

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Ω.Σ.



Χάρης Αποστολόπουλος
Εργαστήριο
Τεχνολογίας και Αντοχής των Υλικών
Πανεπιστήμιο Πατρών

21ο Φοιτητικό Συνέδριο

“ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 2014”

Πάτρα 17-18 Φεβρουαρίου 2015

Σύμφωνα με την **ASCE** (American Society Civil Engineering , 2010)
ο κόστος της αποκατάστασης έργων υποδομής
λόγω διάβρωσης του σιδηροοπλισμού
υπολογίζεται 18 φορές υψηλότερο από το
κόστος αποκατάστασης λόγω σεισμικών
συμβάντων.

Ταράκτιες πόλεις με υπέροχη θέα και πολλά χλωριόντα



Gold Coast, Queensland

Κατασκευές σε Θαλάσσιο περιβάλλον



Concrete deterioration of bridge piles

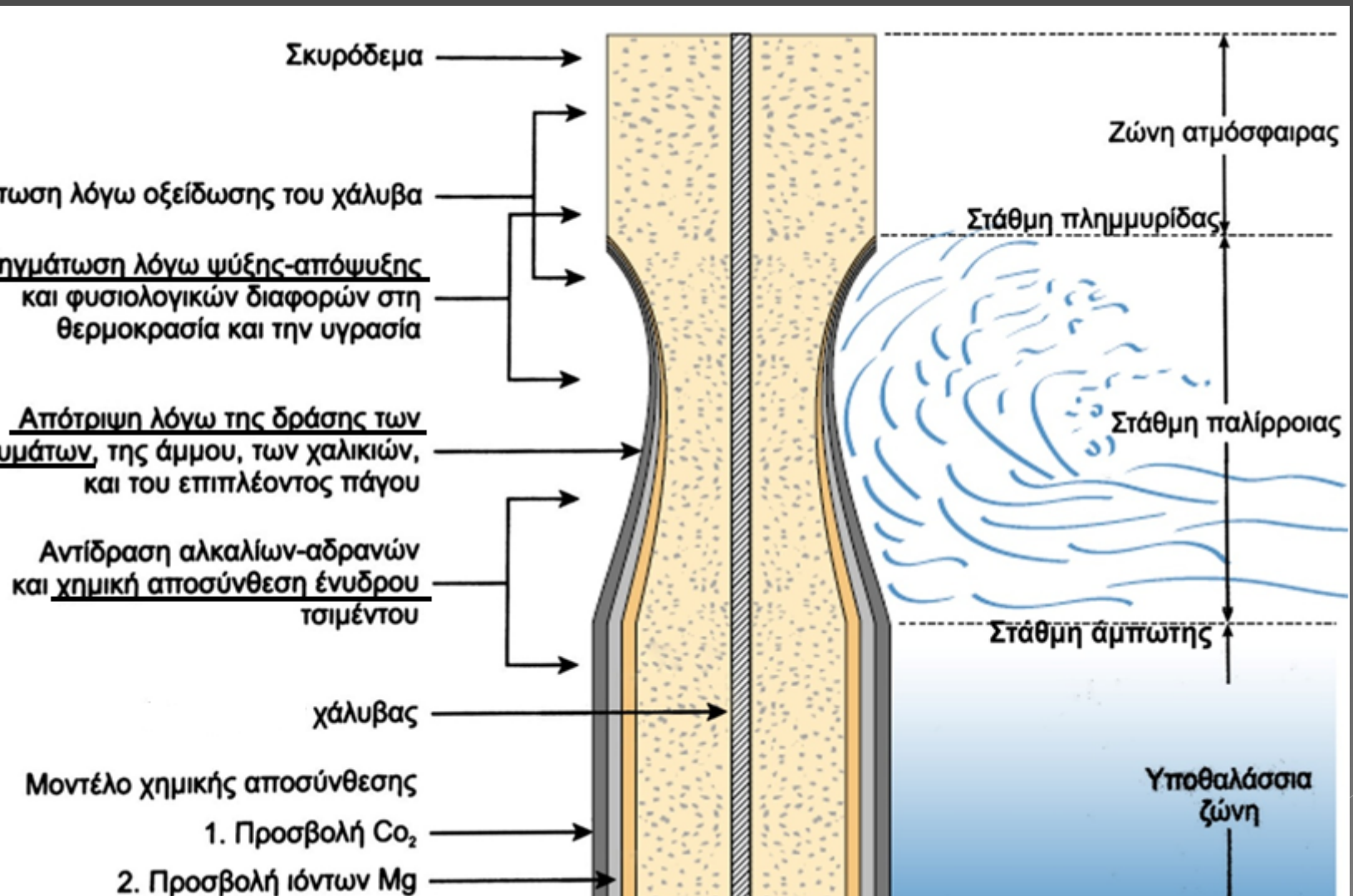
Source: Road Transport Authority (RTA), NSW

EN 14629 και ACI 2001 καθορίζουν τα όρια συγκέντρωσης χλωριόντων σκυρόδεμα. Για τυπικό όριο 0.6%, η πιθανότητα εξάχνωσης του σιδηρού



Κατασκευές σε Θαλάσσια ατμόσφαιρα

Φυσικές -Χημικές και Μηχανικές Φθορές



Μηχανισμός πρόκλησης Τοπικής Διάβρωσης

Διάβρωση με βελονισμούς
και δράσης χλωριόντων

Χλωριόντα προερχόμενα από:

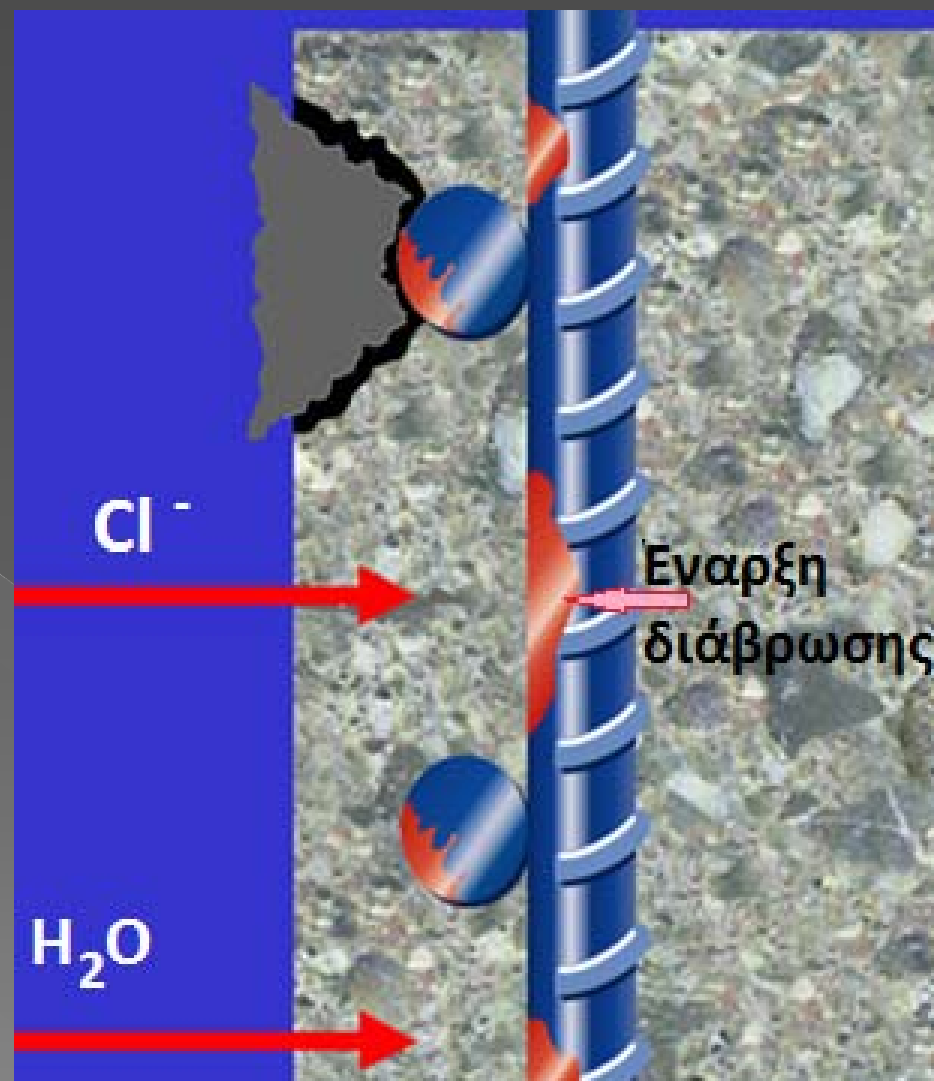
• σταγονίδια θαλασσινού νερού

• άμεση επαφή με θαλασσινό νερό

• παγολυτικά άλατα

• βιομηχανικά αρμυρά ύδατα

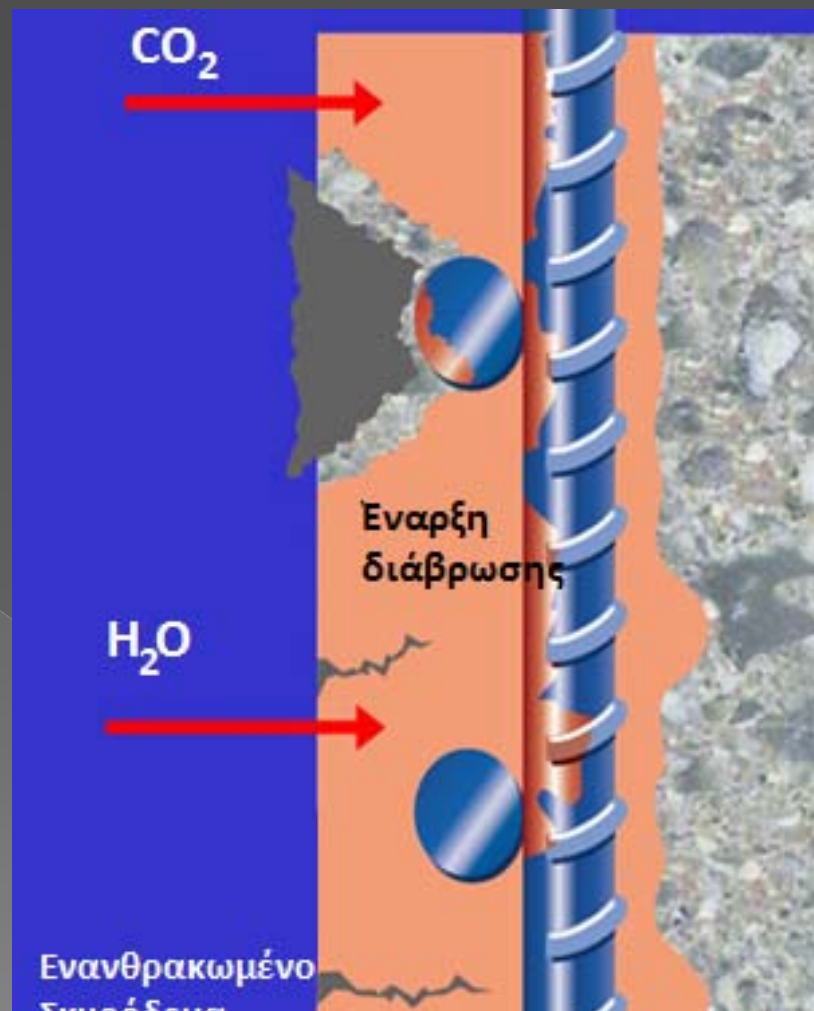
• πυρκαγιά PVC, αέριο HCL



Αποσύνθεση προέλευσης Ομοιόμορφης ή Γενικής Διάβρωσης

Ανθράκωση (CO_2)
Αποπλυση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$
Οι παράγοντες δημιουργίας
αλακικών ή θειικών αλάτων

Παράμετροι που επιδρούν
Ποιότητα και πάχος επικάλυψης
Κατηγορία τσιμέντου
Συνθήκες περιβάλλοντος



Συνδυασμός περιβαλλοντικής δράσης CO₂

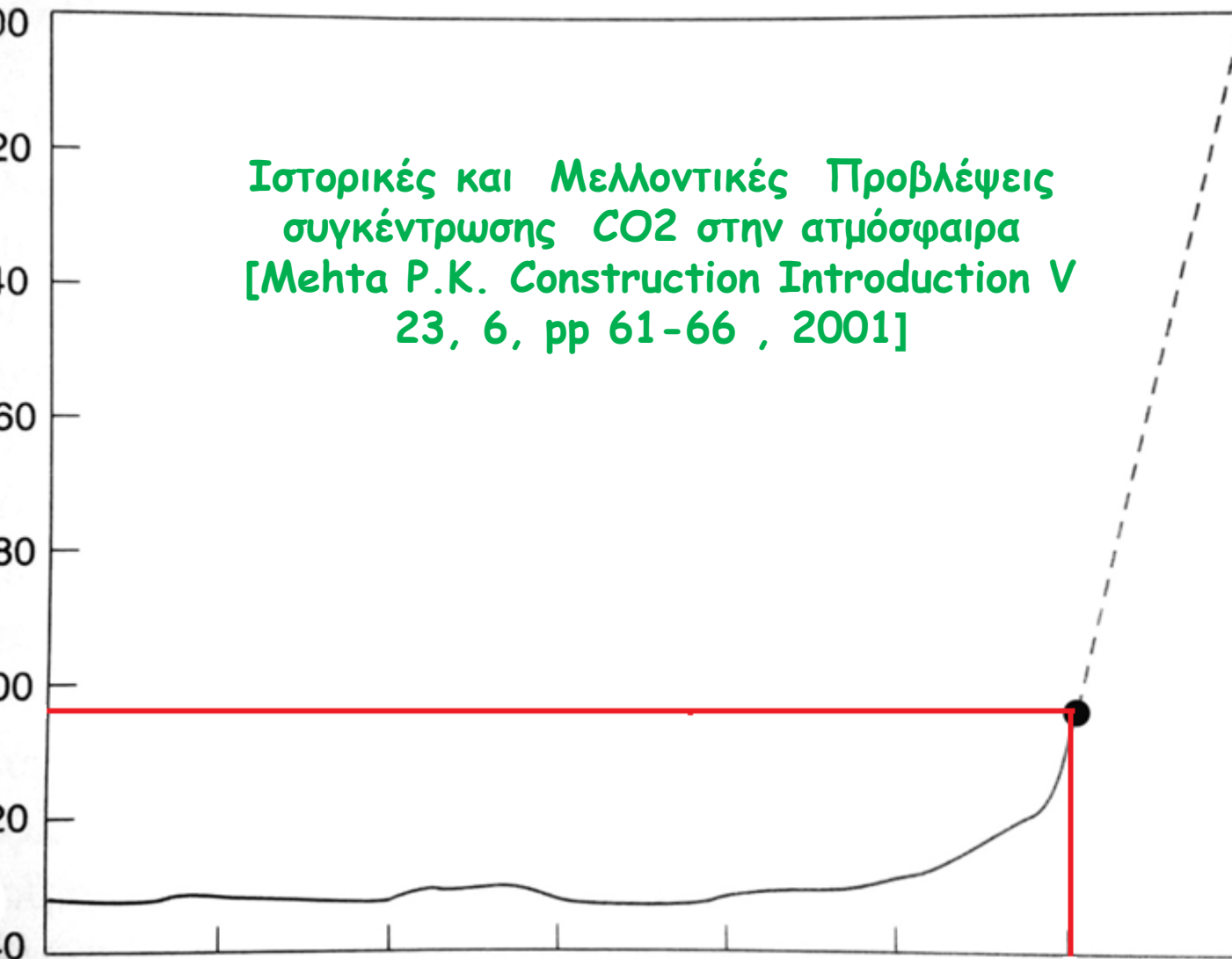


Κατάρρευση σε Parking



το CO₂ προκαλεί ενανθράκωση

Ιστορικές και Μελλοντικές Προβλέψεις
συγκέντρωσης CO₂ στην ατμόσφαιρα
[Mehta P.K. Construction Introduction V
23, 6, pp 61-66, 2001]





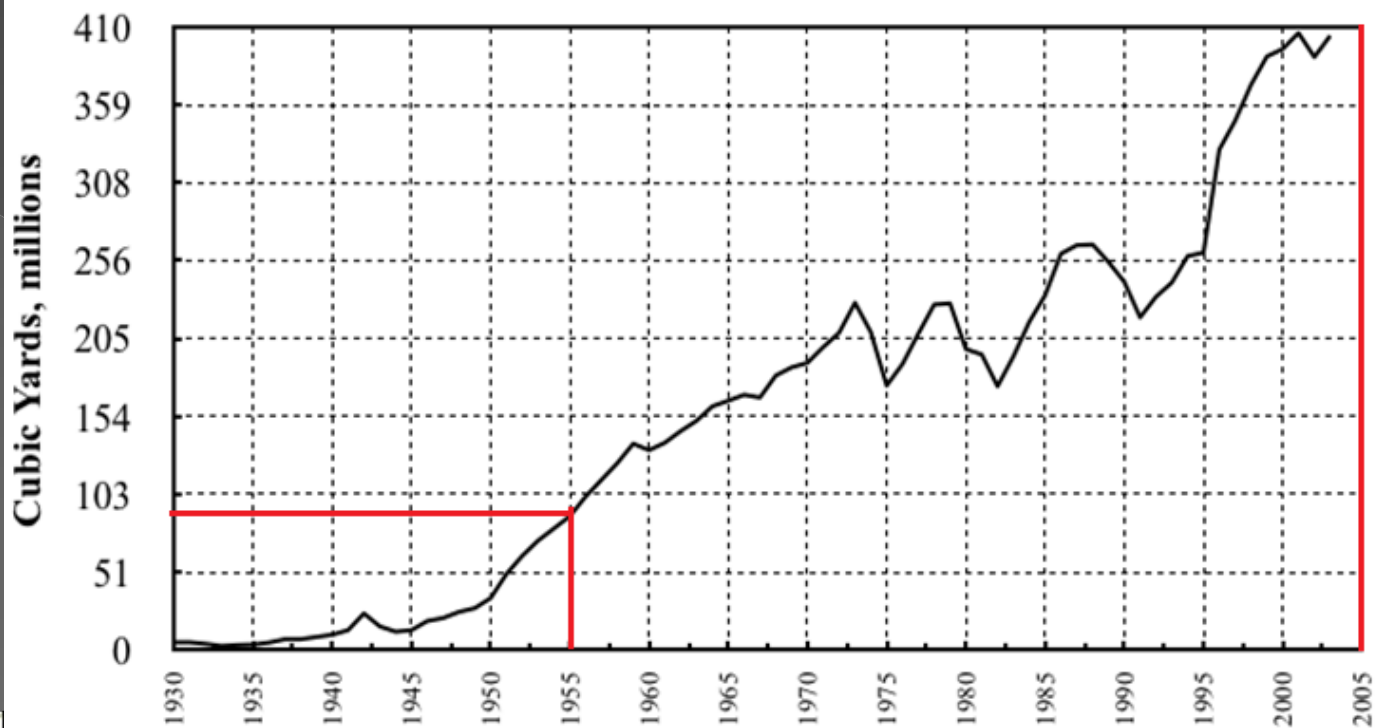
Η ενανθράκωση προκαλεί έντονο πορώδες που ευνοεί την διάχυση και την

Τυπική άποψη ενανθρακωμένου σκυροδέματος



ση το
μα ο
ατισμός
ακόμη
ότερο.

Historical U.S. Ready Mixed Concrete Production



Source- NRMCA

\$18-21 Billion / year spent on
Repair and Maintenance of
Concrete

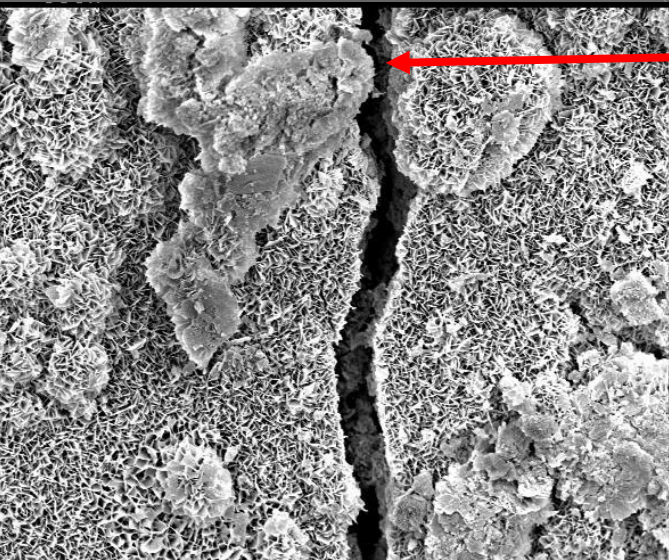
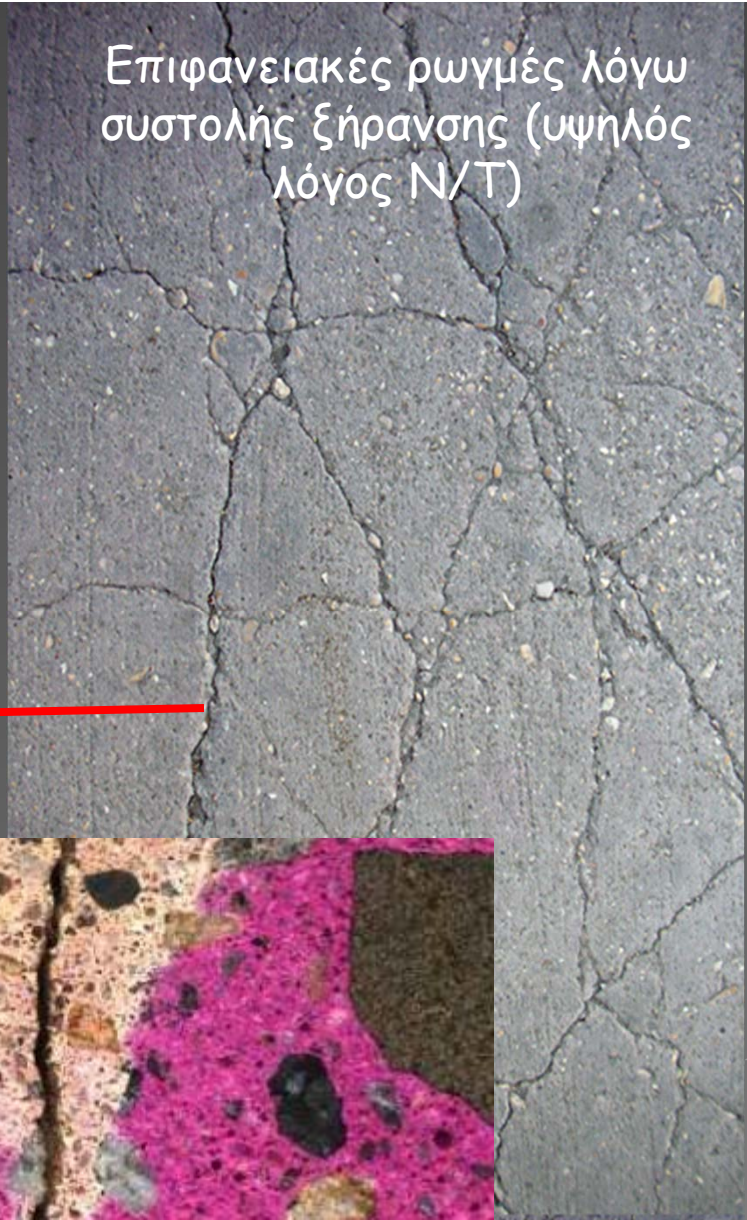


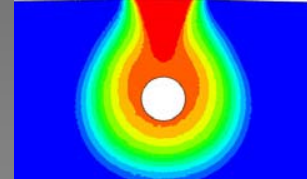
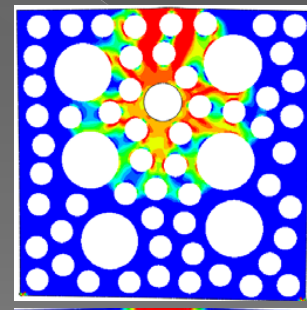
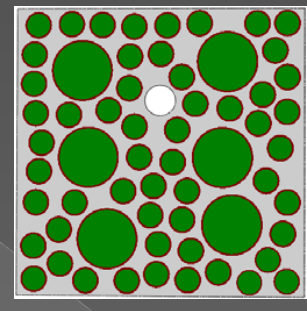
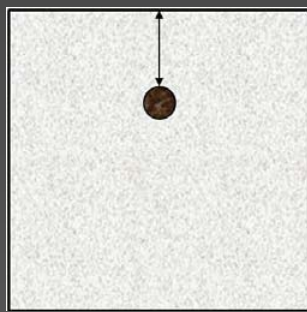
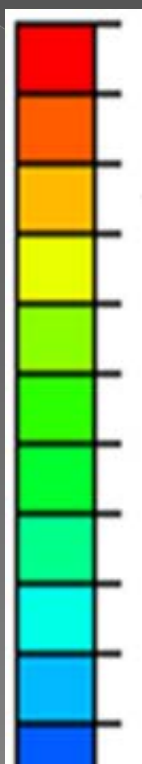
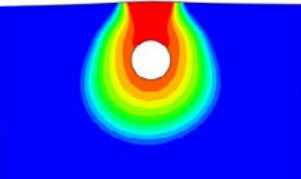
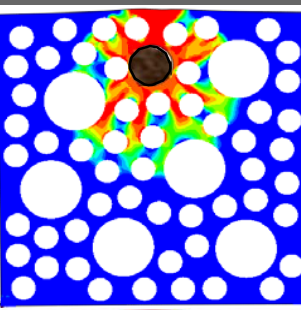
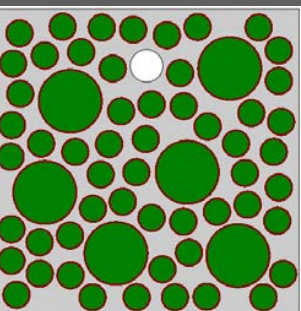
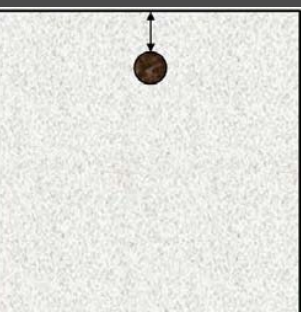
Πρόσφατα αποτελέσματα της
ερευνητικής ομάδας

Λήματα αρχίζουν με τη σκυροδέτηση .
τασία EN 1504 (με μειωτές νερού)



Επιφανειακές ρωγμές λόγω
συστολής ξήρανσης (υψηλός
λόγος Ν/Τ)

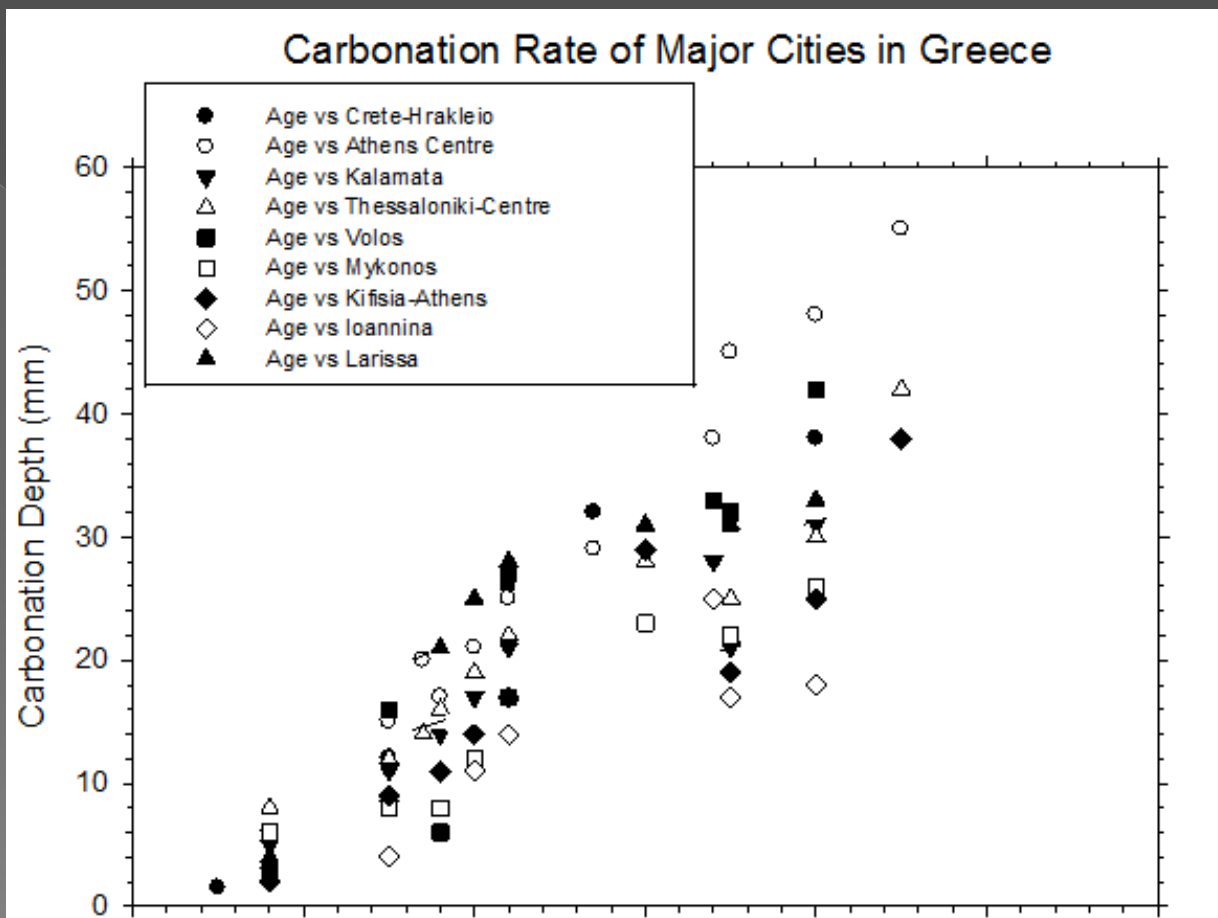




Προσομοίωση εκτίναξης
σκυροδέματος λόγω
διάβρωσης του χάλυβα
σε διαφορετικά βάρη

Σχολιάζοντας το πρότυπο ELOT EN 206-1

EN 206-1 οι μηχανικοί
για διατηρώντας τις
επικαλύψεις και
σκυροδέματος οι
θα εμφανίσουν
από ενανθράκωση η
όντα μετά από 50

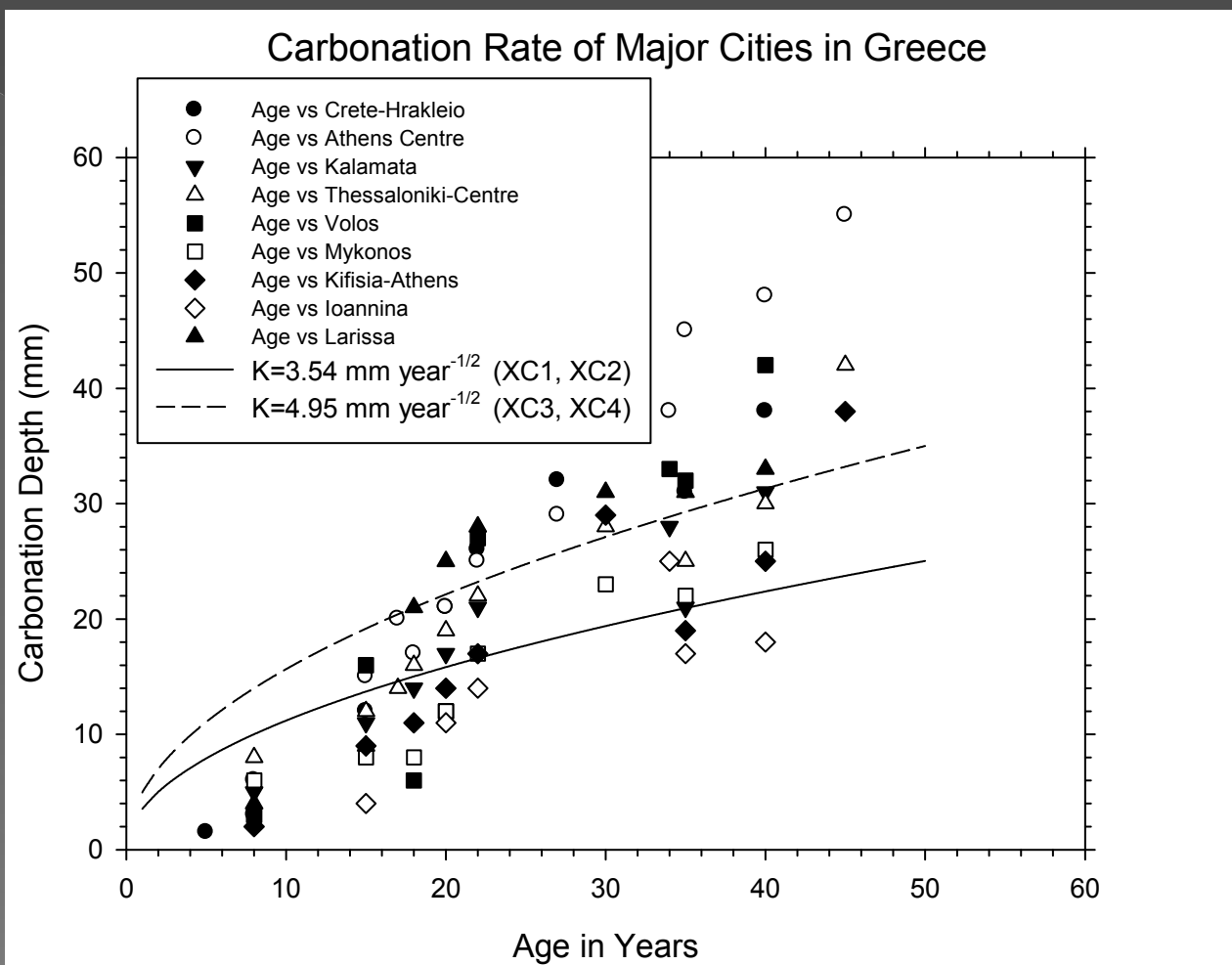


ελεστής ρυθμού ενανθράκωσης
νος έκθεσης σε έτη.
ελεστής διάχυσης .

K_s και D_s σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ ΕΝ 206-1 για διάφορες κατηγορίες έκθεσης

Κατηγορία έκθεσης κατασκευής	XC1	XC2	XC3	XC4
Min. Cover (mm)	25	25	35	35
W/C	0.65	0.6	0.55	0.5
Cement (Kgr)	280	300	300	320
K (mm year ^{-1/2})	3.54	3.54	4.95	4.95
D (mm ² / year)	6.25	6.25	12.25	12.25
T (years)	50	50	50	50

Σύγκριση μεταξύ μετρήσεων μας και των carbonation curves σύμφωνα με τον ELOT EN 206-1.

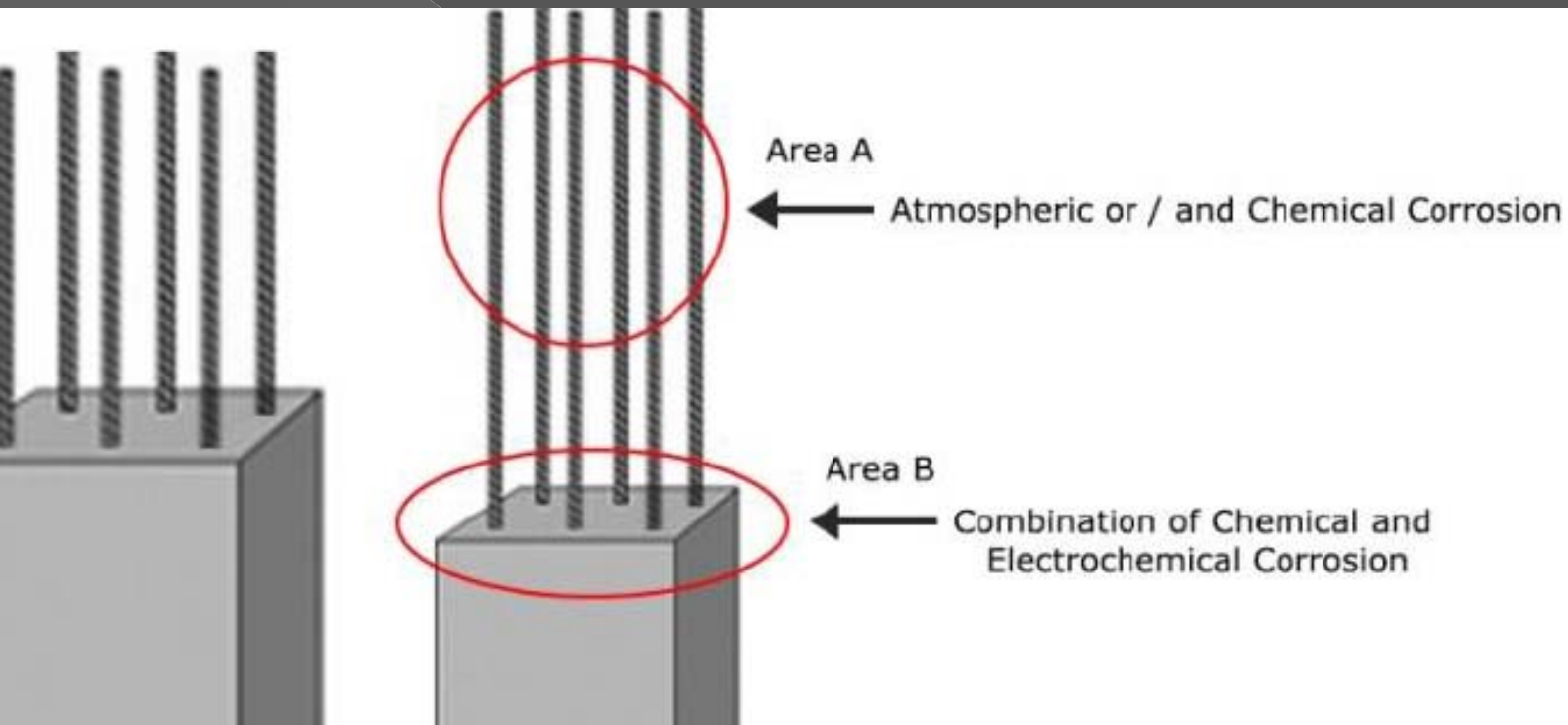


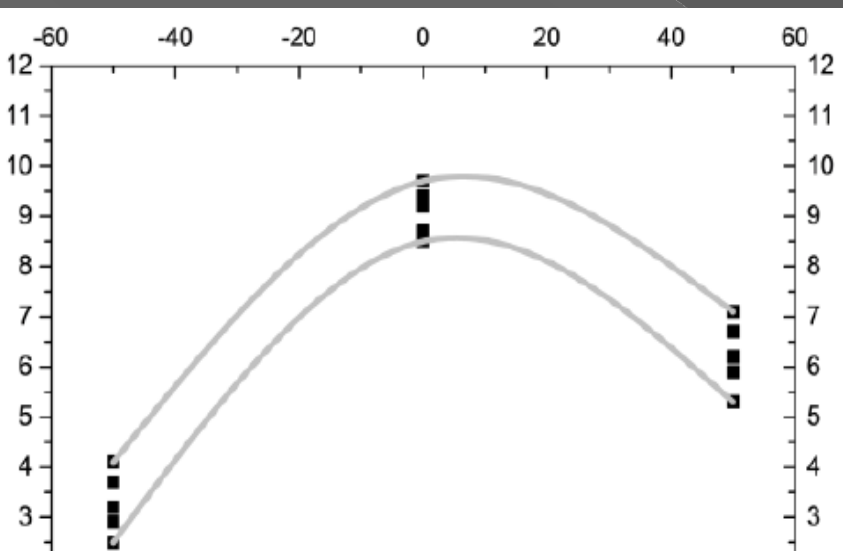
Η ανάλυση αποκαλύπτει ότι η εφαρμογή του προτύπου ELOT EN 206-1 δεν παρέχει επαρκή προστασία στα 50 έτη με πρώτη μέτρηση στα 10 έτη. Για μέτρα > 25 έτη είναι αναγκαίο ότι η προστασία είναι περίπου 50% της υπολογισμένης στην ΕΜΕΤα σύμφωνα με το Σχέδιο 1.

C.Apostolopoulos et al, (article in press 2015)

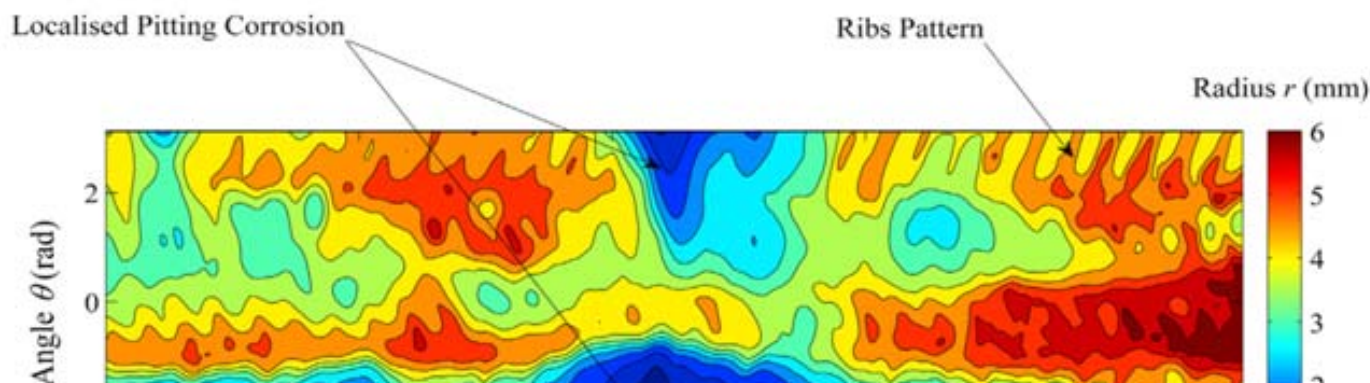
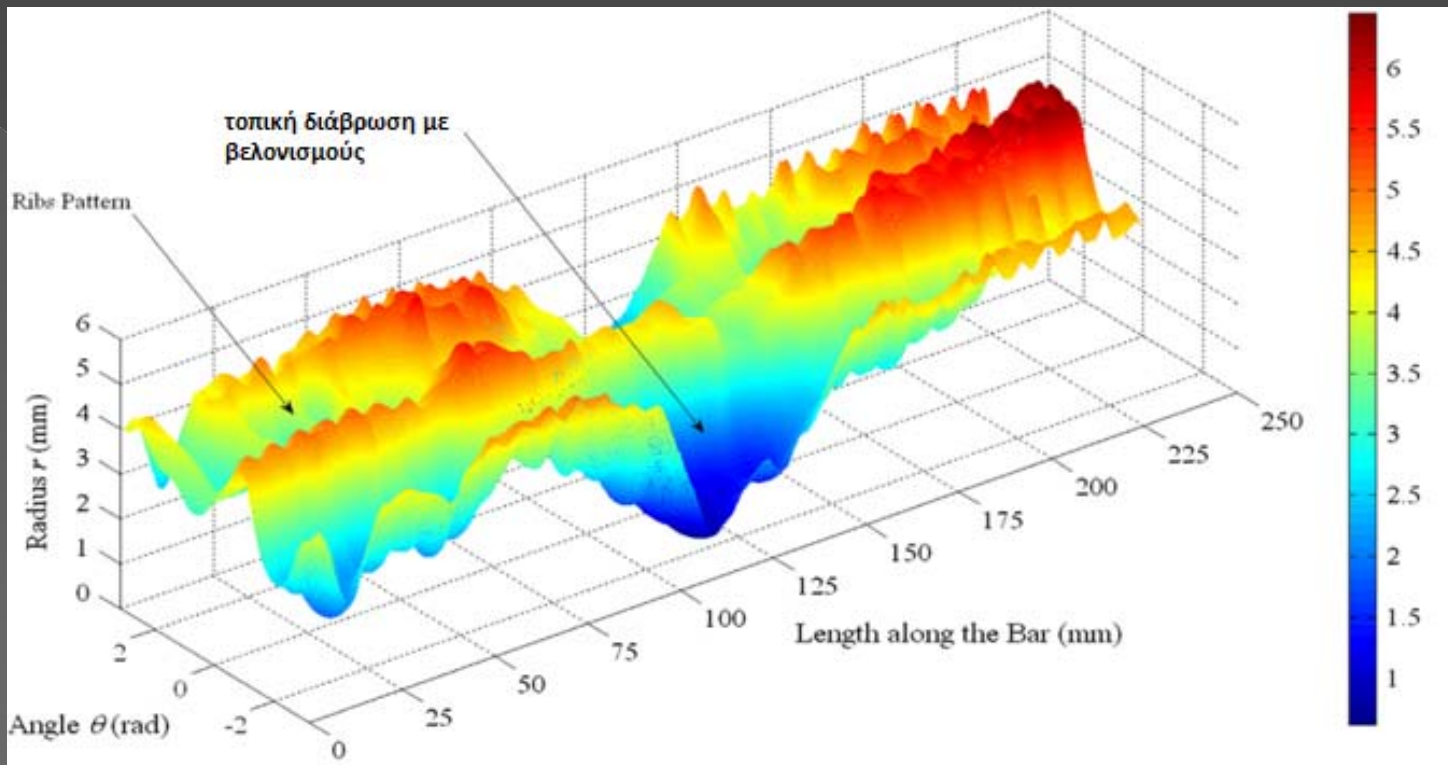
Mechanical Behavior of Corroded Protruding Rebars from unfinished Concrete Structures

Journal of Applied Mechanical Engineering

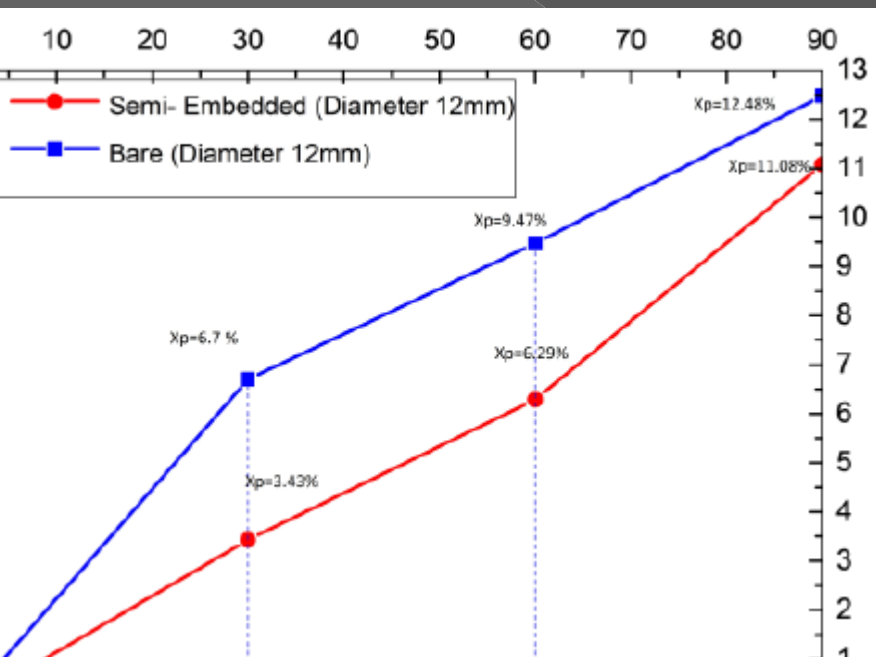




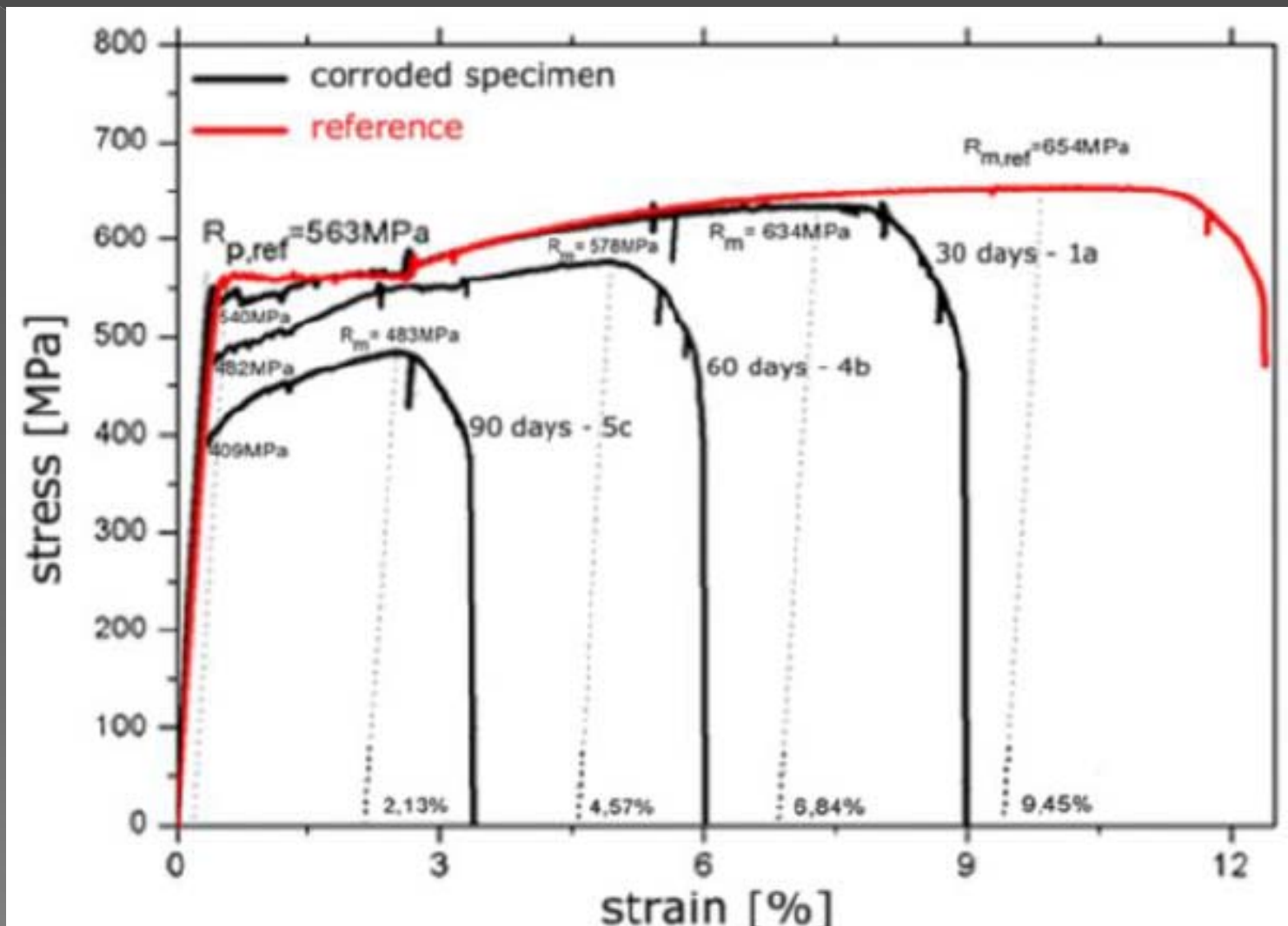
Η υποβάθμιση της μηχανικής απόδοσης του σιδηρού οπλισμού (και συνεπώς των κατασκευών) είναι χρονικά εξηρημένη. Η έννοια της χρονικής εξάρτησης (κανονιστικά) εισάγεται για πρώτη φορά



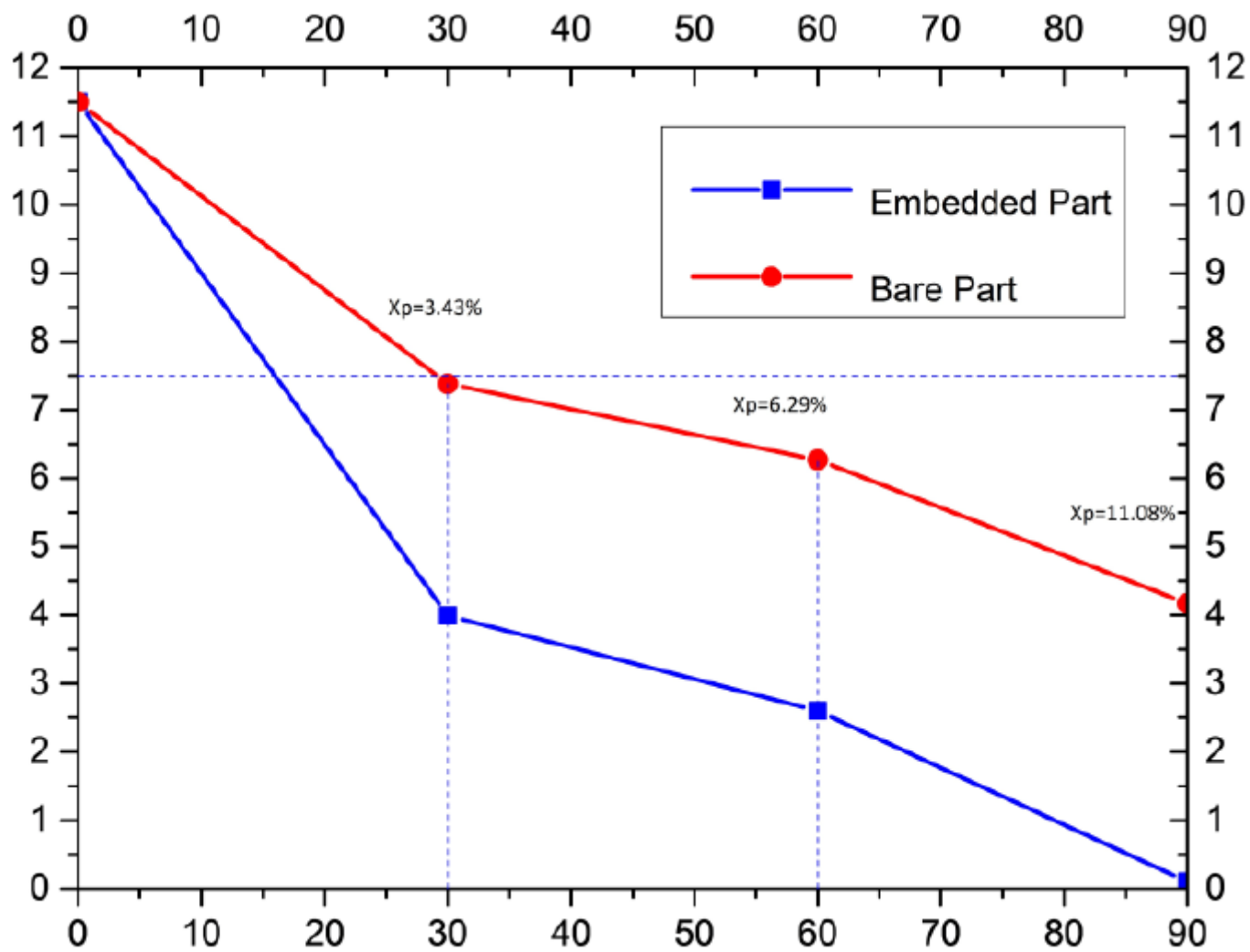




Protruding steel bars with an average mass loss at about 4% of a reference bar showed Yield strength and Uniform Elongation below the limits that are set by the EC2 for high ductility steels.



Plastic Deformation (%)

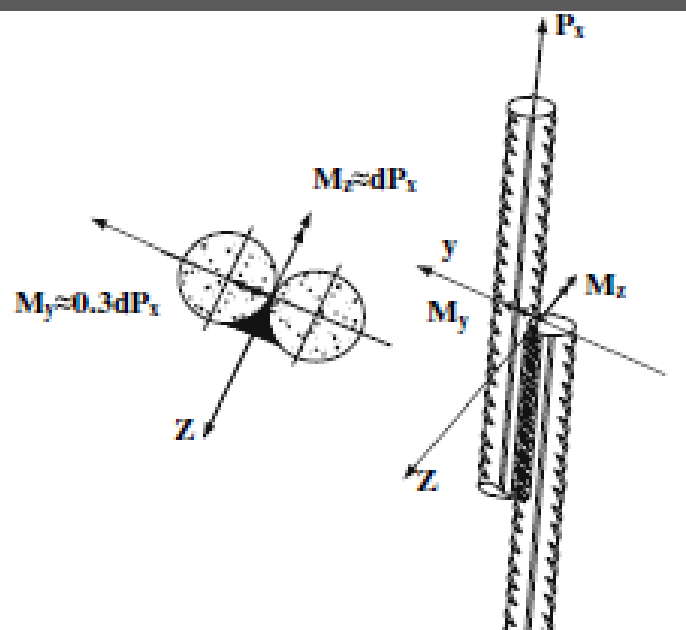


Επιπτώσεις από τη σύνδεση διαφορετικής κατηγορίας χαλύβων



The Impact of Corrosion on the Mechanical Behavior of Welded Splices of Reinforcing Steel S400 and B500_c

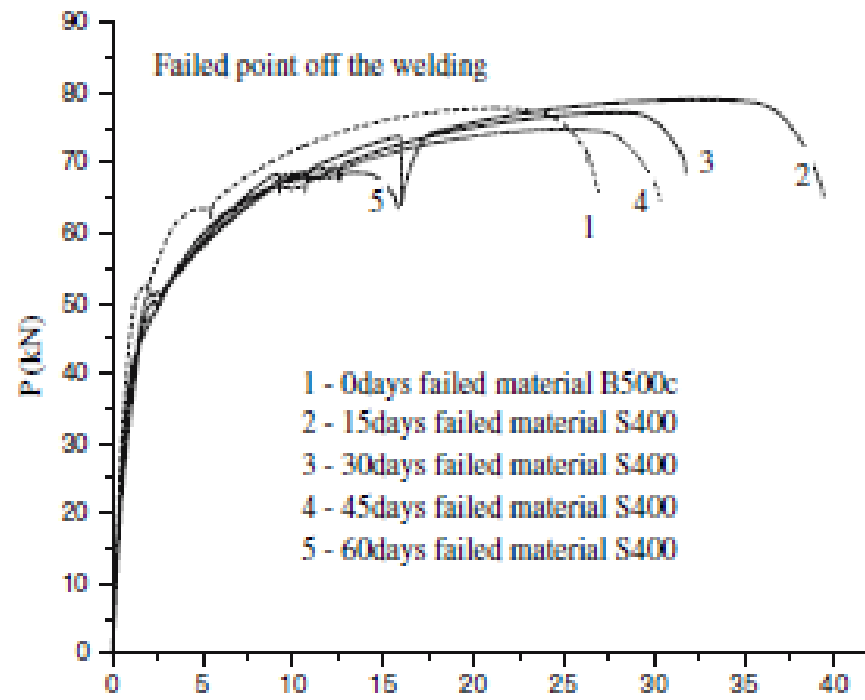
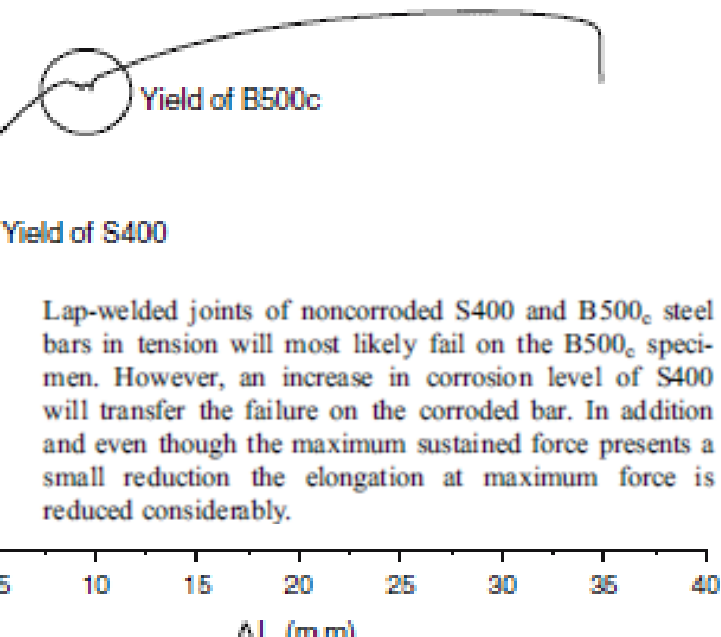
Ch. Alk. Apostolopoulos, D. Michalopoulos, and L. Dimitrov



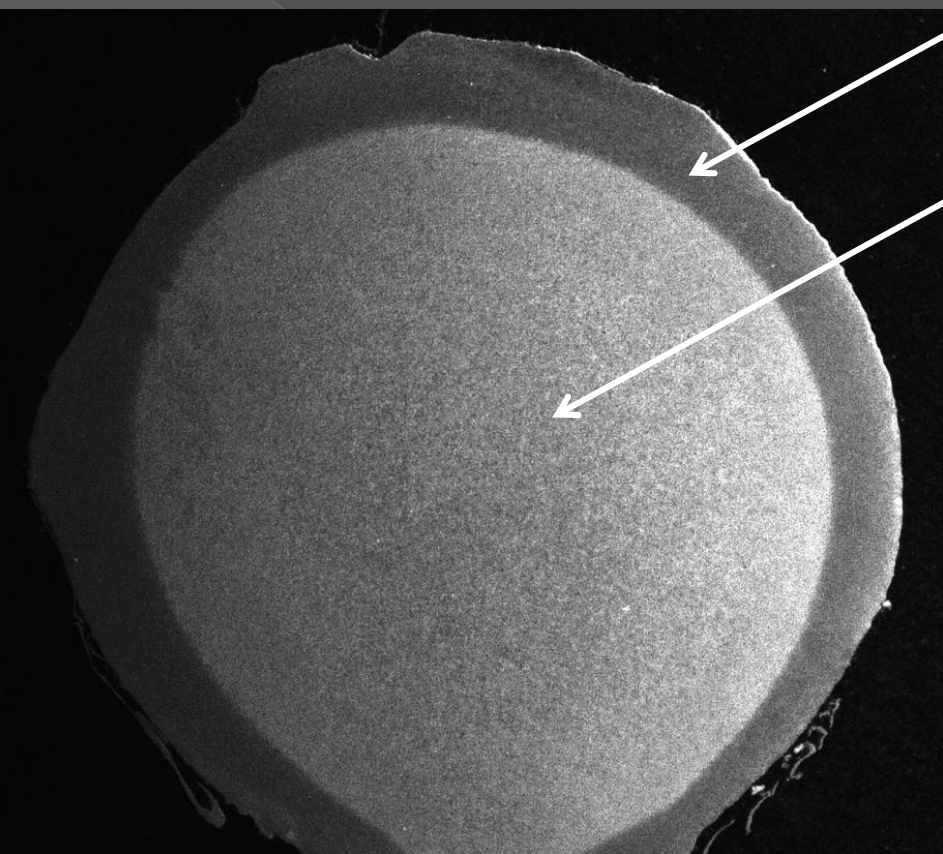
Επιπτώσεις από την σύνδεση διαφορετικής κατηγορίας χαλύβων

The Impact of Corrosion on the Mechanical Behavior of Welded Splices of Reinforcing Steel S400 and B500_c

Ch.Aik. Apostolopoulos, D. Michalopoulos, and L. Dimitrov



Τυπική άποψη διατομής του χάλυβα B500c



Μαρτενσίτης

Φεριτοπερλιτικός πυρήνας

Πειραματική Διαδικασία Διάβρωσης «γυμνών δοκιμίων»



Πειραματική Διάβρωση εγκιβωτισμένων ράβδων

- Πειραματικές δοκιμές σε 200 δοκίμια σπλισμένου σκυροδέματος Β500c $\Phi 8$, $\Phi 10$ & $\Phi 12$ μέχρι 180 ημέρες σε Θάλαμο αλατονέφωσης .

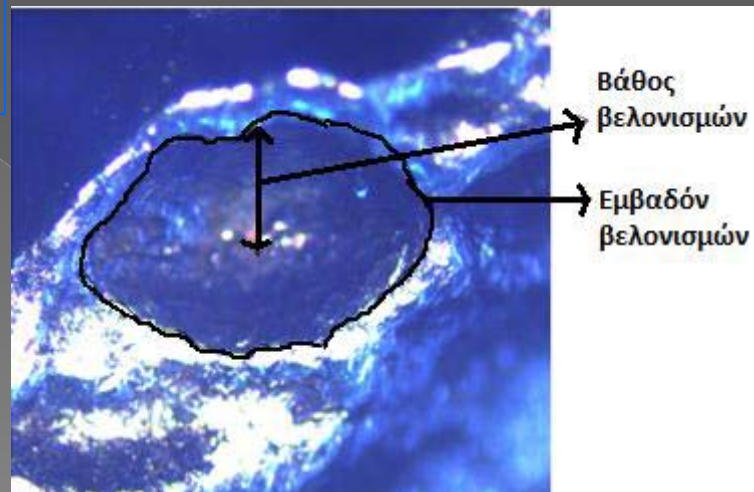
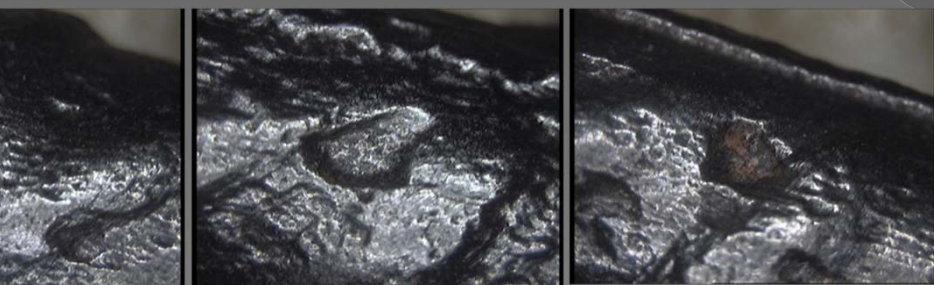


Εξέταση των βελονισμών (pits) of steel B500c , $\Phi 10$



Πράσινος κύκλος:
Μη διαβρωμένη
περιοχή .

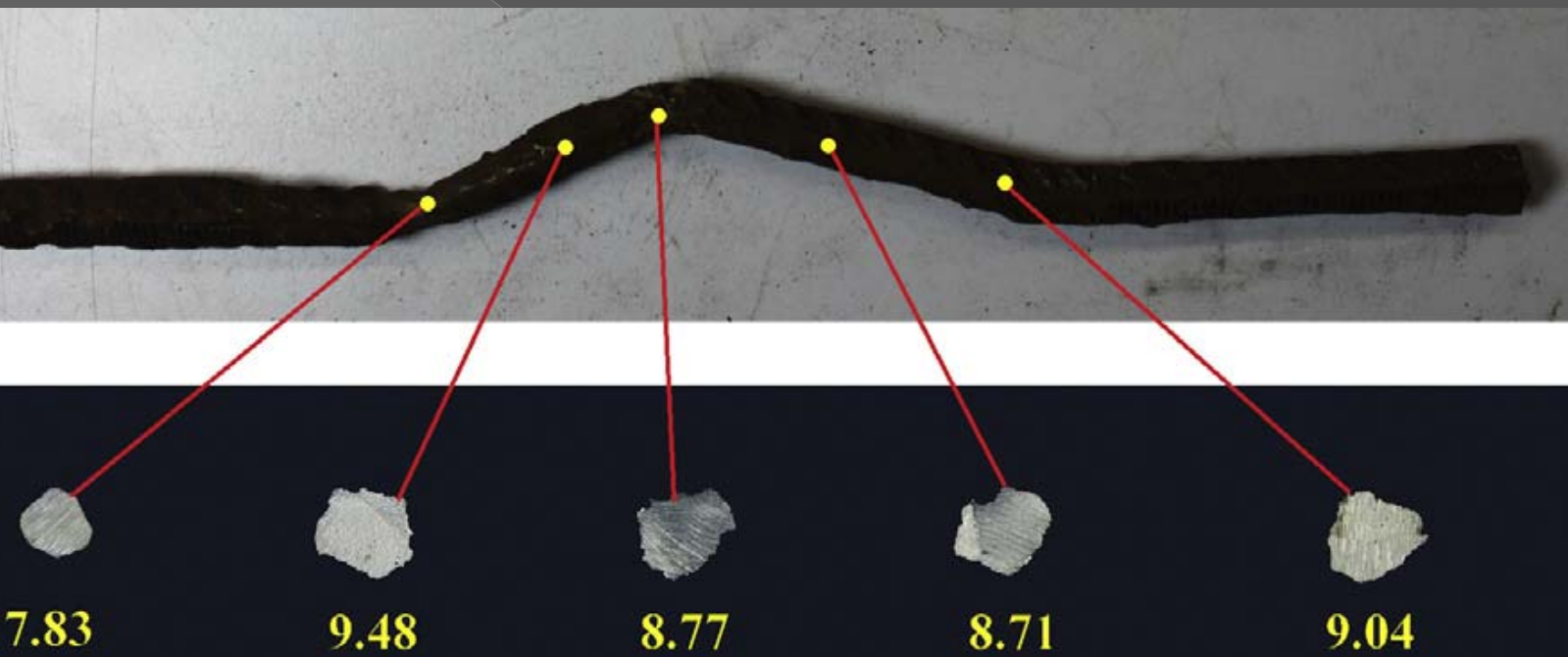
Κόκκινος κύκλος :
Θέσεις με έντονη
σημειακή Διάβρωση.



Βάθος
βελονισμών

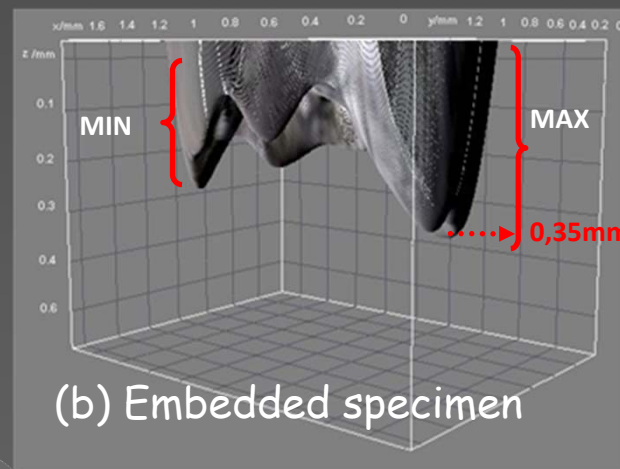
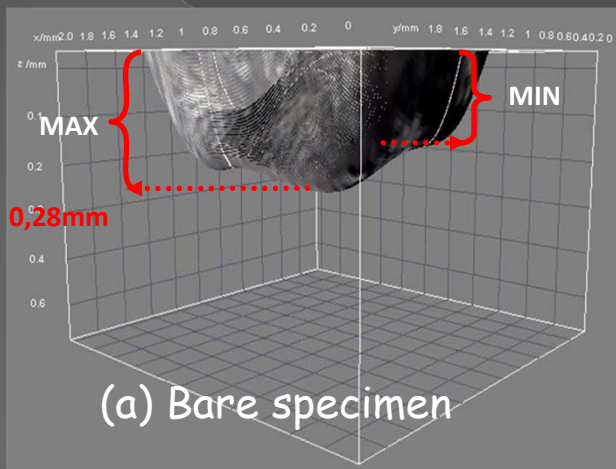
Εμβαδόν
βελονισμών

Μεταβολή της κατά μήκος διατομής
διαβρωμένης ράβδου $\Phi 10$



Εξέταση των βελονισμών

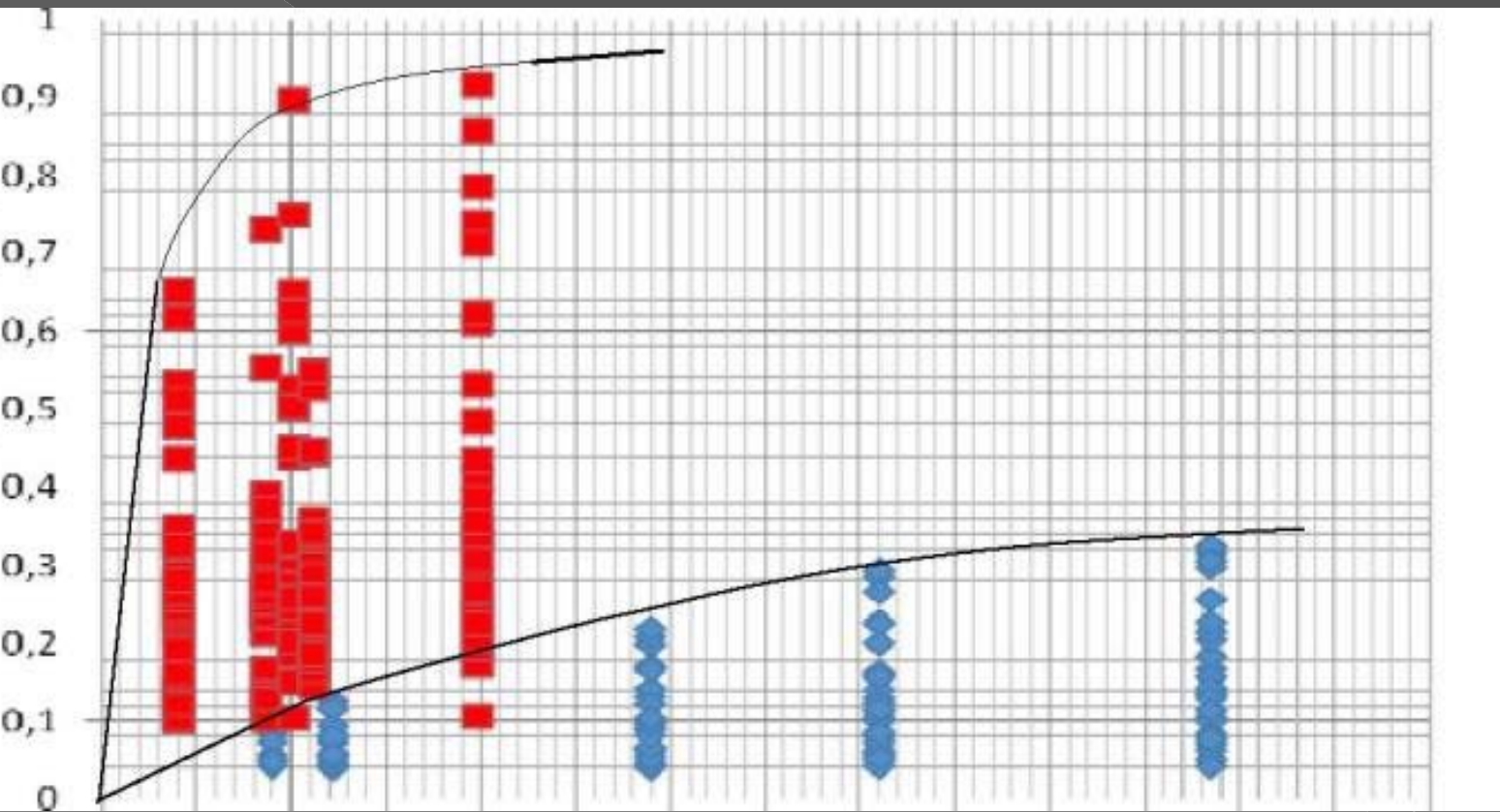
ή Απεικόνιση βελονισμών δοκιμίου χάλυβα (a) γυμνού και (b) εγκιβωτισμένου.



α την ίδια απώλεια μάζας, τα «γυμνά» δοκίμια έναντι των «εγκιβωτισμένων» κατέγραψαν εντονότερα βάρη βελονισμών.

Μέτρηση βάθους βελονισμών σε έντονο περιβάλλον διάβρωσης

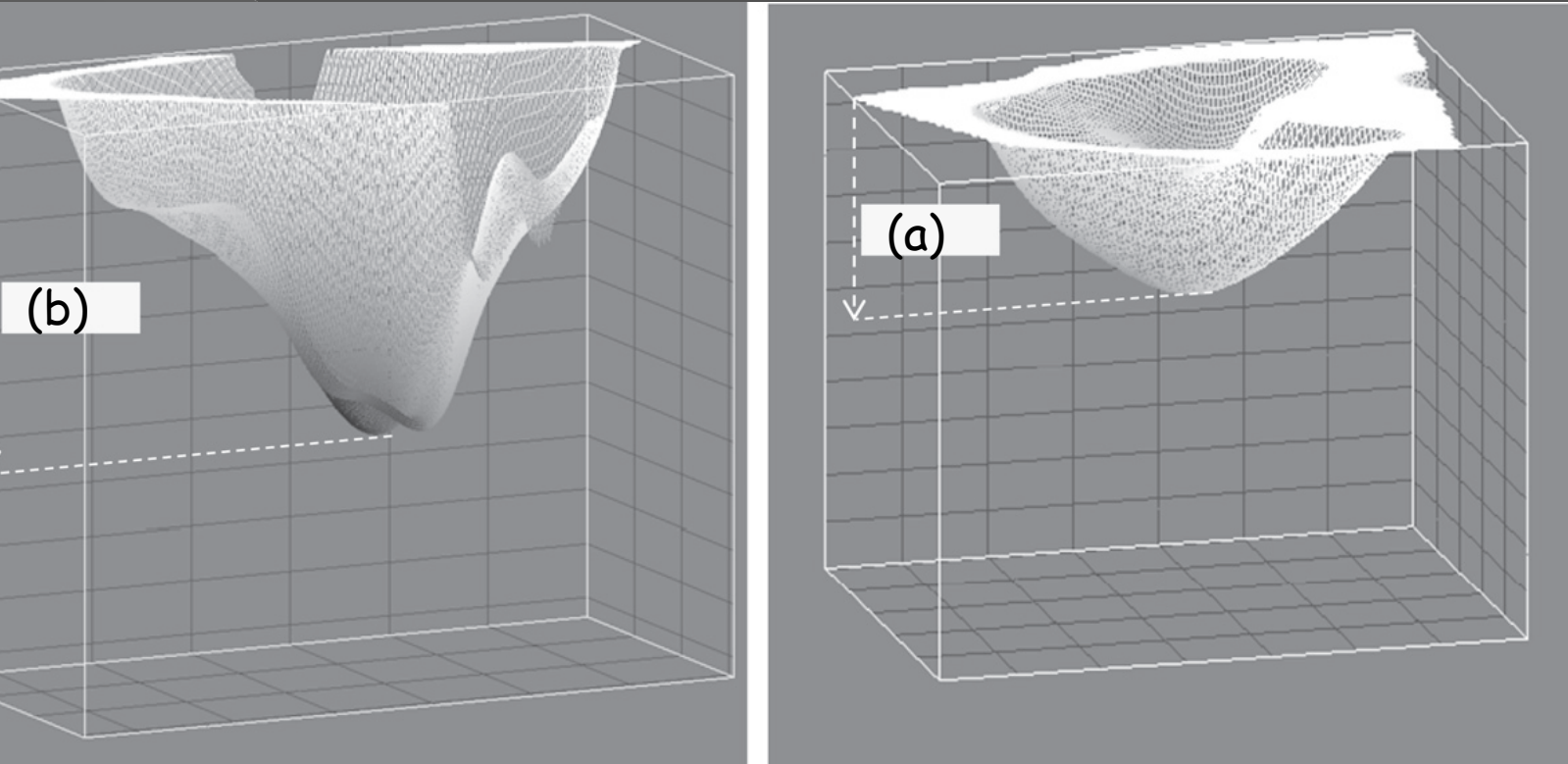
[C. Apostolopoulos et al, «Pit Corrosion Examination of Bare and Embedded Steel Bar», 10th International Conference "Advanced Metallic Materials and Technology", pp. 489-495, Saint Petersburg, 25-29 June 2013, Russia.](#)



Εξέταση των βελονισμών

Βαίωση και στην εργασία

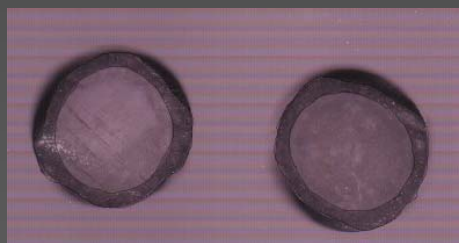
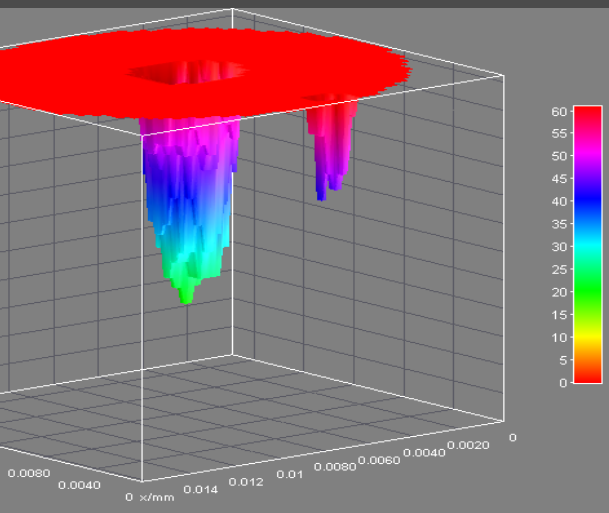
Polopoulos et al, 2013. "Chloride-induced corrosion of steel reinforcement - Mechanical performance and pit depth analysis", Journal Construction Building Materials 38 , pp. 139-146..



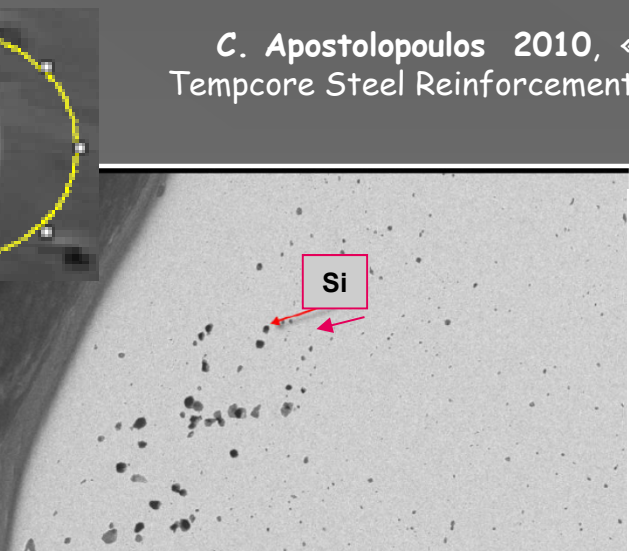
Άποψη επιφανειακών βελονισμών (a) γυμνών και (b)

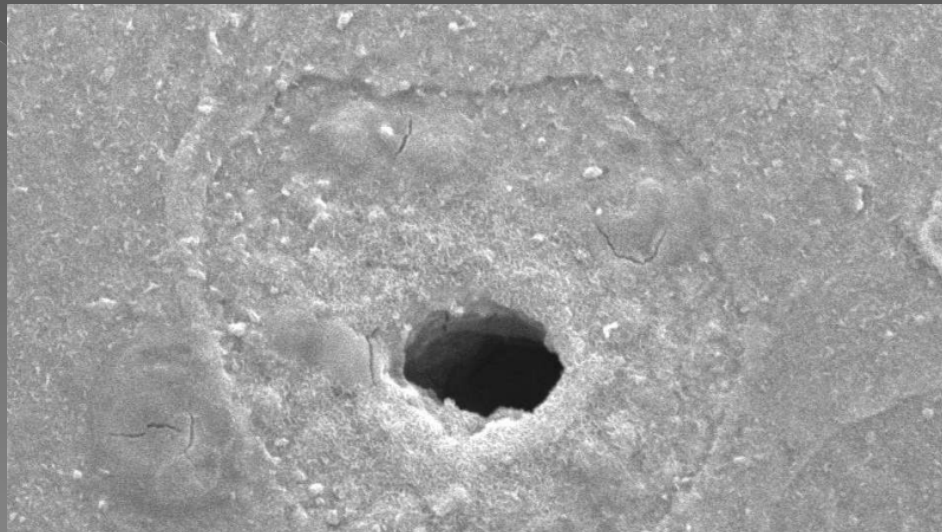
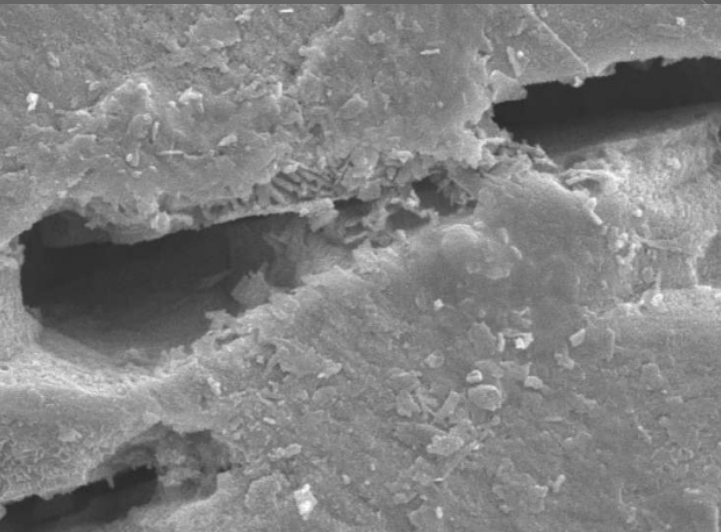
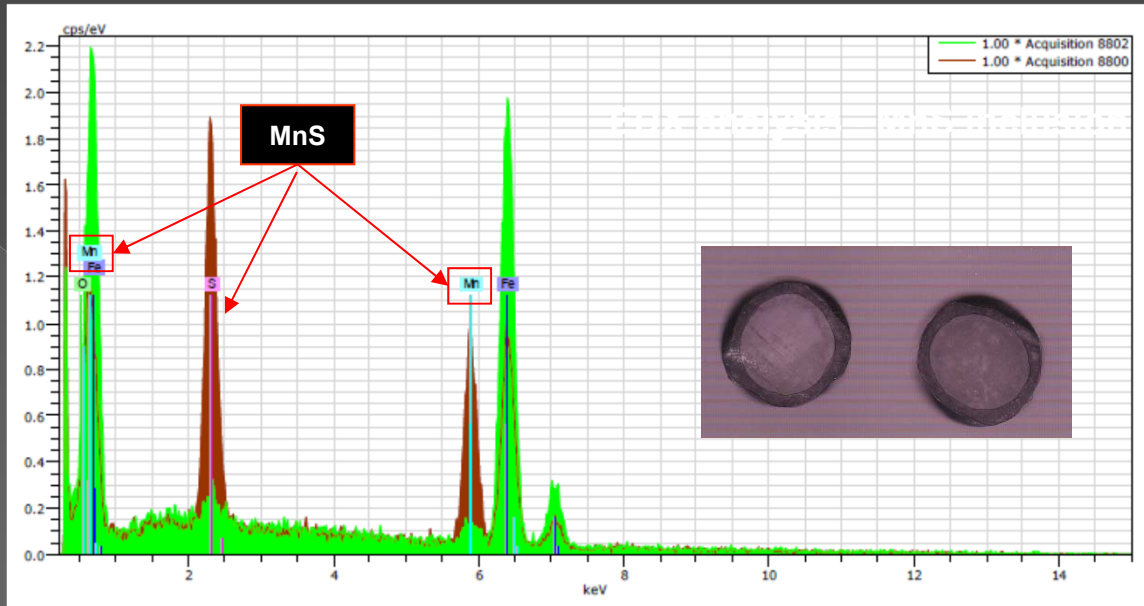
και EDX - B500C

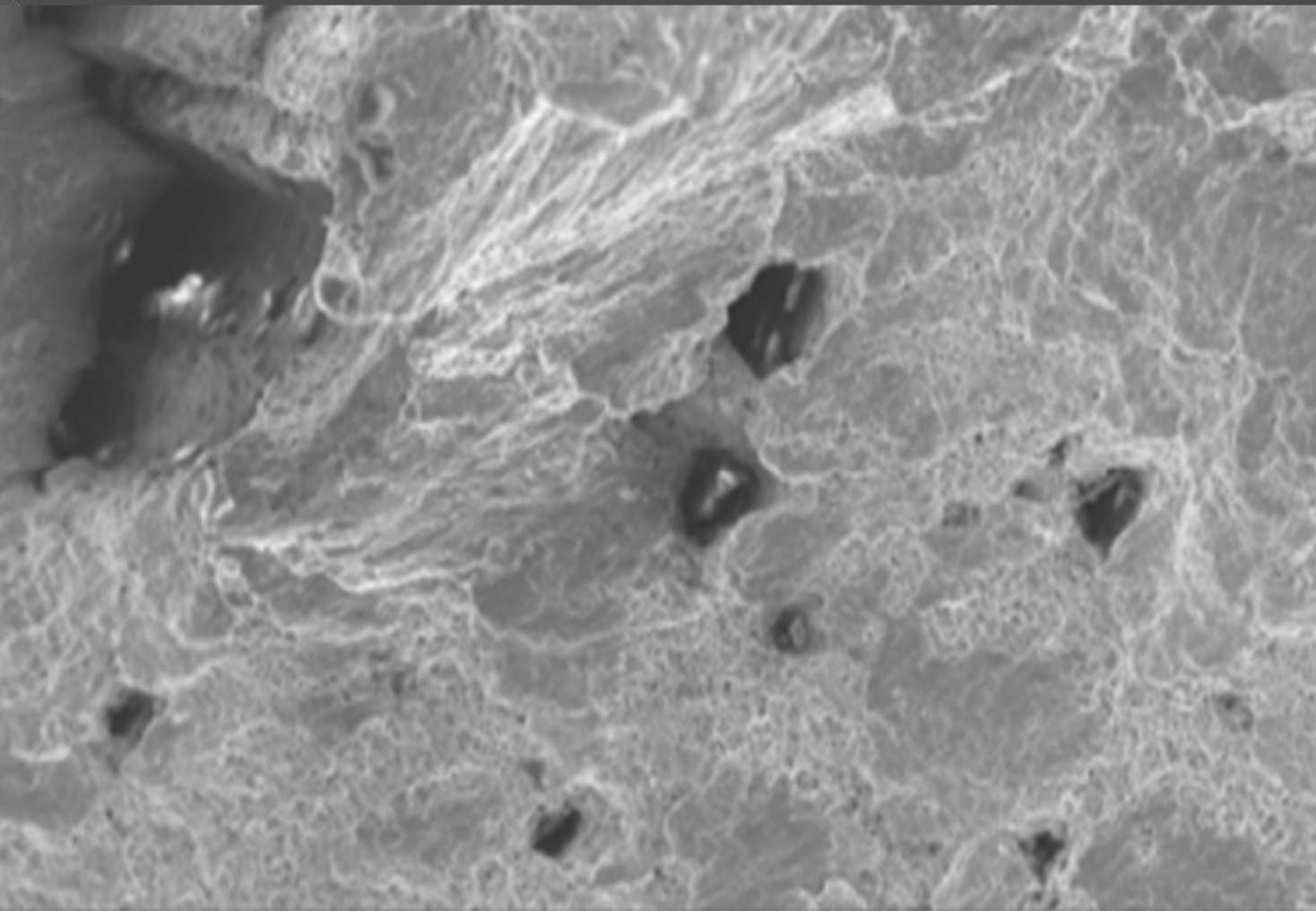
Δοκίμια αναφοράς δίχως διάβρωση και τάνυση



C. Apostolopoulos 2010, «Inelastic Cyclic Behavior of As-Received and Pre-Corroded B500c Tempcore Steel Reinforcement», International Journal of Structural Integrity, Vol. 1, (1), pp.52-62.

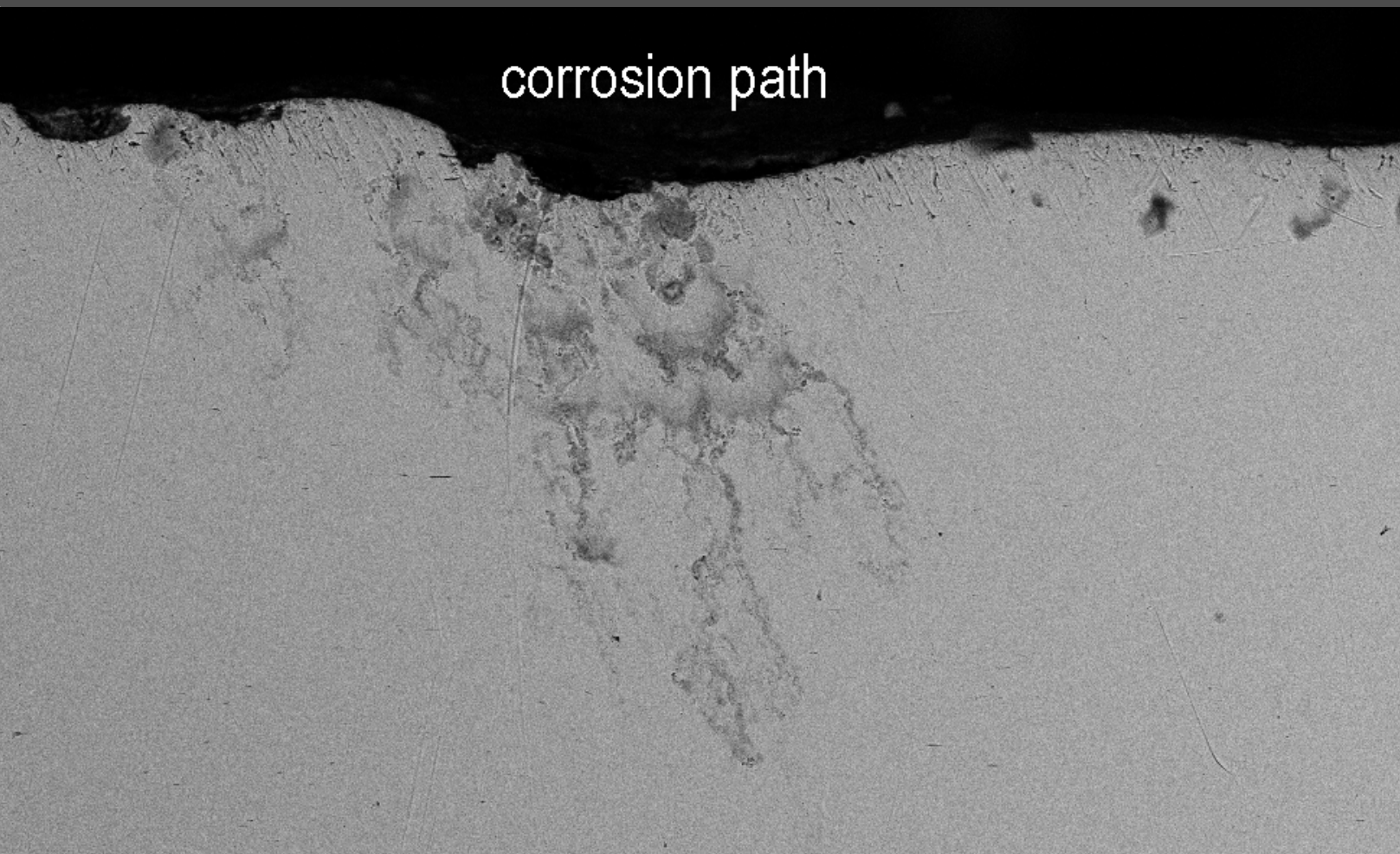






μήκος τομή δοκιμίου χάλυβα αναφοράς δίχως διάβρωση και τάνυση

corrosion path



um

Mag = 140 X

EHT = 30.00 kV

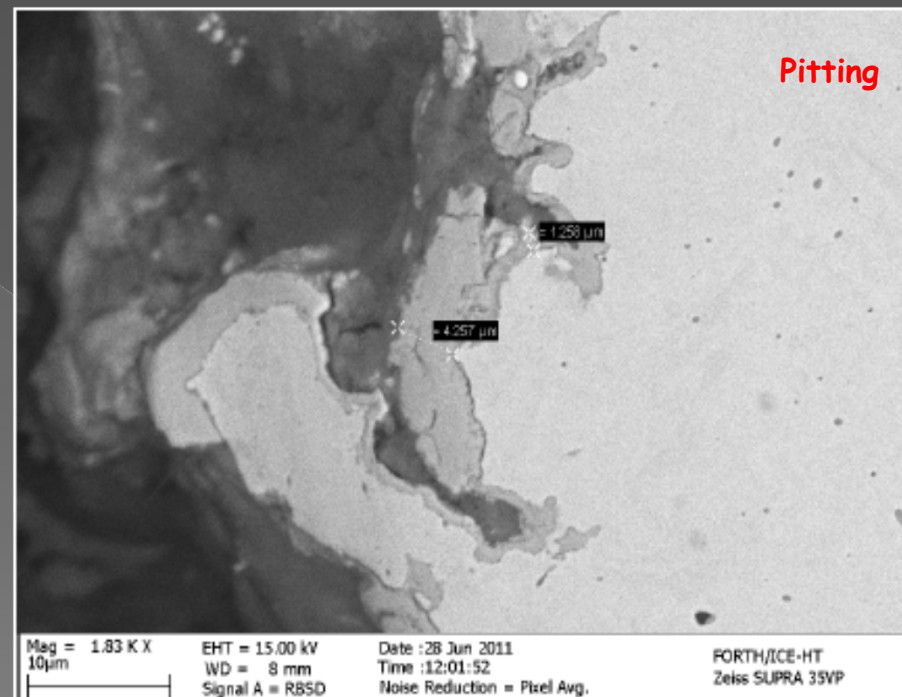
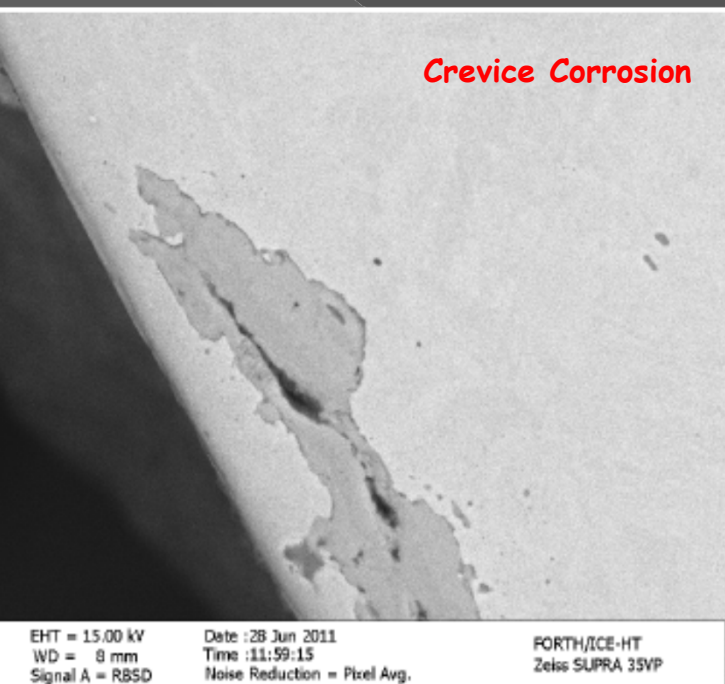
Noise Reduction = Line Avg
Aperture Size = 20.00 μm

FORTH/ICE-HT

B450C Εξωτερική επιφάνεια χάλυβα (5% mass loss) δίχως τάνυση

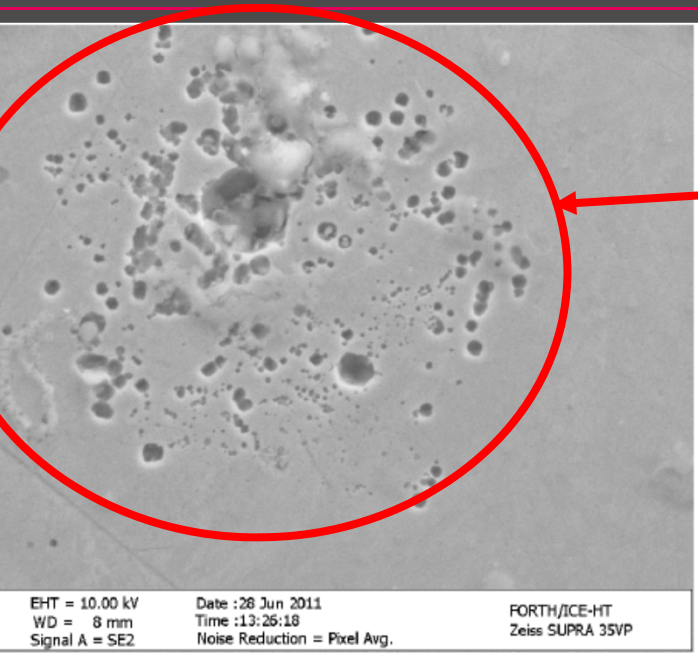
Apostolopoulos Diamantogiannis et al , (2015)

Study of the mechanical behavior in dual phase steel B400C, B450C and B500B in marine environment,
Journal of Materials in Civil Engineering



Corrosion sites contain Cl⁻ (segment decohesion)

EDX - B450C Εσωτερική Βλάβη δοκιμίων (5% mass loss) δίχως τάνυση



MnS, FeS



Apostolopoulos Diamantogiannis (2015)

Assessment of the mechanical behavior in dual phase steel B400C, B450C and B500B

in marine environment,

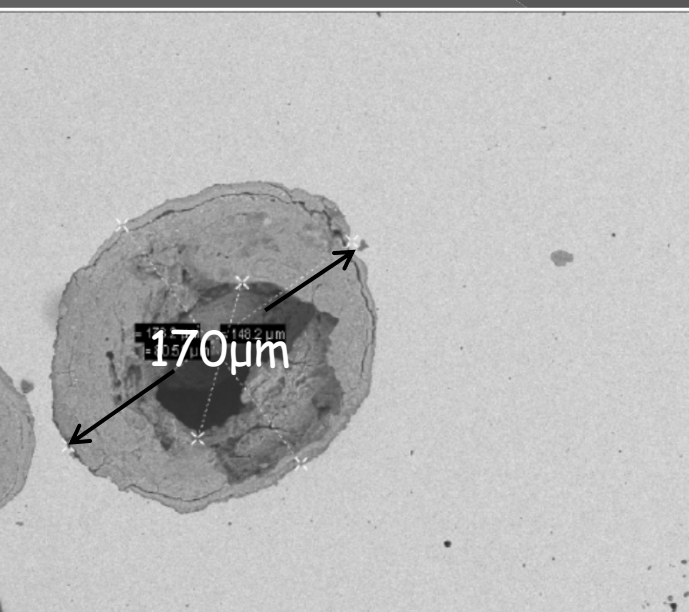
Journal of Materials in Civil Engineering

- B450C Εξωτερική επιφάνεια χάλυβα (10% mass loss) δίχως τάνυση

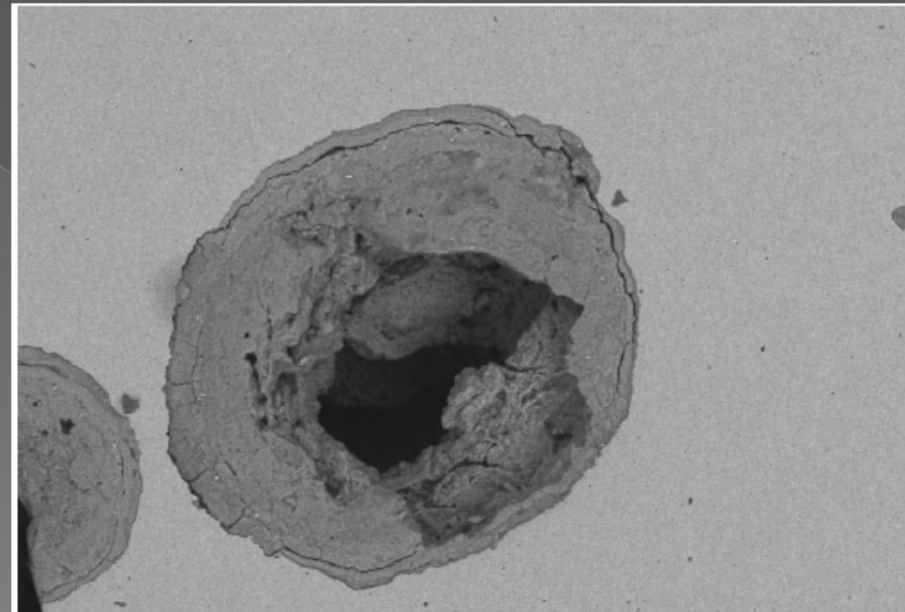
[Apostolopoulos, et al, «The Role of MnS Inclusion in Structural Integrity of Steel Bar under Seismic Loading»](#), 10th International Conference "Advanced Metallic Materials and Technology", pp.495-501, Saint Petersburg, 25-29 June 2013, Russia.

Apostolopoulos Diamantogiannis et al, (2015)

Study of the mechanical behavior in dual phase steel B400C, B450C and B500B in marine environment, Journal of Materials in Civil Engineering



HT = 15.00 kV
WD = 9 mm
Signal A = BBSD
Date : 28 Jun 2011
Time : 16:49:09
Noise Reduction = Pixel Avg.
FORTH/ICE-HT
Zeiss SUPRA 35VP



Mag = 370 X
EHT = 15.00 kV
WD = 9 mm
Signal A = BBSD
Date : 28 Jun 2011
Time : 16:45:33
Noise Reduction = Pixel Avg.
FORTH/ICE-HT
Zeiss SUPRA 35VP

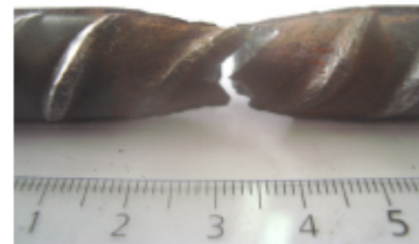
Επιφάνειες Θραύσης



Δοκίμια αναφοράς

Απώλεια μάζας 5%

B400C



B450C

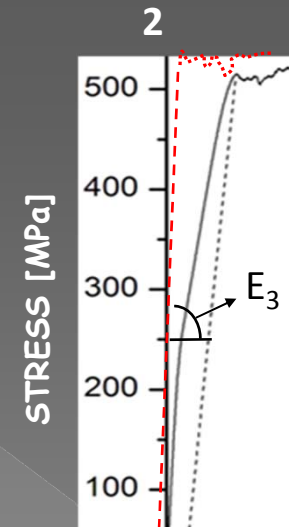
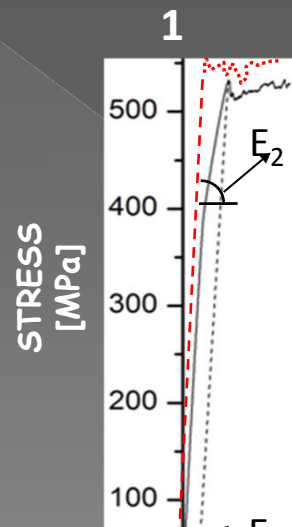
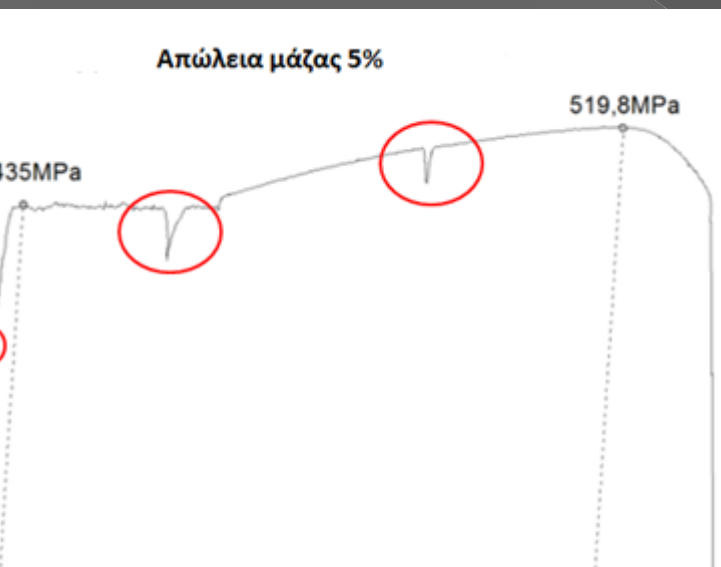


B500B

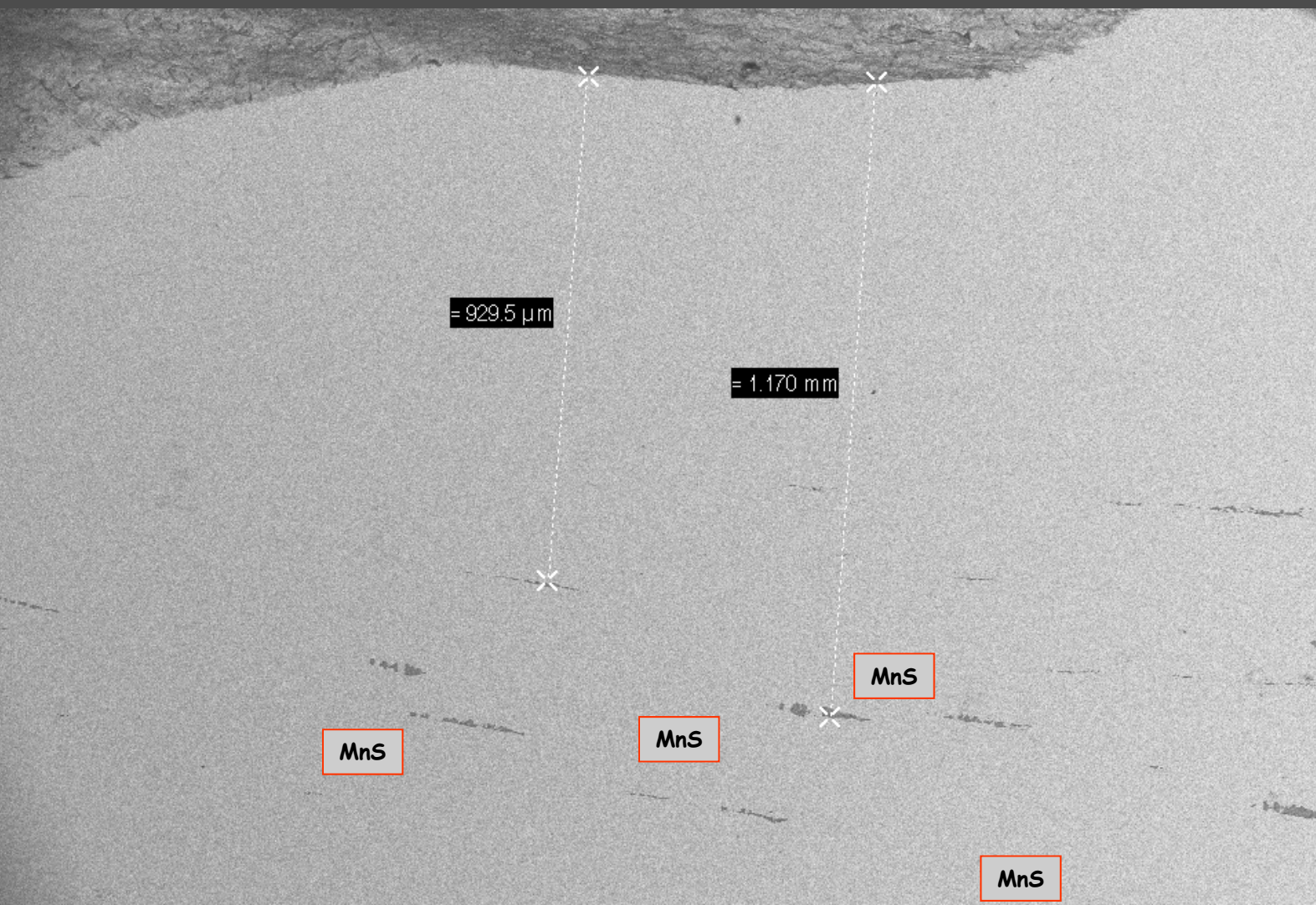


Εφελκυσμός

• [C Apostolopoulos et al, «Structural Integrity Problems in Dual-Phase High Ductility Steel Bar», Journal of Applied Mechanical Engineering, Vol. 1, Issue 5, 1000115, 2012.](#)

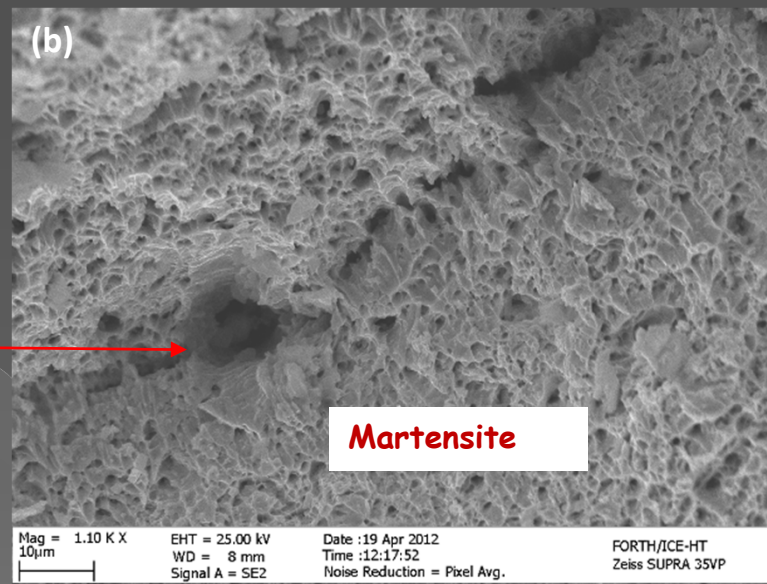
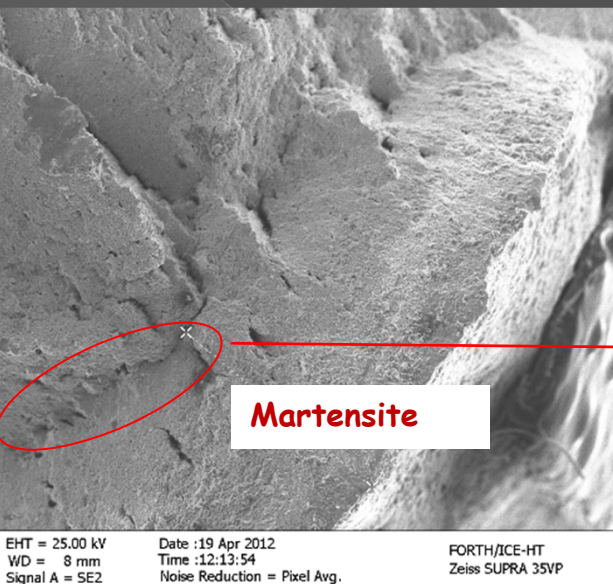


ά μήκος τομή με εμφανείς περιοχές MnS στα όρια της μαρτενσιτικής ζώνης.



Επιφάνεια Θραύσης από Εφελκυσμό

• [C Apostolopoulos et al, «Structural Integrity Problems in Dual-Phase High Ductility Steel Bar», Journal of Applied Mechanical Engineering, Vol. 1, Issue 5, 1000115, 2012.](#)



τιβεβαίωση της μερικής αποκόλλησης του διαβρωμένου μαρτενσιτικού φλοιού

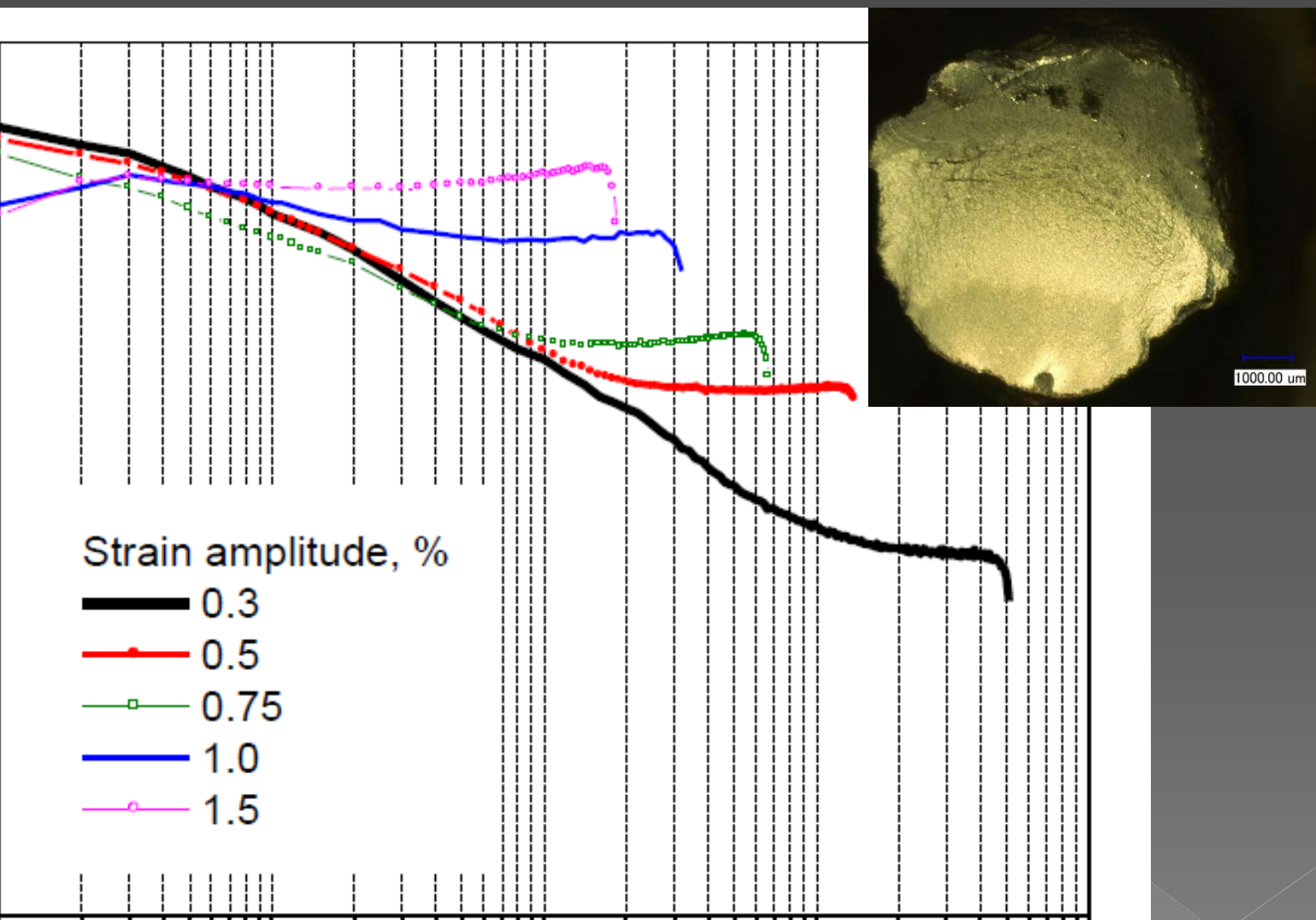
Τα αποτελέσματα για τους χάλυβες υψηλής ολκιμότητας (διφασικοί), αναδεικνύουν την σημασία της διάβρωσης στη δομική ακεραιότητα των κατασκευών.

Οι αρχικές ατέλειες (οπές) στη δομή του χάλυβα καθώς και άλλα εγκλωβίσματα όπως ενώσεις του θείου (FeS , MnS) υπο διαβρωτικό περιβάλλον (χλωριόντων η και την ύπαρξη υδρογόνου) μεγενθύνονται.

Υπό σεισμικά συμβάντα, τα εγκλωβίσματα αυτά συνενώνονται με άλλα εξωτερικά οπές συνιστώντας crack initiation. Η αναλυτική προσέγγιση τέτοιων καταστάσεων πραγματοποιείται μέσω μιας void growth analysis and or fast crack growth.

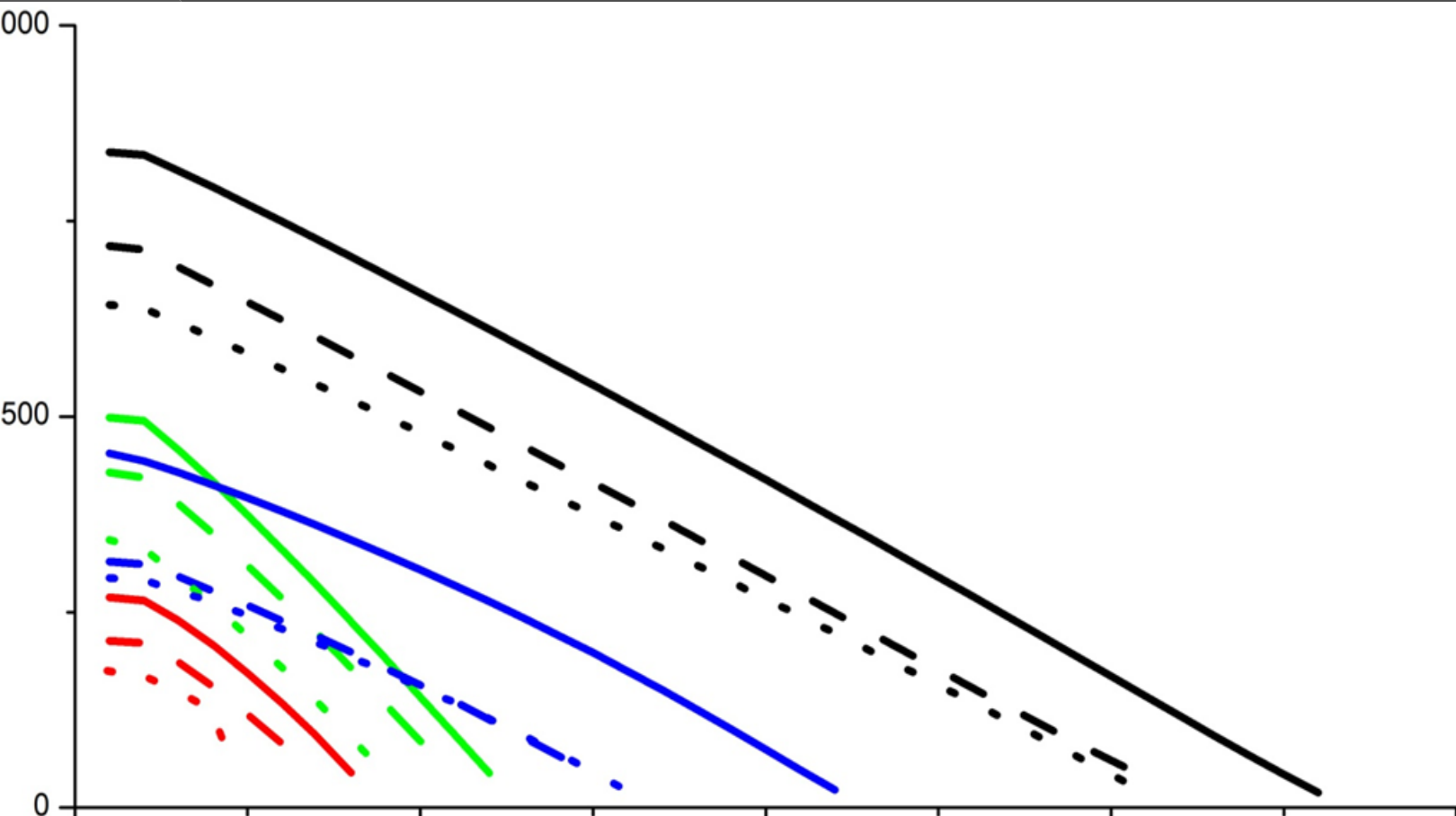
Ανακυκλήσεις με μικρού εύρους παραμορφώσεις

σχέση της διάρκειας ζωής και του εύρους παραμόρφωσης (Συσσώρευση βλάβης).



ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

συσχέτιση της διάρκειας ζωής και της δαπανώμενης Ενέργειας.

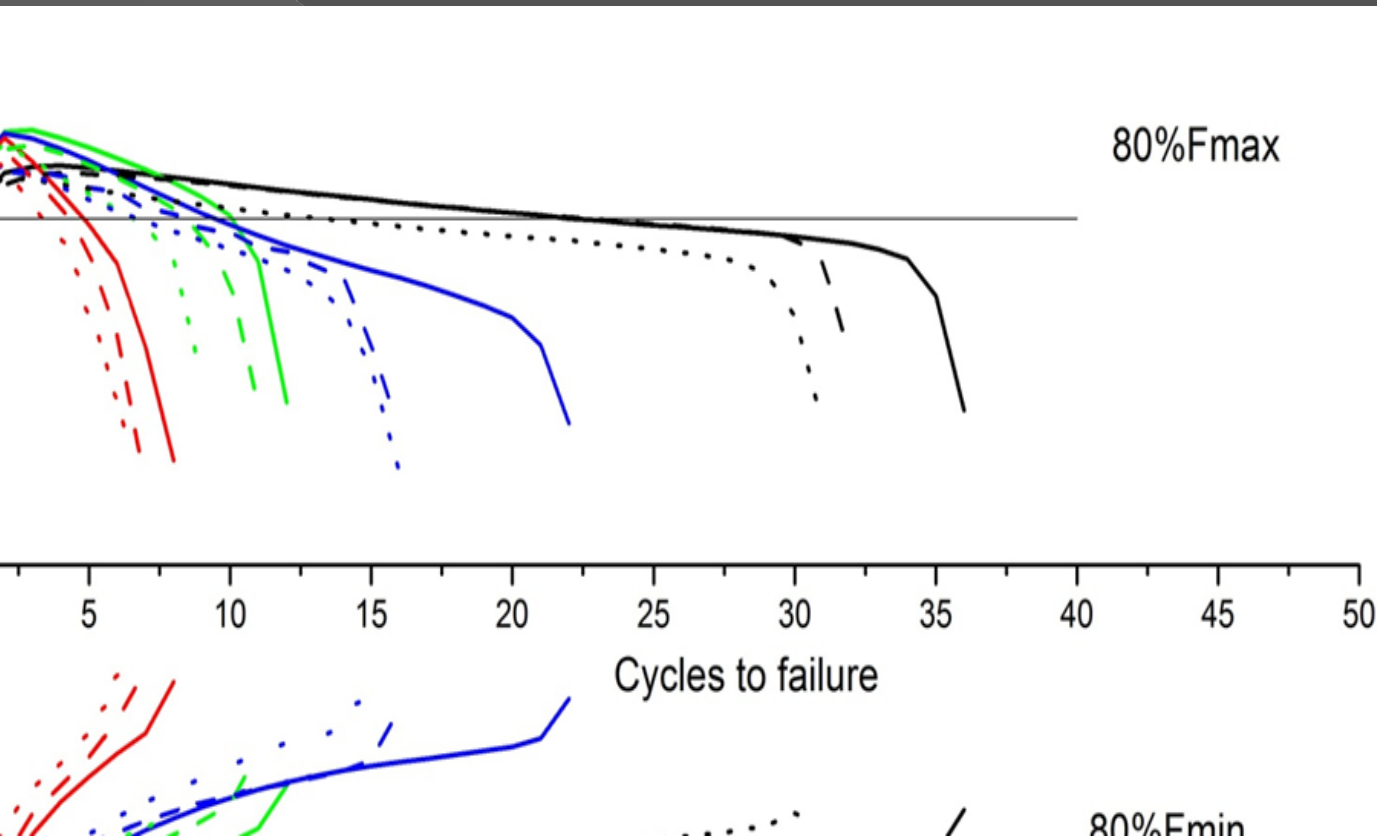


Experimental behavior of corroded reinforcing steel bars S500s
tempcore under low cycle fatigue

Ch.Alk. Apostolopoulos *

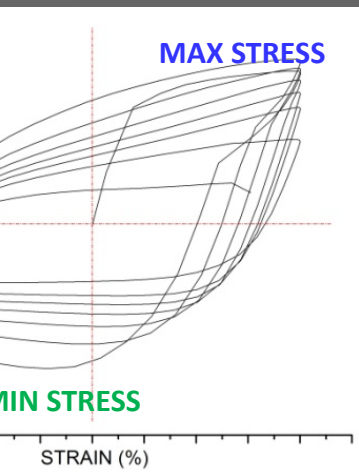
ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Διάρκεια ζωής και μέγιστη
αναλαμβανόμενη δύναμη
(εφελκυσμός και θλίψη)



ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

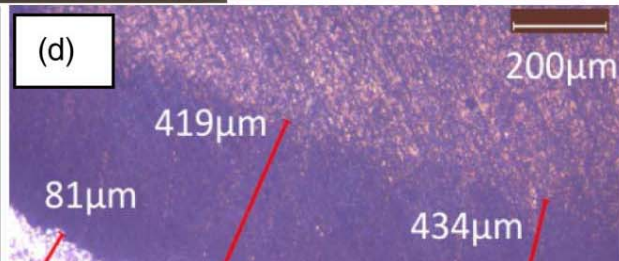
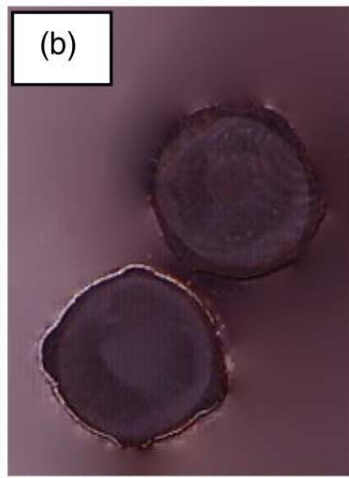
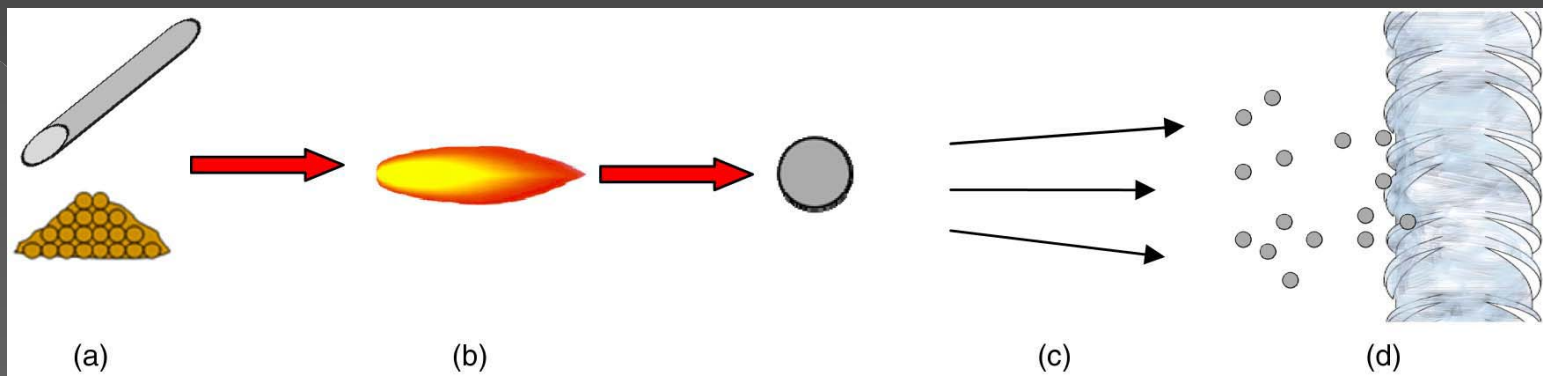
η διάρκειας ζωής , βαθμού διάβρωσης, απόστασης συνδετήρων, σεισμικών φορτίσεων.

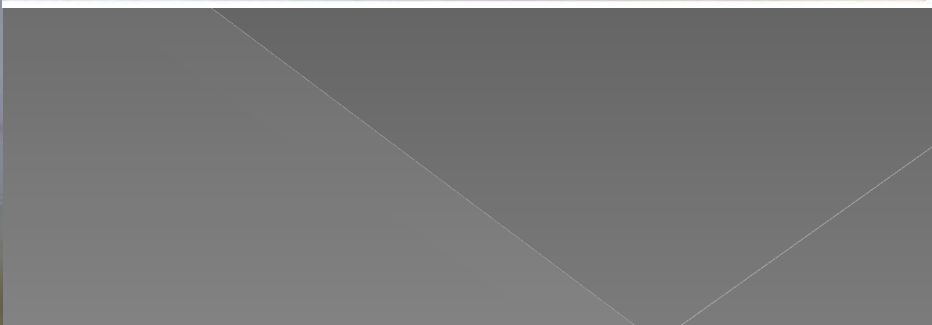
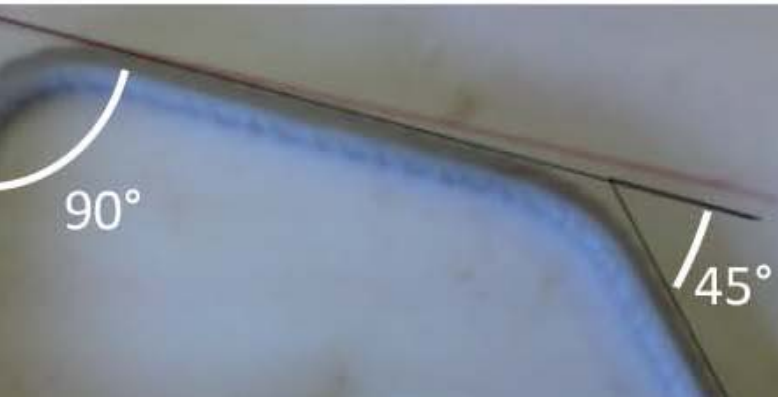


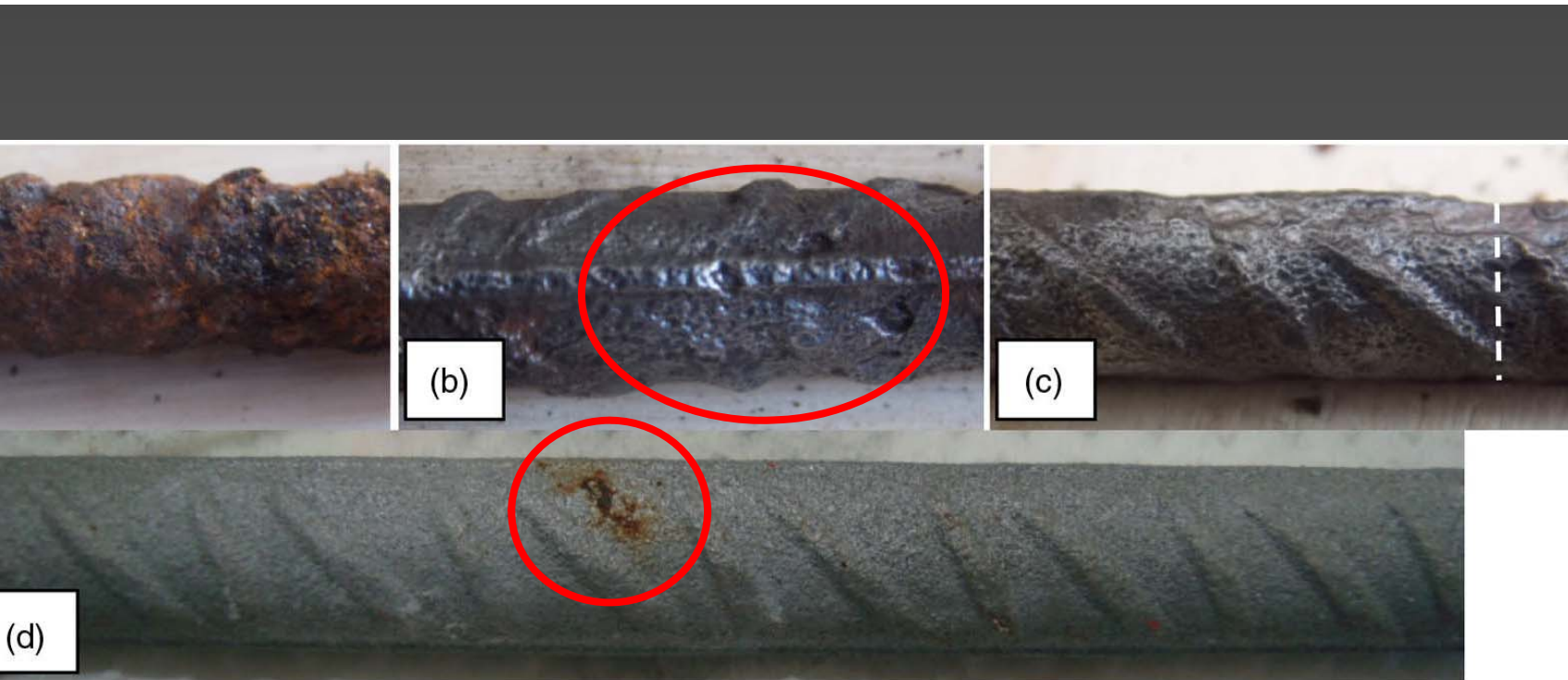
Grade	Απώλεια Μάζας	Strain amplitude $\pm 2.50\%$	
B500c	Δοκίμιο Αναφοράς	6Φ 33 cycles	8Φ 17 cycles
	5%	21 cycles	16 cycles
	10%	16 cycles	15 cycles

Προστασία χάλυβα

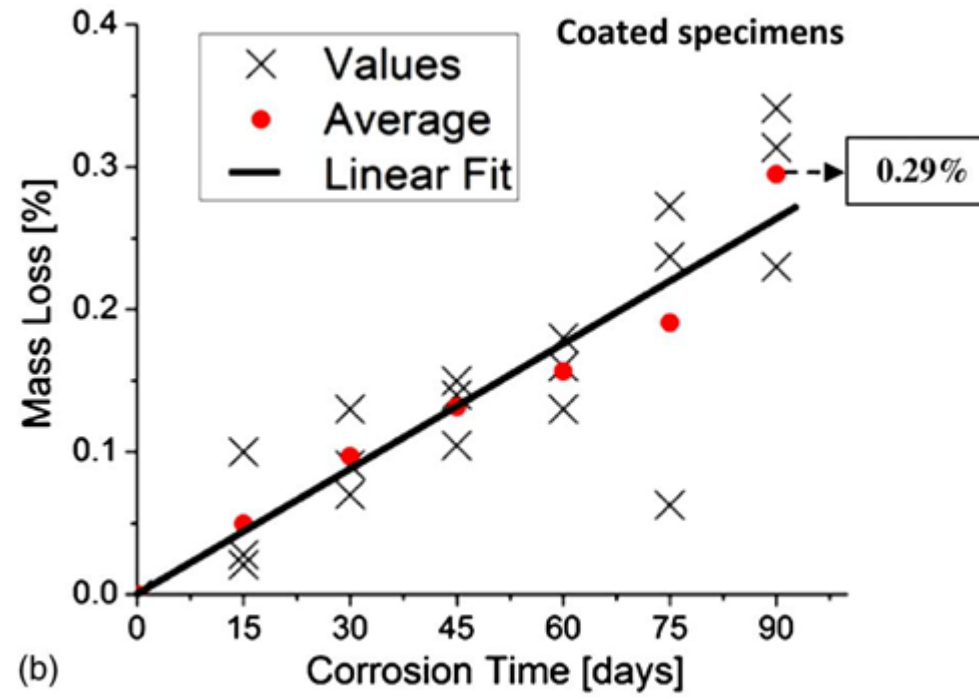
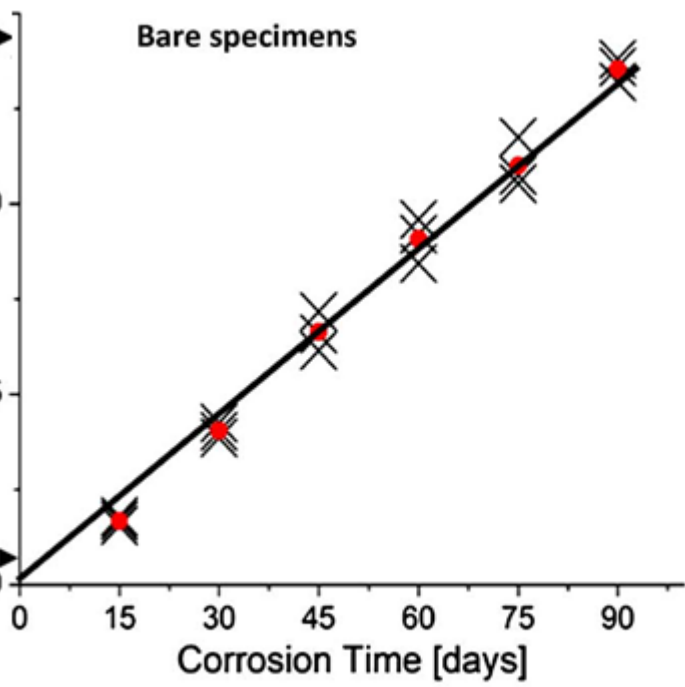
Χρήση χάλυβα επικαλυμμένου με
αλουμίνιο μέσω της τεχνολογίας
Flame Spray

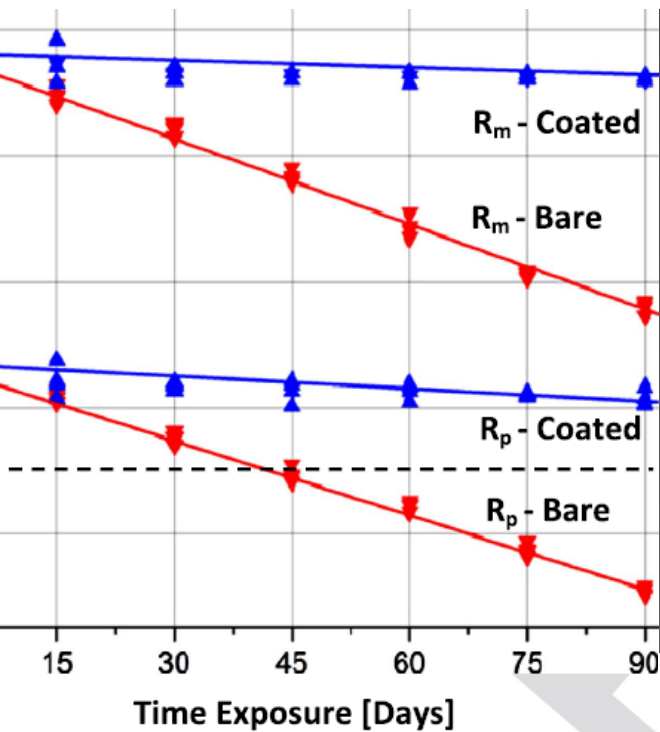




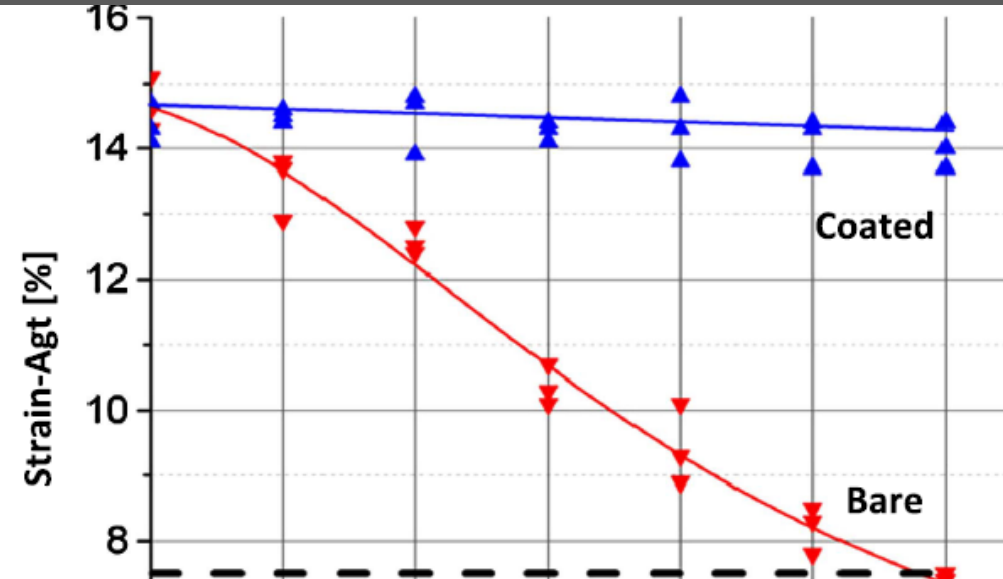


- a) Ισχυρά διαβρωμένος χάλυβας Δίχως coating
- b) - c) Μετά τον καθαρισμό του και
- d) Άποψη χάλυβα με coating μετά από ισχυρή διάβρωση.





Giannis Apostolopoulos (2014),
 Behavior of B500c Steel with an
 Epoxy Coating in a Marine Environment,
 Materials in Civil Engineering ASCE

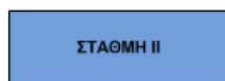


Προστασία Υφισταμένων Κατασκευών

μέσω επιθεώρησης και επισκευής σύμφωνα
με τον ΕΛΟΤ EN 1504

ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΒΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ



ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ	Στάθμη I	Στάθμη II	Στάθμη III	Στάθμη IV
Βάθος Ενανθράκωσης/ Πάχος Επικάλυψης	≤0.2	≤0.5	≤0.7	>1.0
Κρίσιμο Βάθος Συγκέντρωσης Χλωριόντων * / Πάχος Επικάλυψης	0-0.1	0.1-0.7	0.7-1	>1.0
Ηλεκτρική Αντίσταση Σκυροδέματος (Ohmcm)	>20	10-20	5-10	<5
Ποσότητα Ημι-δυναμικού SHE (-mV)	180-220	220-290	290-350	350-450
Ποσοστό Διάβρωσης (μΑ/cm ²)	<0.1	0.1-0.5	0.5-1	>1
Επιμέτρηση Αντοχή Σκυροδέματος (MPa)	>30	25-30	20-25	<20
Ποσοστό Υγρασία Περιβάλλοντος (%)	0-40	>72	40-50	50-72
Ποσοστό Ημερών Κρίσιμης Θερμοκρασίας (°C)	0	10-20	30-50	>50
Ποσοστό Σκυροδέματος	10-12.5	8.5-10	7.2-8.5	<7.2
Ποσοστό Ημερών Διαβροχής >2mm	0-10	10-30	30-50	>50
Ποσοστό ρωγμών (mm)	0	0.1-0.3	0.3-0.5	>0.5 (spalling)
Ποσοστό Διατομής Οπλισμού (%)	0-2	2-5	5-10	>10

κ.β. σκυροδέματος), ** > 29°C

Μέτρηση Ηλεκτρικής Αντίστασης (Electric resistivity)

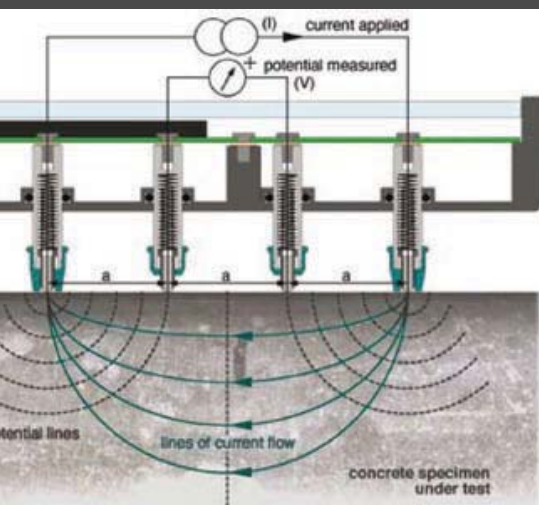


TABLE 11.2 Relationship between Concrete Resistivity and Likelihood of Significant Corrosion

Resistivity, $k\Omega \cdot cm$	Likelihood of Significant Corrosion (Nonsaturated Concrete)
>20	Low
10 to 20	Low/moderate
5 to 10	High
<5	Very high

ΣΧΕΤΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

$$CDI(\text{Corrosion Damage Indicator}) = \sum_1^n \frac{\text{ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ}}{n}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝ 206-1 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ, ΕΑ

Κατηγορία	X0	XC1	XC2	XC3	XS1	XS2	XS3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
Βάρος	0	1	1	2	2	3	4	2	2	3	4	3	4	4	2	2	3

ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

$$SCI = \frac{CDI + EA}{2}$$

ΕΑ ΣΑΜΗ - XS3 - ΕΑ=4

STRUCTURAL INTEGRITY INDEX

$$SII = \left(SCI + \frac{CF}{n_{SII}} \right)$$

where CF Structural Member Capacity Factor (CF should be ≤ 1.0)

(Lloyds – Register, ACI, FIB)

n_{SII}

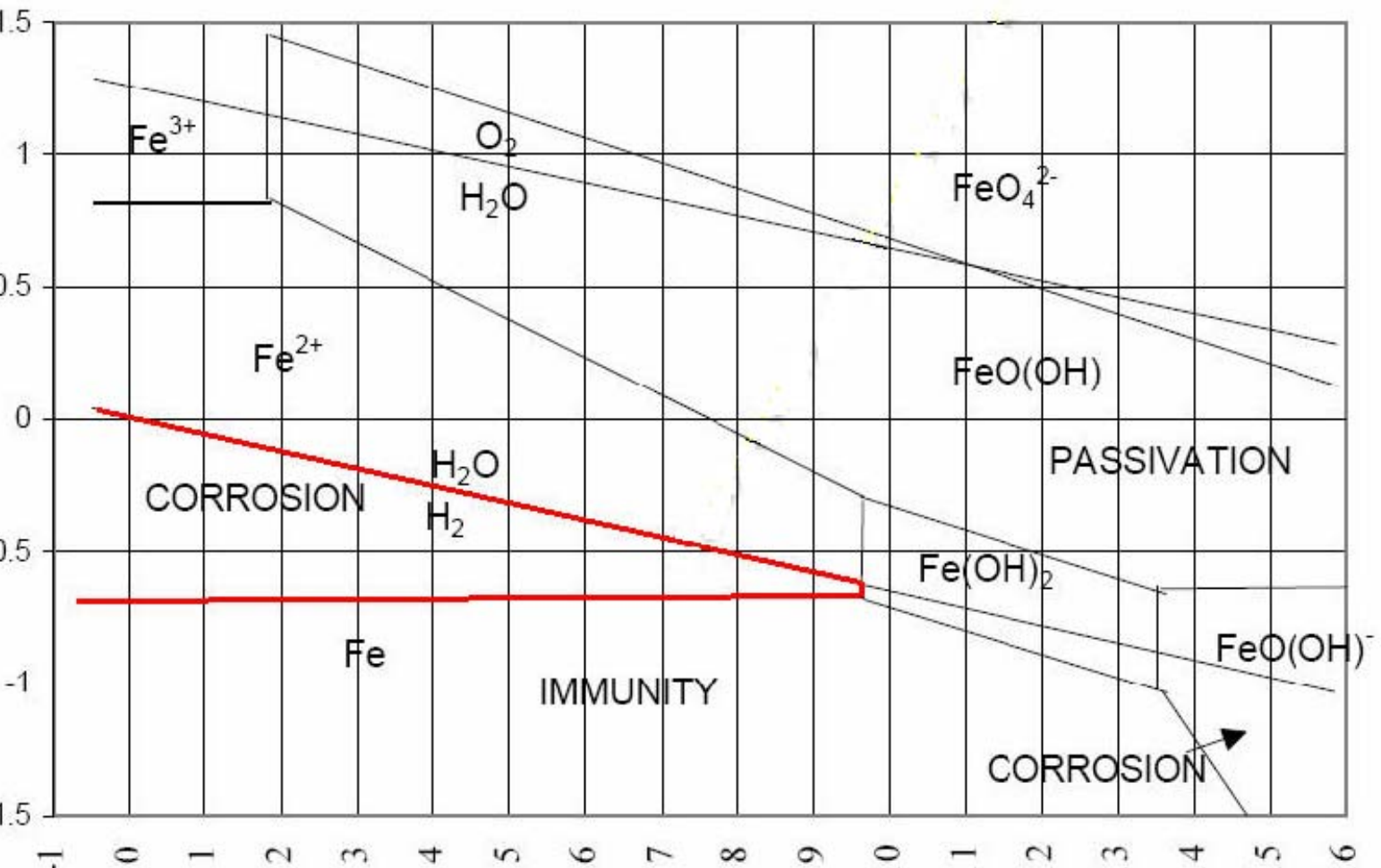
Χρόνος Διασφάλισης 5-10 YEARS

- n=4.0 for Importance Factor 1
- n=3.8 for Importance Factor 2
- n=3.5 for Importance Factor 3
- n=3.2 for Importance Factor 4

Χρόνος Διασφάλισης 10-20 YEARS

- n=3.8 for Importance Factor 1
- n=3.2 for Importance Factor 2
- n=3.0 for Importance Factor 3
- n=2.5 for Importance Factor 4

Συνθήκες ψαθυροποίησης χάλυβα



ση Ανοδίων

της γαλβανικής προστασίας βασίζεται στον 1ο Νόμο Ηλεκτρόλυσης του Faraday.

η μάζα (m) που αποτίθεται, ελευθερώνεται ή μετασχηματίζεται στο αντίστοιχο ηλεκτρόδιο ανά την διάρκεια μίας ηλεκτρόλυσης είναι ανάλογη της ποσότητας του ηλεκτρικού φορτίου (Q) που περνά το ηλεκτρολυτικό διάλυμα."

$$m = \frac{Q M}{F z} \quad (1)$$

η μάζα (σε gr) του ανοδίου που καταναλώνετε για να απελευθερωθούν τα ηλεκτρόνια.

ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που πέρασε από το ηλεκτρολυτικό διάλυμα ($Q = I \cdot t$) σε Coulombs(C)
ο I είναι η ένταση ρεύματος σε Amp και t ο χρόνος σε sec.

το μοριακό βάρος του κράματος του ανοδίου σε gr/mol, στην περίπτωση του καθαρού ψευδαργύρου
είναι 65.38 gr/mol.

θμός σθένους των ιόντων.

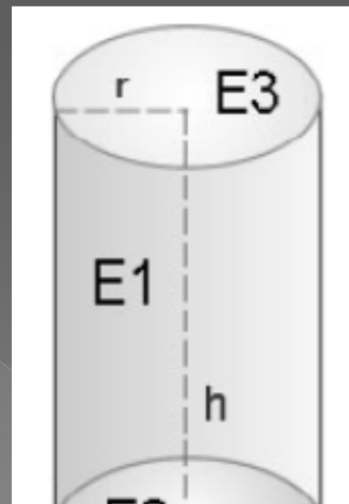
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΑΝΟΔΙΩΝ

θμός ανηγμένης επιφάνειας οπλισμού προς προστασία.

esign=ECC * Απόδοση Ανοδίου.

ται από την επιλογή του θυσιαζόμενου μετάλλου,
ανόδιο ψευδαργύρου Zn, ECC= 780 Ah/Kgr.

ση Ανοδίου :



κατανάλωσης Ανοδίου ανά ώρα καθοδικής. Χρονοεπάρκεια ανά κιλό.
 Consumption Rate h/kg.
 design (Ah/Kgr) / $I_{corr, cathodic}$

I_{corr}

Structure Category	Cathodic Protection Current Density (mA/m ²)	
Carbonation		
Carbonation Class	Partially Carbonated	Fully Carbonated
XC1	0.2-0.4	0.2-0.5
XC2	0.2-0.8	0.4-1.0
XC3	0.2-0.4	0.2-0.6
XC4	0.2-0.5	0.4-1.0
Chlorides from Sea		
	Cl ≤ 4.5% w.t. cement	Cl > 4.5% w.t. cement
XS1	1-5	5-20
XS2	0.5-2.5	4-20
XS3	5-10	10-20

$I_{corr, cathodic} = A_t * I_{corr} * \Sigma A$.
 A_t : ανηγμένη επιφάνεια οπλισμού.
 I_{corr} : πυκνότητας ρεύματος.
 ΣA : Συντελεστής Ασφαλείας. (1,2 - 1,7)

Επιλογή πυκνότητας ρεύματος I_{corr} για την προστασία κατασκευής.
 Υπολογισμός απαίτησης Γαλβανικής προστασίας σε πυκνότητα ρεύματος.

Επιλογή θυσιαζόμενου μετάλλου Ανοδίου.
 ECC : Nominal Electrochemical Capacity (Ah/kg)

Density g cm ³	Potential volts Cu/CuSO ₄	Amp-hrs per kg	Typical anode current density A m ⁻²
7.1	-1.10	780	0.5 - 2
2.7	-1.15	2700	0.6 - 2.5
1.7	-1.55	1230	1.5 - 5.6

Παράμετρος ECC
 Chemical Capacity (Ah/Kgr)

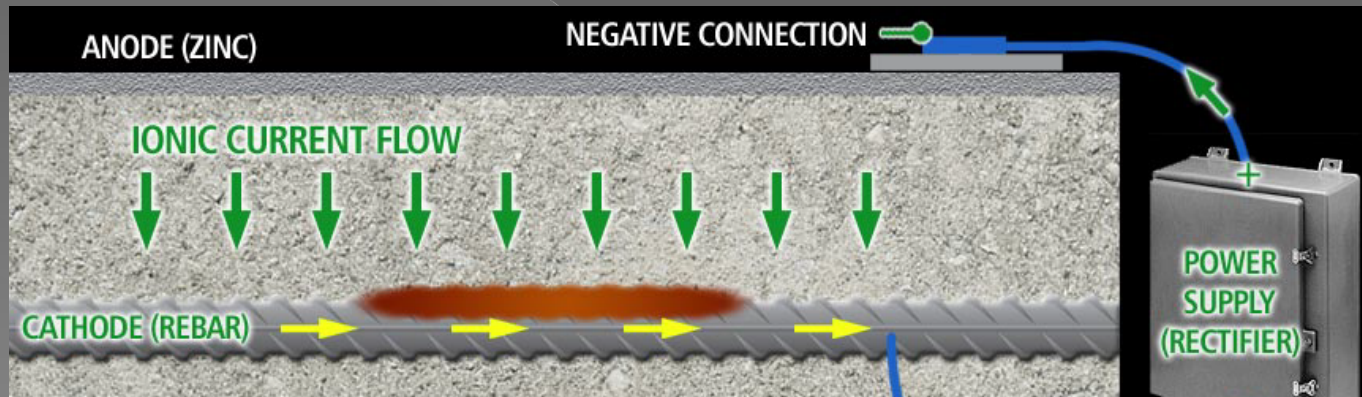
Πίνακας 2. Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά CorrCR Series GP-Z

Τύπος	Διάμετρος (mm)	Ύψος (mm)	Έσρος Πυρήνα Ανοδίου (gr)	Επιφάνεια Επαφής με κόνια εγκιβωτισμού (%)
GP-Z-50	40	80	50	90
GP-Z-100	50	80	100	79
GP-ZC-70	40	30	70	82

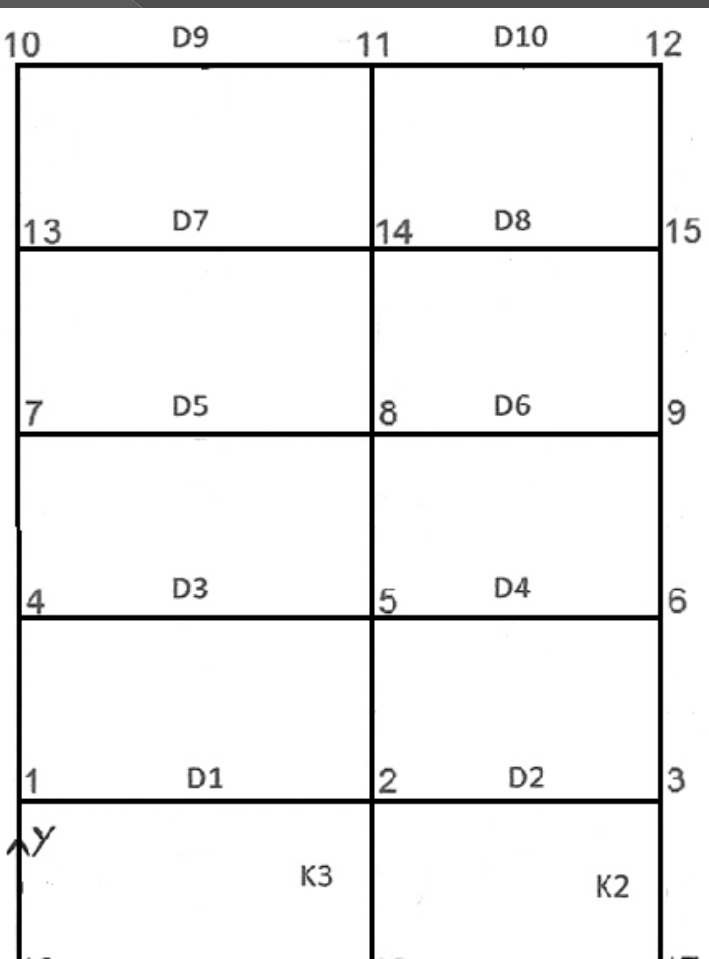
 Sintecno Protection Technologies



CATHODIC PROTECTION SYSTEMS
 USE OF SACRIFICIAL OR GALVANIC ANODES ON
 IN SERVICE REINFORCING



Οι Συνέπειες της Σεισμικής Φόρτισης στην Ασφάλεια των Διαβρωμένων Κατασκευών



ΥΠΕΡΩΘΗΤΙΚΗ ΜΗ-ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (Push-over)
πλαισιακού φορέα

λικά του αρχικού πλαισιακού φορέα είναι σκυρόδεμα
κατηγορίας C20/25 και χάλυβας σιδηροοπλισμού B500_c

όδεμα

25MPa ,

ς Poisson = 0,20

29GPa

υβας

500MPa & $f_u = 600\text{MPa}$

ς Poisson = 0,30

200GPa



Cement and Concrete Research

Volume 32, Issue 8, August 2002, Pages 1313–1318



Evaluation of the bond properties between concrete and reinforcement as a function of the degree of reinforcement corrosion

Han-Seung Lee^a, Takafumi Noguchi^b, Fuminori Tomosawa^c

^a Department of Architecture, Advanced Structure Research Station (ERC), Hanyang University, L271 Sa-Idong Ansan, 425 791 Kyunggido, Seoul, South Korea

^b Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Tokyo, Tokyo, Japan

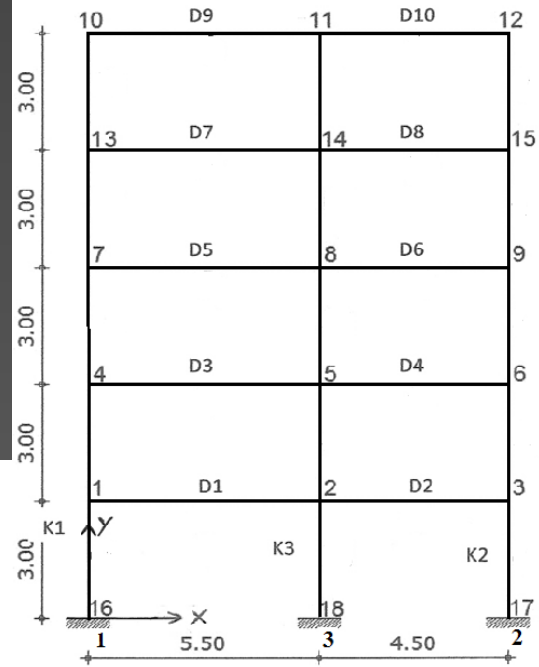
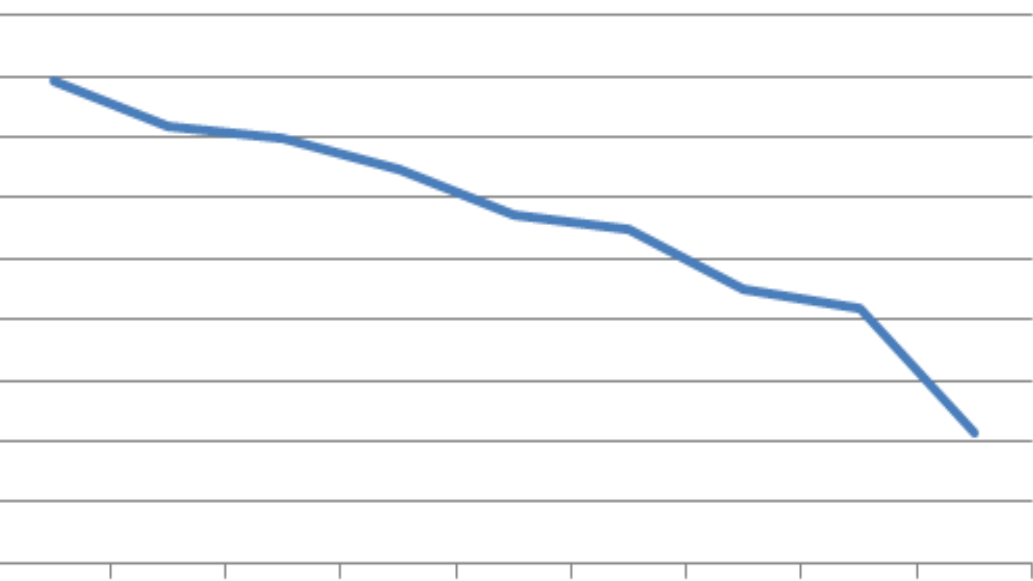
^c Department of Architecture, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Sapporo, Japan



Η διάβρωση επηρεάζει τη συνάφεια μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος.

Σύμφωνα με την ανωτέρω εργασία η προσομοίωση της πτώσης του

Τέμνουσα Βάσης (max)



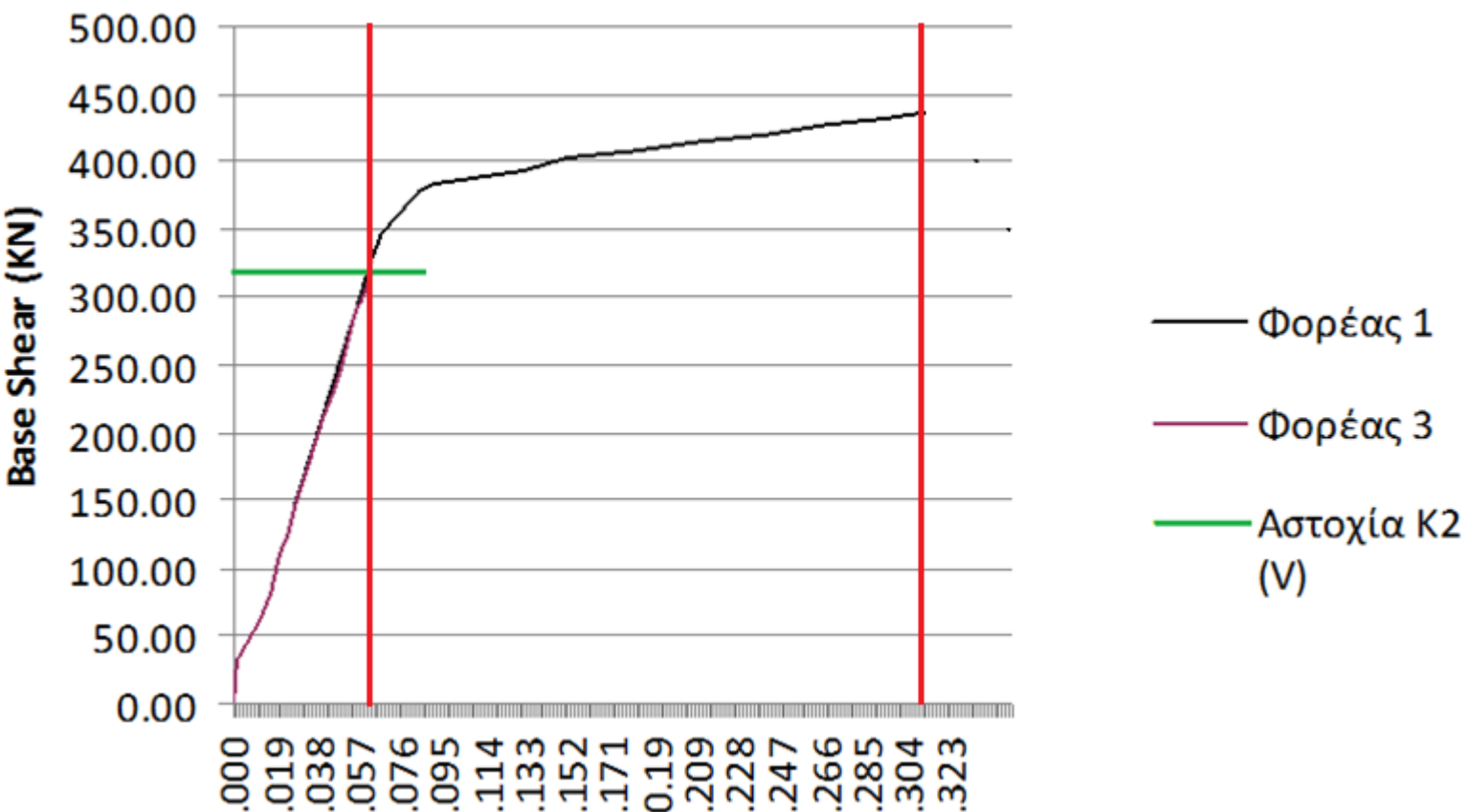
— V βάσης

Σ 1 Αρχικός φορέας.

Σ 3 (Κατάσταση αστοχίας)

Πυλώματα K1 και K2 με σχήμα διάβρωσης τύπου Β ($i_{cor}=5\mu A/cm^2$ & $t=10$ έτη).

Σ 3) το σημείο αστοχίας απεικονίζεται με οριζόντια γραμμή (Αστοχία K2).



Τα συμπεράσματα ενός «οπτικού ελέγχου» μπορεί να επιφυλάσσουν εκπλήξεις.

Ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται από πρόωρες καθησυχαστικές απόψεις όπως: «Ρωγμές δεν φαίνονται, η κατασκευή έχει αντέξει τόσους σεισμούς.....»

Χαίρολογικό Μουσείο Αργοστολίου (2007), παρότι εξωτερικά δεν εμφάνιζε
κτικές μικρορηγματώσεις και χρωματικές αλλοιώσεις, ανιχνεύσαμε έντονη διάβρωση
για διατομής 19-28% στον κύριο οπλισμό) επισκευασμένων υποστυλωμάτων (guniting)»





Το Αρχαιολογικό Μουσείο
Αργοστολίου μετά τον
σεισμό (2014).

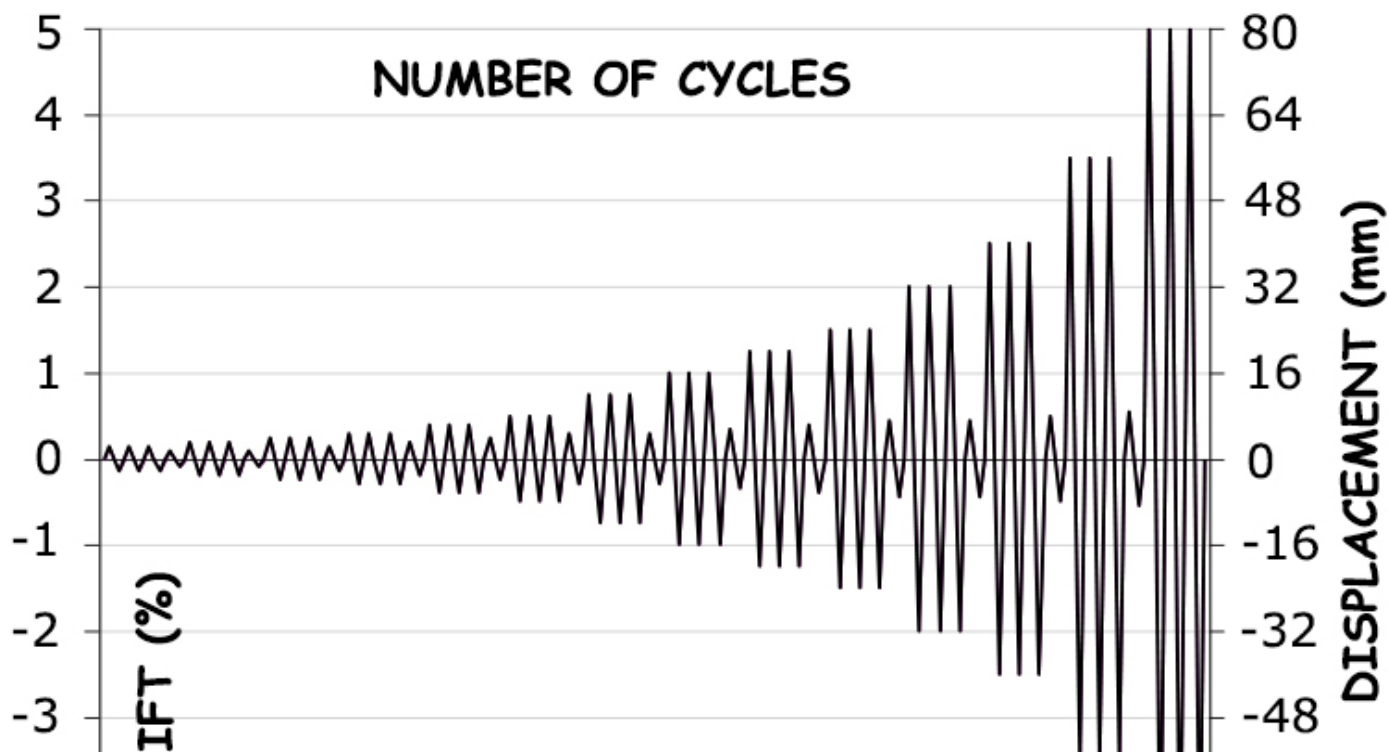


το Αρχαιολογικό Μουσείο Αργοστολίου μετά τον σεισμό
(2014).

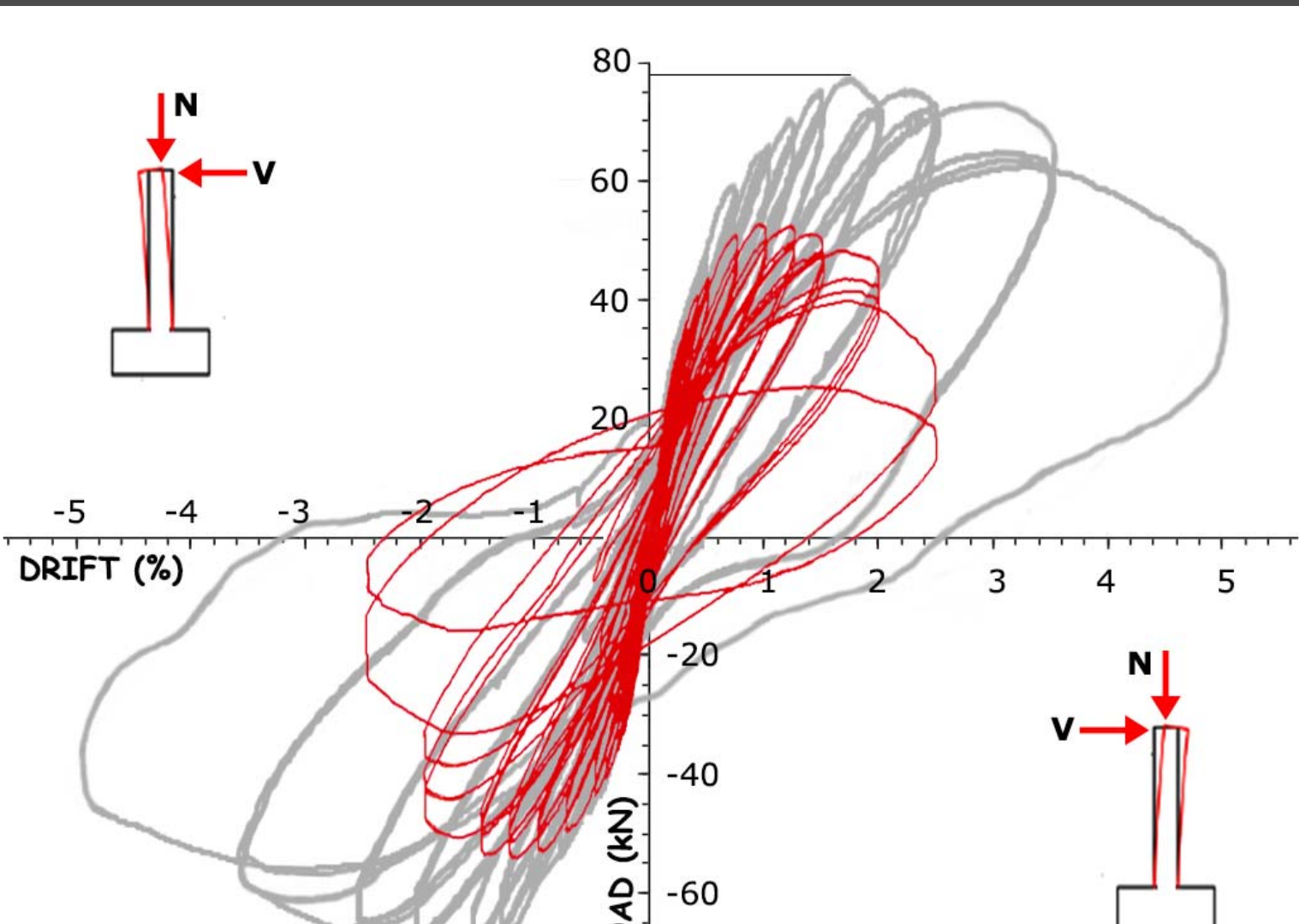


Οι Συνέπειες της Σεισμικής Φόρτισης στην Ασφάλεια των Διαβρωμένων Κατασκευών

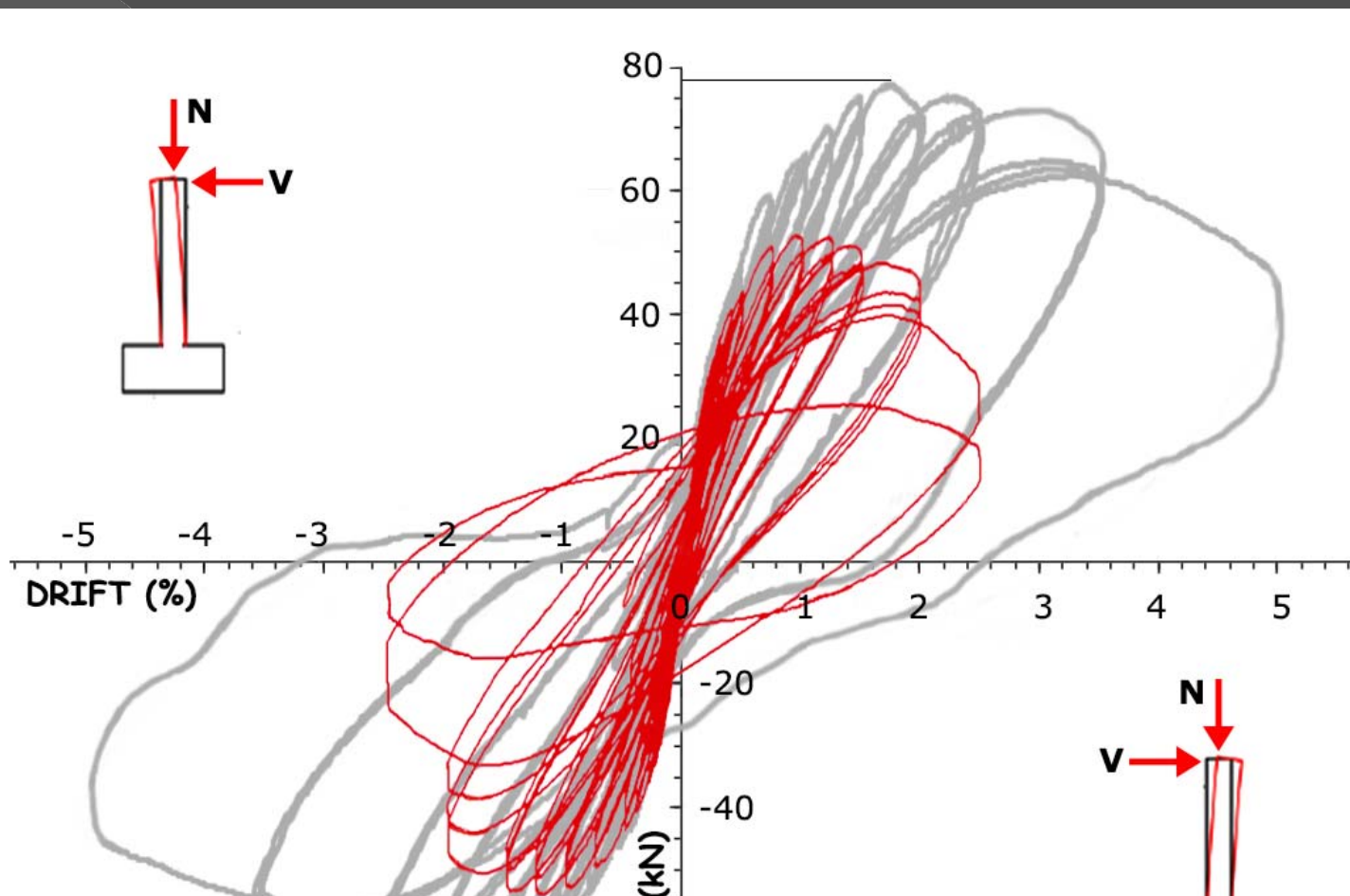
Προσιάζεται ένα εξελισσόμενο πείραμα με ιστορικό από 14 ομάδες κύκλων φόρτισης ελεγχόμενης παραμόρφωσης . Αρχικό Drift = 0.15%



σπλισμένου σκυροδέματος 30*30 cm, ύψους 1.60m, 4Φ16, ΣΦ8/25, επικάλυψη 5 cm (C20/25, B500c) πριν και μετά τη διάβρωση σπλισμού 14% - 21%



πτώση της μέγιστης αντοχής κατά 35% και της συνολικής διάρκειας ζωής περίπου 50%.



Σας ευχαριστώ Χάρης Αποστολόπουλος

