών του σκυροδέματος με το CO₂ της ατμόσφαιρας, που ορίζουν την ενανθράκωσή του.
- Η αντίδραση αυτή διαχέεται σταδιακά προς το εσωτερικό του σκυροδέματος μέσω των πόρων.
- Το σκυρόδεμα παύει να παρέχει προστασία στον χάλυβα οπλισμού.
- Ανάλογα με το βάθος της ενανθράκωσης, επιλέγεται ο Δείκτης βαρύτητας για την συγκεκριμένο φθορά.



- ✓ Βασική παράμετρος για την κατηγοριοποίηση αποτελεί η επικάλυψη των οπλισμών (c).

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

• 2.Βάθος προσβολής χλωριόντων (CL)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Βάθος προσβολής χλωριόντων	CL	0	<c	=c	>c

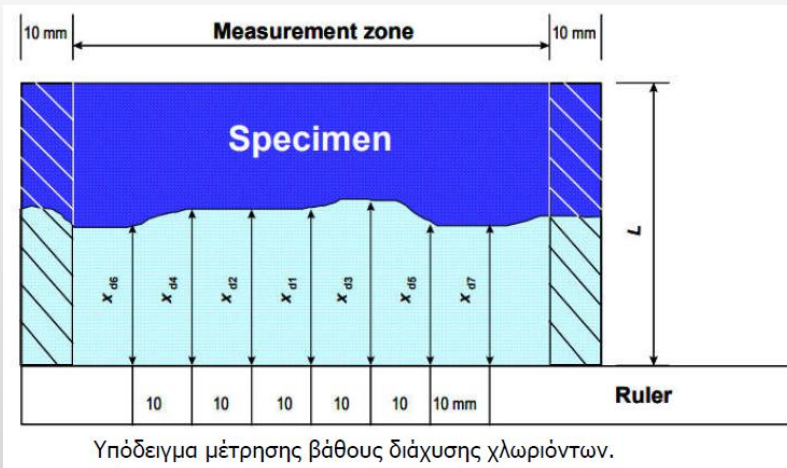
➤ Ο εντοπισμός και η αποτίμηση της διάβρωσης οπλισμού από προσβολή από χλωριόντα αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τις επεμβάσεις αποκατάστασης.

➤ Χρησιμοποιείται συνήθως χρωματικός δείκτης AgNO_3 0.1N.

➤ Η λειτουργία του δείκτη βασίζεται στην αντίδραση



✓ Βασική παράμετρος για την κατηγοριοποίηση αποτελεί η επικάλυψη των οπλισμών (c).



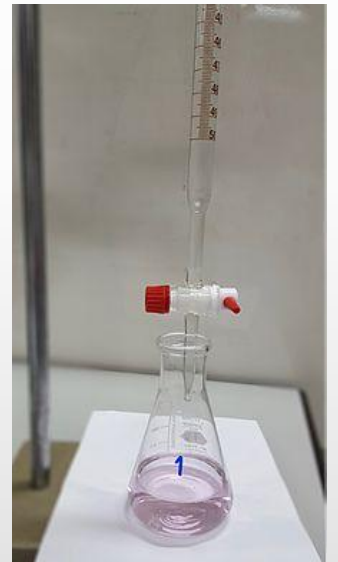
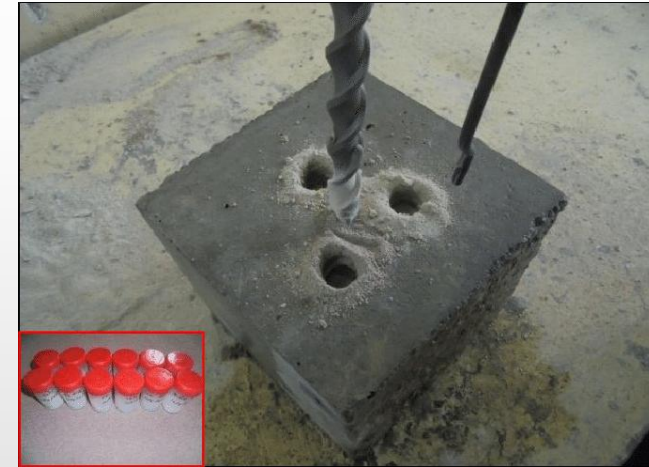
«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- 3.Περιεκτικότητα % Cl κ.β. Σκυροδέματος στην επικάλυψη (CLC)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
% Cl κ.β. Σκυροδέματος στην επικάλυψη	CLC	<0.025	0.025<CLC <0.03	0.025<CLC <0.03	CLC>0.04

- Συλλογή επιφανειακής σκόνης σκυροδέματος.
- Επεξεργασία κοσκινίσματος 600μm
- Διάχυση σε 3:1 DIW
- Επεξεργασία μετάγγισης ή φιλτραρίσματος
- Απλή Χημική ογκομετρική ανάλυση μέσω μεθόδου του Mohr με δείκτη Χρωμικού Καλίου (K_2CrO_4 και σταδιακή τιτλοδότηση Νιτρικού Αργύρου ($AgNO_3$) 0,1N.
- Τελικό αποτέλεσμα σε ppm (mg/L) ή επι της % ανά κυβικό σκυροδ/τος.



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- 4.Ρηγματώσεις (CR)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Ρηγματώσεις	CR	κανένα	<0.3mm	>0.3	Αποτίναξη -Εκτεταμένες ρωγμές - κενά, απομίξεις

- Με χρήση κατάλληλων οργάνων (ρωγμόμετρο με ενσωματωμένο μικροσκόπιο, κάρτα με τυπωμένες γραμμές γνωστού πάχους κ.ά.) καταγράφονται τα πάχη των ρωγμών.
- Τυχόν αποτινάξεις του σκυροδέματος και τυχόν ύπαρξη κενών ή απομίξεων, ορίζονται στον συγκεκριμένο τύπο βλάβης και κατηγοριοποιούνται στον δυσμενέστερο Δείκτη Βαρύτητας.



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

• 5. Αντίσταση Σκυροδέματος (KΩcm) (R)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Αντίσταση Σκυροδέματος (KΩcm)	R	>20	10 < R < 20	5 < R < 10	R < 5

➤ Η τιμή της ειδικής αντίστασης του σκυροδέματος καθορίζει την έκταση της ενεργού διάβρωσης.

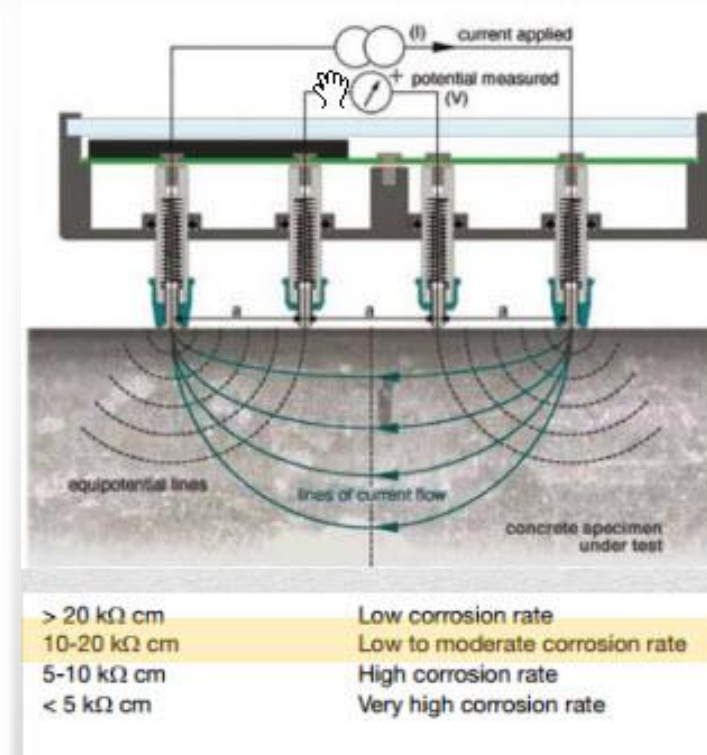
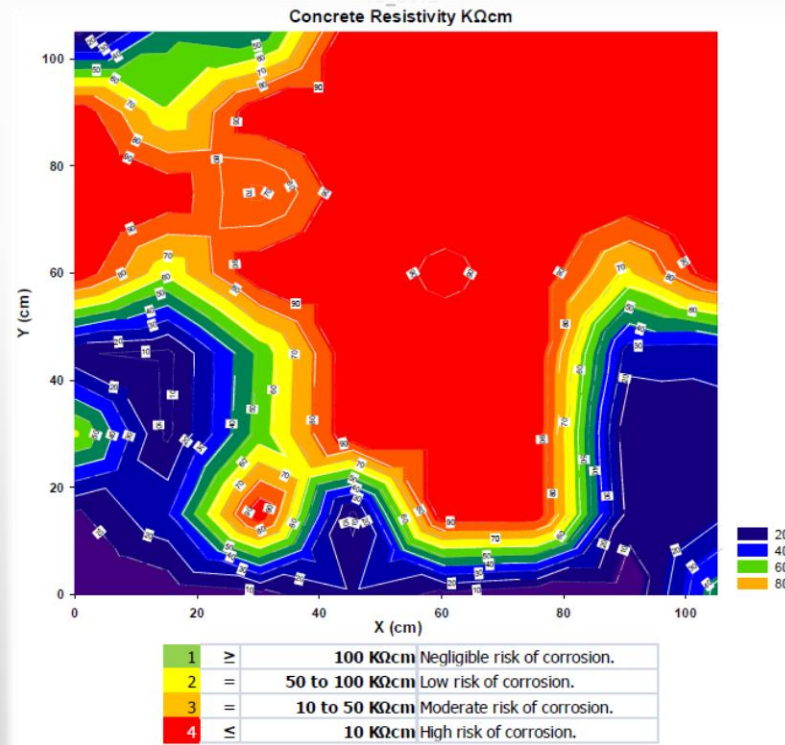
➤ Χρησιμοποιείται μετρητής αντίστασης τεσσάρων βοηθητικών ηλεκτροδίων (Wenner Probe).

➤ Η αντίσταση R υπολογίζεται από τον τύπο: $R = 2\pi a (V/I)$, όπου:

a : απόσταση ηλεκτροδίων,

I : το εφαρμοζόμενο ρεύμα διαμέσου των εξωτερικών ηλεκτροδίων,

V : η μετρούμενη τάση μεταξύ των εσωτερικών ηλεκτροδίων.



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

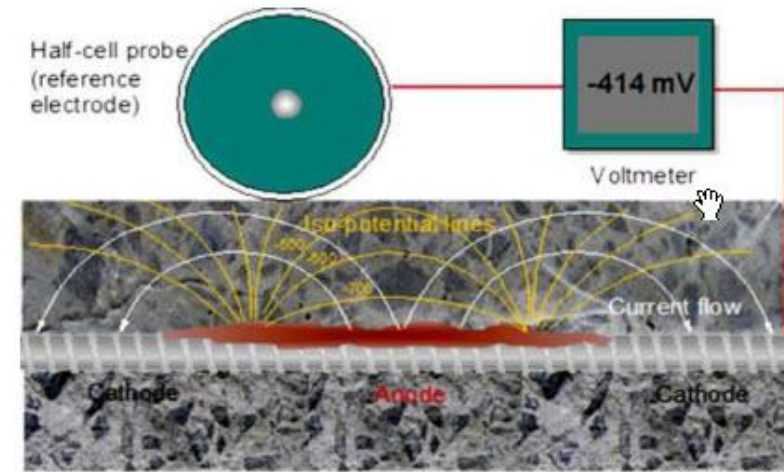
6. Μέτρηση Ημιδυναμικού (mV) (HC) (Half Cell Potential)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Μέτρηση Ημιδυναμικού (mV)(Cu/CuSO ₄)	HC	0-220	220-350	350-450	>450

Σχέση μεταξύ δυναμικού και πιθανότητας διάβρωσης

Δυναμικό E_{corr}	Πιθανότητα διάβρωσης
$E_{corr} < -350 \text{ mV}$	Μεγαλύτερη από 90% πιθανότητα να υπάρχει διάβρωση σπλισμού στο σημείο ελέγχου
$-350 \text{ mV} \leq E_{corr} \leq -220 \text{ mV}$	Η ύπαρξη ενεργούς διάβρωσης είναι αβέβαιη
$E_{corr} > -220 \text{ mV}$	90% πιθανότητα να μην υπάρχει διάβρωση στο σημείο ελέγχου την στιγμή της μέτρησης (10% risk of corrosion)

- Μέτρηση του δυναμικού με χρήση ηλεκτροδίου χαλκού / θειικού χαλκού (Cu/CuSO₄) κατά την επαφή με ράβδο του σπλισμού.
- Μετρήσεις σε κομβικά σημεία του φορέα, χαρτογράφηση πιθανότητας διάβρωσης του σπλισμού (συνήθως κάναβος 1 m² με κελιά 10x10 ή 20x20 cm).



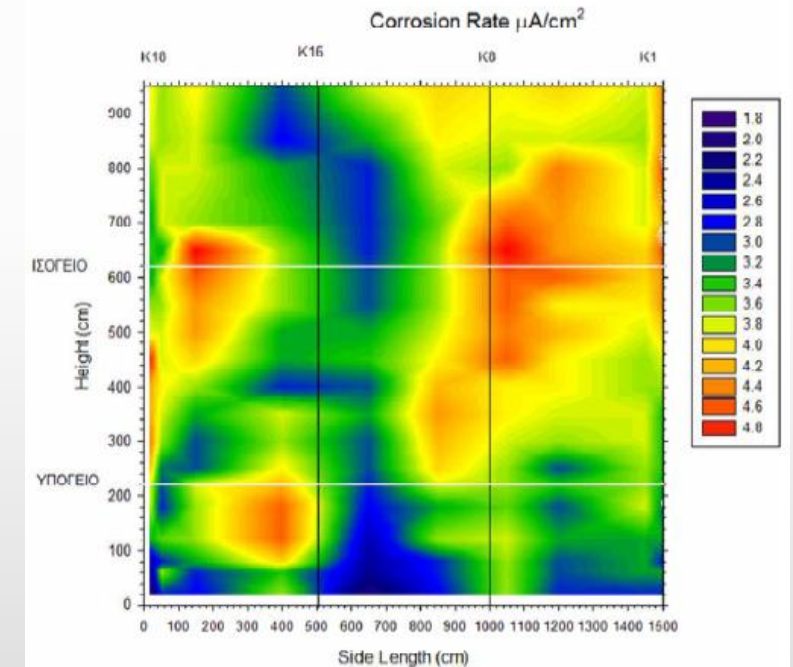
«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (I_{corr} , $\mu A/cm^2$)	CORR	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1

• 7.Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (I_{corr} , $\mu A/cm^2$) (CORR)

- Γνωστή ως μέθοδος αντίστασης γραμμικής πόλωσης, υπολογίζει τον ρυθμό διάβρωσης του οπλισμού σε μονάδες πυκνότητας ρεύματος, I_{corr} ($\mu A/cm^2$).
- Με την εφαρμογή ενός ηλεκτροδίου αναφοράς και ενός τροφοδοτικού μεταβλητής τάσης συνεχούς ρεύματος, μετράται η διαφορά στο δυναμικό επί του ηλεκτροδίου αναφοράς, η οποία σχετίζεται με τον ρυθμό διάβρωσης.
- Αποτελεί την πλέον αξιόπιστη για τον προσδιορισμό του ρυθμού διάβρωσης από χλωριόντα, αλλά και την πιο κοστοβόρα.



Ενδεικτική παρουσίαση μέτρησης πυκνότητας ρεύματος καθ' ύψος τοιχείου.

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (r_{eff})”

- 7. Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (I_{corr} , $\mu A/cm^2$) (CORR)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Μέτρηση Ρυθμού Διάβρωσης (I_{corr} , $\mu A/cm^2$)	CORR	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1

Όρια πυκνότητας ρεύματος διάβρωσης ανά κατηγορία έκθεσης κατά EN 206-1

Χαρακτηρισμός Κατηγορίας		I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	
0	Κανένας κίνδυνος διάβρωσης		
Ενανθράκωση		Μερικώς ενανθρακωμένα	Πλήρως ενανθρακωμένα
C1	Ξηρό ή μονιμα υγρό	0.01	0.01
C2	Υγρό, σπανίως ξηρό	0.1-0.5	0.2-0.5
C3	Μέτρια Υγρασία	0.05-0.1	0.1-0.2
C4	Κυκλική εναλλαγή ύγρανσης-ξήρανσης	0.01-0.2	0.2-0.5
Διάβρωση προκαλούμενη από χλωριόντα			
D1	Μέτρια Υγρασία	0.1-0.2	
D2	Υγρό, σπανίως ξηρό	0.1-0.5	
D3	Κυκλική εναλλαγή ύγρανσης - ξήρανσης	0.5-5	
S1	Έκθεση σε αερομεταφερόμενα άλατα	0.5-5	
S2	Μονίμως καλυμμένο με νερό	0.1-1.0	
S3	Περιοχές υποκείμενες σε παλίρροια ή διαβροχή από κύματα ή ψεκασμό από θαλασσινό νερό.	1-10	

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- 8. Ονομαστική Διάμετρος Οπλισμών, Φ (mm) (D)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Φ mm (Διάμετρος Οπλισμών)	D	>18mm	18mm-16mm	16mm-12mm	<12mm

- 9. Μείωση (%) Διαμέτρου (Μάζας) Οπλισμών (Rebar Loss), (RD)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Μείωση διαμέτρου οπλισμών (%)	RD	0-2	2 - 5	5-10	>10

Σύγκριση αδιάβρωτου και διαβρωμένου οπλισμού μέσω εργαστηριακού έλεγχου.

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- 10.Υγρασία Σκυροδέματος (%) (MST)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Υγρασία Σκυροδέματος EMC (%)	MST	<2	2- 4%	4 - 6%	>6

- Μέτρηση του ποσοστού επιφανειακής υγρασίας στο σκυρόδεμα με την χρήση κατάλληλων υγρασιόμετρων.



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

• 11.Κατηγορία Σκυροδέματος (CS)

Βλάβη	Κωδικός	Δείκτης Βαρύτητας			
		1	2	3	4
Κατηγορία Σκυροδέματος	CS	≥C25/30	C20/25	C16/20	C12/15

- Κατηγορία Σκυροδέματος σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος – 2016.
- Αντιστοίχιση παλιών ποιοτήτων (B160,B225) σε αντίστοιχες σύγχρονες (C12/15, C16/20).

Πίνακας A1-1: Κατηγορίες σκυροδέματος

Κατηγορία αντοχής σε θλίψη	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου $f_{ck,cyl}$ N/mm ²	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου $f_{ck,cube}$ N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- Συμπληρώνεται ο Πίνακας ανάλογα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων.
- Βασική προϋπόθεση της μεθόδου είναι να εφαρμοσθούν και οι 11 μετρήσεις που απαιτούνται, με εξαίρεση της μέτρησης του ρυθμού διάβρωσης (I_{corr}), η οποία είναι ιδιαίτερα απαιτητική και κοστοβόρα.

Σ’αυτή την περίπτωση υπολογίζεται ο ρυθμός διάβρωσης εμπειρικά ($I_{corr.theor}$) βάσει μαθηματικού τύπου συναρτήσε:

- της χρονολογίας της κατασκευής σε έτη, T
- του ποσοστού (%) Απώλειας Μάζας του οπλισμού [9], A.M.%
- της διαμέτρου του οπλισμού, Φ

Damage	Code	Damage Index			
		1	2	3	4
Carbonation Depth	CRB				1
Chloride Front	CL				1
% Cl w.t of concrete (at concrete cover)	CLC			1	
Cracks (Structural & Non Structural)	CR	1			
Concrete Resistivity ($K\Omega cm$)	R	1			
Half - Cell (mV)(Cu/CuSO ₄)	HC	1			
Corrosion Rate (I_{corr} , LPR)	CORR	1			
$\emptyset mm$ (Rebar Diameter)	D	1			
% rebar mass loss	RD	1			
Concrete Moisture Content ,EMC (%)	MST	1			
Concrete Strength	CS	1			

$$I_{corr.theor} = \frac{\frac{\Phi}{2} - \sqrt{\frac{100 - (A.M.\%) \cdot 400}{\Phi^2}}}{0.0058 \cdot T}$$

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

➤ Η κάθε μέτρηση αξιολογείται με κατάλληλη βαρύτητα βάσει παραγόντων επιρροής που έχουν προταθεί στην Βιβλιογραφία.

➤ Για κάθε Δείκτη Βλάβης (Damage Index) αθροίζονται οι καταγραφές πολλαπλασιασμένες με τον σχετικό Δείκτη.

▪ Δείκτης 1 : $(3+3+4+2+1+2+2+5) \times 1 = 37$

▪ Δείκτης 2 : $0 \times 2 = 0$

▪ Δείκτης 3 : $7 \times 3 = 21$

▪ Δείκτης 4 : $(5+5) \times 4 = 40$

➤ Στην συνέχεια υπολογίζεται ένας τελικός δείκτης διάβρωσης **CDI** (Corrosion Damage Index).

➤ $CDI = \Sigma \text{scoring} / \Sigma \text{weight} = (37+21+40) / 53 = 1.85$

No	Damage	Code	Damage Index				weight
			1	2	3	4	
1	Carbonation Depth	CRB	0	0	0	5	5
2	Chloride Front	CL	0	0	0	5	5
3	% Cl w.t of concrete (at concrete cover)	CLC	0	0	7	0	7
4	Cracks (Structural & Non Structural)	CR	7	0	0	0	7
5	Concrete Resistivity (KΩcm)	R	3	0	0	0	3
6	Half - Cell (mV)(Cu/CuSO ₄)	HC	2	0	0	0	2
7	Corrosion Rate (I _{corr} , LPR)	CORR	3	0	0	0	3
8	Ømm (Rebar Diameter)	D	3	0	0	0	3
9	% rebar mass loss	RD	7	0	0	0	7
10	Concrete Moisture Content ,EMC (%)	MST	7	0	0	0	7
11	Concrete Strength	CS	5	0	0	0	5
			37	0	21	40	53

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- Ανάλογα με την κατηγορία Έκθεσης του δομικού στοιχείου σύμφωνα με τον αναθεωρημένο πίνακα του EN206-1, λαμβάνεται η αντίστοιχη Βαρύτητα (Environmental Impact, **EI**):

Έκθεση	X0	X1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Βαρύτητα (EI)	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

- Ως Γενικός Δείκτης Βλάβης σε Διάβρωση **CI** (Corrosion Index) λαμβάνεται ο μέσος όρος του δείκτη **CDI** και του δείκτη **EI**.

$$CI = \frac{CDI + EI}{2}$$

- Ανάλογα με την τιμή του Γενικού Δείκτη **CI**, καθορίζεται το Επίπεδο Βλάβης και ο συντελεστής ευαισθησίας, **a_R**.

	Επίπεδο Βλάβης	Χαρακτηρισμός Επιπέδου Βλάβης	CI	a _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

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- Υπολογισμός Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff) : $r_{eff} = B e^{-\alpha_R \beta V_R}$
- **B** : Μειωτικός συντελεστής ανάλογα με την Σ.Α.Δ. Για Υψηλή B = 1.0, για Ανεκτή – Ικανοποιητική B=0,9
- **a_R** : Συντελεστής ευαισθησίας που υπολογίστηκε σύμφωνα με τα προηγούμενα.
- **β** : Δείκτης Αξιοπιστίας από τον EN1990 – Παράρτημα Β. Για Σχεδιασμό Κτιριακών και Χρονική Διάρκεια 50 έτη, β=3.80. Για υφιστάμενα κτίρια λαμβάνει μικρότερες τιμές.

Table B2 - Recommended minimum values for reliability index β (ultimate limit states)

Reliability Class	Minimum values for β	
	1 year reference period	50 years reference period
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (reff)”

- **V_R**: Εκτίμηση εφελκυστικής αντοχής χάλυβα οπλισμού:
 - Λήψη δοκιμίων και εργαστηριακοί έλεγχοι (ΚΑΝ.ΕΠΕ. , Σ.Α.Δ.),
 - Σκληρομέτρηση κατά Vickers με αποκάλυψη οπλισμών (επί τόπου).Από τις μετρήσεις προκύπτουν τα εξής μεγέθη:
 - Μέση Τιμή (σ)
 - Τυπική Απόκλιση (μ)
 - Συντελεστής Διακύμανσης CoV, $V_R = \sigma/\mu$

- Τέλος υπολογίζεται η τροποποιημένη εφελκυστική αντοχή του χάλυβα: $F_{y.corr} = \sigma \times r_{eff}$

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Νικολαΐδης, Ρουσσάκης (2016) : “Δομική Αποτίμηση Κτιρίου από Ω.Σ. Με τη Μέθοδο του Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης (r_{eff})”

Απλοποιητική μέθοδος I_{corr} – Υποπερίπτωση της γενικής μεθόδου

➤ Απαιτεί μόνο την μέτρηση του ρυθμού διάβρωσης I_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

➤ Υπολογίζεται εμπειρικά το ποσοστό Απώλειας Μάζας του οπλισμού: $A.M.(%) = 1 - \left(\frac{4}{\Phi^2} \right) \cdot \left(\frac{\Phi}{2} - 0.0116 \cdot I_{corr} \cdot T \right)^2$

- Φ : διάμετρος ράβδου οπλισμού
- T : χρονολογία κατασκευής (έτη)

➤ Υπολογίζεται η εφελκυστική αντοχή του διαβρωμένου χάλυβα, βάσει της μέσης τιμής f_y των μετρήσεων και του μειωτικού συντελεστή B , ανάλογα με την Σ.Α.Δ.:

➤ $f_{y,corr} = f_y \times (1 - 0.0047 \times (A.M.\%) \times 100 \times B)$

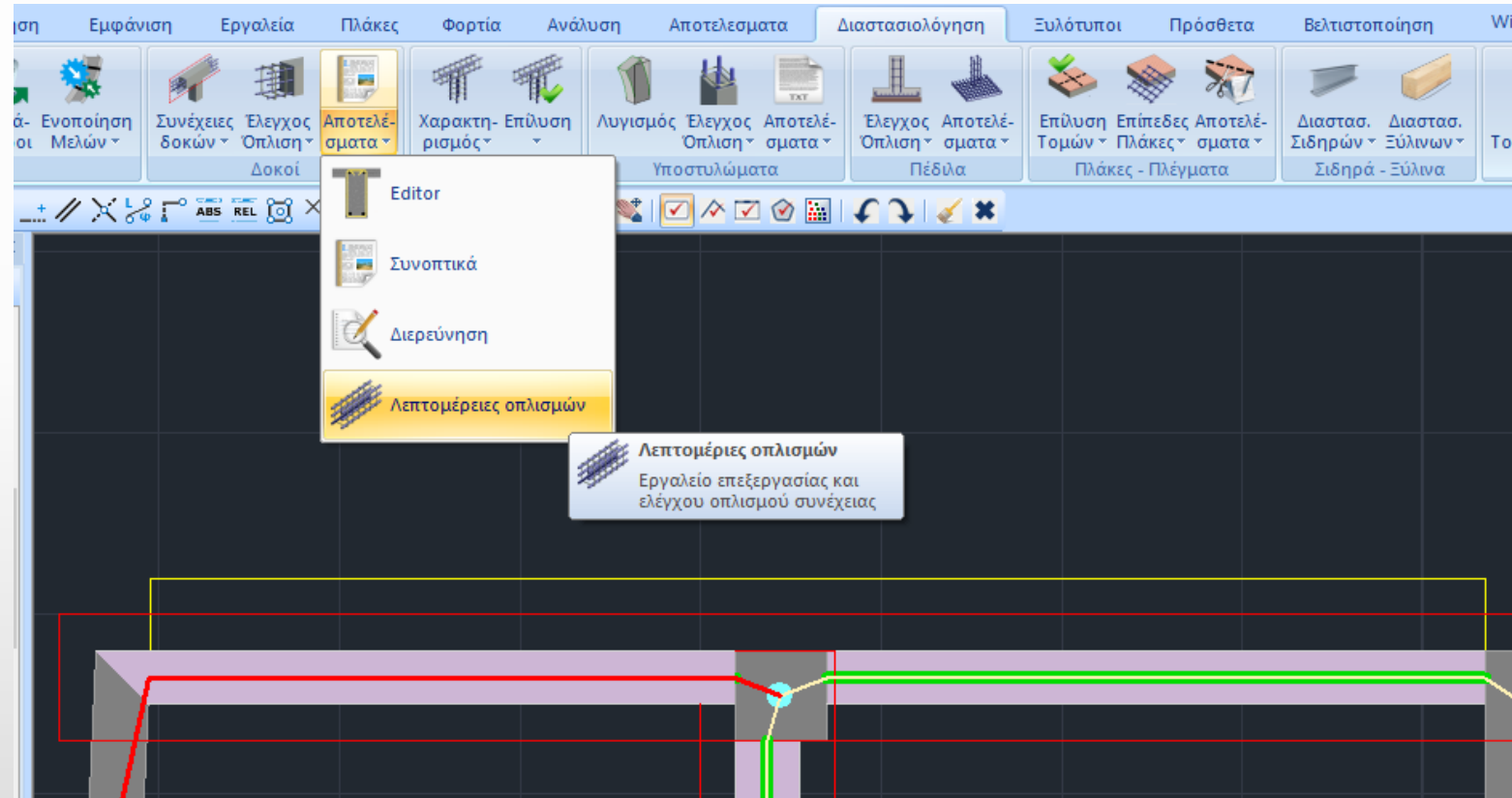
➤ Υπολογίζεται η απομένουσα επιφάνεια οπλισμών : $A_s,corr = A_s,init \cdot (1 - A.M.\%)$

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Δοκοί – Λεπτομέρειες Οπλισμών

➤ Σε μία μελέτη αποτίμησης κατασκευής από Ο.Σ. κατά ΚΑΝ.ΕΠΕ. ο χρήστης ορίζει τους υφιστάμενους διαμήκεις οπλισμούς και συνδετήρες στις δοκούς, μέσω του εργαλείου επεξεργασίας οπλισμών «Λεπτομέρειες Οπλισμών».



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Δοκοί – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού

➤ Με το κουμπί «Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού» ανοίγει η πλατφόρμα εισαγωγής των δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου.

The screenshot displays the SCADA Pro software interface for structural analysis. The main window shows a cross-section of a beam with three spans labeled Δ1, Δ2, and Δ3. The reinforcement layout is detailed with dimensions and bar counts. Below the main window, there is a control panel with the following sections:

- Γεωμετρία**: Includes fields for 'Αριθμός Ανοιγμάτων' (5) and 'Επικάλυψη (mm)' (25).
- Ανοίγμα**: Includes fields for 'Αριθμός' (1), 'Μήκος (m)' (3.25), 'Ονομασία' (1), 'Lan.(cm)' (325), 'b(cm)' (30), 'h(cm)' (60), 'h0(cm)' (0), and 'h1(cm)' (0).
- Κρίσιμο Μήκος Αριστερά (m)**: 0.6
- Κρίσιμο Μήκος Δεξιά (m)**: 0.6
- Τρόπος Οπλισής**: Includes a diagram showing the reinforcement layout with dimensions 0.30m, Δ1 (103), and 0.50m.
- Στηρίξεις**: Includes fields for 'Πλάτος (cm)' (Αριστερά: 30, Δεξιά: 50).
- Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού**: A button highlighted in red, indicating the current function.

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Δοκοί – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού

➤ Δυνατότητα ορισμού των δεδομένων:

- Ανά θέση του δομικού μέλους (Αρχή – Άνοιγμα - Τέλος)
- Ανά διαφορετική διάμετρο οπλισμών

➤ Δυνατότητα επιλογής είτε της γενικής μεθόδου (reff) είτε της απλοποιητικής (Icorr).

➤ Δυνατότητα αντιγραφής των δεδομένων σε άλλα μέλη.

➤ Υπολογισμός ροπής διαρροής, περιθώριο στροφής, ενεργή δυσκαμψία βάσει τροποποιημένων αντοχών.

Δομική Αξιολόγηση υφιστάμενων κατασκευών

Αρχή	<input type="checkbox"/> Να μην ληφθεί υπόψη η Δομική Αξιολόγηση
Rebar mm Όνομαστική 16 Μετρούμενη 14 <input type="checkbox"/> Συνδετήρας	
Μέθοδος reff	Icorr $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 0
Δοκίμια Χάλυβα M.T. 367 T.A. 19.16	Enter Service Life duration 50 Age of structure 17
Υπολογισμός	Κατηγορία σπουδαιότητας I Κατηγορία Εκθεσης XC4
fy _{corr} predicted = 294.62 Icorr predicted = 3.36 % deviation = 0.05 Φ (mm) (corroded) = 12.10 As corroded (mm ²) = 114.97	Carbonation Depth [CRB] mm 20 Chloride Front [CL] mm 20 % Cl w.t of concrete (at cover) [CLC] 0.028 Cracks (Structural /Non Structural) [CR] mm 0.3 Concrete Resistivity (K Ωcm) [R] 15 Half - Cell (mV)(Cu/CuSO4) [HC] 200 Corrosion Rate (Icorr, LPR) [CORR] 0 % rebar mass loss [RD] 12.5 Concrete Moisture Content ,EMC (%) [MST] 10
M-N	Τεύχος
OK	
Cancel	

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

- Δοκοί – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού
- Εξαγωγή τεύχους υπολογισμών της μεθόδου.

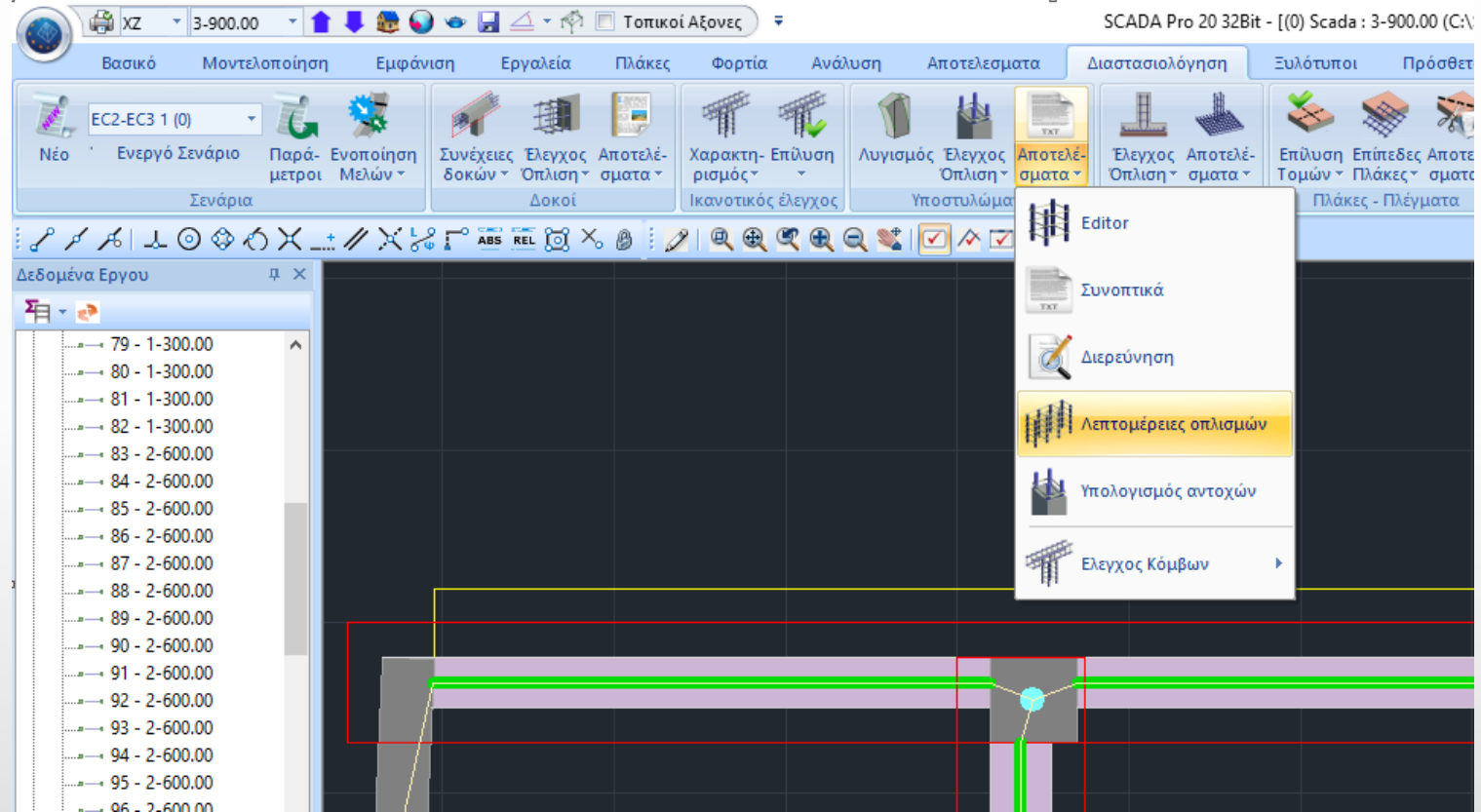
Damage	Code	Damage Index			
		1	2	3	4
Carbonation Depth (mm)	CRB				35.000
Chloride Front (mm)	CL				35.000
% Cl wt of concrete (at concrete cover)	CLC			0.028	
Cracks (Structural & Non Structural) (mm)	CR	0.000			
Concrete Resistivity (KΩcm)	R	22.000			
Half - Cell (mV)(Cu/CuSO4)	HC	200.000			
Corrosion Rate (I _{corr} , LPR)	CORR	0.000			
∅mm (Rebar Diameter)	D		16.000		
% rebar mass loss	RD	1.000			
Concrete Moisture Content ,EMC (%)	MST	1.000			
Concrete Strength	CS		20.000		
Στοιχεία Υλικών	Μέθοδος Υπολογισμού				
	Απλοποιητική I _{corr}	Μέθοδος reff			
Δείκτης Αξιοπιστίας (β)					3.80
CDI					1.97
EI					1.50
GDI					1.73
Τιμή reff					0.88
Πρόβλεψη Μέσης τιμής πυκνότητας ρεύματος I _{corr} (μΑ/cm ²) (Για χρονοστόχο)					1.98

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Υποστυλώματα , Τοιχεία – Λεπτομέρειες Οπλισμών

➤ Ομοίως ο χρήστης ορίζει τους υφιστάμενους διαμήκεις οπλισμούς και συνδετήρες στα υποστυλώματα και τοιχεία, μέσω του εργαλείου επεξεργασίας οπλισμών «Λεπτομέρειες Οπλισμών».



«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Υποστυλώματα , Τοιχεία – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού

- Με το κουμπί «Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού» ανοίγει η πλατφόρμα εισαγωγής των δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου.

Editor Υποστυλωμάτων

Γεωμετρία

Κύριος Οπλισμός

Συνδετήρες

Διαγράμματα

Εντατικά

Αποτελέσματα

Διευκρίνιση

Παραμορφώσεις

Ελεγχος

Επαναυπολογισμός

Ελεγχος Κόμβου

Y = 900.00

+ M-N -

Copy

Paste

Δομική Αξιολόγηση

OK

Cancel

Επίκάλυψη 25 mm

Υψη (m)

H 3

h1 0.6

h2 1.2

Τοποθέτηση Διαστάσεων

X Y XYZ

Ανάπτυγμα

Σχεδιασμός Αναπτύγματος

Πάνω

Κάτω

Συνέχεια

Συνέχεια

Πάχος (cm) 60

Πάχος (cm) 60

Επίκάλυψη (mm) 25

Επίκάλυψη (mm) 25

Κλίμακες Σχεδίασης

Λεπτομέρεια 1: 50

Ανάπτυγμα 1: 20

Όνομασία	K1 - 29
Τύπος	ΣΤΥΛΟΣ
Διαστάσεις (cm)	50 / 50
H - Hcr (cm)	300 / 60
Εμβαδόν (cm ²)	2500.00 / 2500.00
ρmax % - cm ²	4.0 - 100.00
ρcalc % - cm ²	1.01 - 25.13

Ράβδοι

8φ20

1 13Σφ8/10.00 (h2=1.20)

1 11Σφ8/10.00 (hup=1.20)

1 7Σφ8/10.00 (h1=0.60)

L (m) = 1.94

2 13Σφ8/10.00 (h2=1.20)

2 11Σφ8/10.00 (hup=1.20)

2 7Σφ8/10.00 (h1=0.60)

L (m) = 1.46

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

➤ Υποστυλώματα , Τοιχεία – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού

➤ Δυνατότητα ορισμού των δεδομένων:

- Ανά άκρο του δομικού μέλους (Αρχή – Τέλος)
- Ανά διαφορετική διάμετρο οπλισμών

➤ Δυνατότητα επιλογής είτε της γενικής μεθόδου (r_{eff}) είτε της απλοποιητικής (I_{corr}).

➤ Δυνατότητα αντιγραφής των δεδομένων σε άλλα μέλη.

➤ Υπολογισμός διαγράμματος αλληλεπίδρασης, περιθώριο στροφής , ενεργή δυσκαμψία βάσει τροποποιημένων αντοχών.

Δομική Αξιολόγηση υφιστάμενων κατασκευών

Αρχή ▼
Αρχή
Τέλος

Να μην ληφθεί υπόψη η Δομική Αξιολόγηση

Rebar mm
Όνομαστική 20 Μετρούμενη 18 Συνδετήρας

Μέθοδος I_{corr} I_{corr} $\mu A/cm^2$
0.6

Δοκίμια Χάλυβα
M.T. 367 Enter Service Life duration 50
T.A. 19.16 Age of structure 17

Υπολογισμός

Κατηγορία σπουδαιότητας II
Κατηγορία Εκθεσης XC4

Carbonation Depth [CRB] mm 25
Chloride Front [CL] mm 25
% Cl w.t of concrete (at cover) [CLC] 0.022
Cracks (Structural /Non Structural) [CR] mm 0.1
Concrete Resistivity ($K\Omega cm$) [R] 22
Half - Cell (mV)(Cu/CuSO4) [HC] 240
Corrosion Rate (I_{corr} , LPR) [CORR] 0
% rebar mass loss [RD] 2
Concrete Moisture Content ,EMC (%) [MST] 10

Τεύχος

fy measured = 367.00
fy predicted (today) = 363.27
fycorr predicted = 346.36
% deviation = 0.01
 Φ (mm) (corroded) = 19.06
As corroded (mm^2) = 285.35

Προσθήκη
Ενημέρωση
Διαγραφή
Αντιγραφή
Επικόλληση
M-N
OK
Cancel

«Μέθοδος Συντελεστή Δομητικής Υποβάθμισης»

Εφαρμογή στο SCADA Pro.

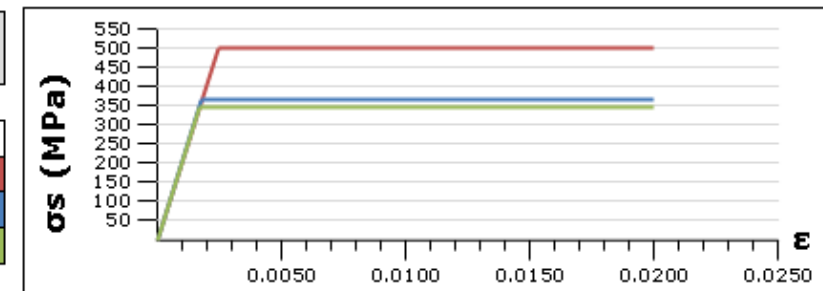
- Υποστυλώματα , Τοιχεία – Λεπτομέρειες Οπλισμών – Δομική Αξιολόγηση Οπλισμού
- Εξαγωγή τεύχους υπολογισμών της μεθόδου.

Σελίδα : 1						
Δομητική Αξιολόγηση Υφιστάμενων Στοιχείων Οπλισμένου Σκυροδέματος						
Μέλος :	29	Αρχή	Ονομαστική Διάμετρος (mm) :	20	Μετρούμενη Διάμετρος (mm) :	18
Δοκίμια Χάλυβα	Μέση Τιμή (MPa)	367.00	Τυπική Απόκλιση	19.16		
Στοιχεία Υλικών		Τιμή				
Κατηγορία Σπουδαιότητας	II					
Κατηγορία Έκθεσης	XC4					
Ηλικία Κατασκευής (έτη)	50					
Χρονοστόχος (έτη)	17					
Ποιότητα Σκυροδέματος	B500C					
Ποιότητα Χάλυβα	C20/25					
Όριο Διαρροής fy αδιάβρωτου οπλισμού (MPa)	367					
Damage	Code	Damage Index				
		1	2	3	4	
Carbonation Depth (mm)	CRB			25.000		
Chloride Front (mm)	CL			25.000		
% Cl w.t of concrete (at concrete cover)	CLC	0.022				
Cracks (Structural & Non Structural) (mm)	CR			0.100		
Concrete Resistivity (KΩcm)	R	22.000				
Half - Cell (mV)(Cu/CuSO4)	HC		240.000			
Corrosion Rate (Icorr, LPR)	CORR	0.000				
Ømm (Rebar Diameter)	D	20.000				
% rebar mass loss	RD		2.000			
Concrete Moisture Content ,EMC (%)	MST				10.000	
Concrete Strength	CS		20.000			

Στοιχεία Υλικών	Μέθοδος Υπολογισμού	
	Απλοποιητική Icorr	Μέθοδος reff
Δείκτης Αξιοπιστίας (β)	-	
CDI	-	
EI	-	
GDI	-	
Τιμή reff	-	
Πρόβλεψη Μέσης τιμής πυκνότητας ρεύματος Icorr (μΑ/cm2) (Για χρονοστόχο)	0.81	
Πρόβλεψη fy διαβρωμένου οπλισμού (MPa) (Για χρονοστόχο)	max	349.91
	min	346.36
Απομείωση διατομής χάλυβα για χρονοστόχο (%)	0.09	
Πρόβλεψη διατομής διάβρωμένου χάλυβα (mm2) για χρονοστόχο	19.06	
Συνολικό ποσοστό οπλισμού As αδιάβρωτου χάλυβα (mm2)	314.16	
Συνολικό ποσοστό οπλισμού As διαβρωμένου χάλυβα (mm2)	285.35	

Διάγραμμα Τάσεων Παραμορφώσεων

E (Gra)	200.00	
Αδιάβρωτο	500.00	
Εργαστηριακό	367.00	
Διαβρωμένο	346.36	



Ευχαριστώ
Για την Προσοχή σας



Βασίλειος Τσιτσίας
Πολιτικός Μηχανικός
Παν.Πατρών