



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (ΟΑΣΠ)



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΕΝΤΡΟ  
ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ  
ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΣΕΙΣΜΩΝ  
(ΕΚΠΠΣ)

# ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

ΕΙΣΗΓΗΣΗ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ  
ΠΑΡΘΕΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗΣ ΠΛΙΝΘΟΔΟΜΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

ΙΓΝΑΤΑΚΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ - ΣΤΥΛΙΑΝΙΔΗΣ ΚΟΣΜΑΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ - ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2011

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

- Η αποτίμηση και ο ανασχεδιασμός υφιστάμενου κτίσματος προϋποθέτει τη γνώση των μηχανικών χαρακτηριστικών παρθενικών και ενισχυμένων δομικών στοιχείων
- Ο πειραματικός προσδιορισμός τους, παρότι είναι η ασφαλέστερη μέθοδος, εφαρμόζεται συνήθως μόνο σε σημαντικά μνημεία καθώς είναι δύσκολο και ιδιαίτερα δαπανηρό εγχείρημα
- Έτσι σε συνήθη διατηρητέα κτίρια ο μελετητής καταφεύγει πολλές φορές στις διατάξεις των κανονισμών και στη σχετική βιβλιογραφία με αποτέλεσμα την υιοθέτηση συντηρητικών τιμών για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών
- Η παρουσίαση αφορά ακριβώς στον πειραματικό προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων παρθενικής και ενισχυμένης με οπλισμένο επίχρυσμα πλινθοδομής διατηρητέου κτίσματος
- Αναμφίβολα, τα ποσοτικά αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτούσια καθώς κάθε φέρουσα τοιχοποιία είναι και μια ιδιαίτερη περίπτωση. Τα ποιοτικά όμως συμπεράσματα μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο οδηγό για ανάλογες περιπτώσεις



# ΤΟ ΔΙΑΤΗΡΗΤΕΟ ΚΤΙΡΙΟ

## Ρωσικό Νοσοκομείο Θεσσαλονίκης

- Έτος Κατασκευής: 1906
- Αρχικές χρήσεις: Νοσοκομείο, Σχολείο
- Σεισμός του 1978 - Εγκατάλειψη
- Ιδιοκτήτης: Υπουργείο Παιδείας
- Μελέτη Αποκατάστασης - Ενίσχυσης: ΥΑΣΒΕ
- Χρηματοδότης Έρευνας: Υπουργείο Παιδείας
- Νέα Χρήση: Ιστορικό Αρχείο

- **Κατακόρυφος φέρων οργανισμός**
  - Ισόγειο: Αργολιθοδομές με ημιλάξευτα αγκωνάρια
  - Όροφος: Πλινθοδομές πλήρων πλίνθων
- **Οριζόντιος φέρων οργανισμός**
  - Μεταλλικές δοκοί με πλινθοπλήρωση



Πρόσοψη



Δυτική όψη



# ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα δοκίμια λήφθηκαν από μπατικούς τοίχους του ορόφου που επρόκειτο να καθαιρεθούν για τις λειτουργικές ανάγκες της νέας χρήσης

## Δοκίμια υλικών

- > Πλίνθοι χειροποίητες με σκάφη:  
200·100·70 mm  
Επιλογή ομαλών και ομογενών πλίνθων
- > Κονίαμα δόμησης: ασθενές ασβεστοκονίαμα  
Επιλογή μεγάλων και συμπαγών τεμαχίων

## Δοκίμια τοιχοποιιών

- > Μικρού μεγέθους (S): Τοιχίσκοι ύψους  
3 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 450 \cdot 250 \cdot 200 \text{ mm}$
- > Μεσαίου μεγέθους (C): Πρισματικά ύψους  
9 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 550 \cdot 800 \cdot 200 \text{ mm}$
- > Μεγάλου μεγέθους (D): Τετραγωνικά ύψους  
11 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 950 \cdot 950 \cdot 200 \text{ mm}$



Πλέξη τοιχοποιίας



Απότμηση δοκιμίου



# ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα δοκίμια λήφθηκαν από μπατικούς τοίχους του ορόφου που επρόκειτο να καθαιρεθούν για τις λειτουργικές ανάγκες της νέας χρήσης

## Δοκίμια υλικών

- > Πλίνθοι χειροποίητες με σκάφη:  
200·100·70 mm  
Επιλογή ομαλών και ομογενών πλίνθων
- > Κονίαμα δόμησης: ασθενές ασβεστοκονίαμα  
Επιλογή μεγάλων και συμπαγών τεμαχίων

## Δοκίμια τοιχοποιιών

- > Μικρού μεγέθους (S): Τοιχίσκοι ύψους  
3 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 450 \cdot 250 \cdot 200 \text{ mm}$
- > Μεσαίου μεγέθους (C): Πρισματικά ύψους  
9 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 550 \cdot 800 \cdot 200 \text{ mm}$
- > Μεγάλου μεγέθους (D): Τετραγωνικά ύψους  
11 πλίνθων:  $\ell \cdot h \cdot t \approx 950 \cdot 950 \cdot 200 \text{ mm}$



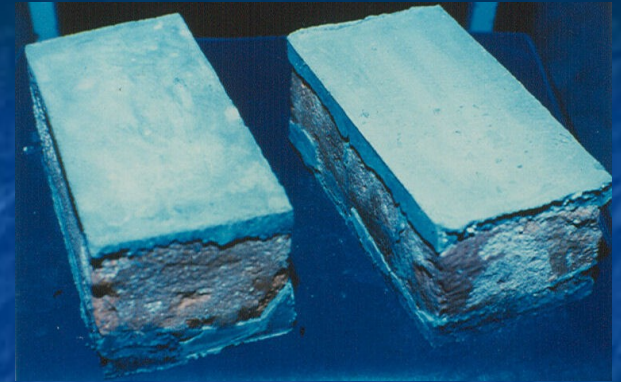
Μεταφορά δοκιμίων



# ΠΛΙΝΘΟΙ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ - ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ - ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ

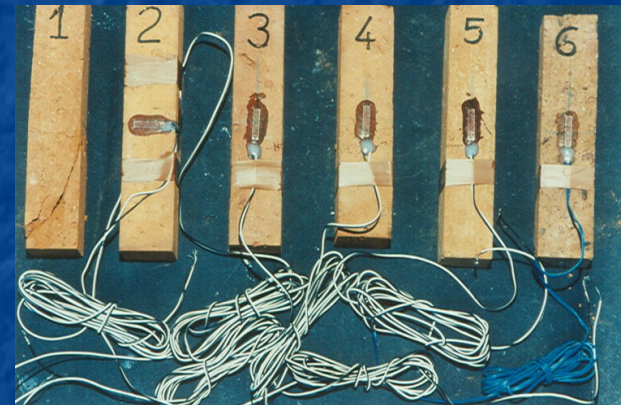
## Πλήρεις πλίνθοι

- Αμφίπλευρο καπέλωμα επιφανειών έδρασης
- Δοκιμασία σε θλίψη στη θέση δόμησης



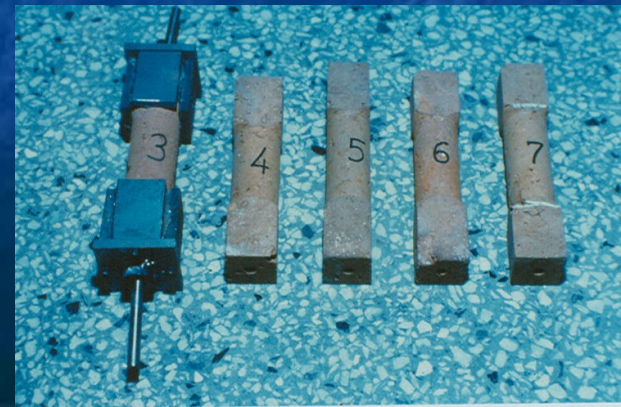
## Πρισματικά δοκίμια 40•40•120(200)mm

- Διαμόρφωση με δισκοπρίονο
- Στερέωση μεταλλικών υποδοχών στα άκρα
- Επικόλληση ταινιών επιμήκυνσης (straingages) σε διαμήκη και εγκάρσια (1 δοκίμιο) διεύθυνση
- Δοκιμασία σε αξονική θλίψη (force control)



## Κυλινδρικά δοκίμια Ø40•120(200)mm

- Διαμόρφωση με δισκοπρίονο και τόρνο
- Στερέωση μεταλλικών υποδοχών στα άκρα
- Δοκιμασία σε αξονικό εφελκυσμό (force control)





# ΠΛΙΝΘΟΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΜΟΡΦΗ-ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Πλίνθοι 70×200×100mm Θλίψη στη θέση δόμησης	10 (12)	$f_{bcc} = 6.12 \div 10.98$ (MPa) $f_{bcc,m} = 7.82$ (s.d. = 1.40)
Πρισματικά δοκίμια* 40×40×120 (200) mm Αξονική θλίψη	4 (6)	$f_{bc} = 5.45 \div 8.33$ (MPa) $f_{bc,m} = 6.59$ (s.d. = 1.40) $E_b = 3667 \div 7959$ ( $\sigma_c = 0.40 f_{bc}$ ) $E_{b,m} = 5790$ (MPa) $\cong 880 f_{bc,m}$
Κυλινδ. δοκίμια Ø40×120 (200) Αξονικός εφελκυσμός	6 (8)	$f_{bt} = 0.69 \div 1.47$ (MPa) $f_{bt,m} = 0.96$ (s.d. = 0.30)

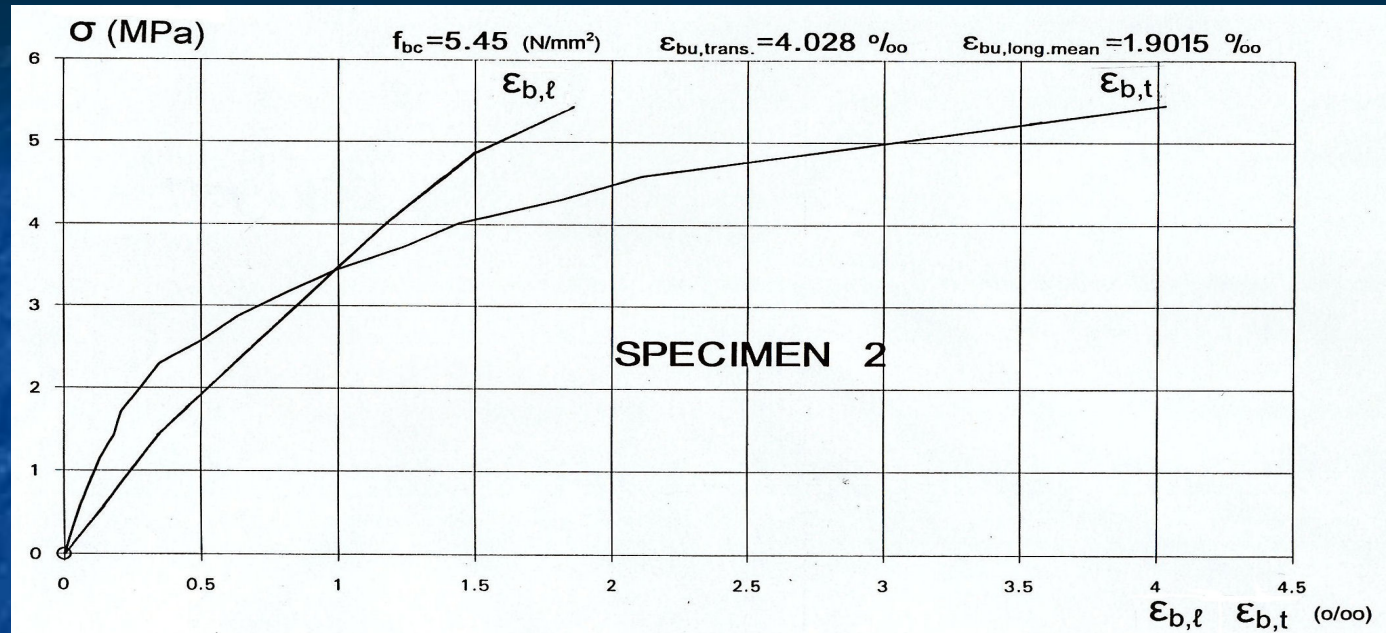
\* Λόγος Poisson (ένα δοκίμιο) :  $\nu_b = 0.48!$  ( $\sigma_c = 0.10 f_{bc}$ )



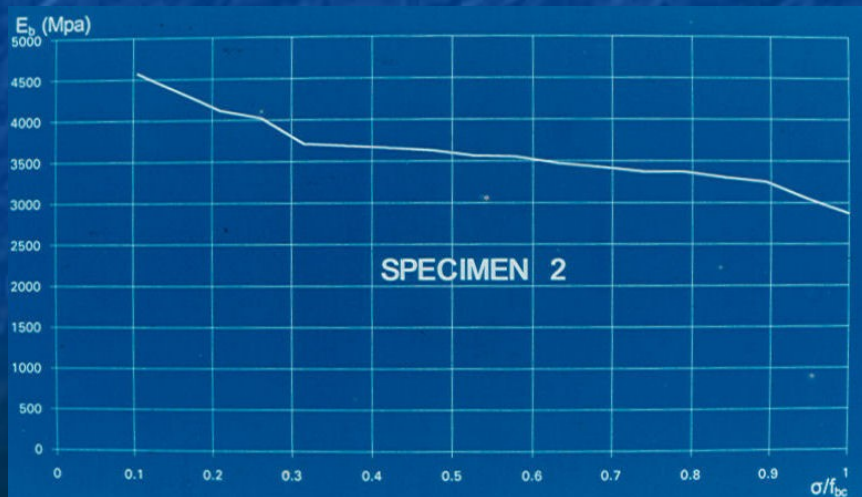


# ΠΛΙΝΘΟΙ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

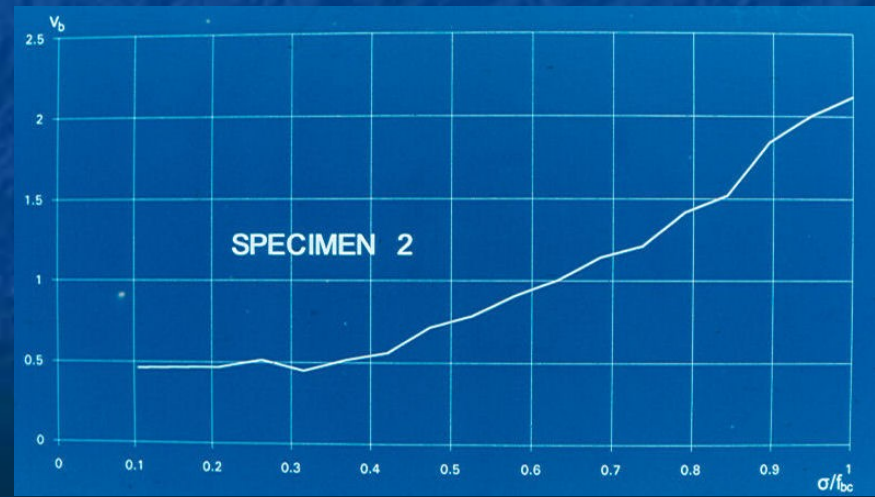
Θλίψη  
πρισματικού  
δοκιμίου  
40·40·120mm



Καμπύλες τάσης - παραμόρφωσης ( $\sigma - \epsilon_\ell$ ), ( $\sigma - \epsilon_t$ )



$E_{secant} - (\sigma/f_{bc})$



Poisson ratio - ( $\sigma/f_{bc}$ )



# ΚΟΝΙΑΜΑ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ - ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

## Διαμόρφωση δοκιμίων

- Προσεκτική απόξεση με το χέρι (πολλές απώλειες)

## Πρισματικά δοκίμια

~40·40·120(200)mm

- Καπέλωμα των άκρων
- Στερέωση μεταλλικών υποδοχών στα άκρα
- Δοκιμασία σε θλίψη (force control)

## Πρισματικά δοκίμια

~40·40·120(200)mm

- Καπέλωμα των άκρων
- Στερέωση μεταλλικών υποδοχών στα άκρα
- Δοκιμασία σε εφελκυσμό (force control)

ΜΟΡΦΗ - ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΛΗΘΟΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
Πρισματικά δοκίμια ~40 × 40×120 (200) mm  Αξονική καταπόνηση	4  (6)	Θλιπτική αντοχή (MPa)
		$f_{mc} = 0.97 \div 1.24$ (MPa) $f_{mc,m} = 1.04$ (s.d. = 0.13)
	2  (2)	Εφελκυστική αντοχή (MPa)
		$f_{mt} = 0.13 \div 0.16$ (MPa) $f_{mt,c} = 0.14$





# ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΕΣΣΩΝ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ - ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ

## Πεσσοί παρθενικής τοιχοποιίας (C00)

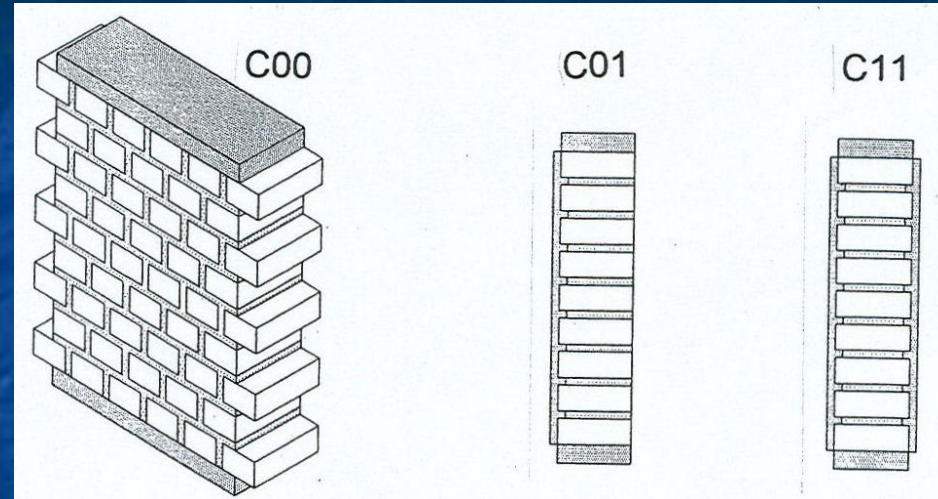
- Καπέλωμα επιφανειών φόρτισης με ισχυρή τσιμεντοκονία
- Στερέωση ζευγών LVDTs στις όψεις
- Δοκιμασία σε κεντρική θλίψη (3 δοκίμια) (displacement control)

## Πεσσός με μονόπλευρη ενίσχυση (C01)

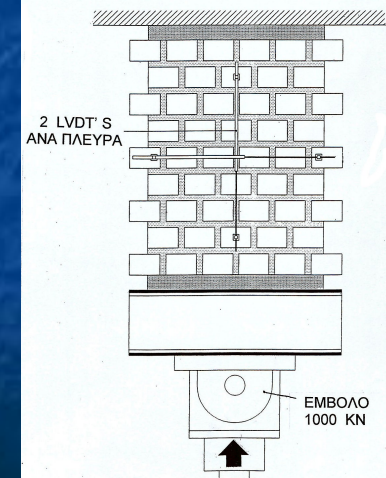
- Εκβάθυνση αρμών κατά 20mm
- Στερέωση πλέγματος T131 μέσω διαμπερών βλήτρων (σύρμα Ø3) και εφαρμογή πατητής τσιμεντοκονίας (M12)
- Στερέωση ζεύγους LVDTs στη μία όψη
- Δοκιμασία σε κεντρική θλίψη (1 δοκίμιο) χωρίς άμεση φόρτιση του μανδύα

## Πεσσός με αμφίπλευρη ενίσχυση (C11)

- Αμφίπλευρο οπλισμένο επίχρισμα ως άνω
- Στερέωση ζεύγους LVDTs πλευρικά
- Δοκιμασία σε κεντρική θλίψη (1 δοκίμιο) χωρίς άμεση φόρτιση του μανδύα



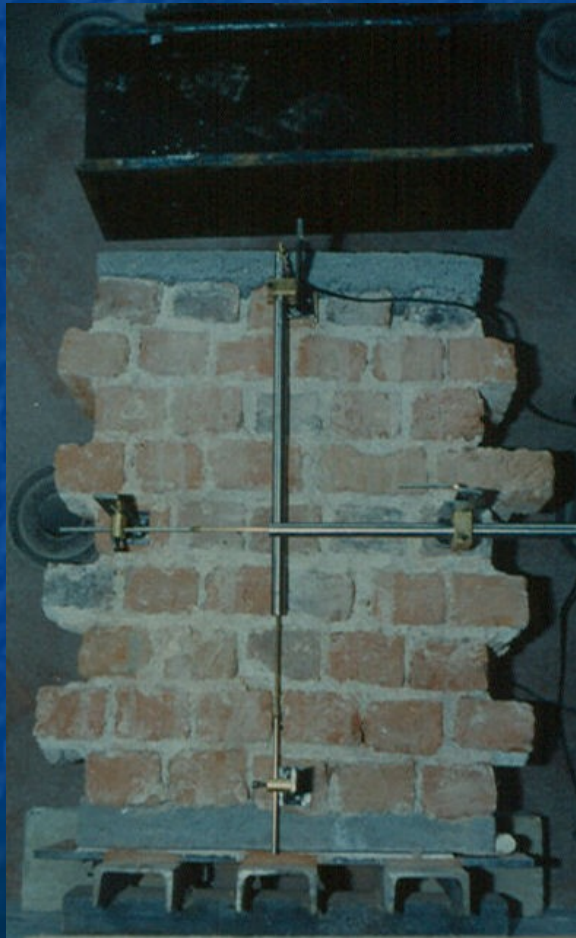
ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΠΕΣΣΩΝ  
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ : ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΥΠΟΥ C



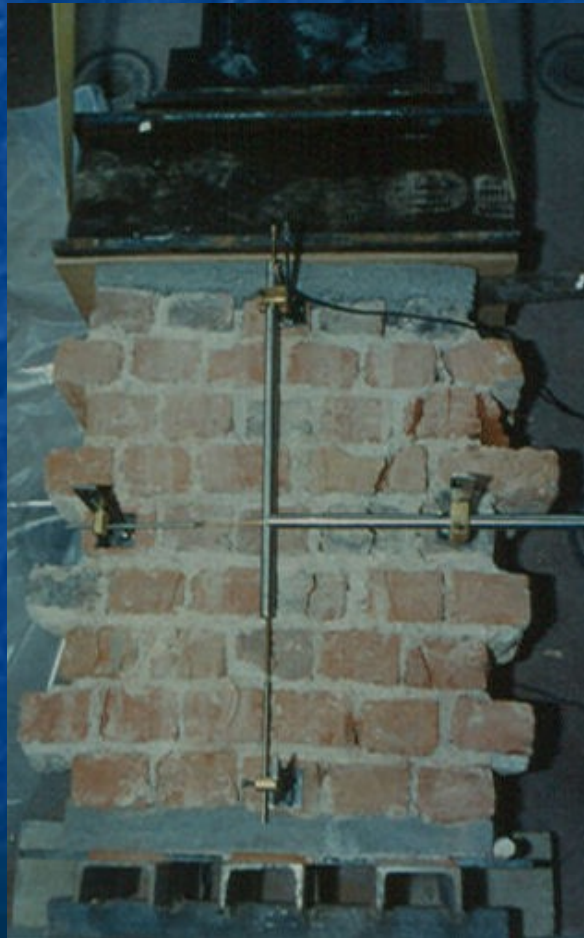


# ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΕΣΣΩΝ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πεσσός παρθενικής τοιχοποιίας (C00A)



Προετοιμασία



Προχωρημένη ρηγμάτωση



11 Αστοχία



# ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΕΣΣΩΝ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δοκίμια $h \times \ell \times t$ (mm) 800×550×200	Θλιπτική Αντοχή		Βράχυνση Αστοχίας		Διάταση Αστοχίας		Μέτρο Ελαστ/τας ( $\sigma = 0.10 f_{wc}$ )	
	$f_{wc}$ (MPa)		$\varepsilon_{t,u}$ (‰)		$\varepsilon_{t,u}$ (‰)		$E_{wo}$ (MPa)	
Παρθενική	1.75		5.95		6.51		1200	
Τοιχοποιία	1.82	1.79	7.67	7.30	12.78	12.81	1200	1067
C00	1.79		8.27		19.15		800	
Μονόπλευρος μανδύας : C01	2.07		(7.31)		(10.66)		(750)	
Αμφίπλευρος μανδύας : C11	1.85		(6.28)		-		(750)	



C01: Ρηγμάτωση μανδύα



C01: Αστοχία



C11: Αστοχία



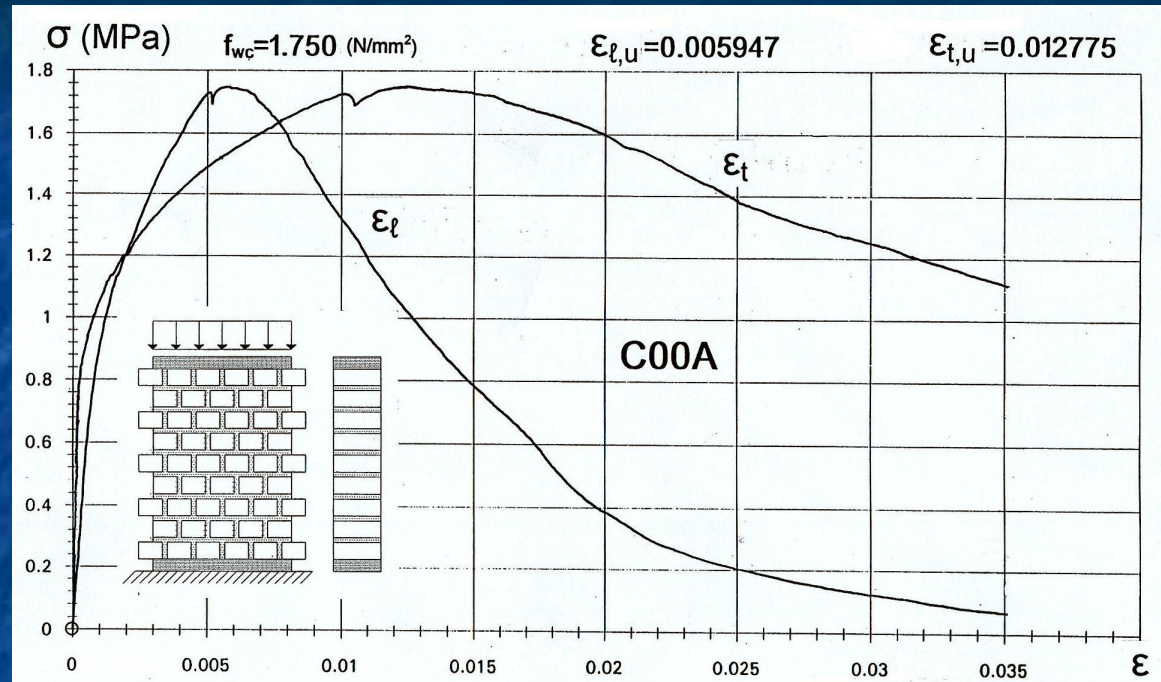
# ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΠΕΣΣΩΝ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δοκίμιο C00A

Παρθενική τοιχοποιία

Διαγράμματα

$(\sigma - \varepsilon_\ell)$ ,  $(\sigma - \varepsilon_t)$

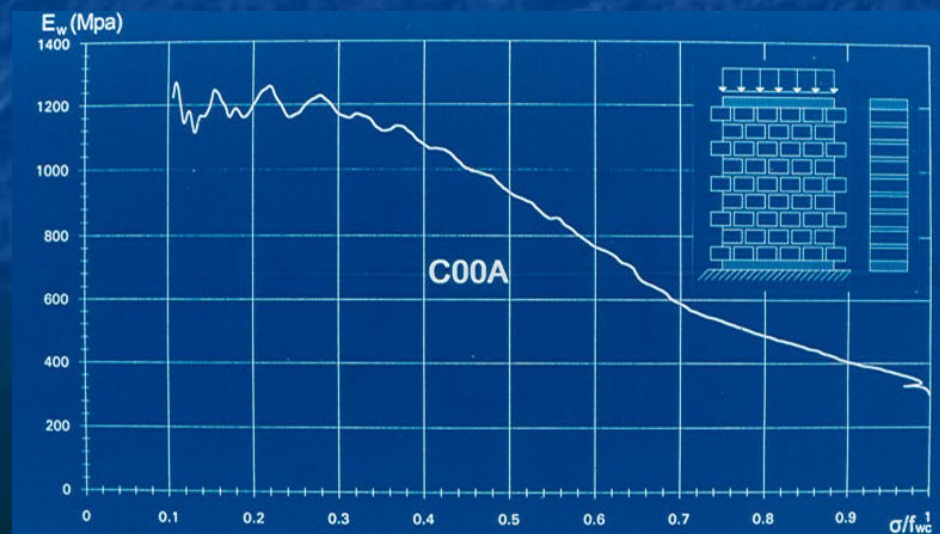


Δοκίμιο C00A

Παρθενική τοιχοποιία

Διάγραμμα

$E_{secant} - (\sigma/f_{wc})$



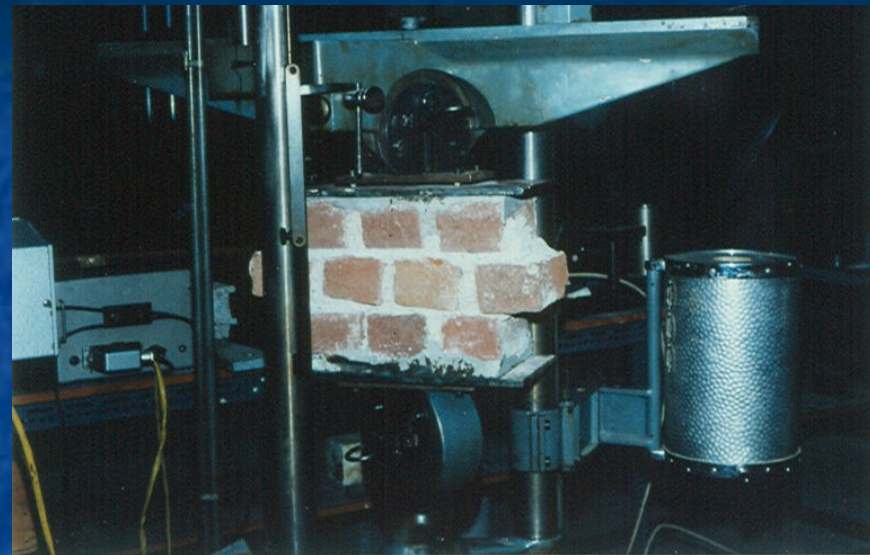


# ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΥΨΟΥΣ- ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

## Τοιχίσκοι παρθενικής τοιχοποιίας (S)

- Καπέλωμα με ισχυρή τσιμεντοκονία των επιφανειών φόρτισης
- Δοκιμασία σε κεντρική θλίψη (2 δοκίμια, force control)

Μεγάλη αύξηση αντοχής ( $f_{wcc} = 2.90 \text{ MPa}$ ) λόγω παθητικής περίσφιξης



## ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΕΩΝ ΤΟΥ EC6

Δοκίμια πεσσών ( $h / t = 4.00$ )	:	$f_{wc} = 1.79 \text{ MPa}$
Δοκίμια τοιχίσκων ( $h / t = 1.25$ )	:	$f_{wcc} = 2.90 \text{ MPa}$
Ευρωκώδικας 6 ( $h / t \geq 3.00$ )	:	$f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3} = 1.94 \text{ MPa} *$
$K = 0.5$	$f_b = \delta \cdot f_{bcc} = 0.871 \times 7.82 = 6.81 \text{ MPa}$	$f_m = 1.04 \text{ MPa}$

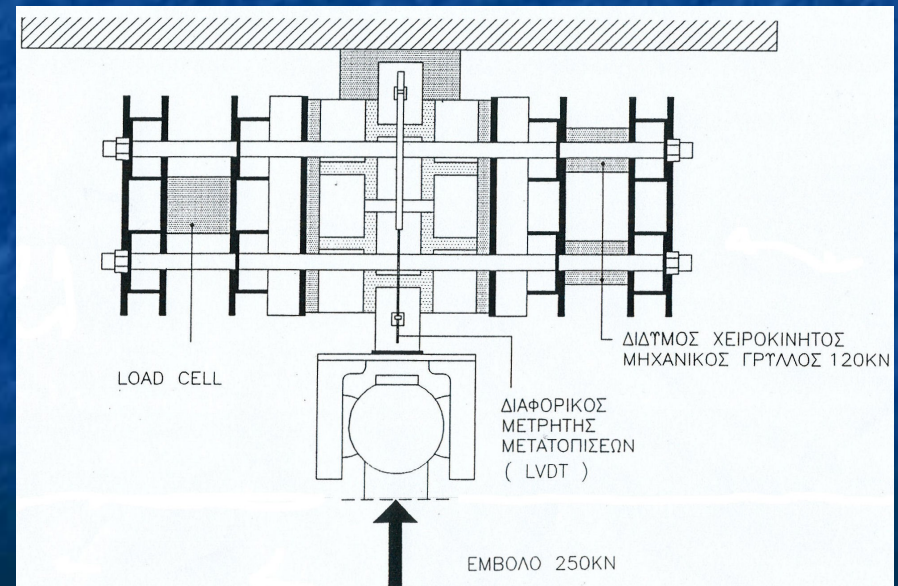
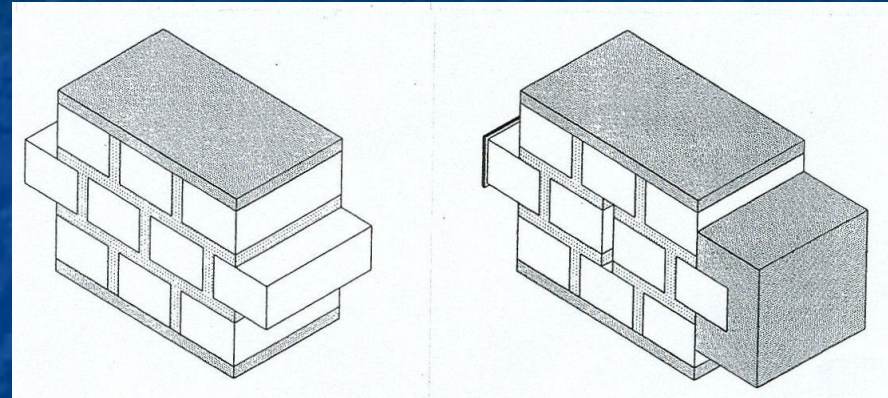
\* Ο EC6 εμφανίζεται να υπερεκτιμά τη χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή ( $f_k = 1.94 \text{ MPa}$ ) καθώς αυτή θα έπρεπε να είναι σημαντικά μικρότερη της πειραματικής. Σημειώνεται όμως ότι ο EC6 δεν λαμβάνει υπόψη την επιρροή της πυκνότητας των κατακόρυφων αρμών που έχει έντονα αρνητική επιρροή στη θλιπτική αντοχή της τοιχοποιίας.



# ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΡΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ - ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ

## Τοιχίσκοι παρθενικής τοιχοποιίας (S)

- Καπέλωμα με ισχυρή τσιμεντοκονία των επιφανειών εφαρμογής θλίψης
- Αφαίρεση κονιάματος κεντρικού κατακόρυφου αρμού μεσαίας στρώσης
- Ενίσχυση με κεφαλή Ο/Σ της μιας προεξέχουσας πλίνθου και συγκόλληση μεταλλικής πλάκας στο μέτωπο της άλλης
- Συναρμολόγηση διάταξης εισαγωγής αξονικής θλίψης
- Στερέωση LVDT μέτρησης της ολίσθησης του αρμού
- Άμεση διατμητική καταπόνηση αρμών (displacement control)

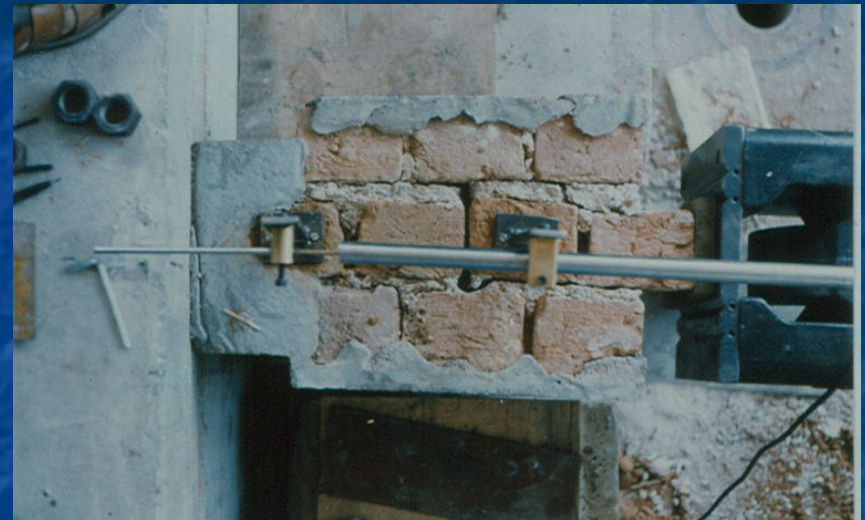




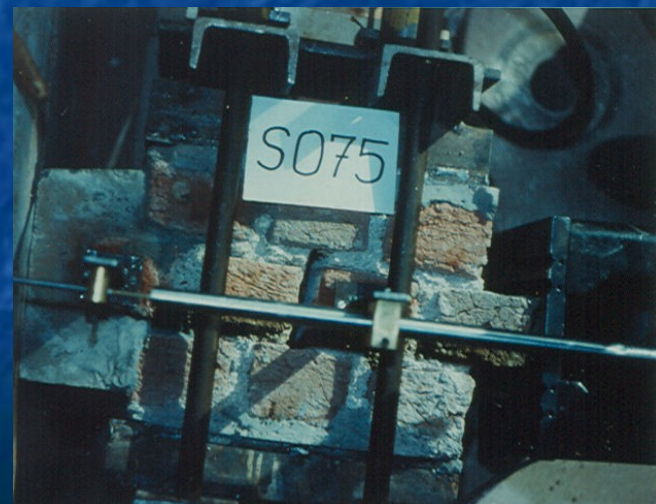
# ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΡΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Διάταξη εισαγωγής πρόθλιψης



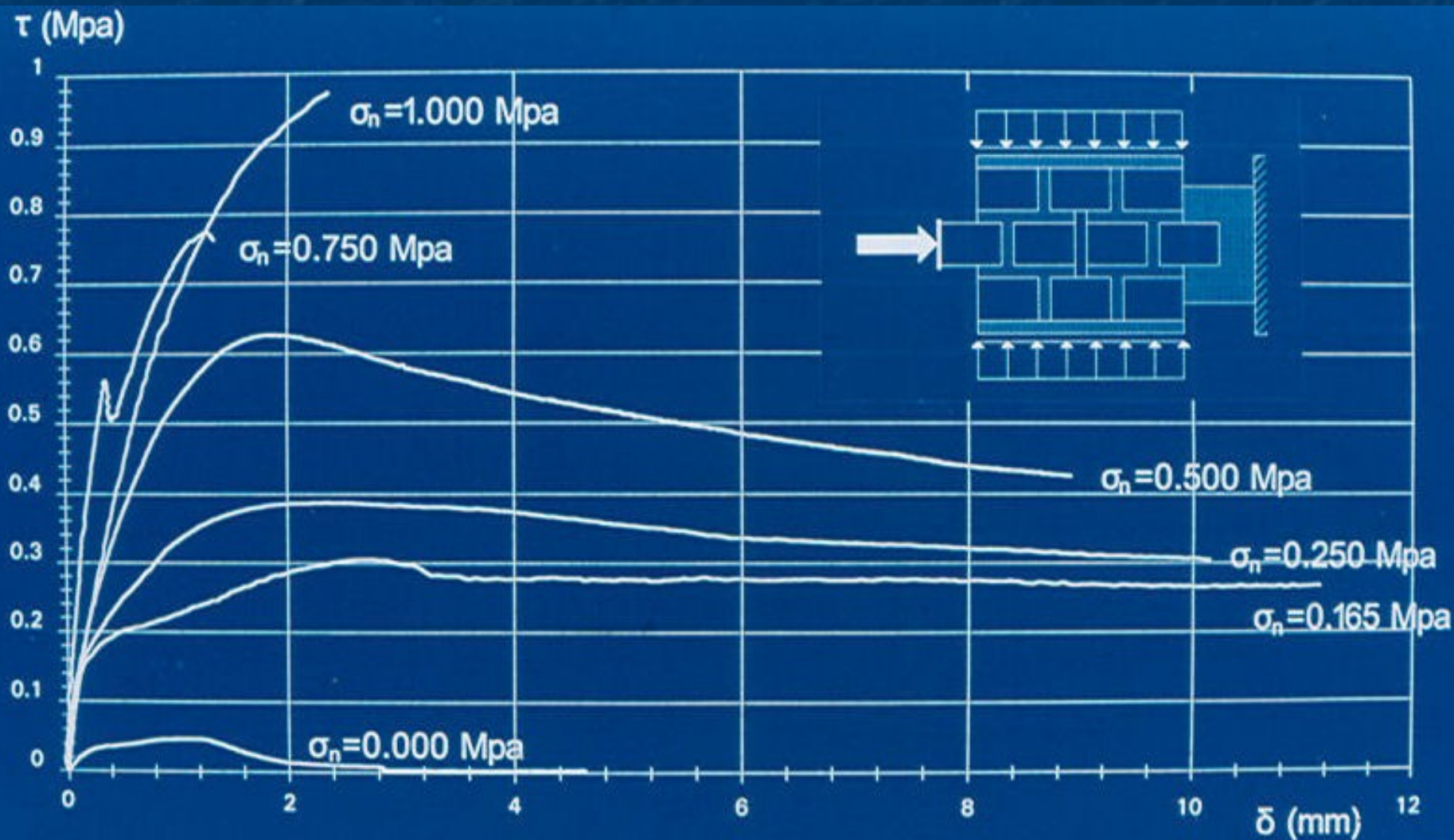
Απουσία πρόθλιψης



Πρόθλιψη:  $\sigma_n = 0.75 \text{ MPa}$



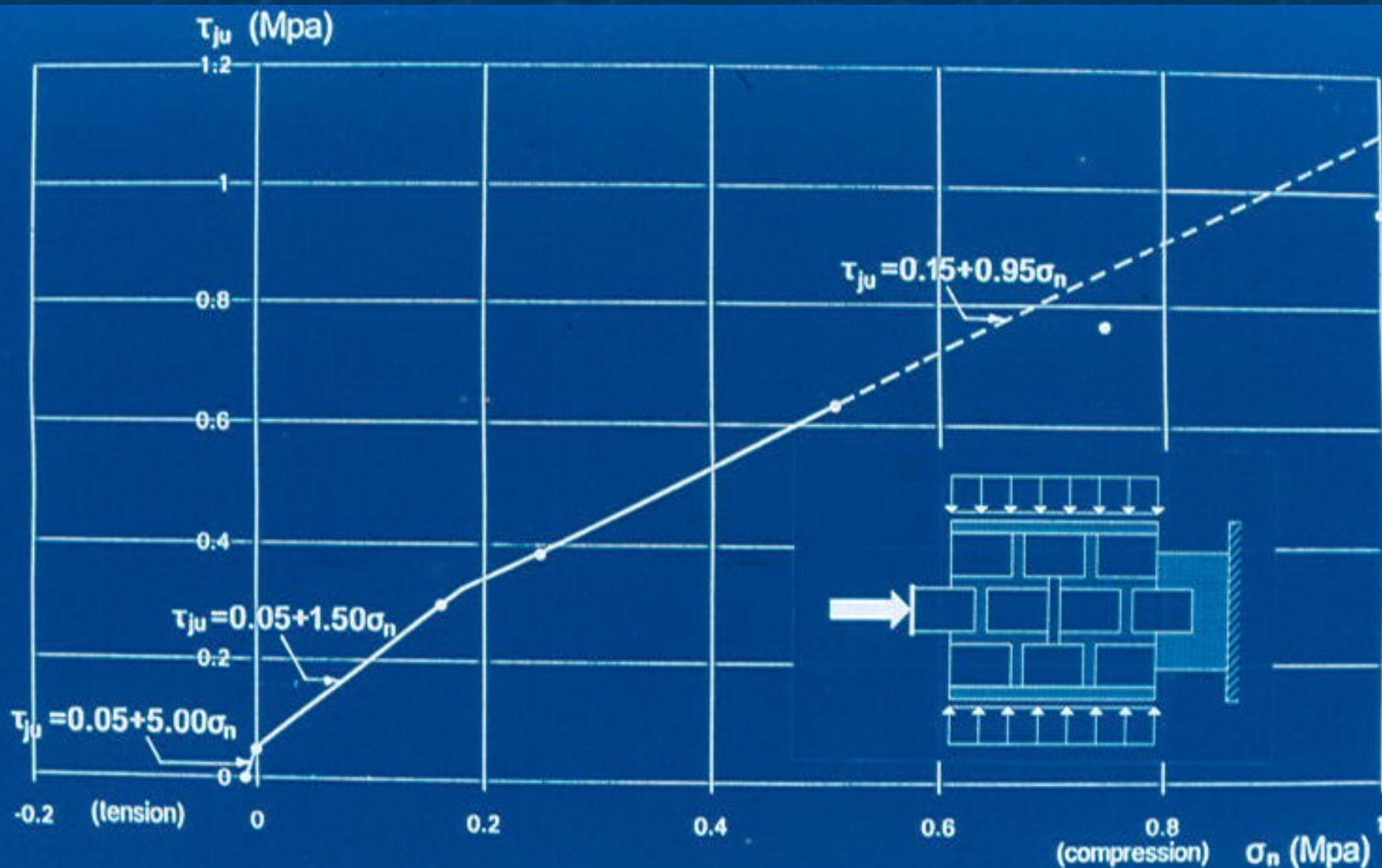
# ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΡΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Διαγράμματα διατμητικής τάσης - ολίσθησης αρμού ( $\tau - \delta$ )



# ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΡΜΟΥ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΔΟΚΙΜΙΑ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



Περιβάλλουσα αστοχίας αρμού υπό ορθή και διατμητική καταπόνηση



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ - ΕΝΟΡΓΑΝΩΣΗ

## Δοκίμια παρθενικής τοιχοποιίας (D00)

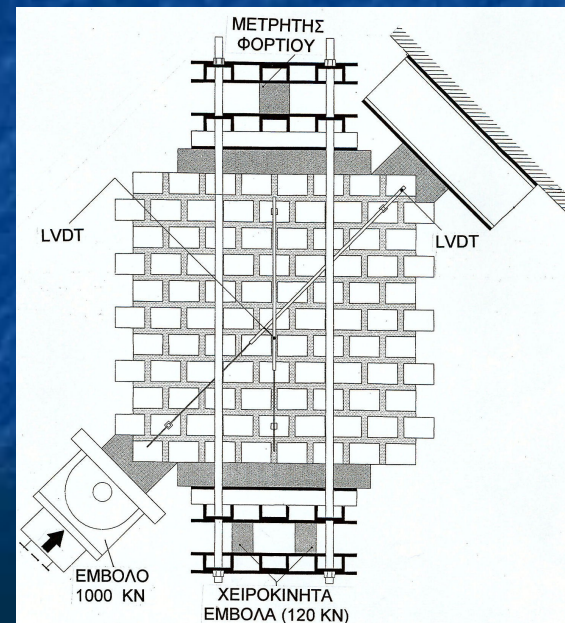
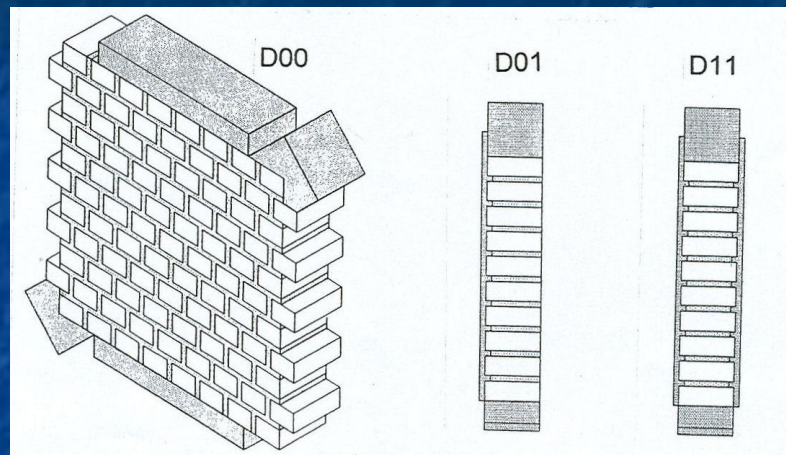
- Καπέλωμα επιφανειών εφαρμογής θλίψης με ισχυρή τσιμεντοκονία
- Ενίσχυση με κεφαλές Ο/Σ των θέσεων εφαρμογής αντιδιαγώνιας φόρτισης
- Στερέωση LVDTs στις όψεις
- Συναρμολόγηση διάταξης και εφαρμογή αξονικής πρόθλιψης
- Αντιδιαγώνια διάτμηση (displacement control) για διάφορες τιμές αξονικής θλίψης (3 δοκίμια)

## Δοκίμια με μονόπλευρη ενίσχυση (D01)

- Κατασκευή μονόπλευρου οπλισμένου επιχρίσματος (25mm)
- Κατά τα λοιπά ως άνω
- Αντιδιαγώνια διάτμηση (3 δοκίμια) χωρίς άμεση φόρτιση του μανδύα

## Δοκίμια με αμφίπλευρη ενίσχυση (D11)

- Κατασκευή αμφίπλευρου οπλισμένου επιχρίσματος (25mm)
- Κατά τα λοιπά ως άνω (3 δοκίμια)





# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ



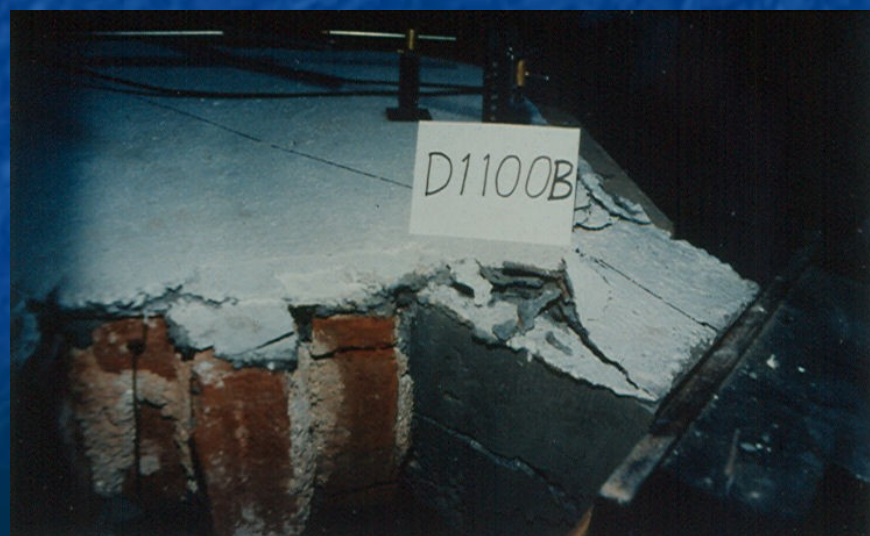
Παρθενική τοιχοποιία ( $\sigma_{no} = 0.25\text{MPa}$ )



Μονόπλευρος μανδύας ( $\sigma_{no} = 0.25\text{MPa}$ )



Αμφίπλευρος μανδύας ( $\sigma_{no} = \emptyset$ )

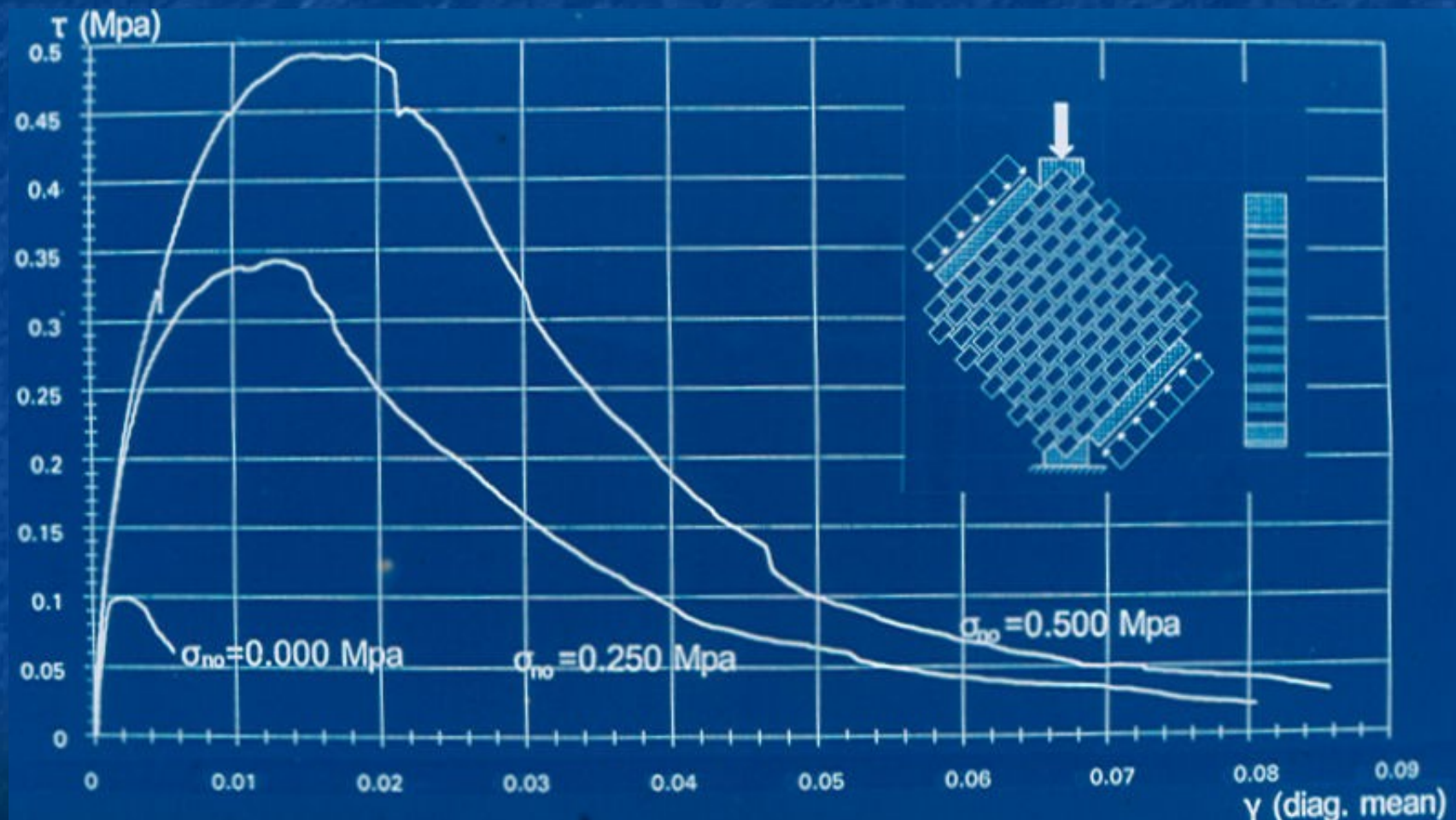


Αμφίπλευρος μανδύας ( $\sigma_{no} = \emptyset$ )



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δοκίμια παρθενικής τοιχοποιίας (DOO): Μεταβλητή αξονική πρόθλιψη

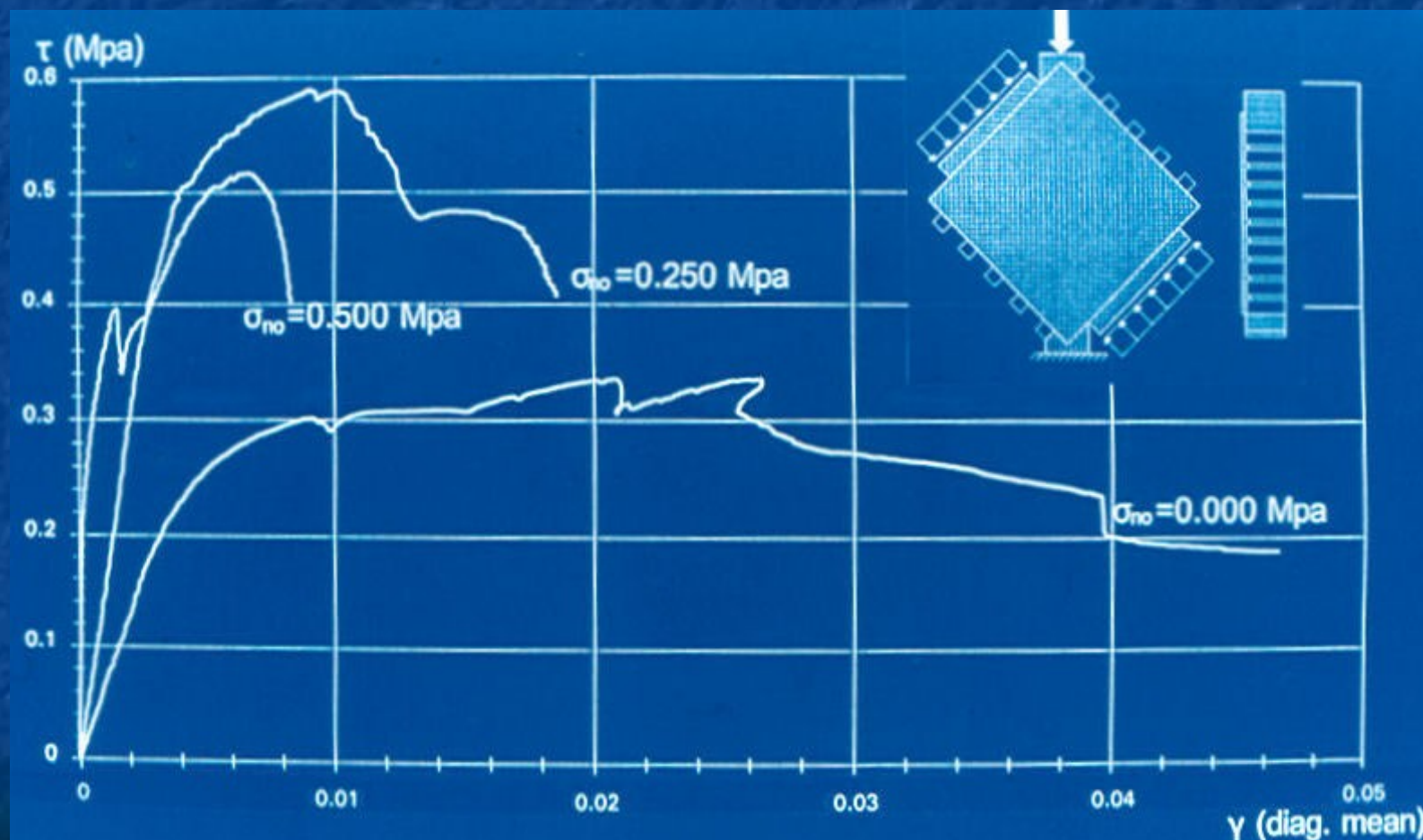


Διαγράμματα μέσης διατμητικής τάσης - γωνιακής παραμόρφωσης ( $\tau - \gamma$ )



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δοκίμια με μονόπλευρο μανδύα (D01): Μεταβλητή αξονική πρόθλιψη

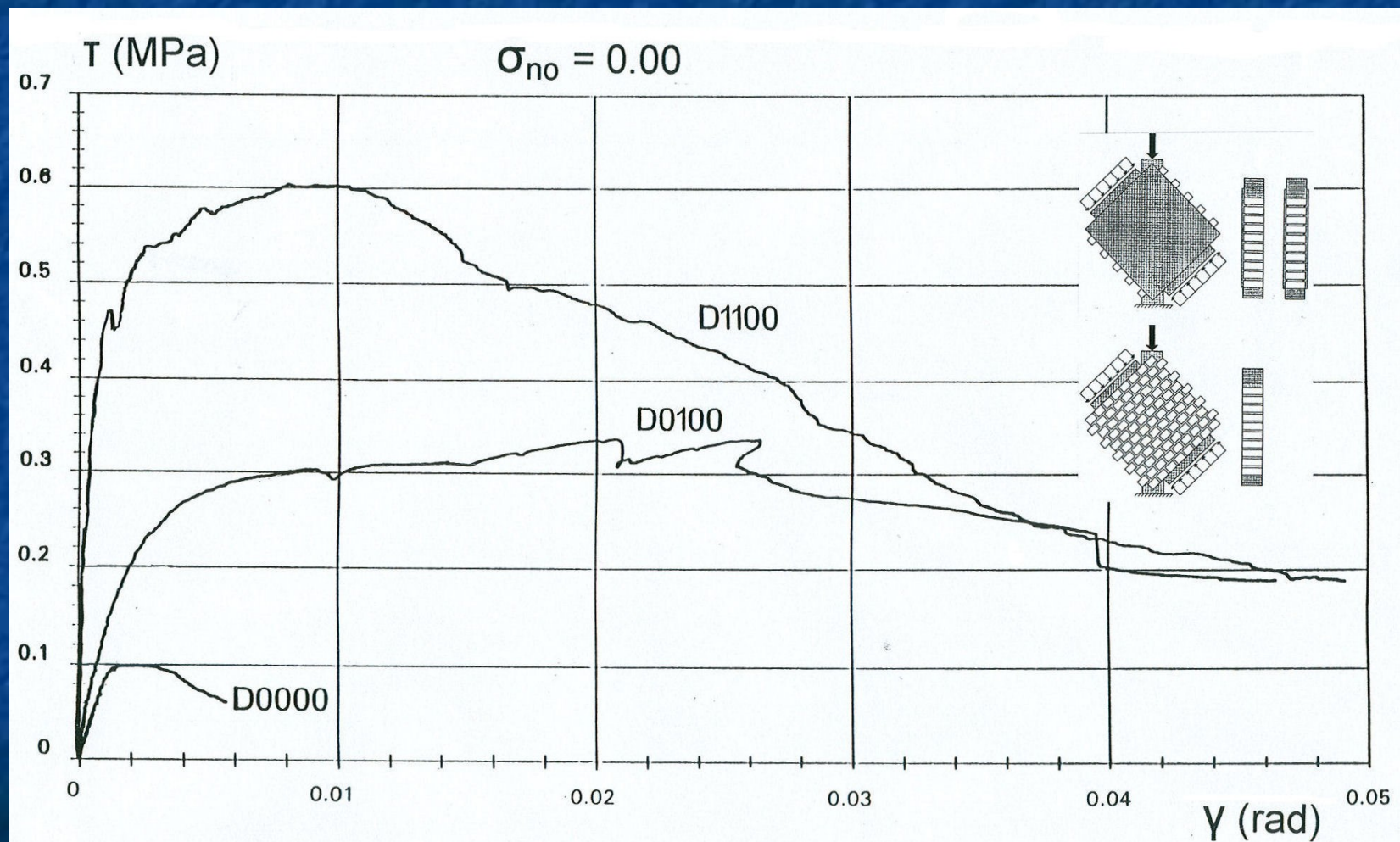


Διαγράμματα μέσης διατμητικής τάσης - γωνιακής παραμόρφωσης ( $\tau - \gamma$ )



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Δοκίμια παρθενικά και ενισχυμένα (D00, D01, D11) χωρίς αξονική πρόθλιψη

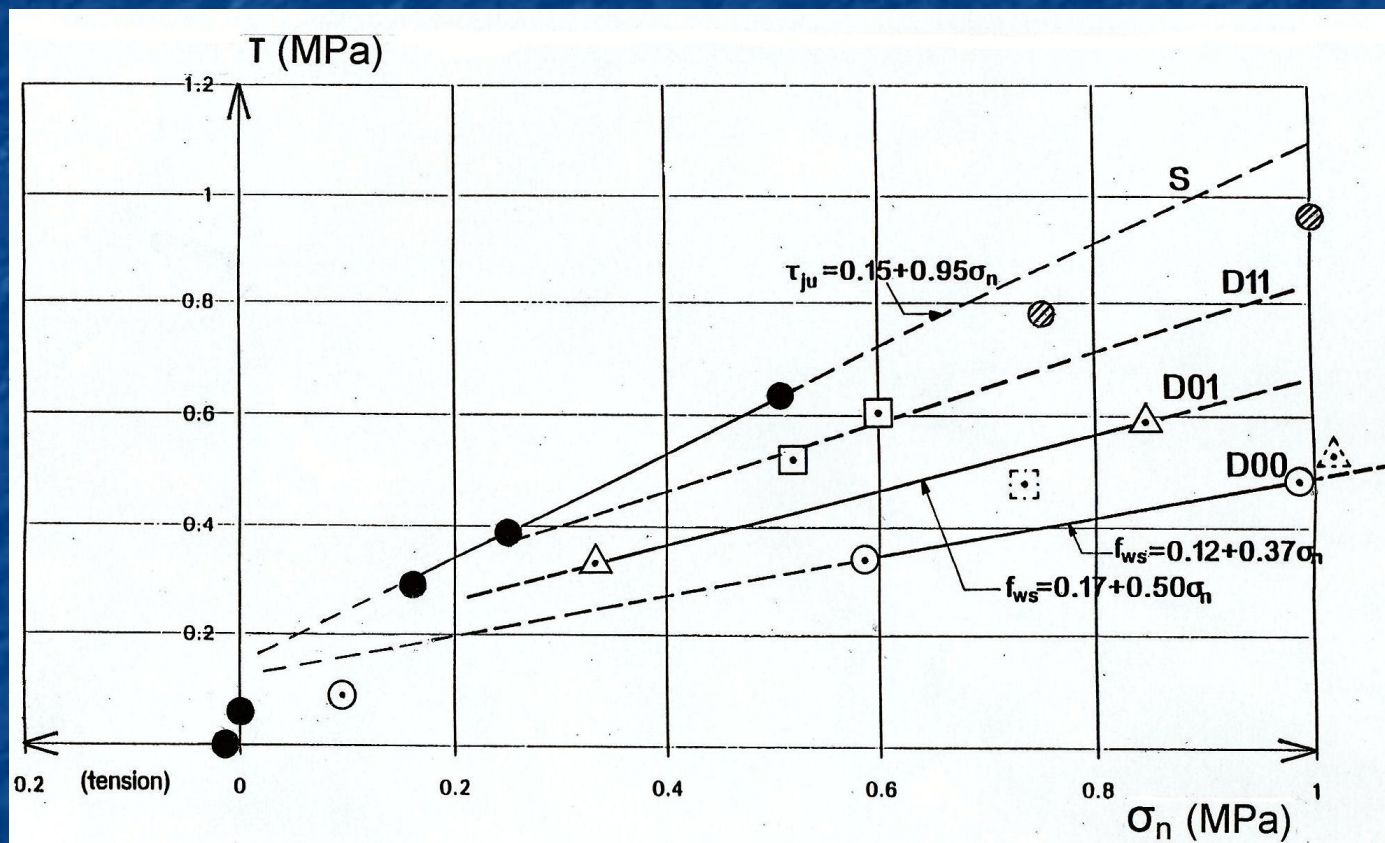


Διαγράμματα μέσης διατμητικής τάσης - γωνιακής παραμόρφωσης ( $\tau - \gamma$ )



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΑ ΔΟΚΙΜΙΑ: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Συγκριτική παρουσίαση



- Περιβάλλουσα αστοχίας αρμού υπό θλίψη και άμεση διάτμηση
- Περιβάλλουσες αστοχίας τετραγωνικών δοκιμών παρθενικής και ενισχυμένης τοιχοποιίας υπό θλίψη και αντιδιαγώνια διάτμηση



# ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

## ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ - ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

**Μέθοδος:** Προσομοίωση της πειραματικής διαδικασίας με ειδικό πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων μετά από κατάλληλη βαθμονόμησή του

**Πρόγραμμα MAFEA: M**asonry **F**inite **E**lement **A**nalysis

- > Κατάλληλο για μη γραμμική ανάλυση δίσκων τοιχοποιίας
- > Προϋποθέτει πρισματικά λιθοσώματα και κανονικότητα δόμησης
- > Διαθέτει τριαξονικά κριτήρια αστοχίας και μη γραμμικούς νομούς υλικών
- > **Input:** Γεωμετρία και βασικά μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών και αρμού

Υλικά	Διαστάσεις (mm)	Θλιπτική Αντοχή (MPa)	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας (MPa)	Λόγος Poisson -	Βράχυνση Αστοχίας (‰)
Πλίνθοι	$t_b/\ell_b = 70/100$	$f_{bc} = 6.60$	$f_{bt} = 0.96$	$E_{bc} = 6600$	$V_{bo}=0.20*$	2.00
Κονίαμα	$t_{οριζ.} = 15$	$f_{mc} = 1.04$	$f_{mc} = 0.14$	$E_{mo} = 1040 *$	$V_{mo}=0.20*$	2.00 *
Αρμοί	$t_{κατ.} = 15$	Συνοχή / Αντοχή αποκόλλησης: $f_{jso} / f_{jt} = 0.150 / 0.025 \text{ MPa}$ Συντελεστής τριβής: $\mu_j = 0.95$				

\* Προσδιορίσθηκαν από βαθμονόμηση με κριτήριο την προσέγγιση της πειραματικής τιμής θλιπτικής αντοχής πρισματικών δοκιμών (C)

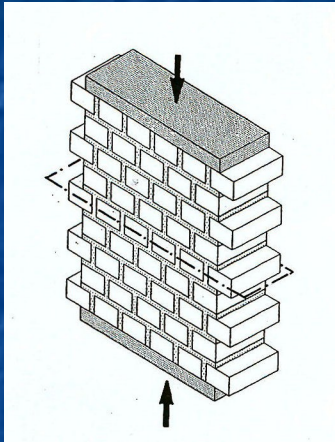
- > **Output:** Απόκριση προσομοιωμάτων τοιχοποιίας υπό τυχούσα μονότονη επίπεδη καταπόνηση μέχρι αστοχίας με σχεδιαστική απεικόνιση βλαβών



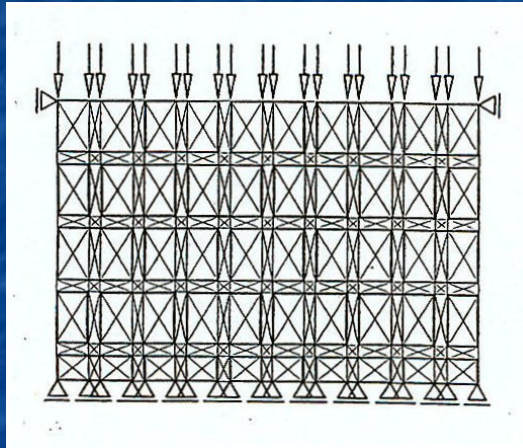
# ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΣΣΩΝ - ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ "ΜΑΦΕΑ"

> Μέση θλιπτική αντοχή πρισματικών δοκιμίων (COO) :  $f_{wc,exp} = 1.79 \text{ MPa}$

> Θλιπτική αντοχή μετά από βαθμονόμηση προσομοιώματος (RCC) :  $f_{wc,anal} = 1.74 \text{ MPa}$



Δοκίμιο

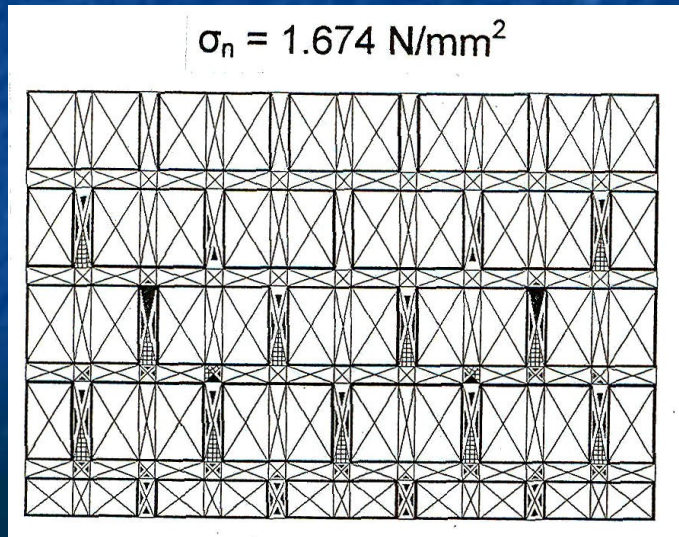


Προσομοίωμα

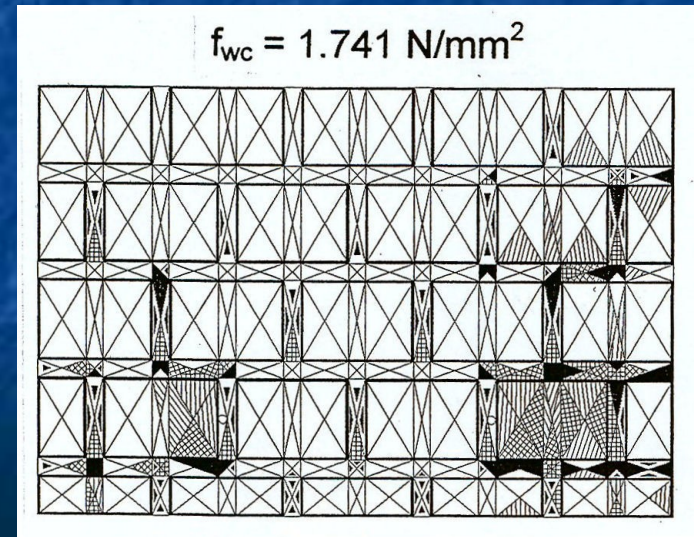


Άθικτα στοιχεία  
Ρηγμάτωση εντός επιπέδου  
Ολίσθηση αρμού  
Αποκόλληση αρμού  
Εκτίναξη εκτός επιπέδου  
Αστοχία από θλίψη  
Διπλή ρηγμάτωση

Σήμανση βλαβών F.E.



Τελευταίο ευσταθές βήμα:  $\sigma_n = 1.674 \text{ MPa}$



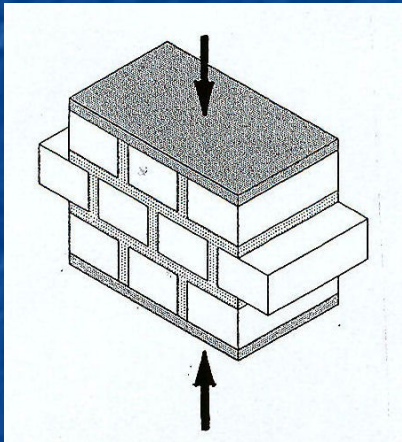
Αριθμητική αστάθεια:  $f_{wc,anal} = 1.741 \text{ MPa}$



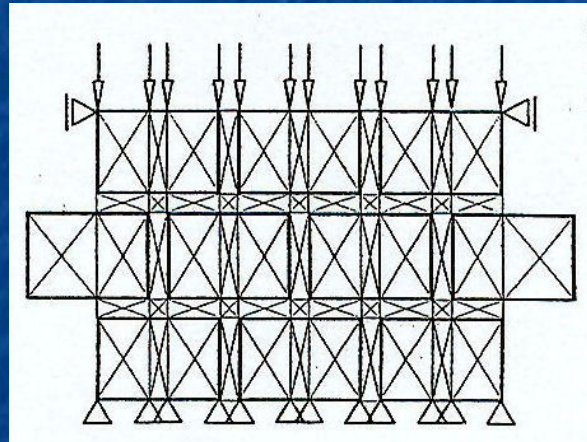
# ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΤΟΝΗΣΗ ΤΟΙΧΙΣΚΩΝ ΜΙΚΡΟΥ ΥΨΟΥΣ

> Μέση θλιπτική αντοχή δοκιμών τοιχίσκων (S) :  $f_{wc,exp} = 2.90 \text{ MPa}$

> Θλιπτική αντοχή χωρίς νέα βαθμονόμηση προσομοιώματος (RSC) :  $f_{wcc,anal} = 2.67 \text{ MPa}$



Δοκίμιο

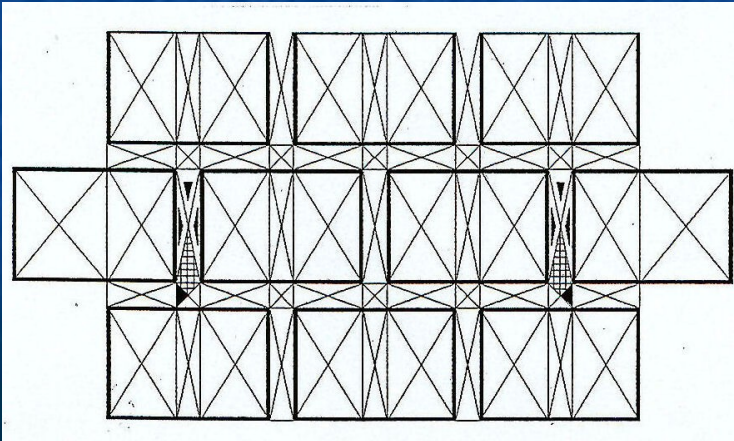


Προσομοίωμα

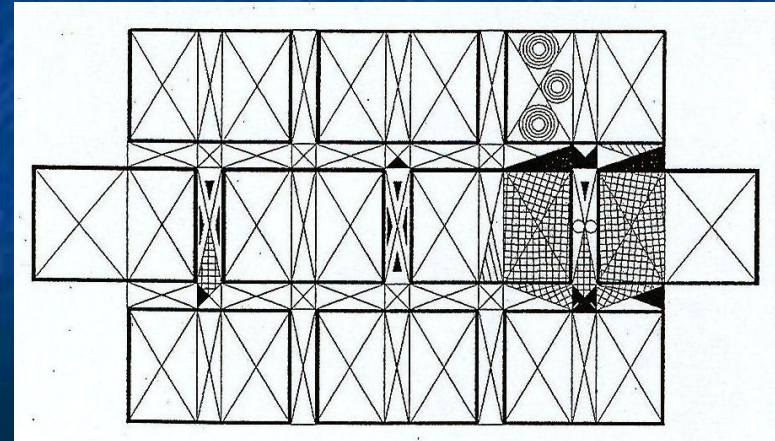


Άθικτα στοιχεία  
Ρηγμάτωση εντός επιπέδου  
Ολίσθηση αρμού  
Αποκόλληση αρμού  
Εκτίναξη εκτός επιπέδου  
Αστοχία από θλίψη  
Διπλή ρηγμάτωση

Σήμανση βλαβών F.E.



Τελευταίο ευσταθές βήμα:  $\sigma_n = 2.538 \text{ MPa}$

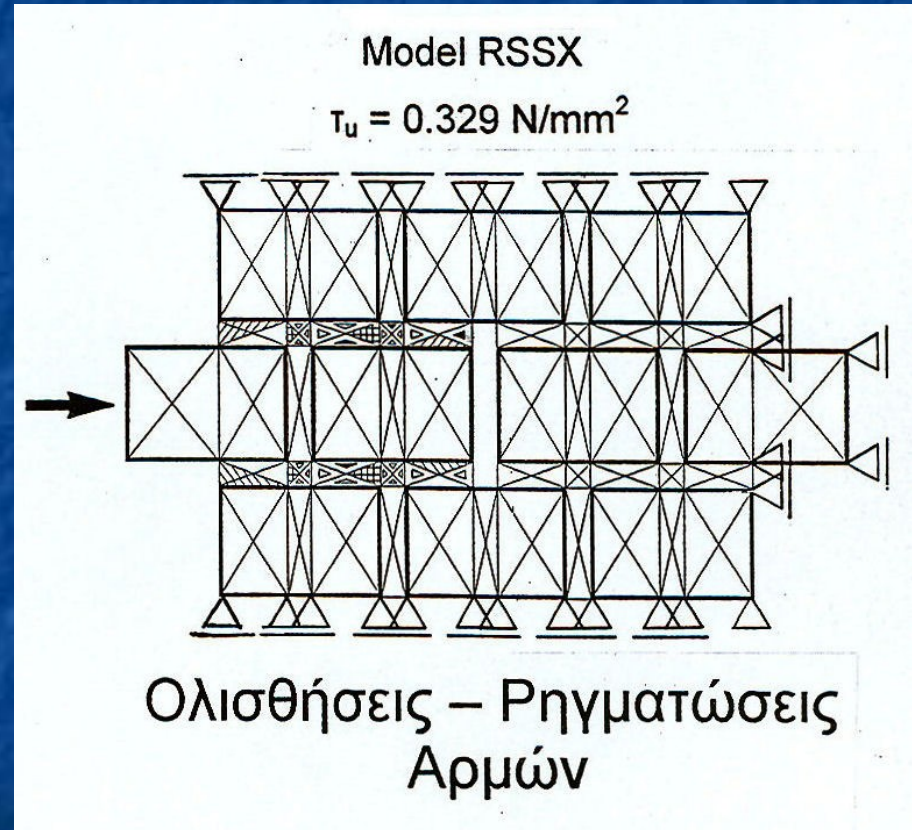
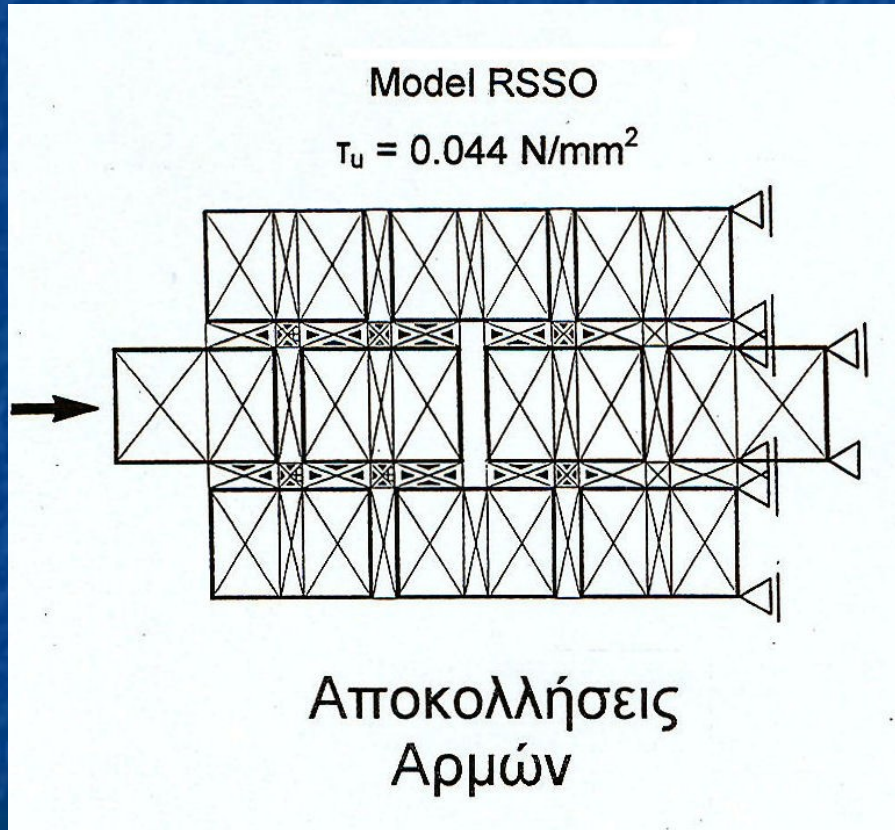


Αριθμητική αστάθεια:  $f_{wc,anal} = 2.671 \text{ MPa}$



## ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΡΜΟΥ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

- > Δοκίμια τοιχίσκων (S):  $0.00 \leq \sigma_n$  (6 τιμές)  $\leq 1.00 \text{ MPa}$
- > Προσομοιώματα (RSS):  $0.00 \leq \sigma_n$  (12 τιμές)  $< f_{wcc,anal} = 2.67 \text{ MPa}$



Επιλεγμένες εικόνες αστοχίας προσομοιωμάτων



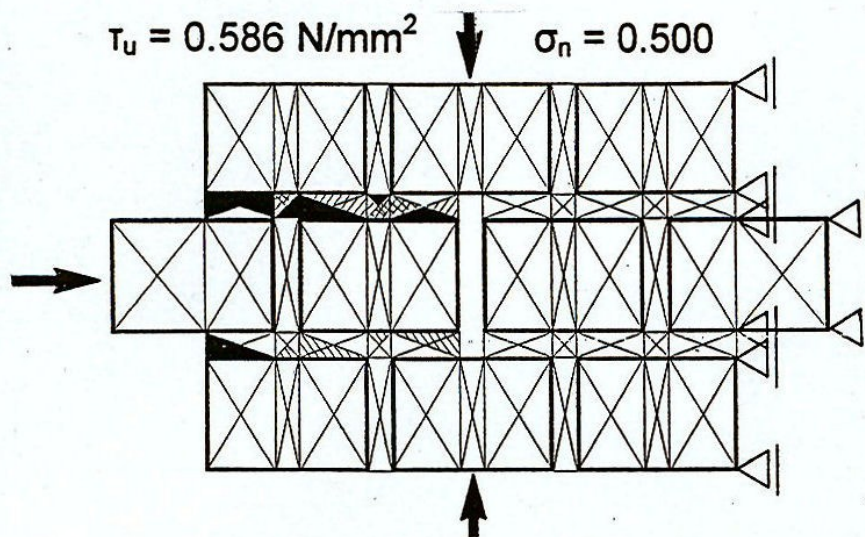
## ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΡΜΟΥ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

> Δοκίμια τοιχίσκων (S):  $0.00 \leq \sigma_n$  (6 τιμές)  $\leq 1.00 \text{ MPa}$

> Προσομοιώματα (RSS):  $0.00 \leq \sigma_n$  (12 τιμές)  $< f_{wcc,anal} = 2.67 \text{ MPa}$

Model RSSC3

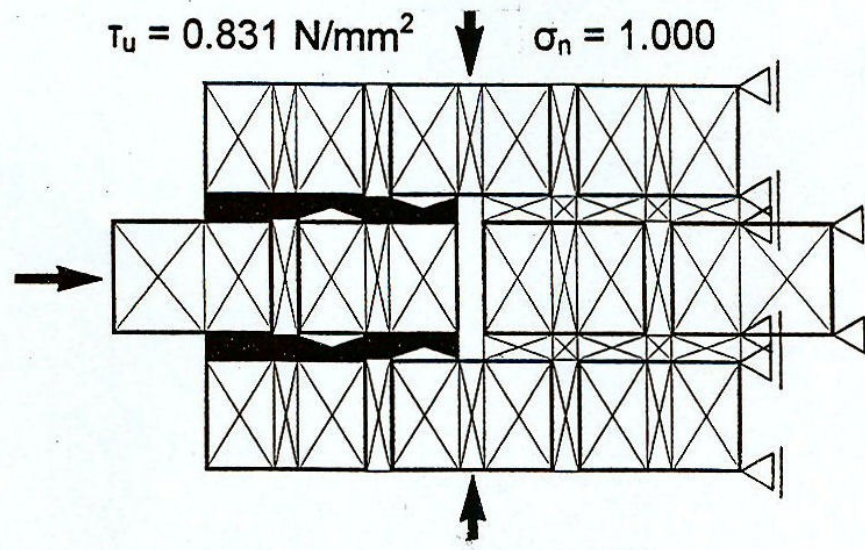
$\tau_u = 0.586 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_n = 0.500$



Ρηγματώσεις – Συντριβές  
Αρμών

Model RSSC5

$\tau_u = 0.831 \text{ N/mm}^2$   $\sigma_n = 1.000$



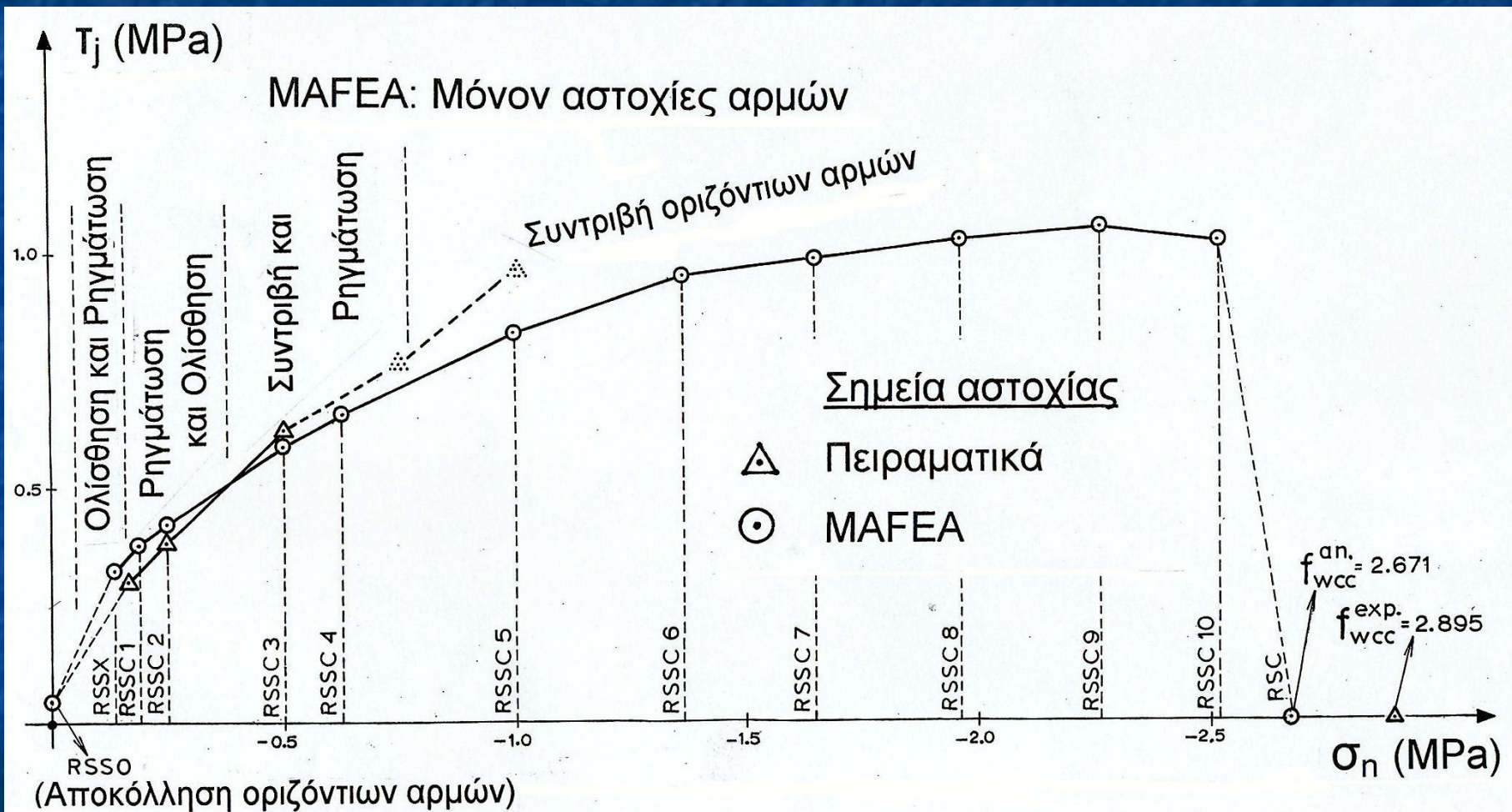
Συντριβές  
Αρμών

Επιλεγμένες εικόνες αστοχίας προσομοιωμάτων



# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΕΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΡΜΩΝ

Σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων

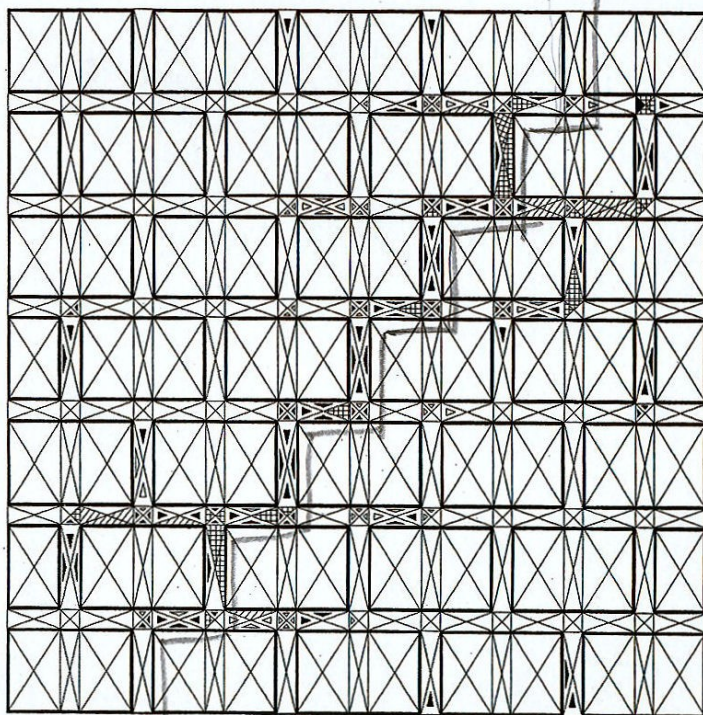




# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

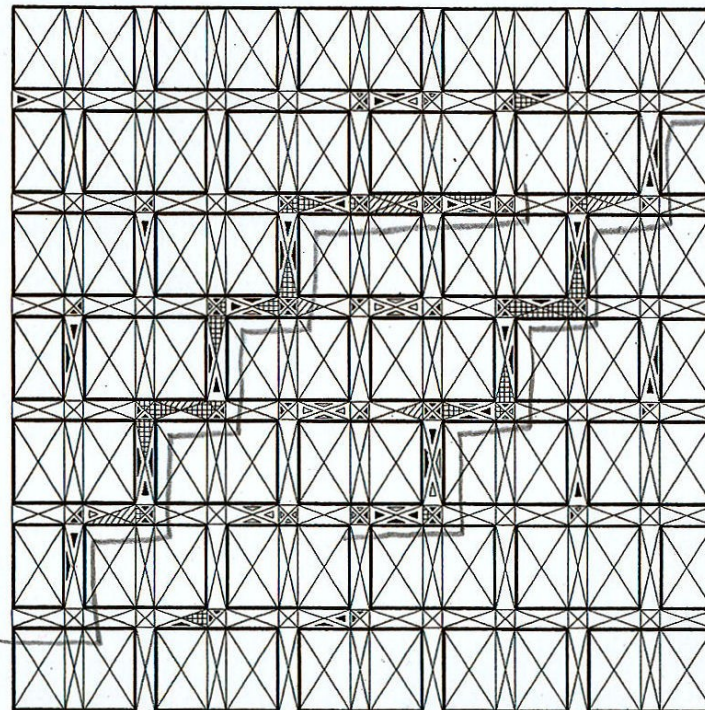
- > Τετράγωνα δοκίμια (DOO): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_{no} \text{ (3 τιμές)} \leq 0.50 \text{ MPa}$
- > Προσομοιώματα (RDC): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_{no} \text{ (8 τιμές)} \leq 1.00 \text{ MPa}$

$$\sigma_{no} / T_{du} = 0.05 / 0.15 \text{ (MPa)}$$



Κλιμακωτή αστοχία  
Αποκολλήσεις αρμών

$$\sigma_{no} / T_{du} = 0.10 / 0.22 \text{ (MPa)}$$



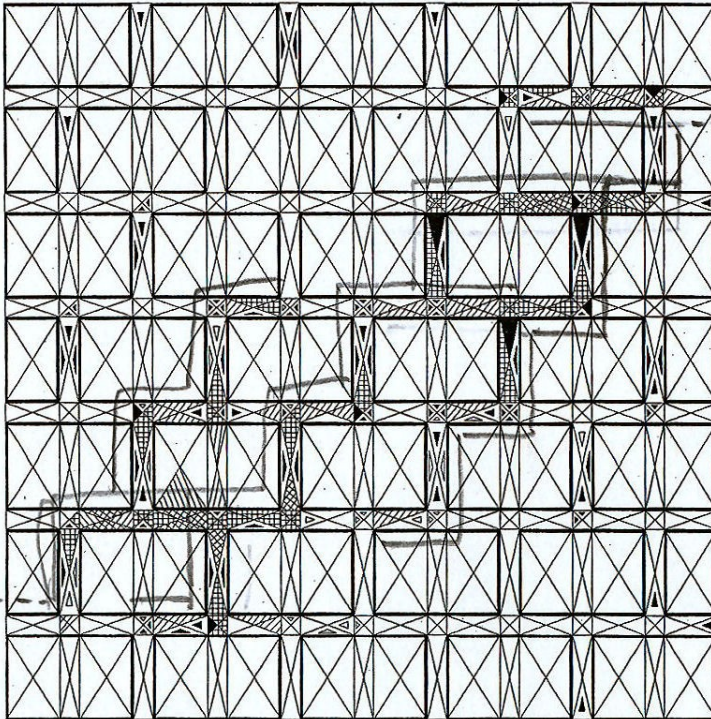
Αποκολλήσεις κατακόρυφων  
Ολισθήσεις – Ρηγματώσεις οριζόντιων



# ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

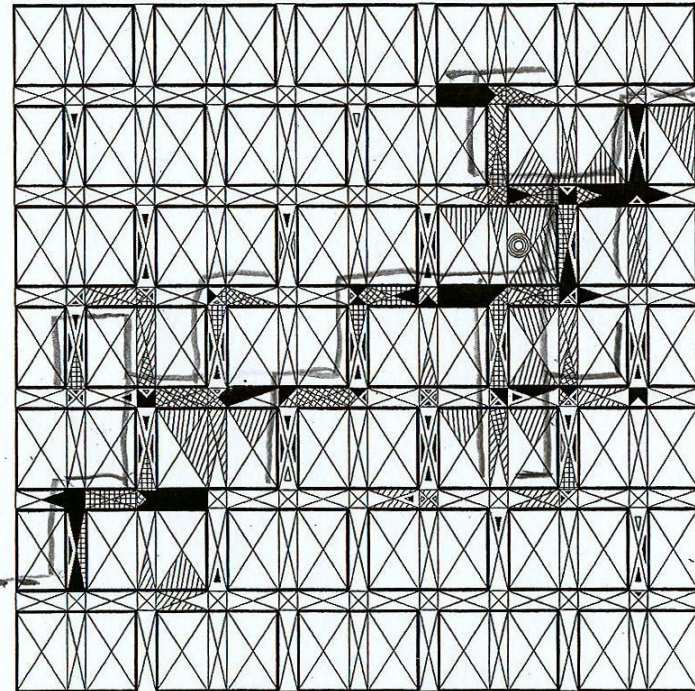
- > Τετράγωνα δοκίμια (DOO): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_{no} \text{ (3 τιμές)} \leq 0.50 \text{ MPa}$
- > Προσομοιώματα (RDC): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_{no} \text{ (8 τιμές)} \leq 1.00 \text{ MPa}$

$$\sigma_{no} / \tau_{du} = 0.25 / 0.31 \text{ (MPa)}$$



Αποκολλήσεις κατακόρυφων  
Ρηγματώσεις οριζόντιων

$$\sigma_{no} / \tau_{du} = 1.00 / 0.50 \text{ (MPa)}$$

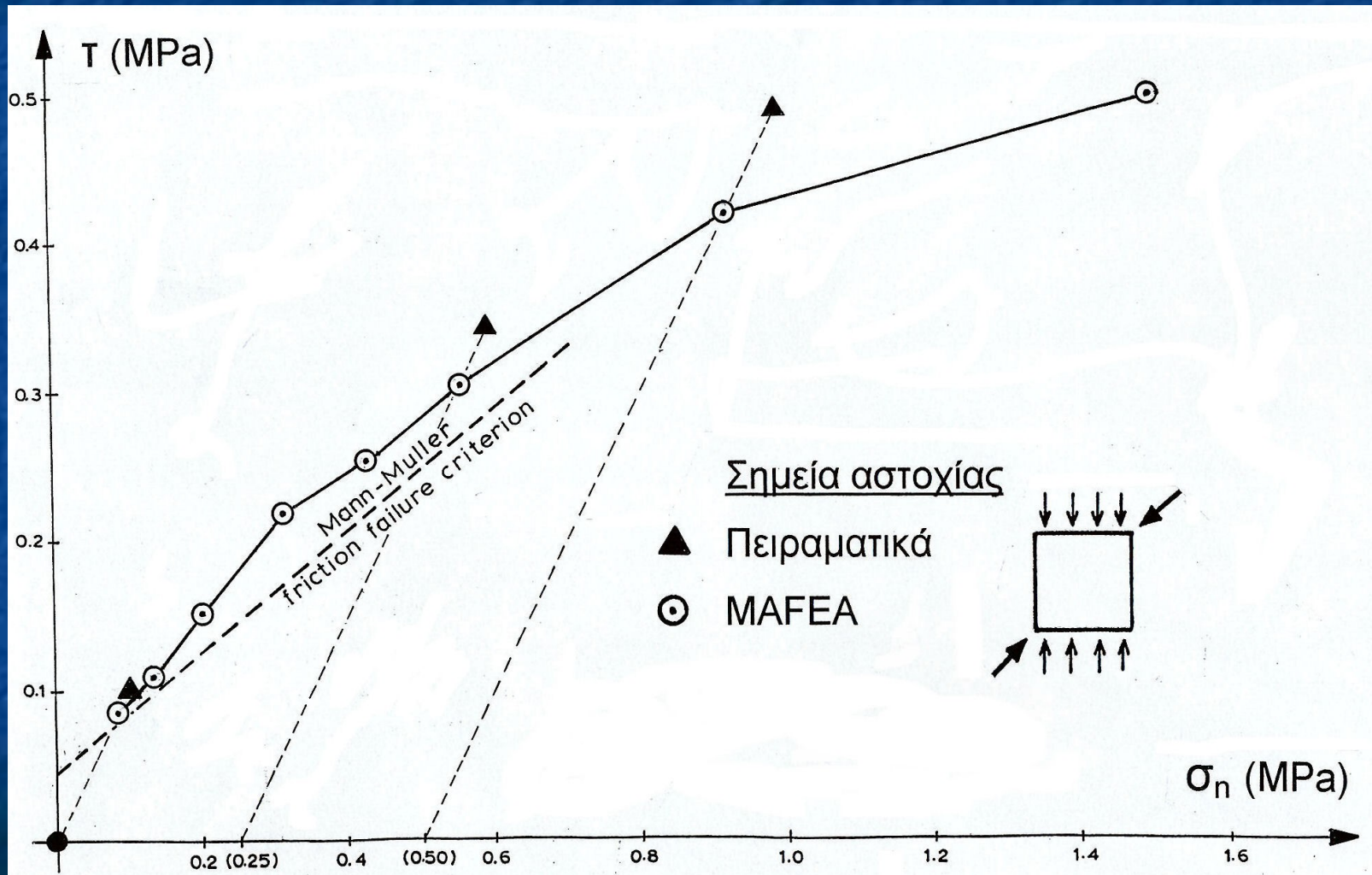


Αποκολλήσεις κατακόρυφων  
Συντριβές – Ρηγματώσεις οριζόντιων  
Ρηγματώσεις πλίνθων



# ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΥΠΟ ΑΝΤΙΔΙΑΓΩΝΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

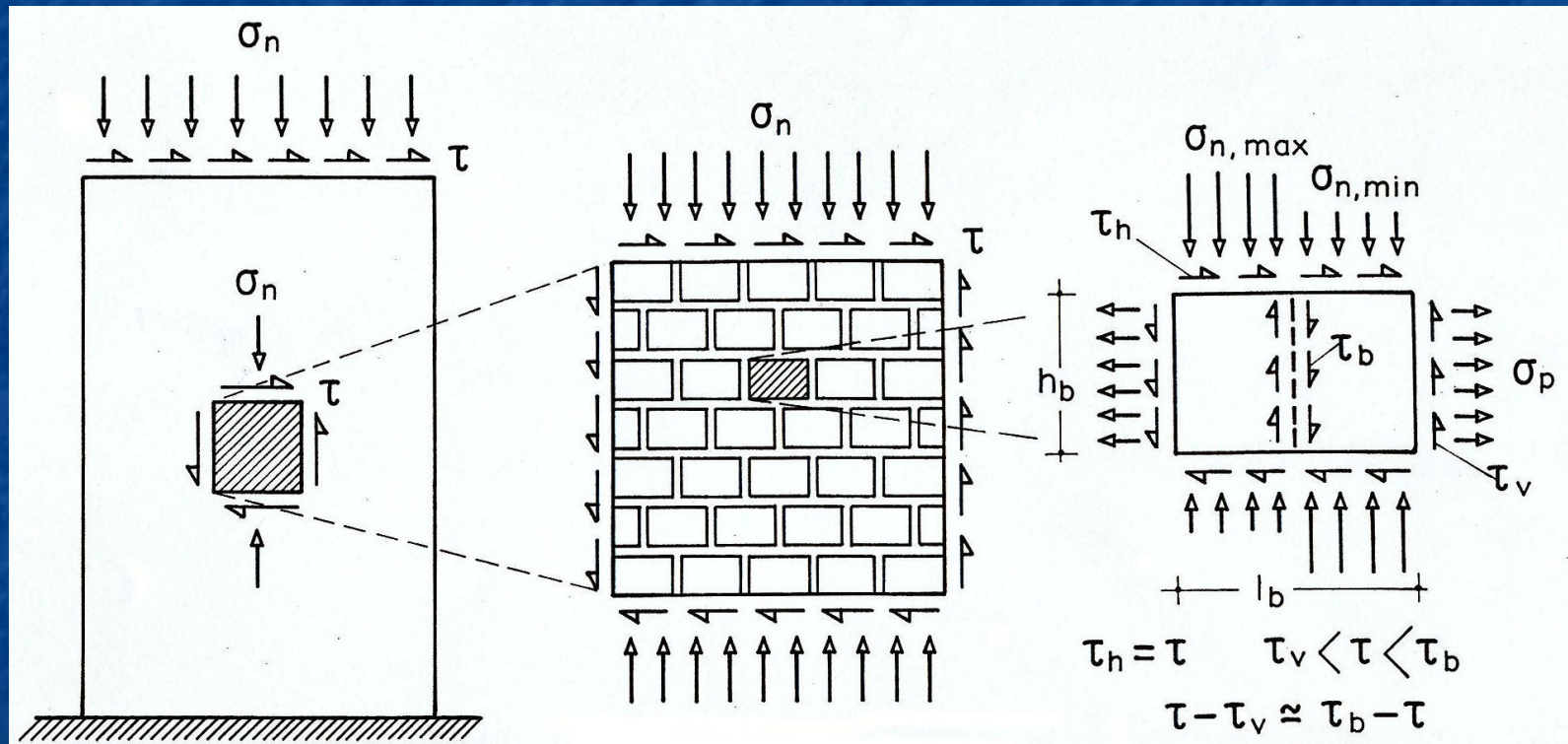
Σύγκριση πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων





# ΑΠΟΤΕΙΡΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ ΥΠΟ ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

Εντατική κατάσταση στο σώμα πεσσού τοιχοποιίας υπό πρόθλιψη  
και οριζόντια διατμητική δύναμη στη στέψη



- > Η πειραματική διάταξη εφαρμογής της περιμετρικής διατμητικής φόρτισης είναι εξαιρετικά δύσκολη
- > Αντίθετα η αναλυτική προσομοίωση δεν παρουσιάζει προβλήματα

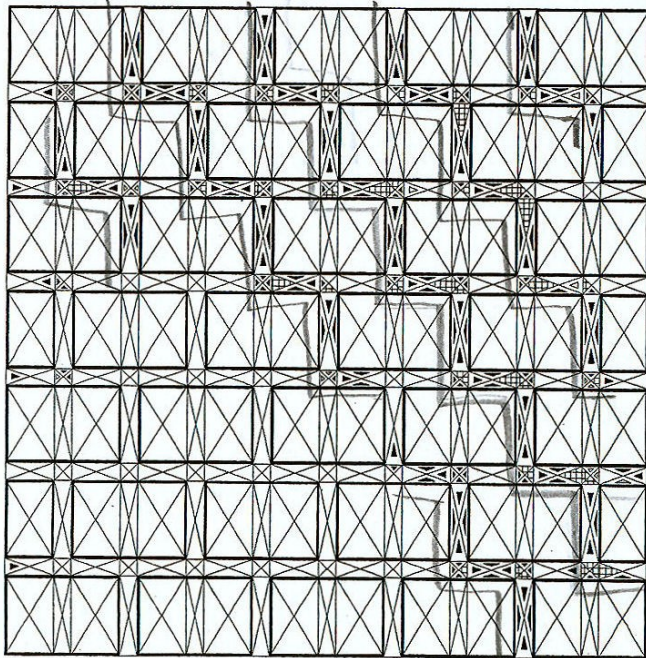


# ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

➤ Προσομοιώματα (RFE): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_n$  (21 τιμές)  $\leq f_{wc,anal} = 1.89\text{MPa}$

RFE4  $\tau_{cr} / \tau_u = 1.00$

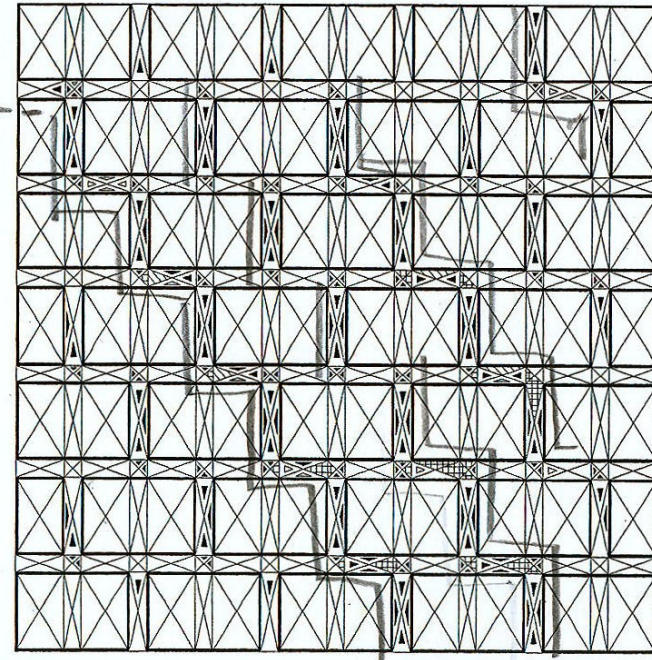
$\sigma_n / \tau_u = 0.10 / 0.10$  (MPa)



Κλιμακωτή αστοχία  
Αποκολλήσεις αρμών

RFE8  $\tau_{cr} / \tau_u \cong 1.00$

$\sigma_n / \tau_u = 0.18 / 0.08$  (MPa)



Αποκολλήσεις κατακόρυφων  
Ολισθήσεις – Ρηγματώσεις οριζόντιων

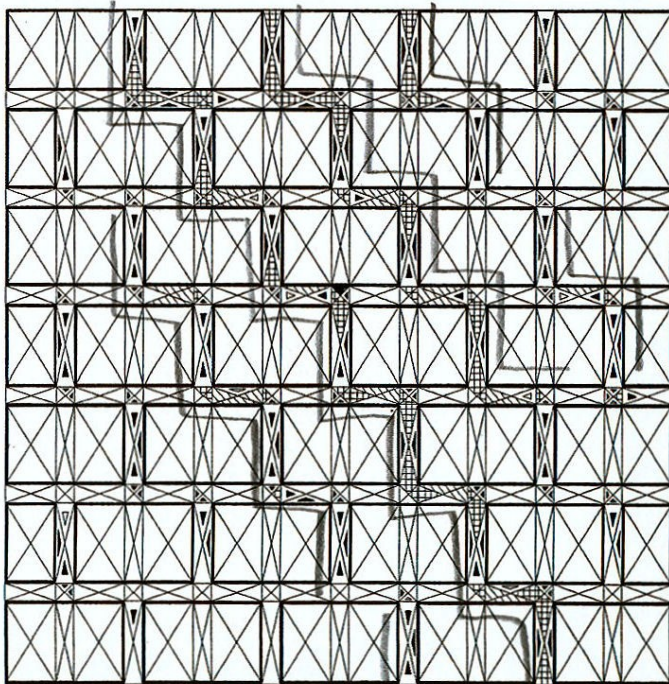


# ΠΕΡΙΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΥΠΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΡΟΘΛΙΨΗ

› Προσομοιώματα (RFE): Πρόθλιψη  $0.00 \leq \sigma_n$  (21 τιμές)  $\leq f_{wc,anal} = 1.89\text{MPa}$

RFE11  $\tau_{cr} / \tau_u = 0.56$

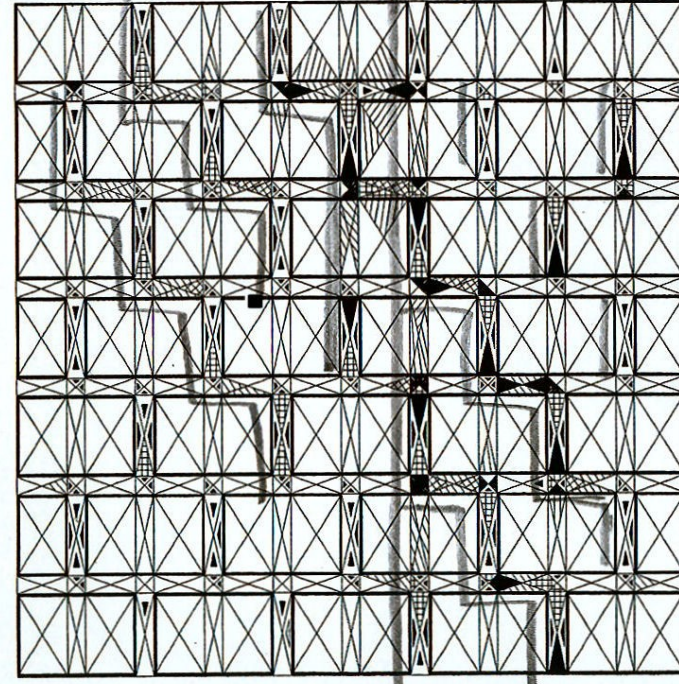
$\sigma_n / \tau_u = 0.35 / 0.12$  (MPa)



Αποκολλήσεις κατακόρυφων  
Ρηγματώσεις οριζόντιων

RFE16  $\tau_{cr} / \tau_u = 0.27$

$\sigma_n / \tau_u = 0.87 / 0.20$  (MPa)



Τμηματικές ρηγματώσεις αρμών  
Αστοχία από ρηγμάτωση πλίνθων



# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

