

Τεχνολογία Σύνθετων Δομικών Υλικών για νέα και υφιστάμενα δομικά έργα

1^η ενότητα: Συνήθεις βλάβες συμβατικών δομικών Υλικών & συνέπειες στην ακεραιότητα των δομικών μελών

2^η ενότητα: Ινοπλισμένα πολυμερή

3^η ενότητα: σύγχρονα, σύνθετα τσιμεντοειδή κονιάματα

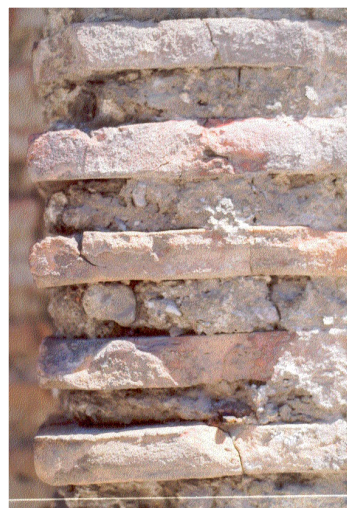


Συνήθεις βλάβες συμβατικών δομικών Υλικών & συνέπειες στην ακεραιότητα των δομικών μελών

➤ Ψαθυρά υλικά

(μικρή ικανότητα παραμόρφωσης και απότομη αστοχία)

- Λίθος / πλίνθος
- Κονιάματα
- Σκυρόδεμα



➤ Πλάστιμα υλικά

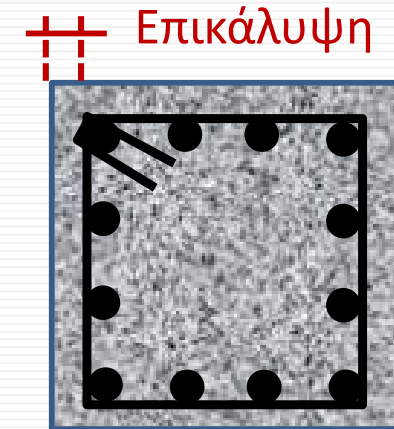
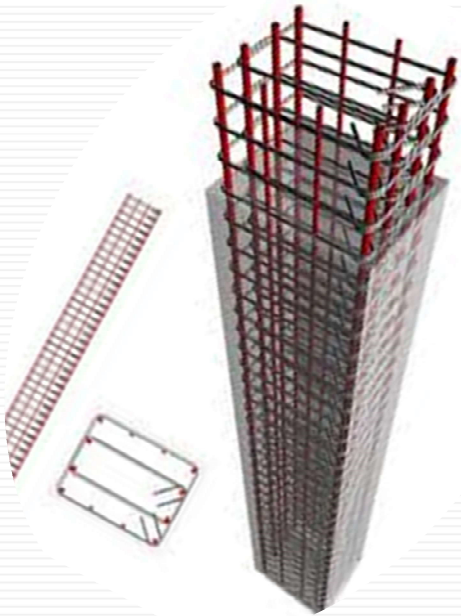
(μεγάλη ικανότητα παραμόρφωσης και σταδιακή αστοχία)

- Ξύλο
- χάλυβας



➤ Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Φέροντας οργανισμός από οπλισμένο σκυρόδεμα



Π.χ. σε διατομή 30x30cm:
97-98% σκυρόδεμα
2-3% διαμήκειες ράβδοι

Σύγχρονοι Κανονισμοί (EN 206, ΚΤΣ16):

Αύξηση της ποσότητας τσιμέντου: $C_{min} = 280-360 \text{Kgr/m}^3$

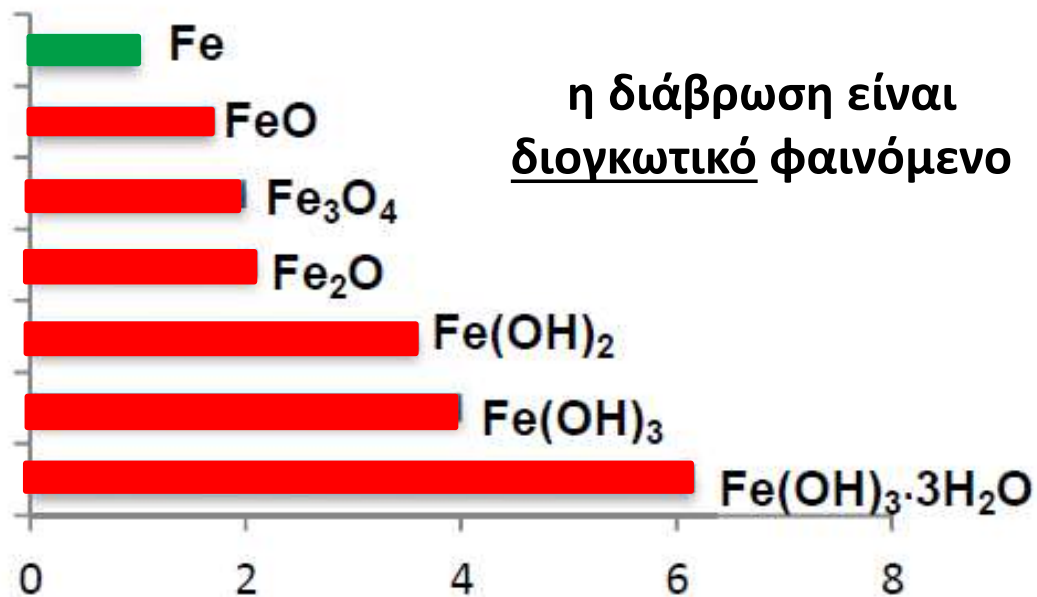
Ελεγχόμενο νερό: $w_{max} = (0.4 - 0.65) \cdot C$

Καθαρή επικάλυψη: 25 – 50mm

Οπλισμένο Σκυρόδεμα

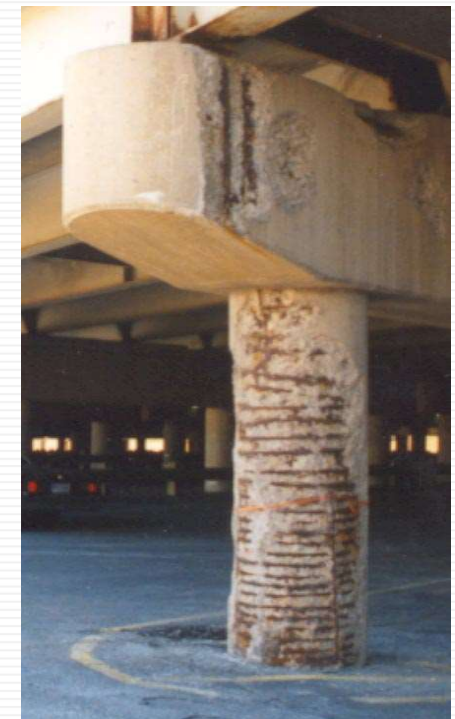
**Διάβρωση: παράκτια ζώνη,
αντιπαγωτικά άλατα,
ενανθράκωση (αστικό περιβάλλον)**

πρέπει να υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες
(π.χ. H_2O , O_2 , Cl^-) → ΣΚΟΥΡΙΑ



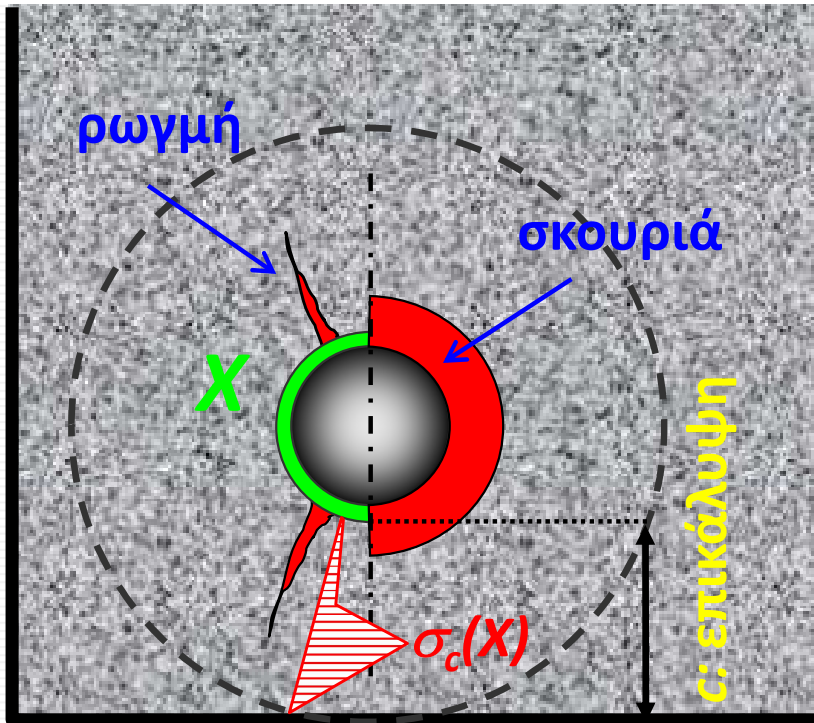
η διάβρωση είναι
διογκωτικό φαινόμενο

όγκος σιδήρου – vs- όγκοι σκουριάς

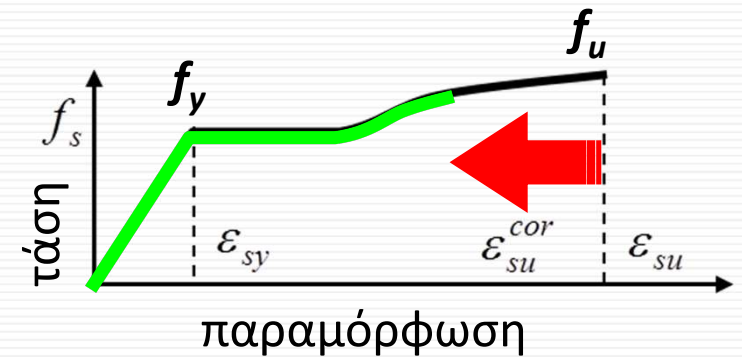
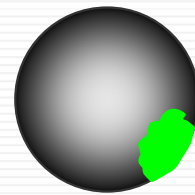


Ομοιόμορφη διάβρωση (π.χ. από ενανθράκωση):

Τοπική διάβρωση, pitting (π.χ. παρουσία χλωριόντων):

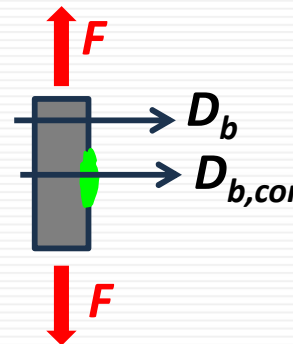


$$\text{απώλεια μάζας } \Delta m/m_{\text{initial}} = (m_{\text{initial}} - m_{\text{final}})/m_{\text{initial}} = \Delta A_{\text{bar}}/A_{\text{bar}} \approx 2\Delta D_b/D_b = 2X/R_b$$



→ **ψαθυροποίηση: περιορισμός της ικανότητας παραμόρφωσης**

- i) Απομένουσα διατομή $D_{b,cor}$ → αμετάβλητα f_y, f_u
 - ii) Ονομαστική διατομή D_b → μειωμένα τα $f_{y,cor}, f_{u,cor}$
- (Εκτίμηση $D_{b,cor}$: με ζύγισμα ή παχύμετρο σε δείγματα)



$$F = A_{\text{bar}} \times f$$

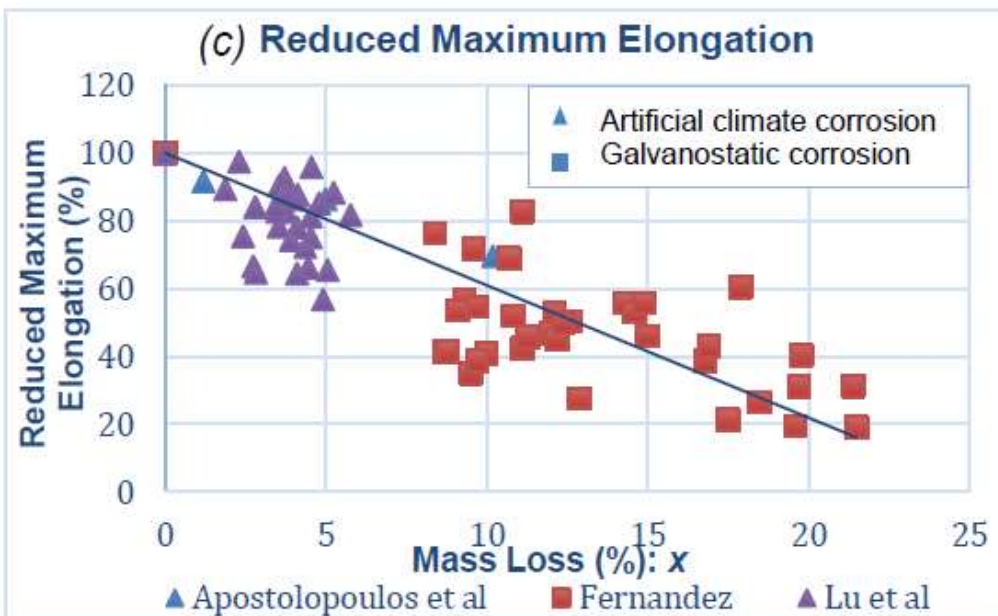
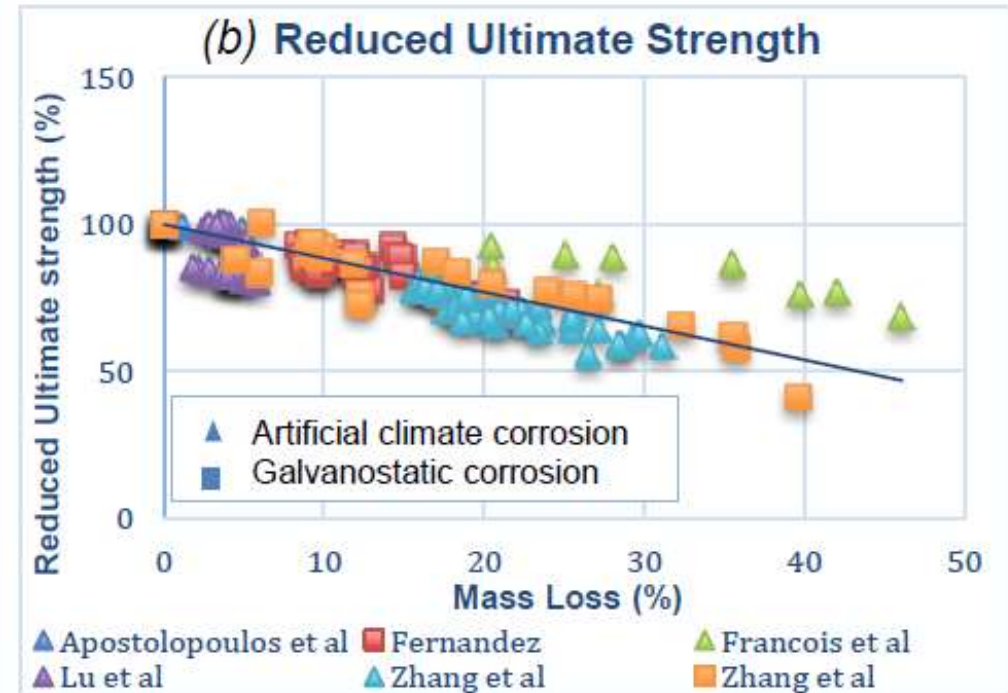
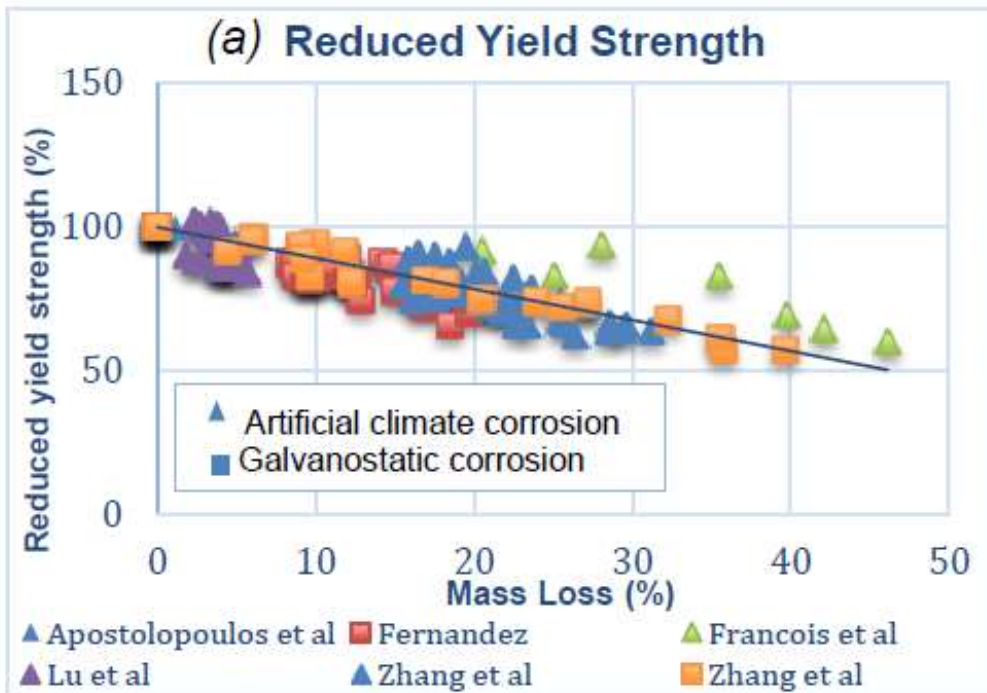
$$F_{\text{uncorroded}} > F_{\text{corroded}}$$

$$i) \pi D_b^2/4f_y > \pi D_{b,cor}^2/4f_y$$

$$ii) \pi D_b^2/4f_y > \pi D_b^2/4f_{y,cor}$$



Μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά χάλυβα σε διαβρωμένα δοκίμια σε εφελκυσμό.



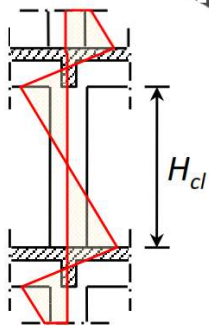
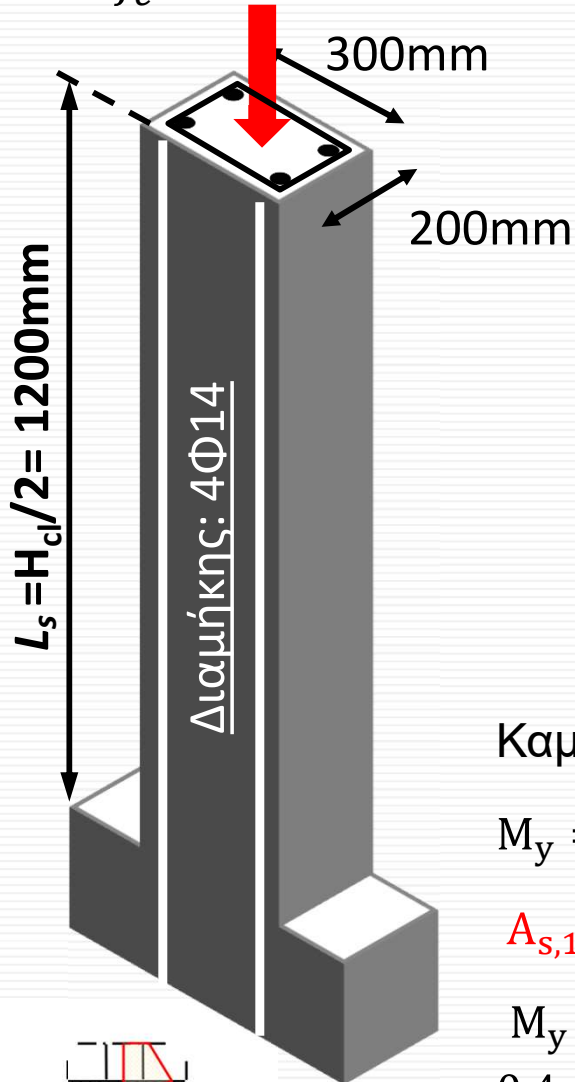
$$F_{y(\%red)} / F_y = (1 - 1.08x),$$

$$F_{u(\%red)} / F_u = (1 - 1.15x),$$

$$\epsilon_{\max(\%red)} / \epsilon_{\max} = (1 - 4x).$$

$$N=180\text{kN} \quad (v=0.19)$$

$$v = \frac{N}{f_c \cdot b \cdot h}$$



Παράδειγμα: υποστήλωμα πυλωτής με διαβρωμένο διαμήκη οπλισμό, με απώλεια μάζας 15% ($f_y=500\text{MPa}$, $f_c=16\text{MPa}$)

Καμπτική αντοχή (χωρίς συντελεστές ασφαλείας):

$$M_y = A_{s,1} \cdot f_y \cdot jd + N_{Ed} \cdot (0.5h - 0.4 \cdot 0.25 \cdot d)$$

$jd = 0.85d$ ο εσωτερικός μοχλοβραχίονας μεταξύ εφελκυσμένου οπλισμού και θλιπτικής δύναμης σκυροδέματος

$$A_{s,1} = \frac{n_{s,1} \pi D_b^2}{4} = 2 \times \pi \cdot \frac{14^2}{4} = 308 \text{ mm}^2 \text{ το εμβαδόν του εφελκυσμένου οπλισμού, } d=300-25=275\text{mm} \text{ στατικό ύψος}$$

$$M_y = 308 \times 500 \times 0.85 \times 275 + 180 \times 10^3 (0.5 \times 300 - 0.4 \times 0.25 \times 275) \approx \mathbf{58 \text{ kNm}} \text{ (αδιάβρωτη τιμή)}$$

Καμπτική αντοχή (διαβρωμένη κατάσταση):

$$M_y = A_{s,1}^{cor} \cdot f_y \cdot jd + N_{Ed} \cdot (0.5h - 0.4 \cdot 0.25 \cdot d) \text{ με}$$

$$A_{s,1}^{cor} = (1 - 0.15) \cdot A_{s,1} = \mathbf{262 \text{ mm}^2}$$

$$M_y = \mathbf{262} \times 500 \times 0.85 \times 275 + 180 \times 10^3 (0.5 \times 300 - 0.4 \times 0.25 \times 275) \approx \mathbf{52.6 \text{ kNm}} \underline{\eta}$$

$$M_y = A_{s,1} \cdot f_y^{cor} \cdot jd + N_{Ed} \cdot (0.5h - 0.4 \cdot 0.25 \cdot d)$$

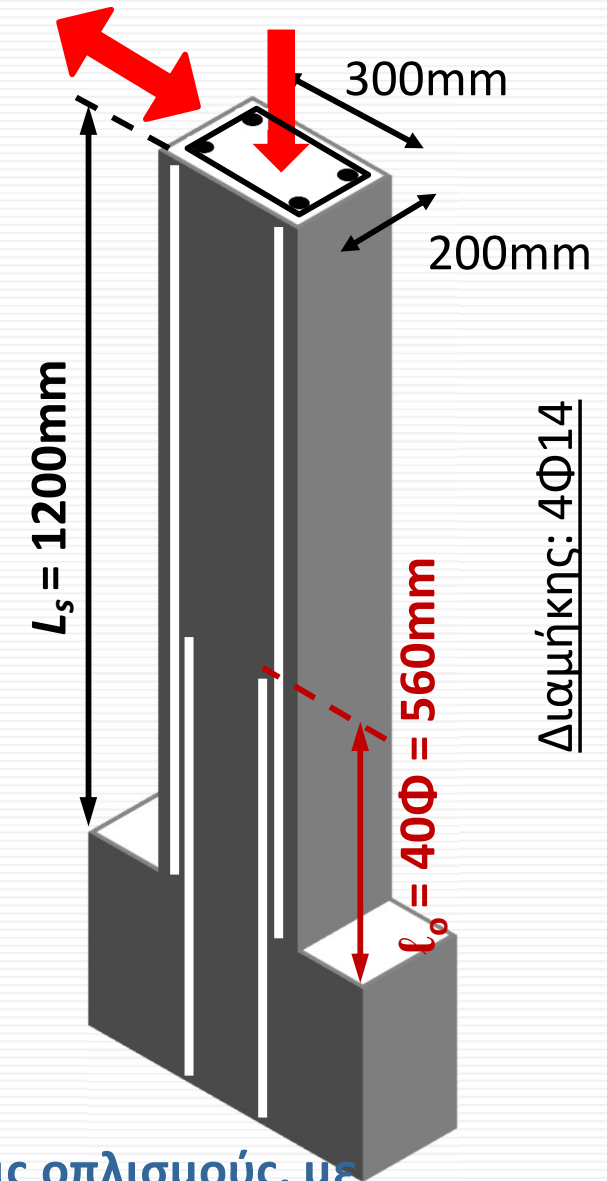
$$M_y = 308 \times (1 - 1.08 \cdot 0.15) \times 500 \times 0.85 \times 275 + 180 \times 10^3 (0.5 \times 300 - 0.4 \times 0.25 \times 275) \approx \mathbf{52.2 \text{ kNm}}$$

Μείωση καμπτικής αντοχής ~ 10%

$$\begin{aligned} F_y(\%red)/F_y &= (1-1.08x), \\ F_u(\%red)/F_u &= (1-1.15x), \\ \varepsilon_{\max}(\%red)/\varepsilon_{\max} &= (1-4x). \end{aligned}$$

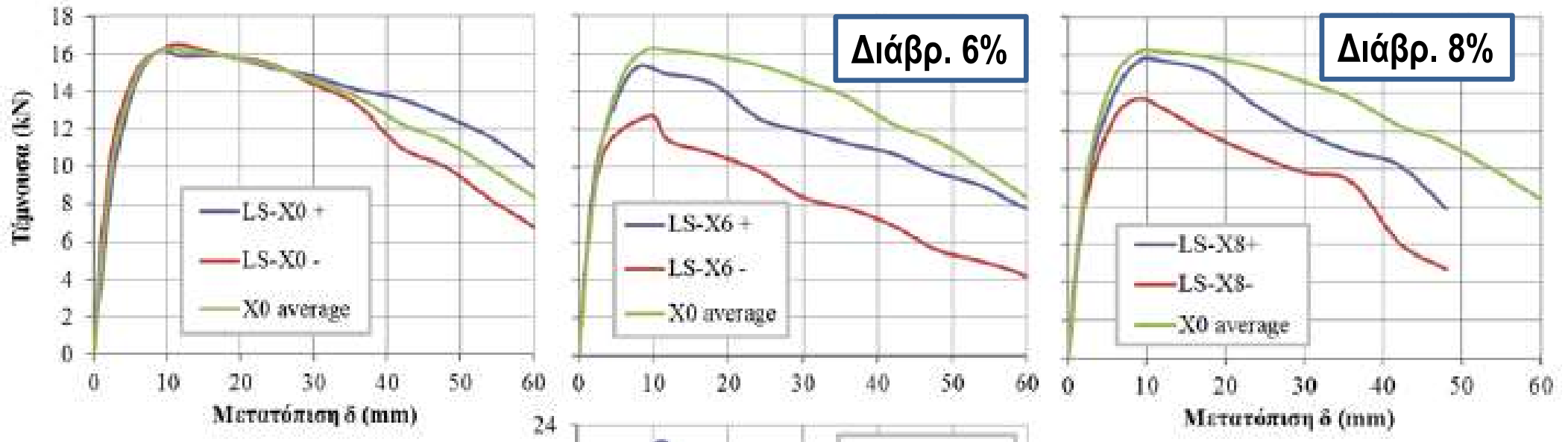
Δεδομένα: Göksu Ç. (PhD thesis, 2012) - Goksu C, Ilki A. (ACI Structural J, 2016)

	Δοκ. χαμηλής αντοχής πρακτική προ '70	Δοκ. συμβατικής αντοχής αντισεισμικός σχεδιασμός
Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος, f_c	4MPa	26MPa
χάλυβες	Λείοι $f_y=340/380\text{MPa}$ (διαμ./εγκ.)	Νευροχάλυβες $f_y=460/490\text{MPa}$ (διαμ./εγκ.)
Συνδετήρες εντός ℓ_o	$\Phi 8/200\text{mm}$ ($s/D_b=14$)	$\Phi 8/100\text{mm}$ ($s/D_b=7$)
αξονικό φορτίο, ν	0.5	0.2
Διάβρωση χ_i απώλεια διατομής ($\Delta A_b \approx 2\Delta D_b$)	6 – 28% (3 - 14%)	9 – 54% (4 - 26%)

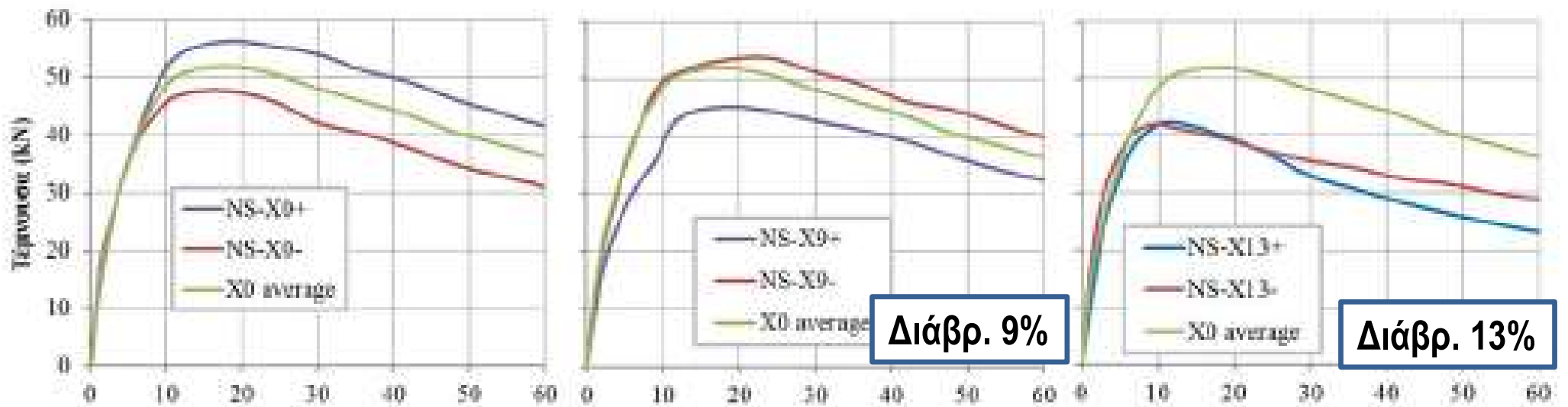


Η βλάβη από την επιταχυνόμενη διάβρωση: κυρίως στους διαμήκεις οπλισμούς, με εμφάνιση ρωγμών κατά τον άξονά τους (όχι όμως σε όλο ℓ_o)

Δοκ. χαμηλής αντοχής – **πρακτική προ '70**

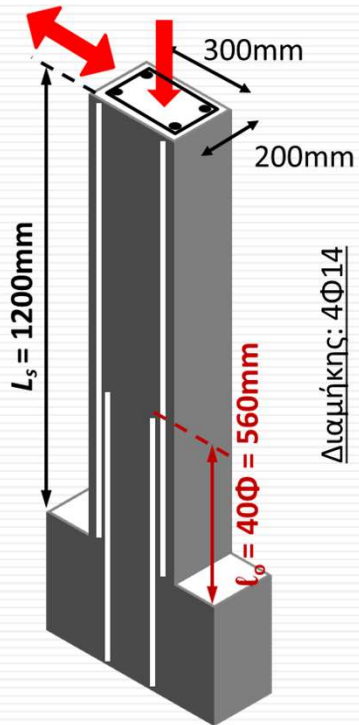


Δοκ. συμβατικής αντοχής – **αντισεισμικός σχεδιασμός**



N=180kN (v=0.19)

$$v = \frac{N}{f_c \cdot b \cdot h}$$



	Δοκ. συμβατικής αντοχής αντισεισμικός σχεδιασμός
θλιπτική αντοχή σκυροδέματος, f_c	26MPa
χάλυβες	Νευροχάλυβες $f_y=460/490\text{MPa}$ (διαμ./εγκ.)
Συνδετήρες εντός l_o	Φ8/100mm ($s/D_b=7$)
αξονικό φορτίο, v	0.2
Διάβρωση σε απώλεια διατομής, $\Delta A_b/A_b$	9 - 54% (4 - 26%)

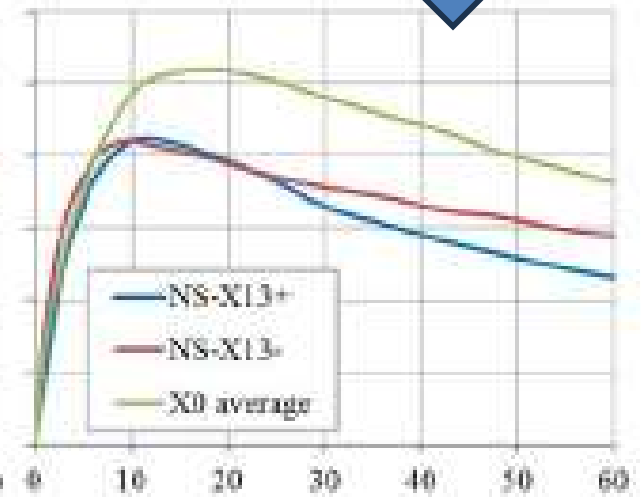
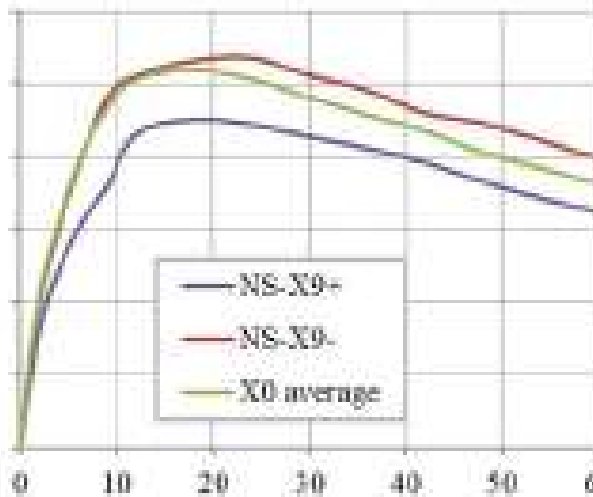
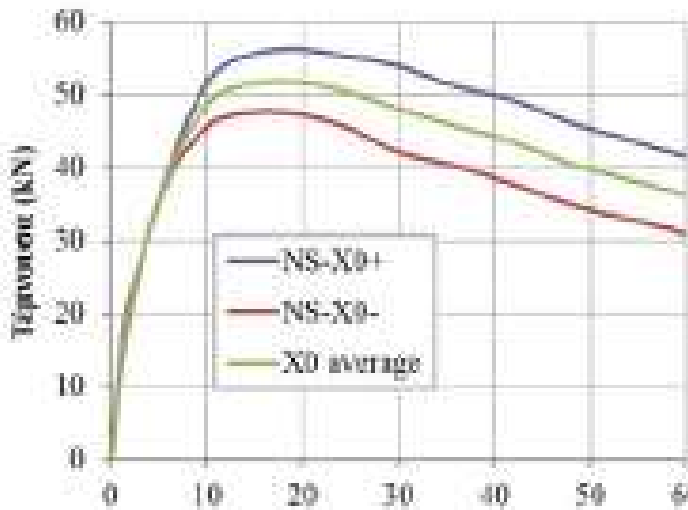
Άσκηση για το σπίτι: υποστήλωμα με διαβρωμένο διαμήκη οπλισμό, με απώλεια μάζας 13%

Οδηγία: βρείτε την καμπτική αντοχή διαρροής M_y στην αδιάβρωτη και διαβρωμένη κατάσταση (η αντίστοιχη **τέμνουσα** είναι ίση με $V_y=M_y/L_s$), με χρήση των ιδιοτήτων του πίνακα χωρίς συντελεστές ασφάλειας των υλικών καθώς και την προτεινόμενη εξίσωση της απομένουσας **δύναμης διαρροής** των διαβρωμένων εφελκόμενων/θλιβόμενων οπλισμών με ανάλυση διατομής. Συγκρίνετε τα υπολογισμένα μεγέθη με τα πειραματικά (δείτε διάγραμμα στα δεξιά, όπου με πράσινο είναι η αδιάβρωτη κατάσταση και με μπλε-κόκκινο η διαβρωμένη).

$$F_y(\%red)/F_y = (1-1.08x),$$

$$F_u(\%red)/F_u = (1-1.15x),$$

$$\epsilon_{max}(\%red)/\epsilon_{max} = (1-4x).$$

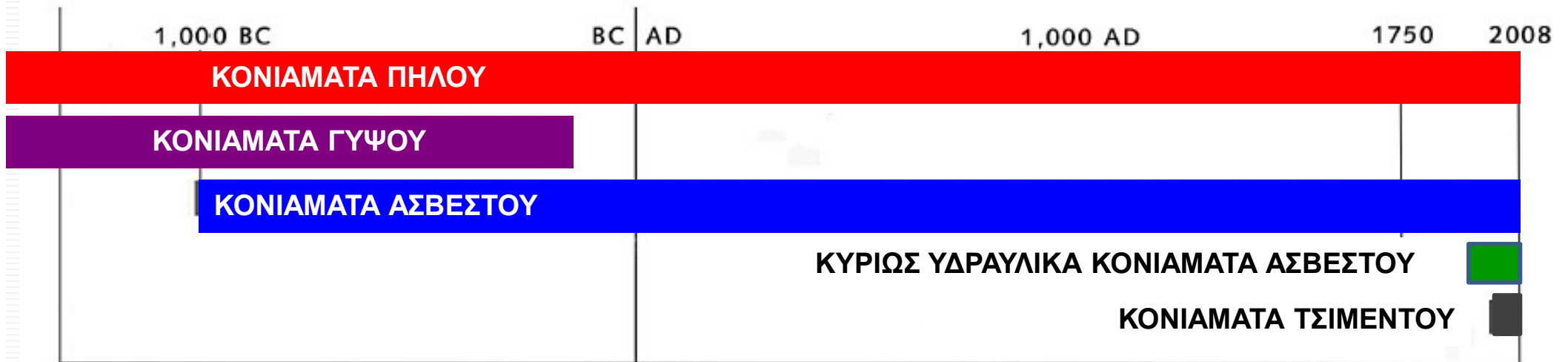


Οπλισμένο Σκυρόδεμα & Σεισμός

- σε ποιο βαθμό είναι επισκευάσιμες οι βλάβες στα φέροντα στοιχεία του κτηρίου;
- Ή μπορούν να αποφευχθούν πρόωρες αστοχίες σε κατασκευές που γνωρίζουμε ότι έχουν ανεπάρκειες (χαμηλής αντοχής σκυρόδεμα, ανεπαρκείς λεπτομέρειες όπλισης, π.χ. αραιοί συνδετήρες, λείοι οπλισμοί, ματίσεις ράβδων χωρίς επαρκές μήκος και αραιούς συνδετήρες);



Ιστορικά κονιάματα δόμησης πηλού, γύψου, υδραυλικά ασβέστου και φυσικών ποζολανών



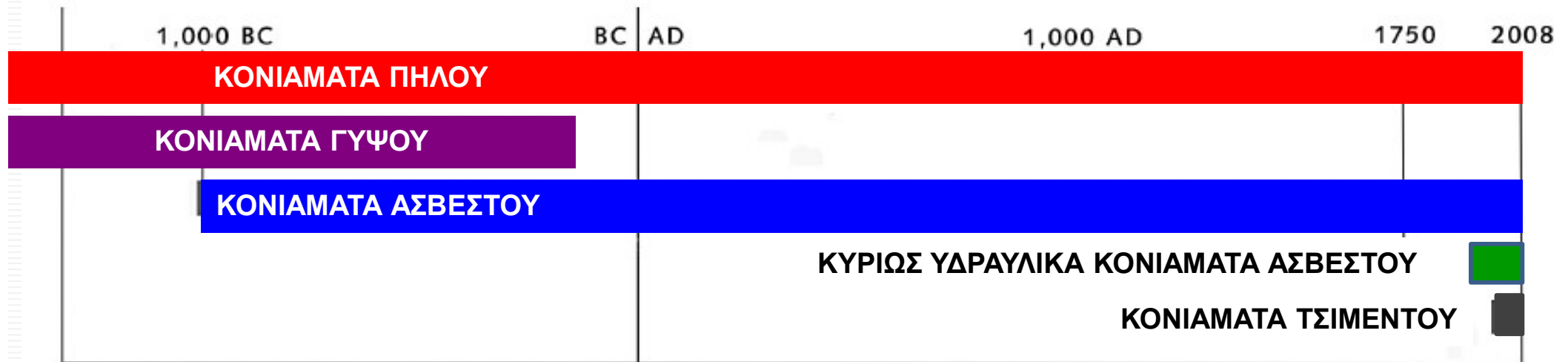
Η χρήση πηλού ξεκίνησε πριν από 10000 χρόνια. Η παραγωγή ωμόπλινθων με καλούπια αναπτύχθηκε στη Μεσοποταμία πριν από 7000 χρόνια.

Μείξη πηλού με τη προσθήκη ινών (άχυρα, αποξηραμένα φύκια, ζωικές τρίχες) ή/και πρόσθετων (άμμοι, χάλικες, κεραμικά). Το μίγμα μπαίνει σε καλούπια και τα μπλοκ που σχηματίζονται αφήνονται να στεγνώσουν υπό την επίδραση του ήλιου και του αέρα.



Ιστορικά κονιάματα δόμησης

πηλού, γύψου, υδραυλικά ασβέστου και φυσικών ποζολανών



Πουζολάνη - αναφέρεται από τον Αριστοτέλη (384-322π.Χ.)

Ο Στράβωνας (63-64π.Χ.–23μ.Χ.) : αναφέρει τη χρήση της στην κατασκευή λιμενικών έργων, λόγω της ιδιότητας της να στερεοποιείται και να πηξεί γρήγορα «...και κόλλησιν ισχυράν και πήξιν λαμβάνει...»

Άμμος - Βιτρούβιος (80π.Χ. – 15μ.Χ) «...Η καλύτερη άμμος είναι αυτή, που όταν τριφτεί στο χέρι ‘τρίζει’. Αν έχει μέσα της χώμα, τότε δεν είναι [τόσο] αδρή. Η άμμος είναι κατάλληλη για κτίσιμο, αν, βάζοντας τη σε λευκό ύφασμα και τινάζοντάς την, δεν το λερώνει και δεν αφήνει χώμα...».

Πρόσμικτα - Πλίνιος (1^{ος} αι. μ.Χ.): το αίμα, ασπράδι αυγού, χοιρινό λίπος

Πρόσθετα - Βιτρούβιος (80π.Χ. – 15μ.Χ): Καλάμια(micro*), στάχτη(nano*)

[“Bill of Rights for Masonry Structures”](#) (ebook by Larry D. Jones, manager of the Historic Preservation Group)

“Μάθε τι μου συμβαίνει, πριν σχεδιάσεις πώς θα με φτιάξεις”

“Σεβάσου τι έμεινε από εμένα...”

“Επισκεύασέ με μόνο όταν το χρειάζομαι και με υλικά όμοια με εμένα”

“μην αυθαιρετείς έχοντας την αυταπάτη ότι με ενισχύεις» π.χ. καθαίρεση αρμού που όμως έχει επιζήσει την δοκιμασία του χρόνου

Ιστορικά κονιάματα δόμησης

πηλού, γύψου, υδραυλικά ασβέστου και φυσικών ποζολανών

- ΔΙΑΒΡΩΣΗ/ ΑΠΟΠΛΥΣΗ (απώλεια μέρους λόγω επίδρασης νερού)
- Απώλεια αντοχής – ανθεκτικότητας (τρίβεται ή αποκολλάται, αιτία το πορώδες, κύκλοι ψύξης /απόψυξης)
- αλλοιώσεις από μούχλα ή βλάστηση ή κρυσταλλοποίηση αλάτων



**Πάγια τακτική προηγούμενων 10ετιών: αποκάλυψη της εσωτερικής δομής
Φ.Τ. : εκτεθειμένα τα ξύλινα στοιχεία /ξυλοδεσιές, αρμολόγηση με τσιμέντο.**



Ιστορικά κονιάματα δόμησης

(πηλού, γύψου, υδραυλικά ασβέστου και φυσικών ποζολανών)

Πάγια τακτική προηγούμενων 10ετιών: αποκάλυψη της εσωτερικής δομής
Φ.Τ. : εκτεθειμένα τα ξύλινα στοιχεία /ξυλοδεσιές, αρμολόγηση με τσιμέντο.



Αν η υγρασία δεν μπορεί να εξατμισθεί μέσω των πόρων του κονιάματος τότε θα εξατμισθεί μέσω των τούβλων/ λίθων → δημιουργία αλάτων που κρυσταλλοποιούνται εντός των τούβλων/ λίθων (διογκωτική η δράση τους) → αποφλοίωση, θριμματισμός



Ο σεισμός αποκαλύπτει τις λάθος επεμβάσεις:

Εξωτερικός φλοιός πάχους έως και 5cm από κονίαμα τσιμέντου

- πολύ μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας απ' ό τι το κονίαμα πηλού που συνδέει χαλαρά τις λίθους
- Μικρότερη ικανότητα παραμόρφωσης

