

ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ – ΕΒΙΠΑΡ

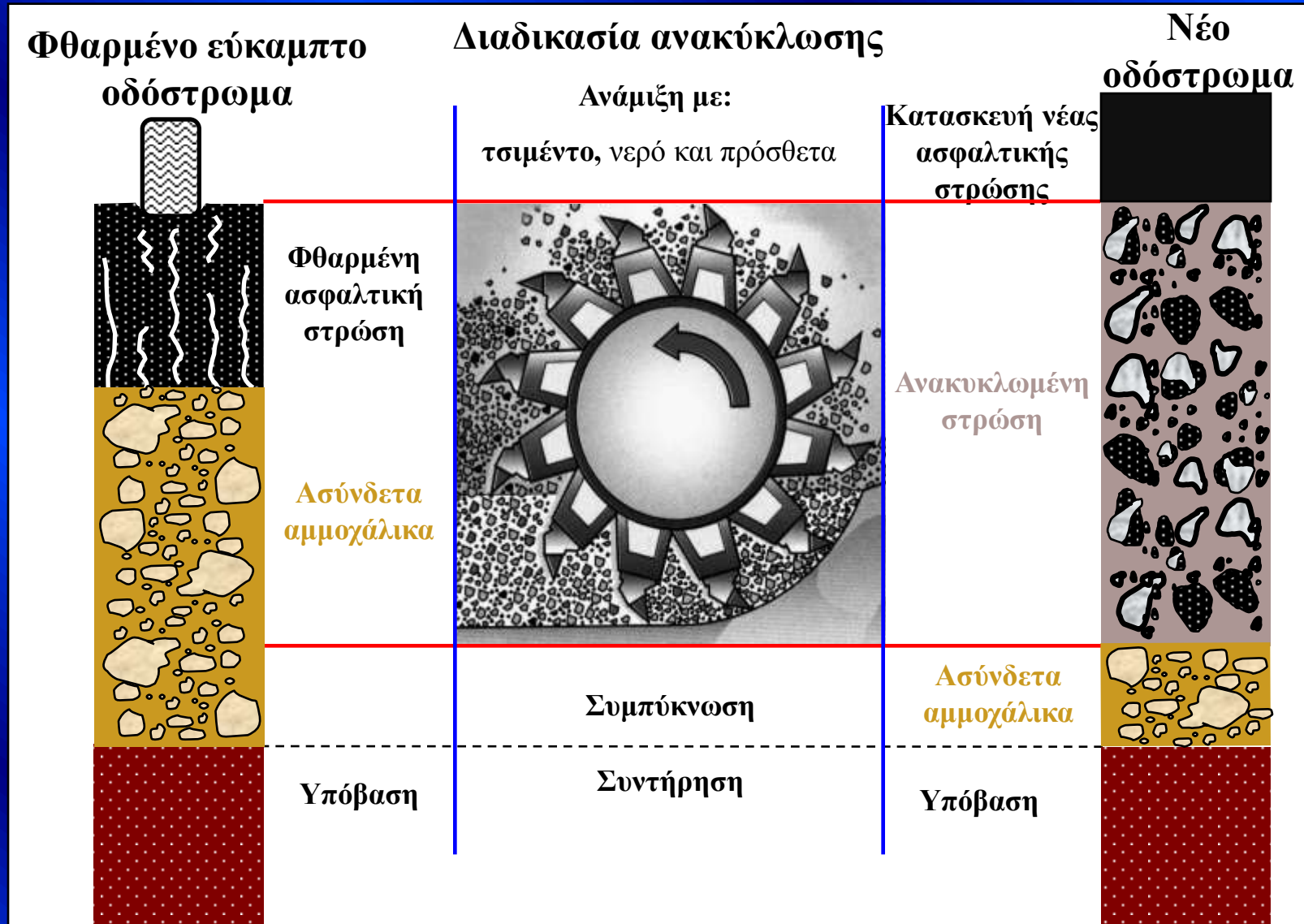
**Επιμορφωτικό σεμινάριο για μηχανικούς
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ**

**ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ
ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΩΝ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑΤΩΝ**

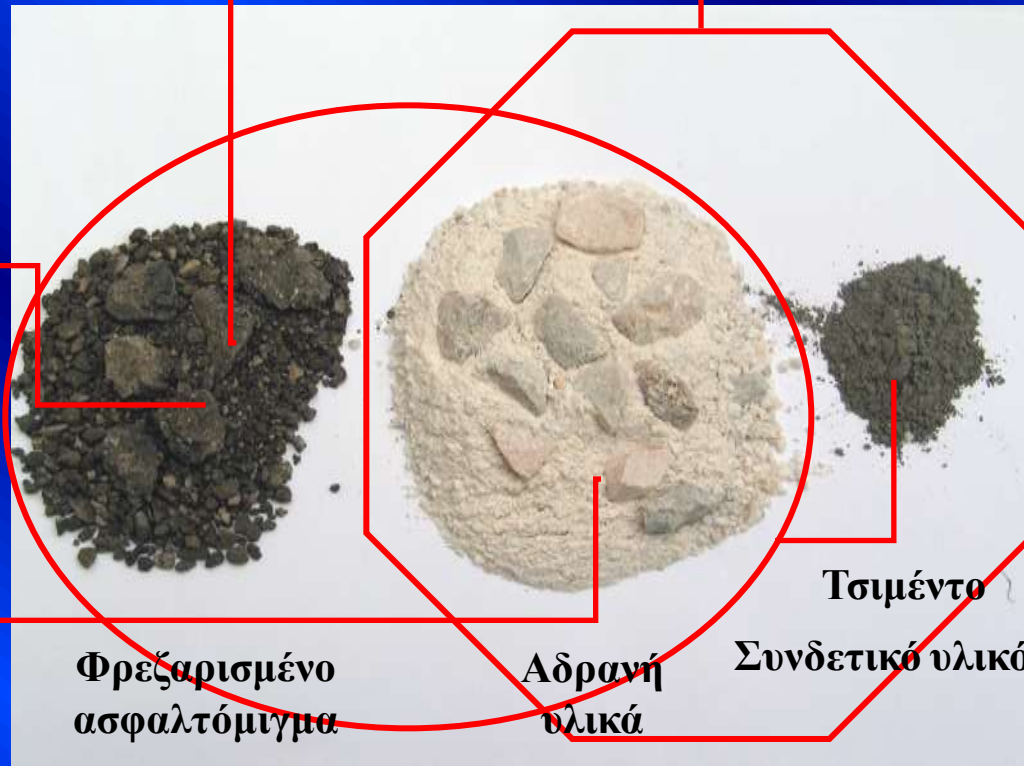
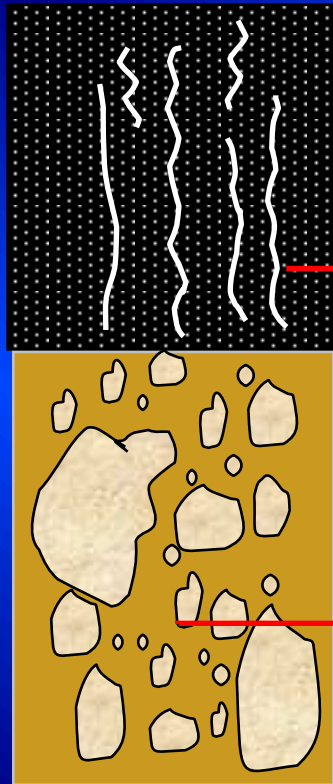
ΚΑΤΣΑΚΟΥ ΜΑΡΘΑ
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός



ΨΥΧΡΗ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ



ΥΛΙΚΑ



ΦΡΕΖΑΡΙΣΜΕΝΟ ΑΣΦΑΛΤΟΜΙΓΜΑ



**Το φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα (ΦΑ)
διαφέρει από τα θραυστά αμμοχάλικα (ΘΑ)**

ως προς :

- αντοχή
- μέτρο ελαστικότητας
- συνάφεια με το συνδετικό υλικό

Επιπλέον, επηρεάζεται από :

- θερμοκρασία
- ταχύτητα επιβολής τάσεως

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε μίγματα

με διάφορες αναλογίες % κ.β. ΘΑ / ΦΑ :

- 100 / 0 ΘΑ/ΦΑ (100 % αμμοχάλικο, ΚΘΑ, Υλικό Ι)
- 75 / 25 ΘΑ/ΦΑ (Υλικό ΙΙ)
- 50 / 50 ΘΑ/ΦΑ (Υλικό ΙΙΙ)
- 25 / 75 ΘΑ/ΦΑ (Υλικό ΙV)
- 0 / 100 ΘΑ/ΦΑ (100 % φρεζαρισμένο ασφαλτόμιγμα)
(Υλικό V)

ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

- Τσιμέντο 3 % και 5 %, νερό 5.2 %

Για όλα τα μίγματα (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, 0/100) ο λόγος N/T είναι :

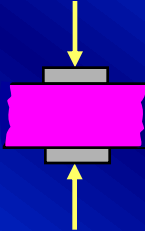
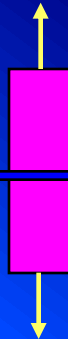
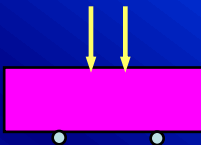
$N/T = 1.75$ για τσιμέντο 3 %

$N/T = 1.09$ για τσιμέντο 5 %

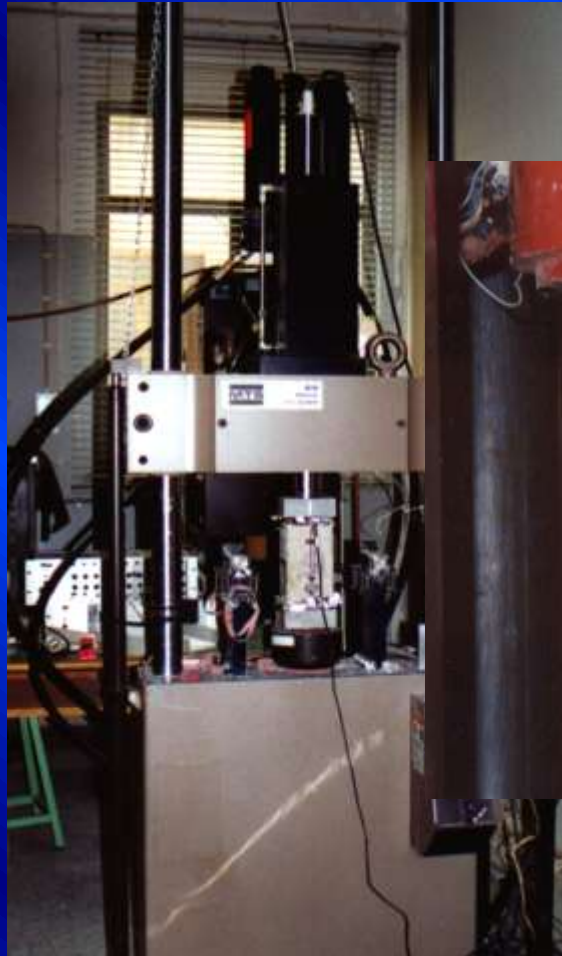
**Επομένως για όλα τα μίγματα (με το ίδιο τσιμέντο)
το "συνδετικό μέσον" έχει την ίδια αντοχή**

- Ηλικίες δοκιμής 1, 60 ημέρες

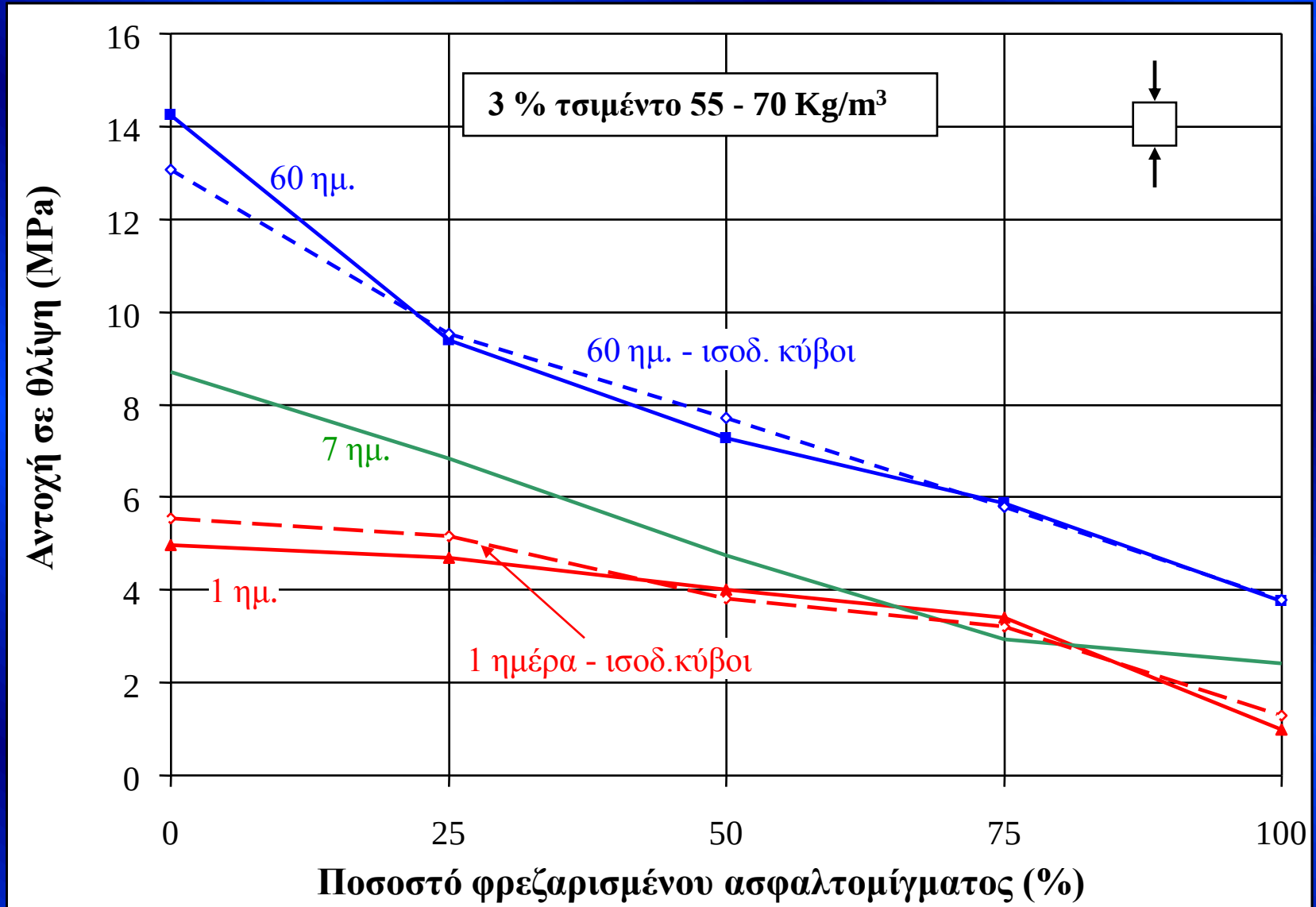
Μηχανικά χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν

- Αντοχή σε θλίψη ( κύβου,  ισοδύναμου κύβου,  μονοαξονική πρίσματος)
- Αντοχή σε μονοαξονικό εφελκυσμό  και διάρρηξη 
- Αντοχή σε κάμψη 
- Μέτρο ελαστικότητας (σε θλίψη, εφελκυσμό και κάμψη)
- Αντοχή σε κόπωση από κάμψη (σε 3 υλικά 100/0, 50/50, 0/100)

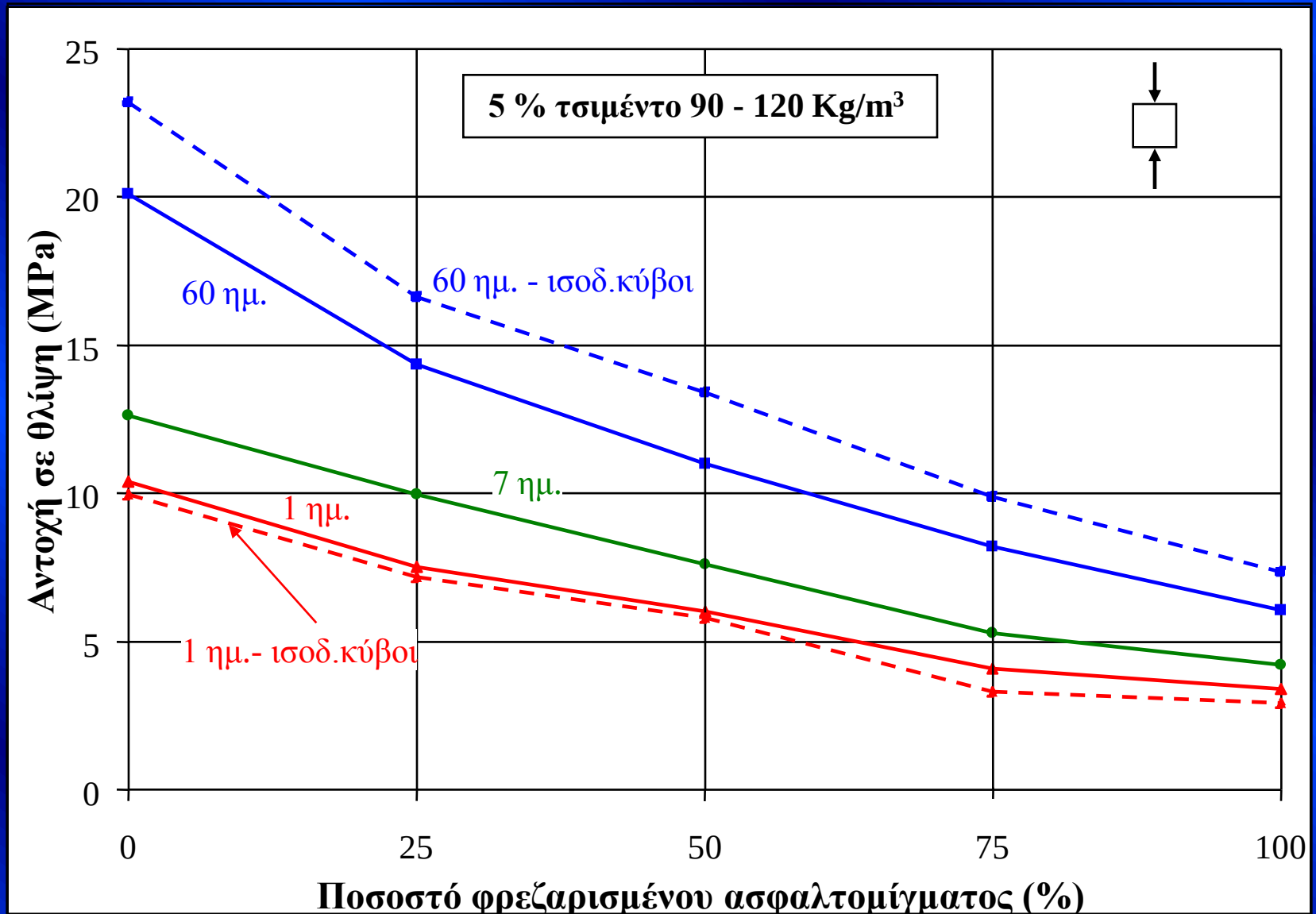
ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ



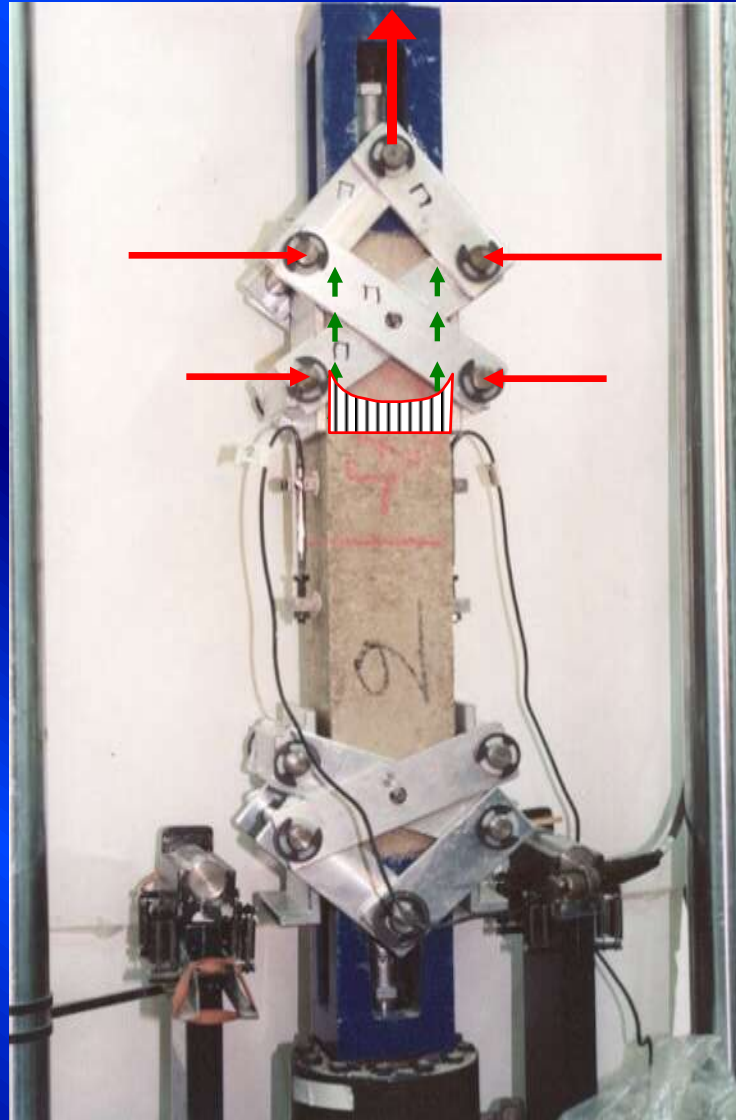
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



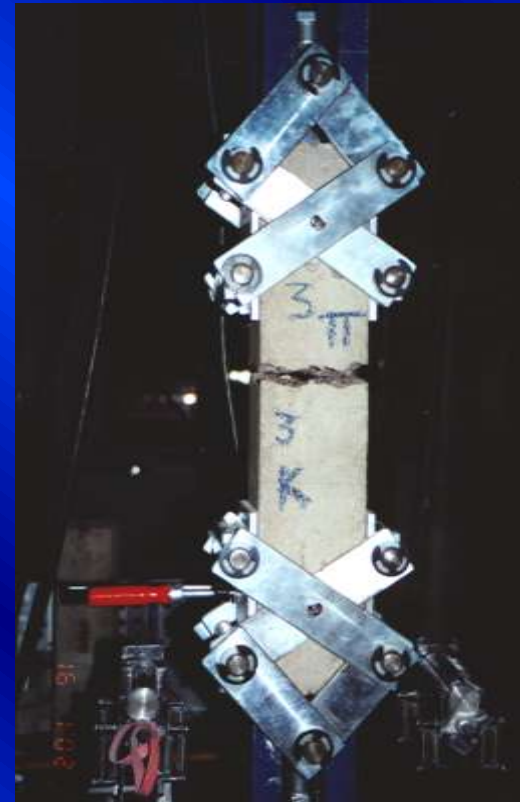
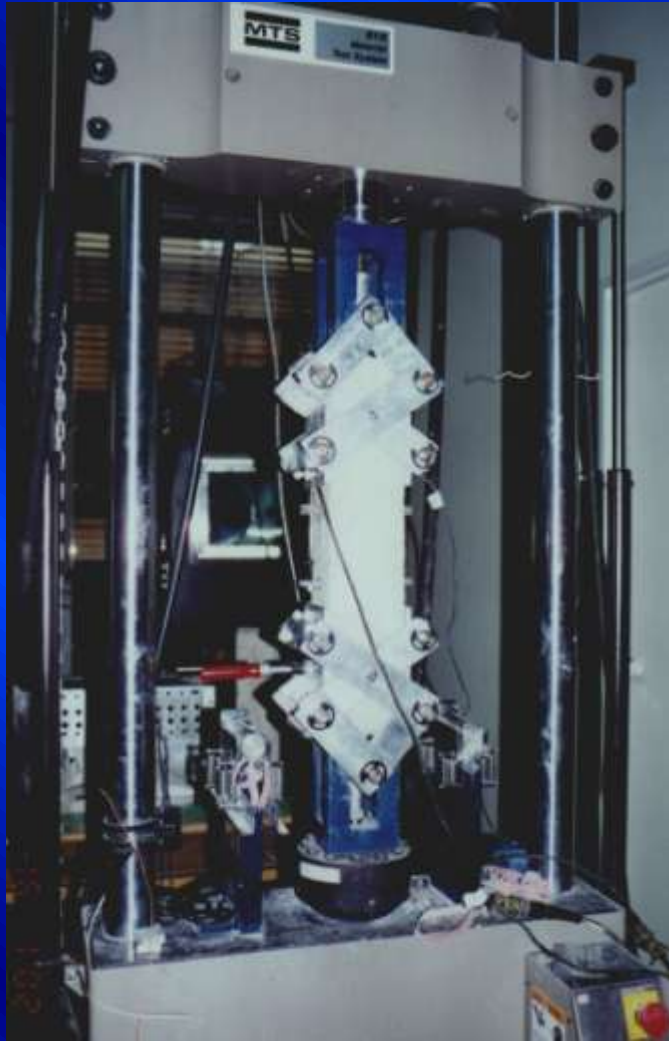
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

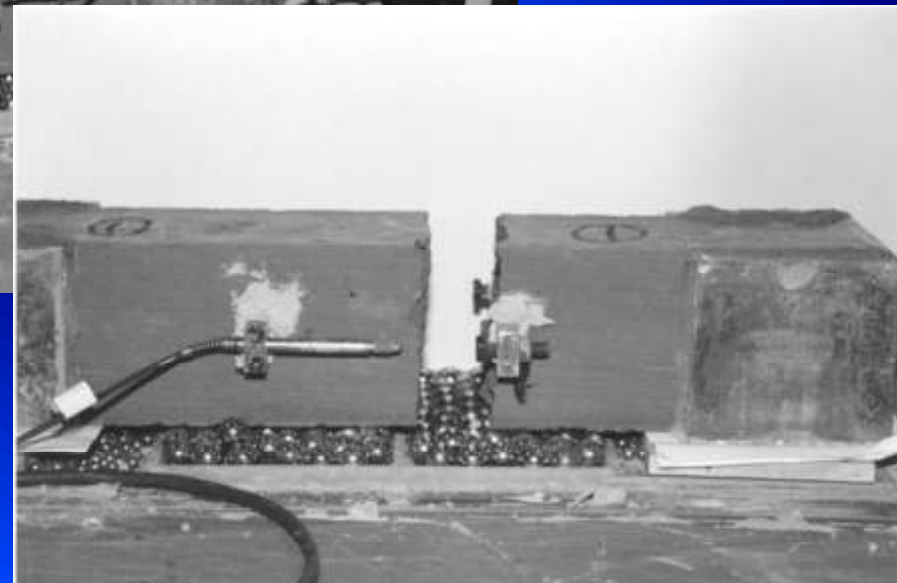
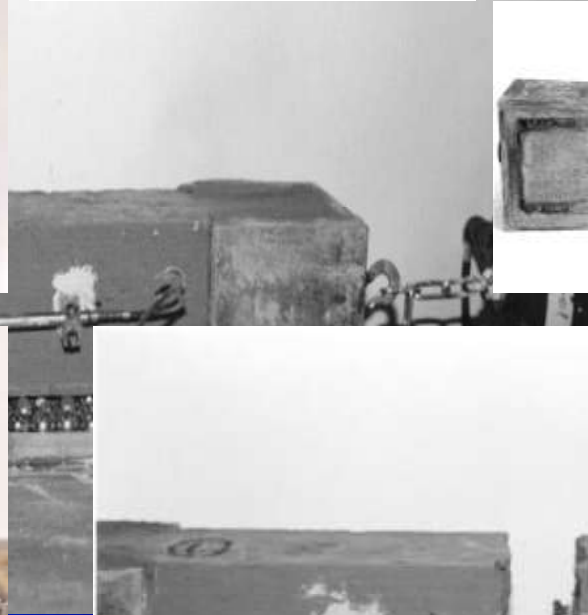


ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

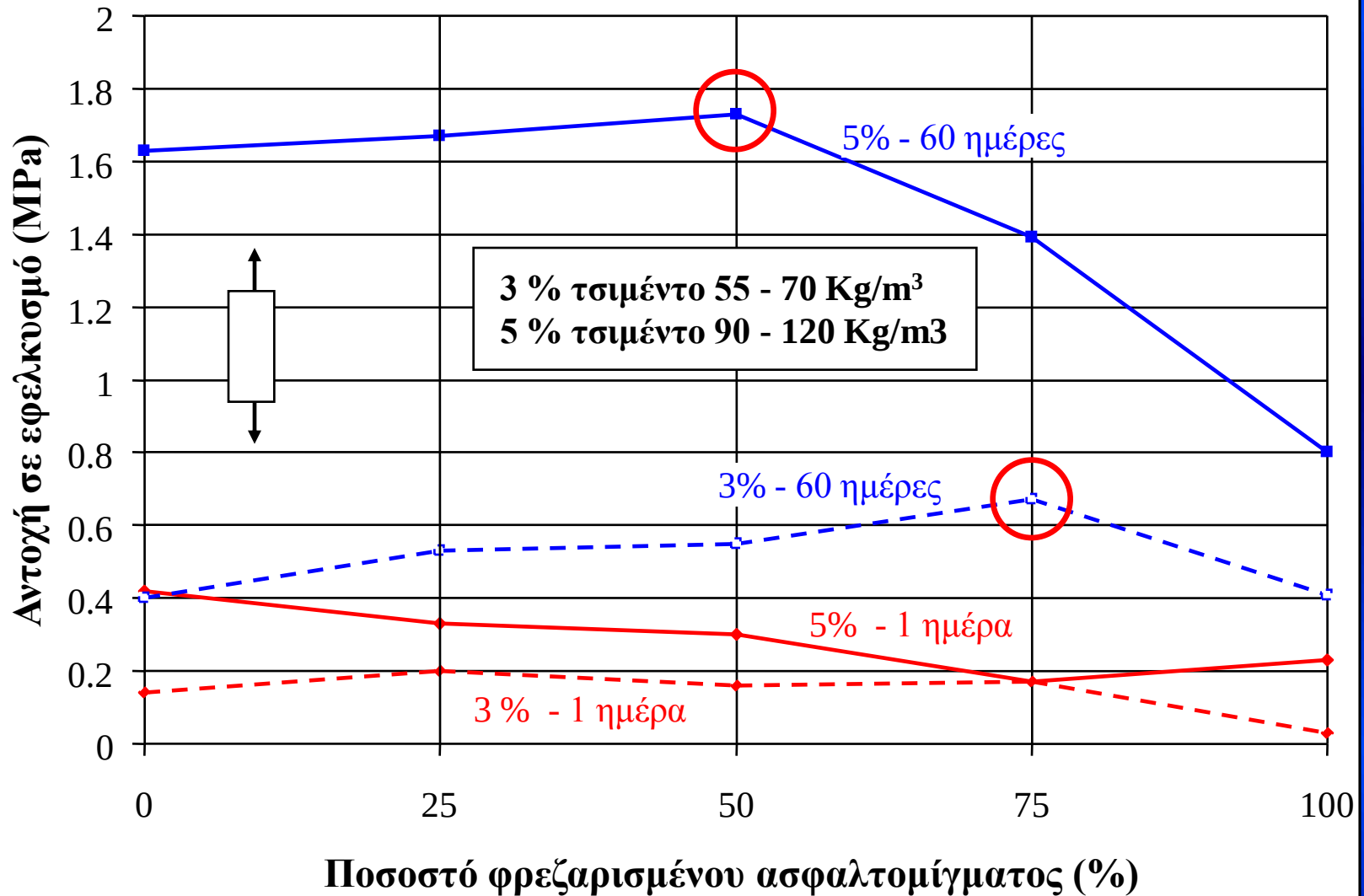


ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Δοκίμια μικρής αντοχής - ηλικίας



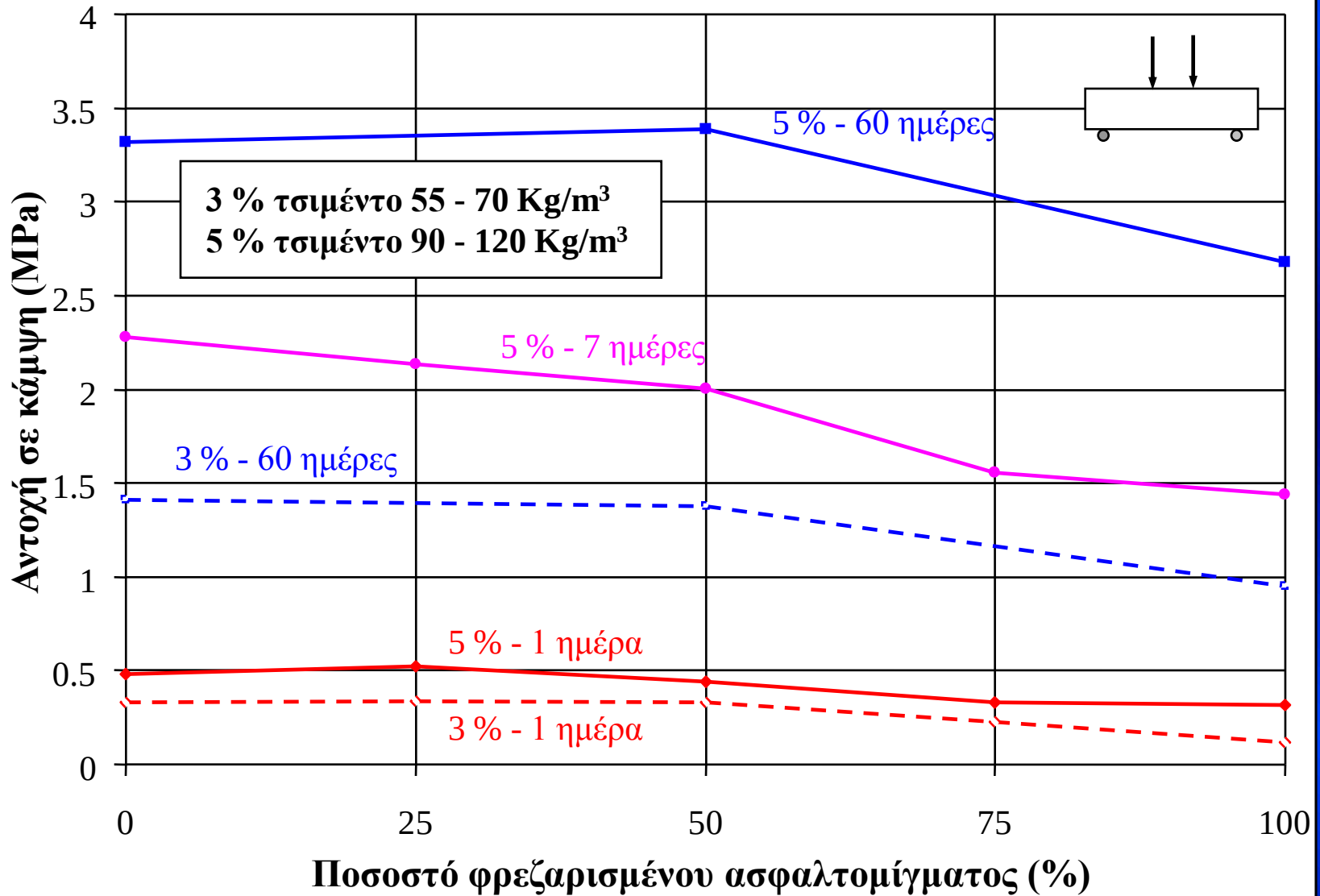
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



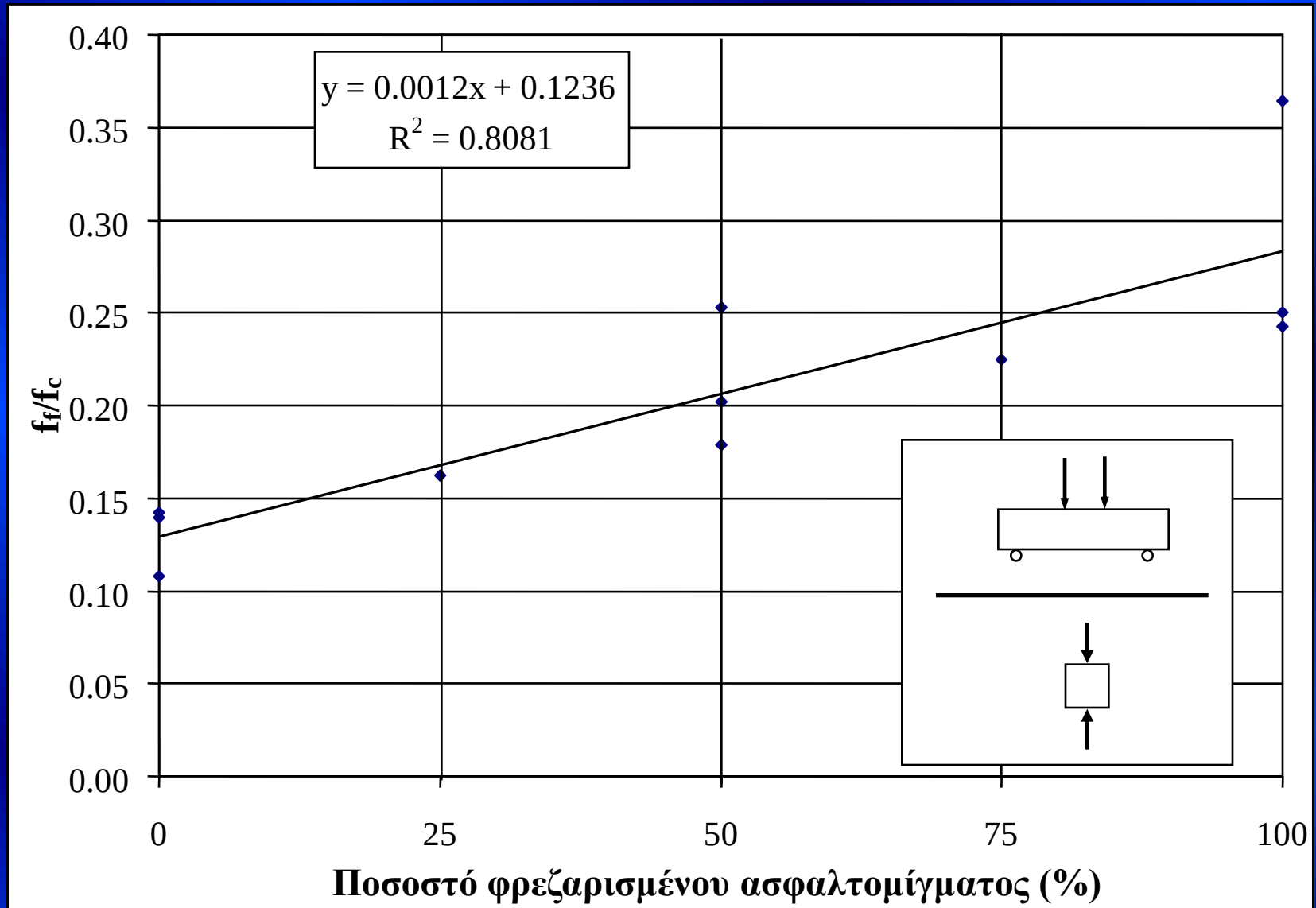
ΔΟΚΙΜΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ



ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



f_f / f_c σε σχέση με το ποσοστό του ΦΑ %



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Όσο το ποσοστό ΦΑ στο μίγμα αυξάνει, μειώνεται η αντοχή σε θλίψη και σε εφελκυσμό, αλλά η μείωση της θλιπτικής αντοχής είναι ταχύτερη

Άρα

Η συμπεριφορά του υλικού βελτιώνεται

Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στη σύνταξη προδιαγραφών, δεδομένου ότι η αντοχή σε εφελκυσμό είναι το κρίσιμο μέγεθος

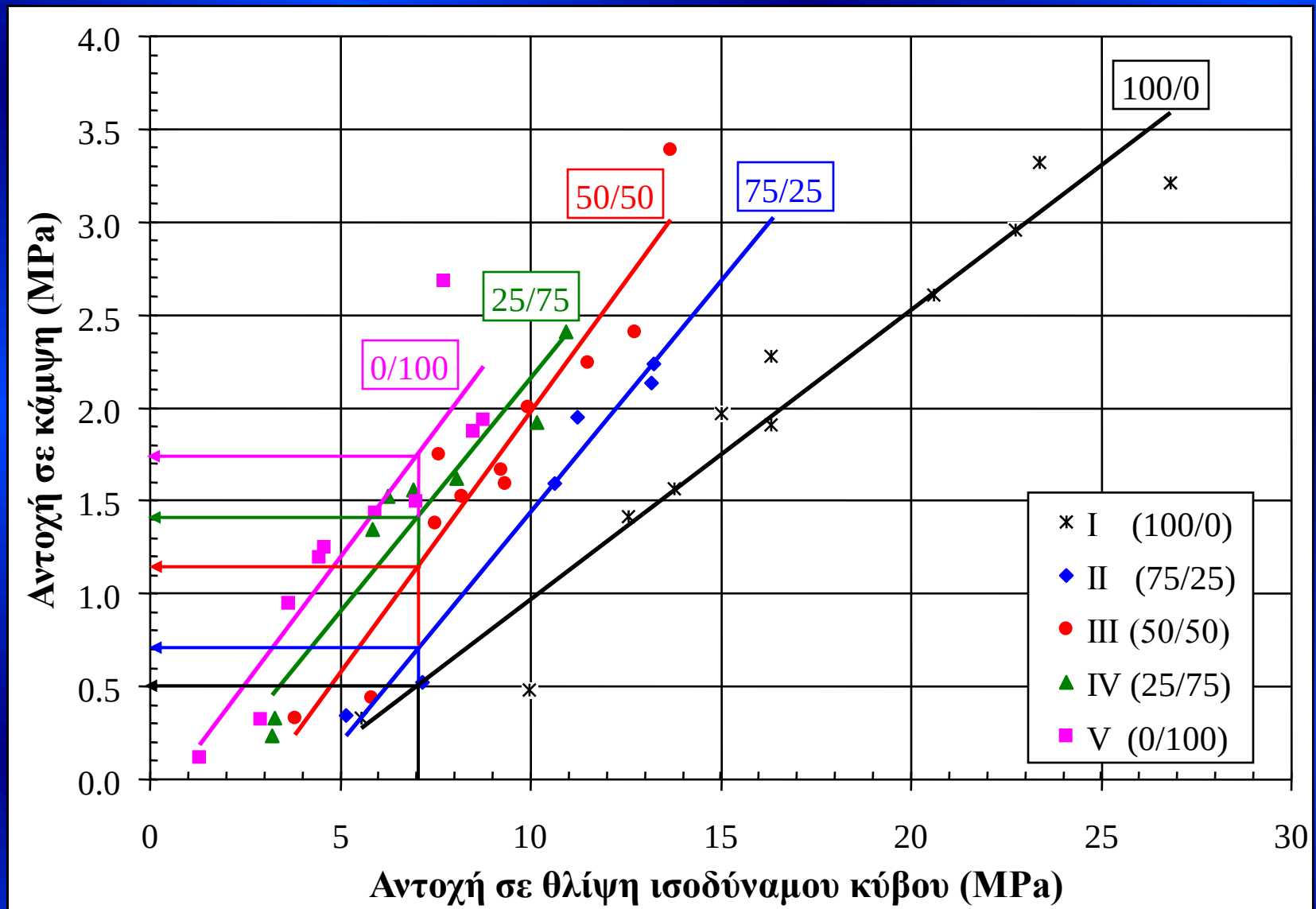
Η μελέτη σύνθεσης στηρίζεται συνήθως σε δεδομένα από ΚΘΑ

Με κριτήρια μόνον ως προς την αντοχή σε
θλίψη

Π.χ. Αντοχή σε θλίψη 7 ημερών :

- 2.5 ή 3.0 MPa Ισπανία, Ιαπωνία
- 5, 7 ή 9.0 MPa Αγγλία

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ



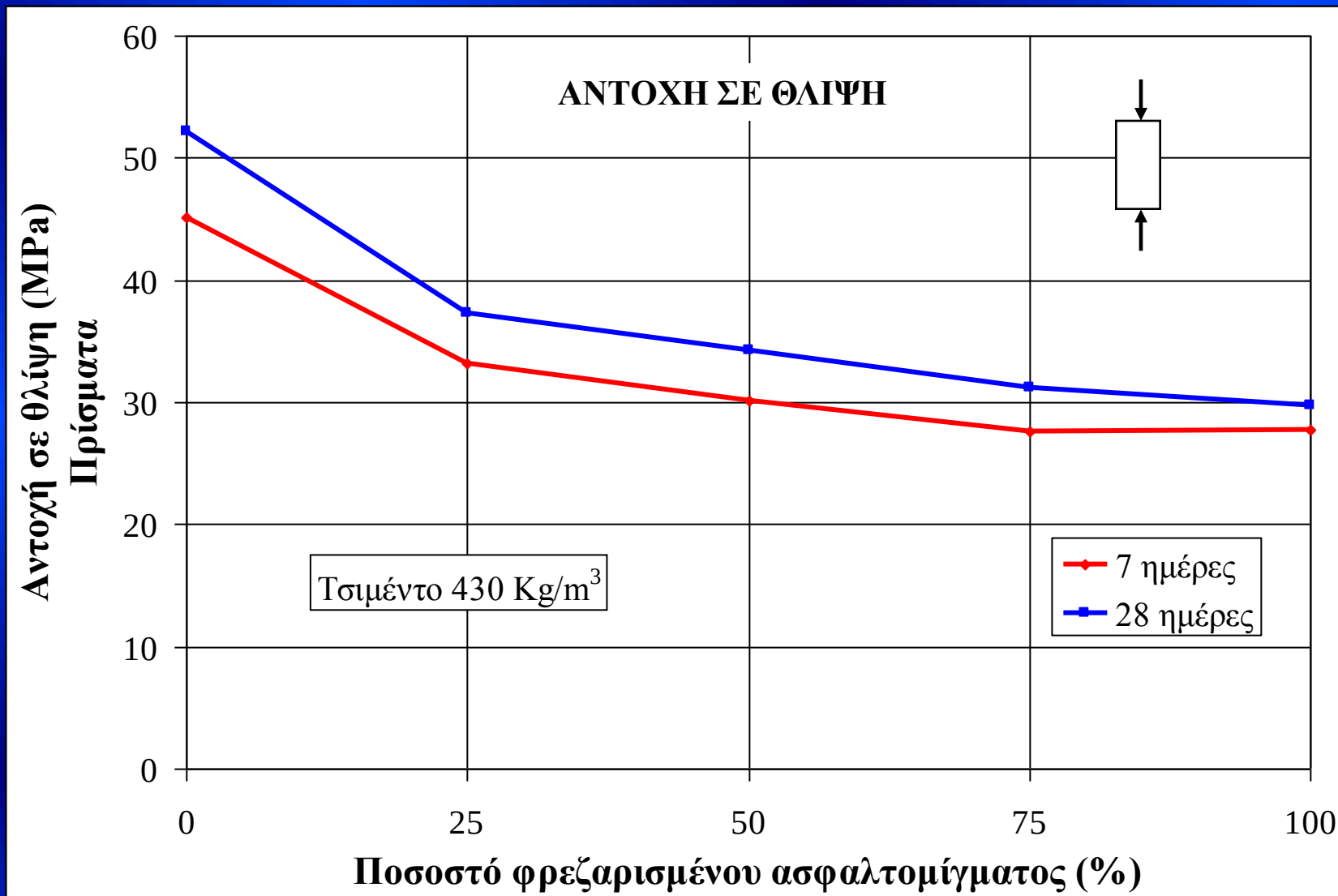
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

- Για την ίδια αντοχή σε θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό ή κάμψη είναι μεγαλύτερη, όσο αυξάνει το ποσοστό του ΦΑ στο μίγμα

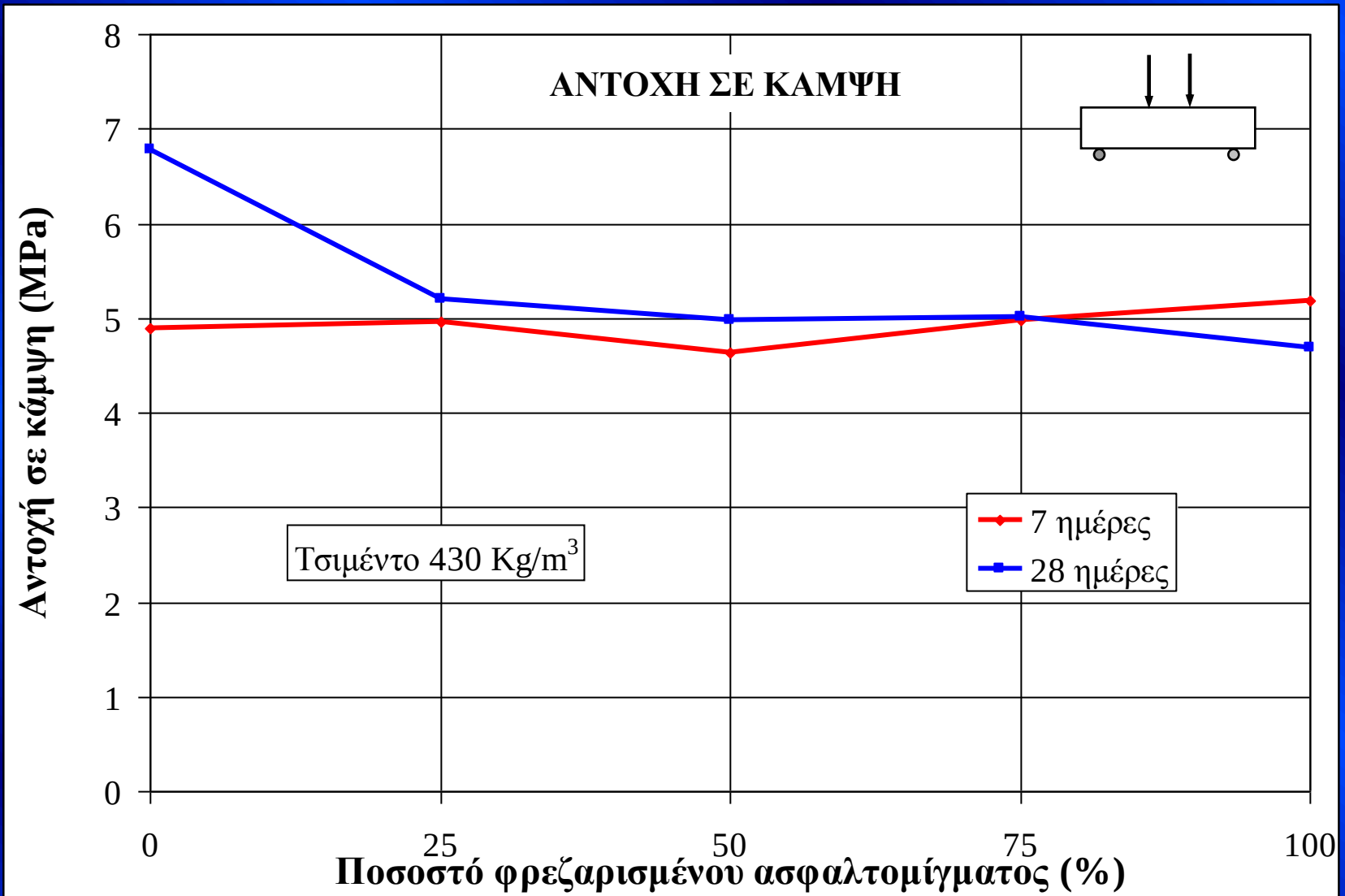
Η διαφορά αυτή είναι πολύ μεγάλη, ώστε να θεωρηθεί ότι είναι απλώς υπέρ της ασφαλείας

Αν η προδιαγραφή επιβάλλει σχεδιασμό μόνο με την αντοχή σε θλίψη, χάνεται το πλεονέκτημα από τη διαφορά των αντοχών σε κάμψη και θλίψη

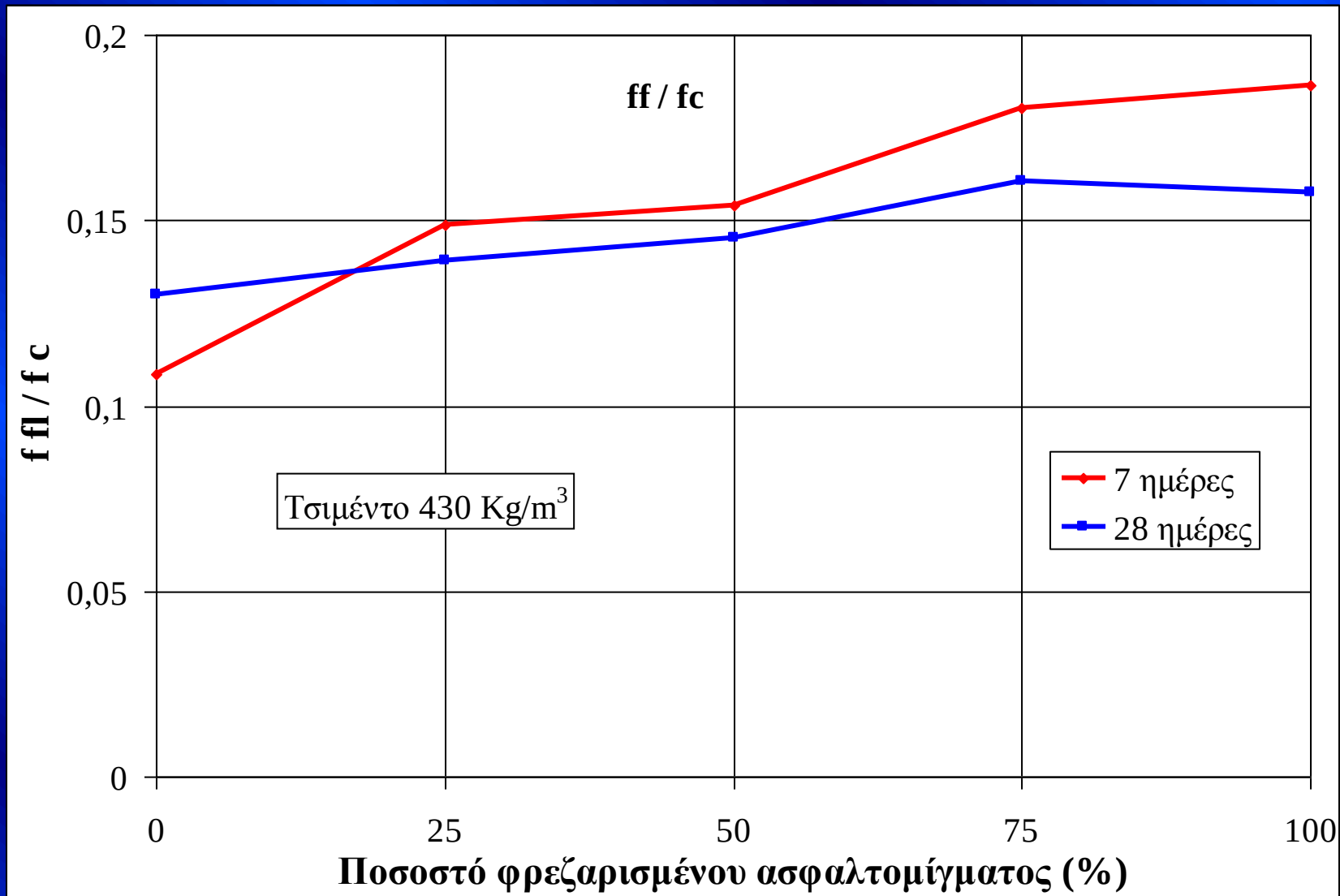
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



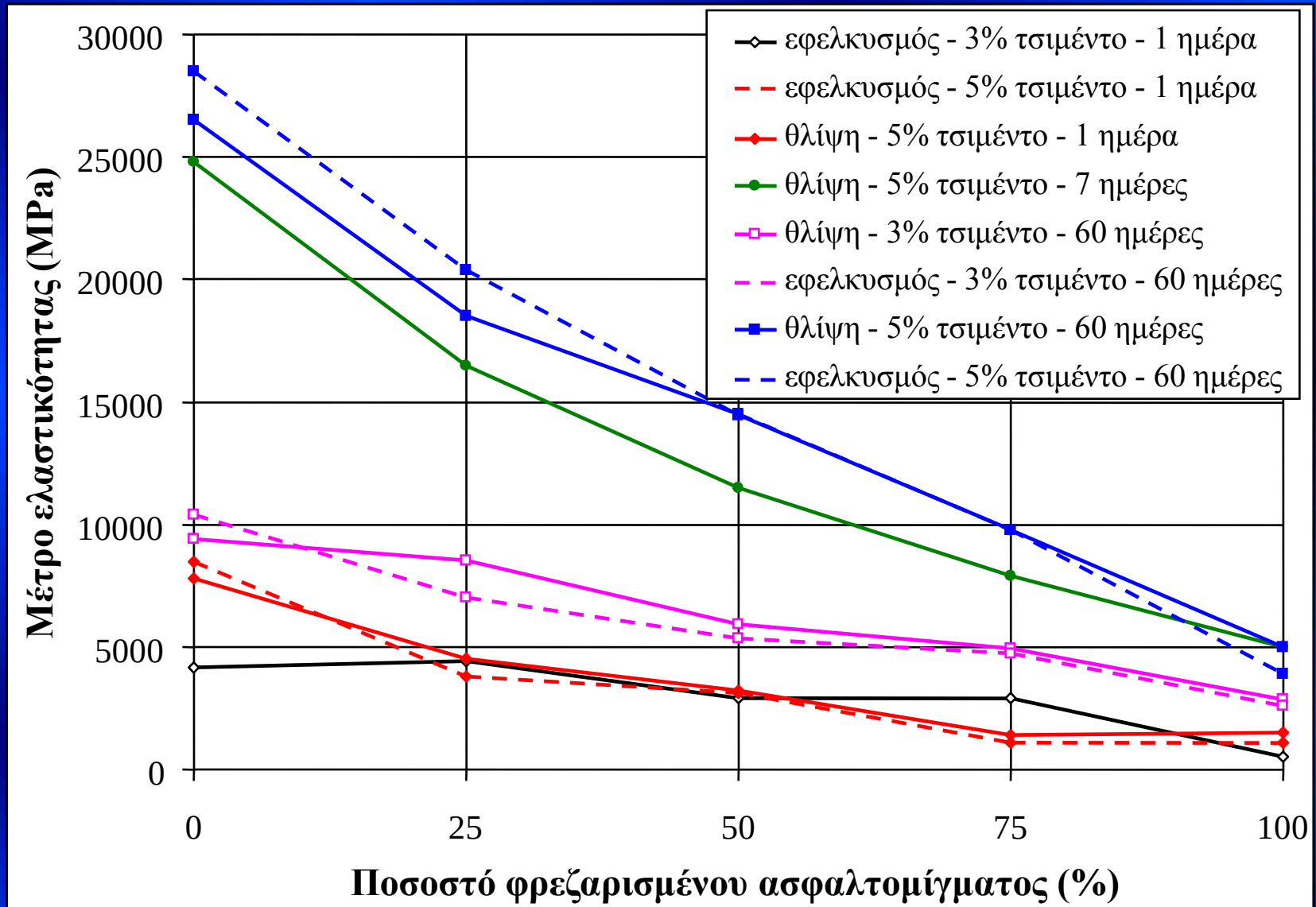
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



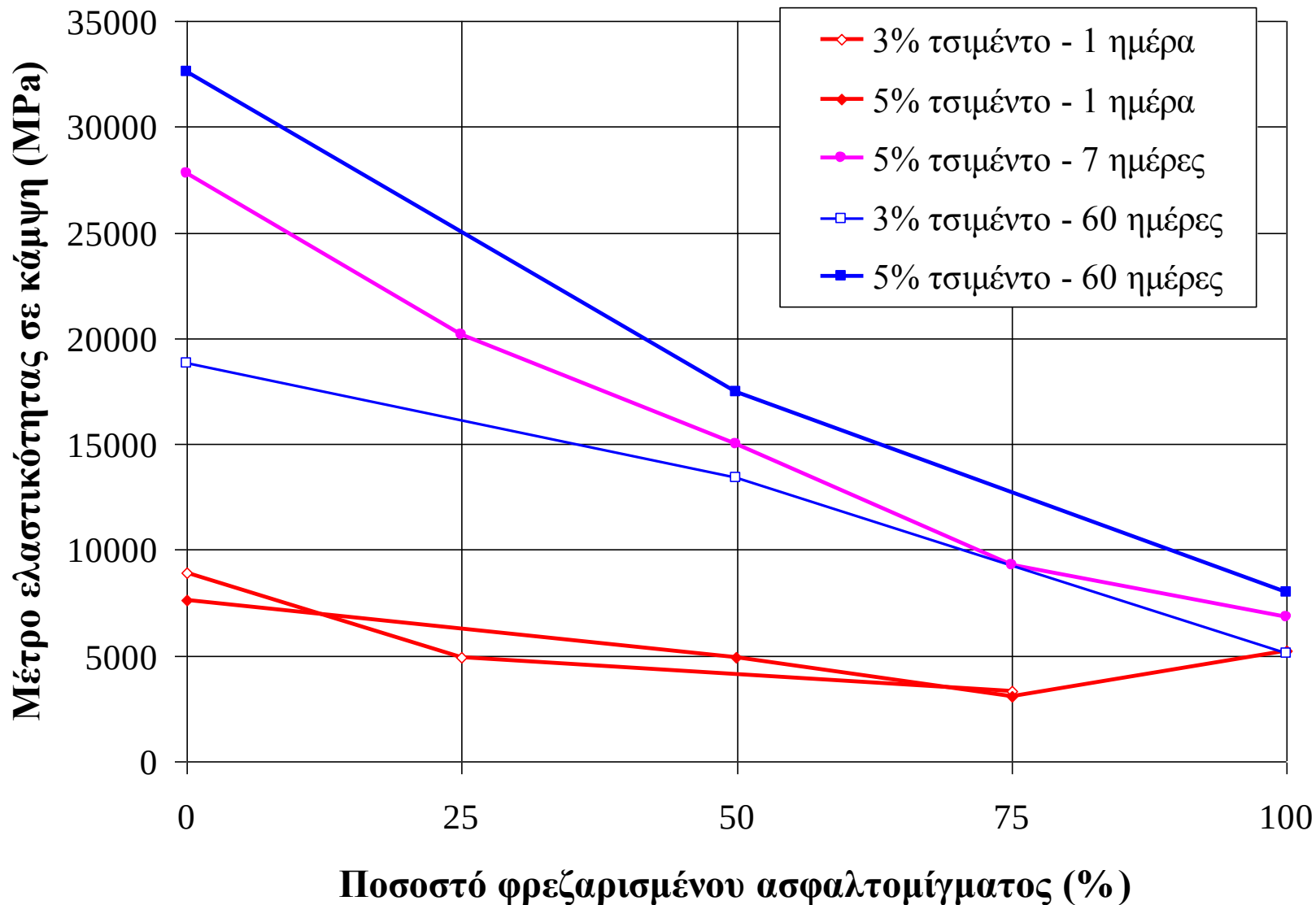
ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



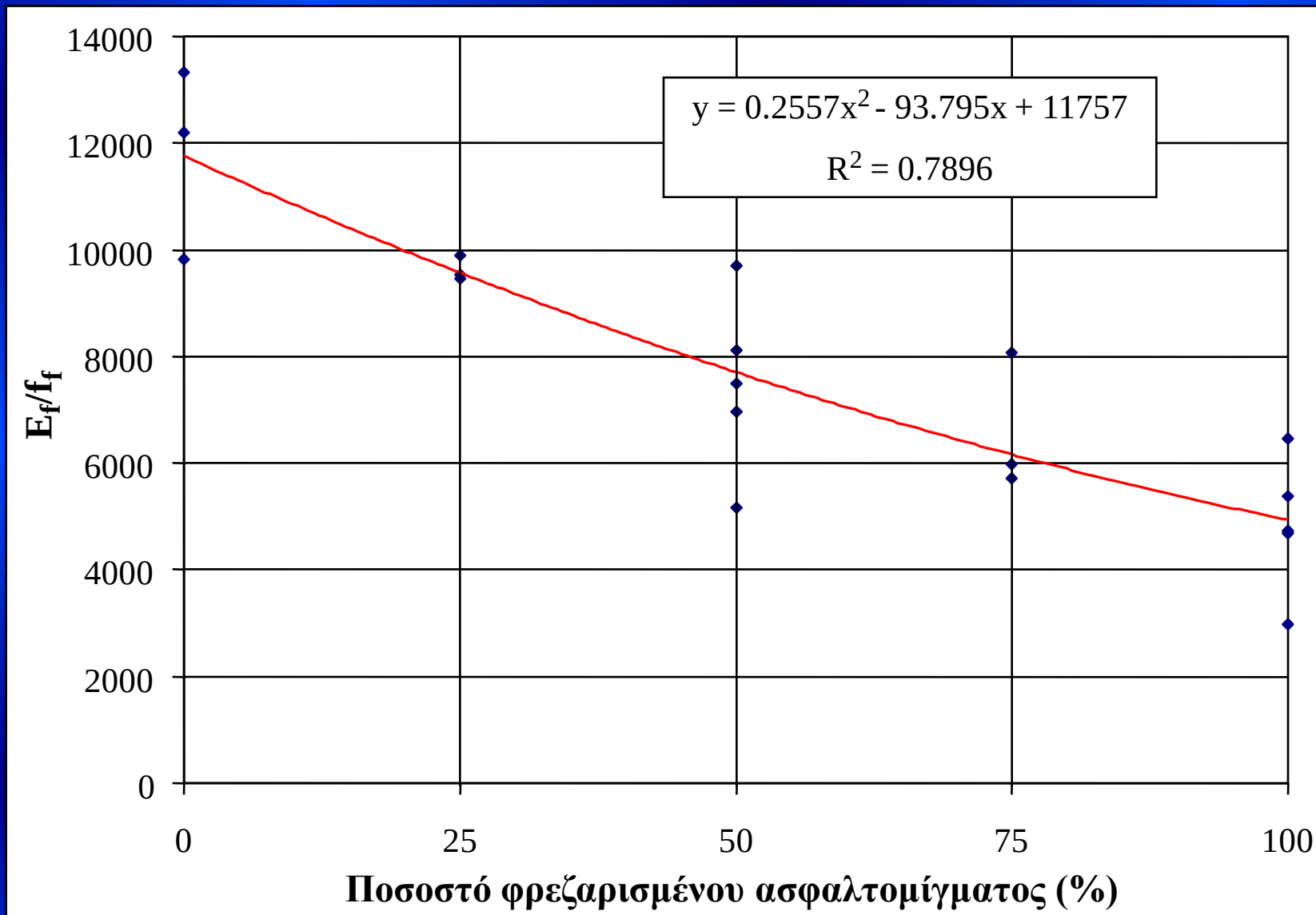
ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ ΚΑΙ ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



E_f/f_f ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΦΑ



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

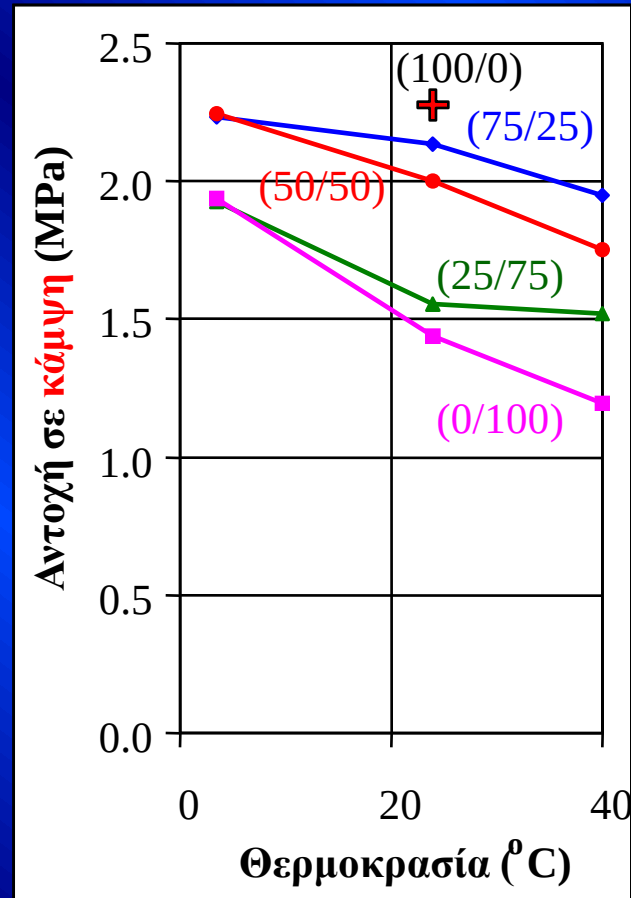
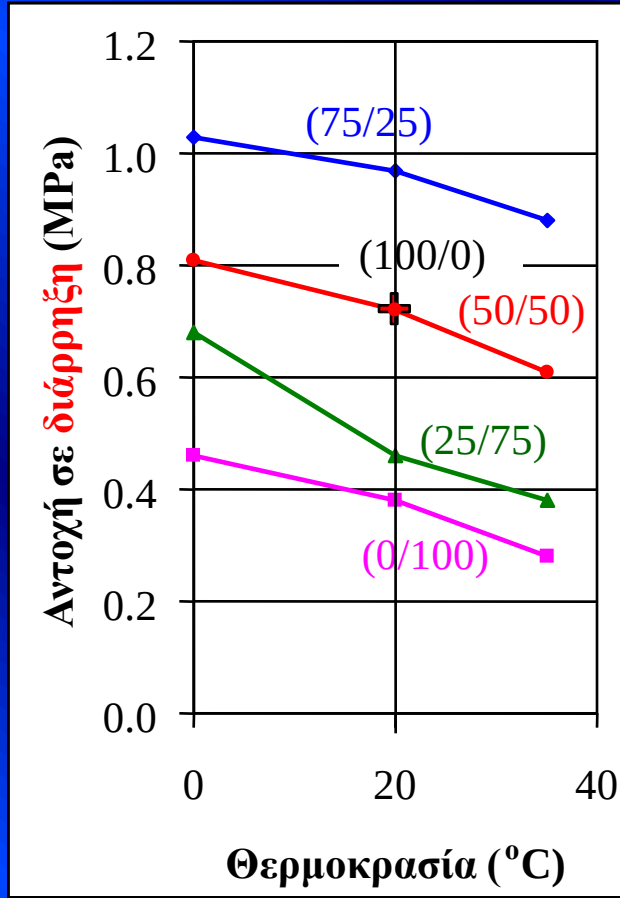
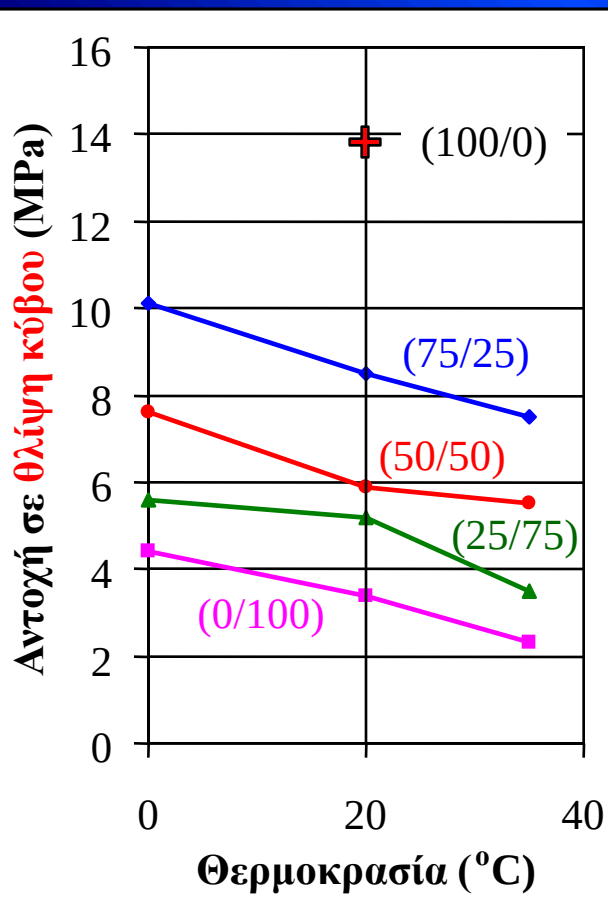
- Με την αύξηση του ποσοστού του ΦΑ στο μίγμα, το μέτρο ελαστικότητας μειώνεται πιο γρήγορα σε σχέση με την αντίστοιχη αντοχή σε κάμψη

Άρα

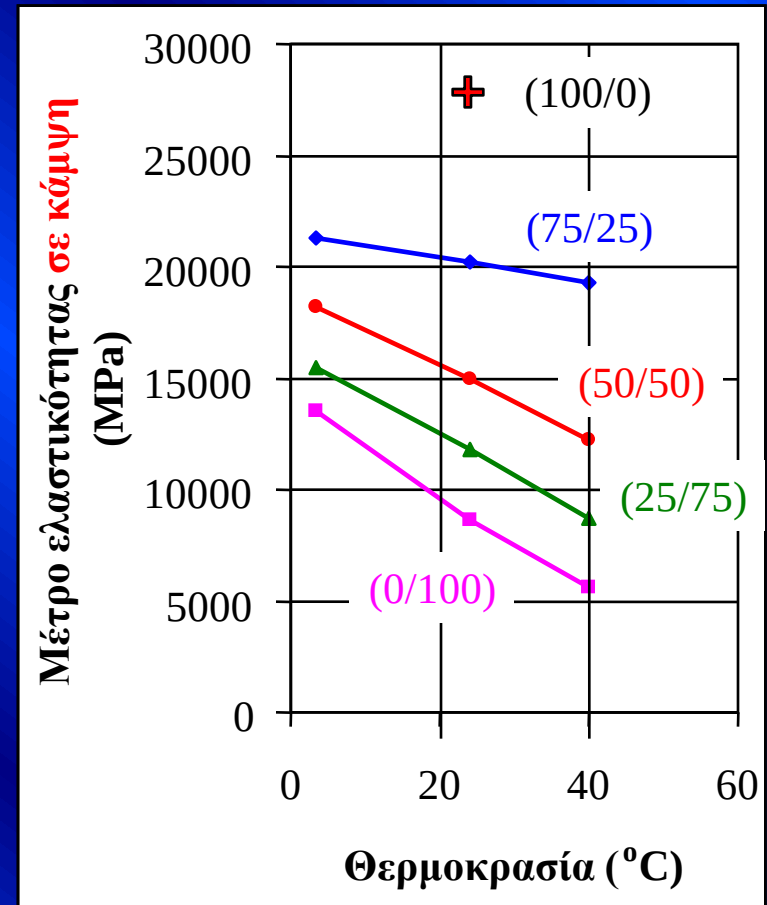
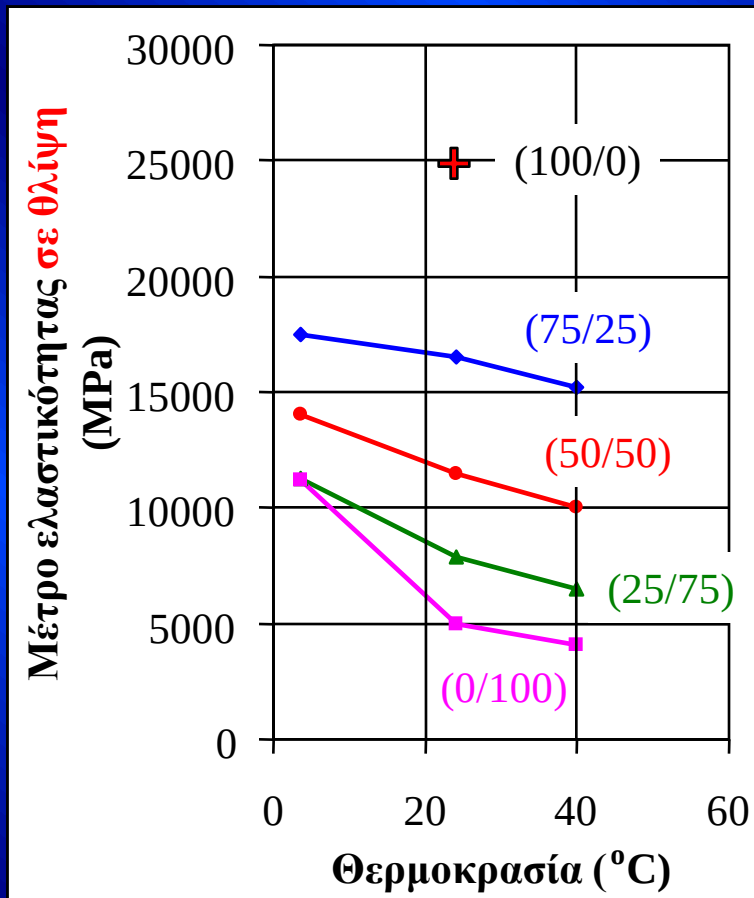
Οι αναπτυσσόμενες τάσεις (από φορτία ή παρεμπόδιση παραμόρφωσης) ελαττώνονται, όσο αυξάνει το ποσοστό του ΦΑ.

Για τη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων, σημασία έχει ο λόγος σ/f που καθορίζει το περιθώριο ασφαλείας

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

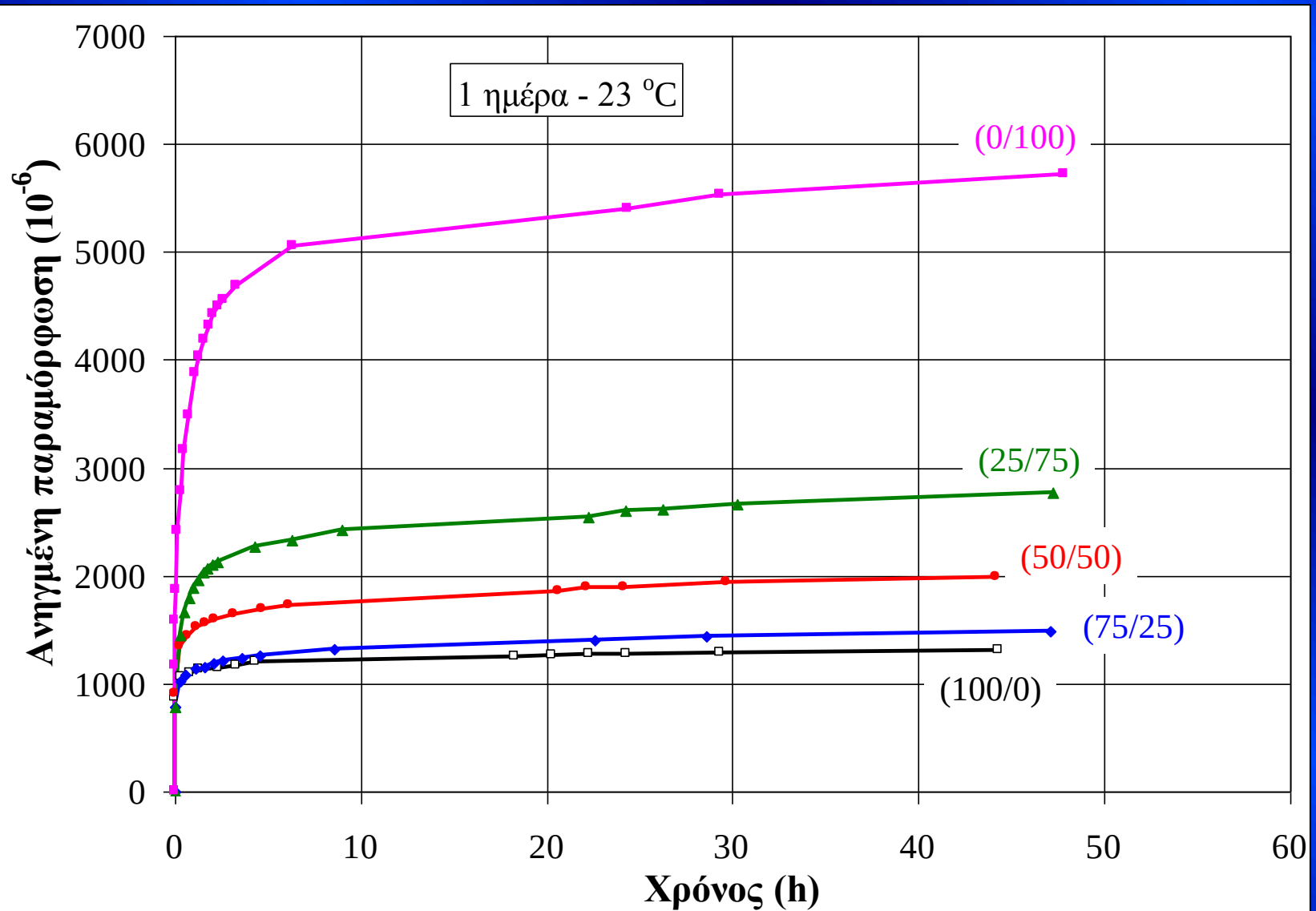
- Η αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας μειώνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας
- Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι εντονότερη, όσο αυξάνει το ποσοστό του ΦΑ στο μίγμα
- Ο λόγος E/f φαίνεται ότι ελαττώνεται ελαφρώς
- Η μεταβολή όμως της θερμοκρασίας επηρεάζει την απόκριση ολόκληρου του οδοστρώματος (μεταβολή του μέτρου δυσκαμψίας της ασφαλικής στρώσης)

$E_1 = 8000 \text{ MPa}$	Ασφαλτική στρώση	$E_1 = 2000 \text{ MPa}$
	Ανακυκλωμένη στρώση	

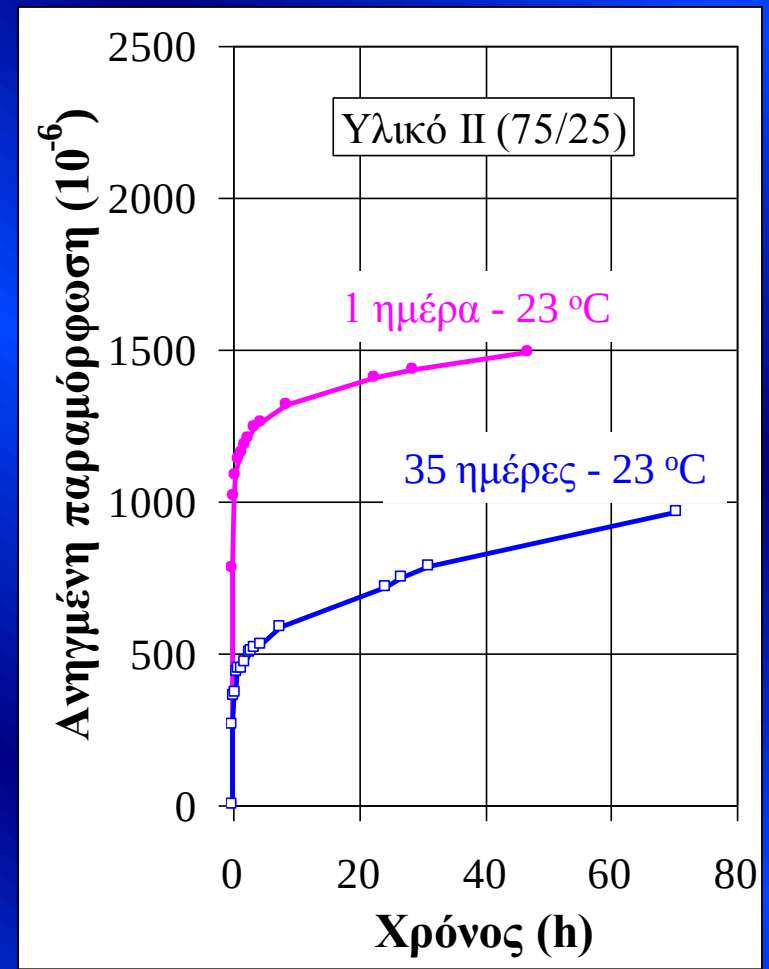
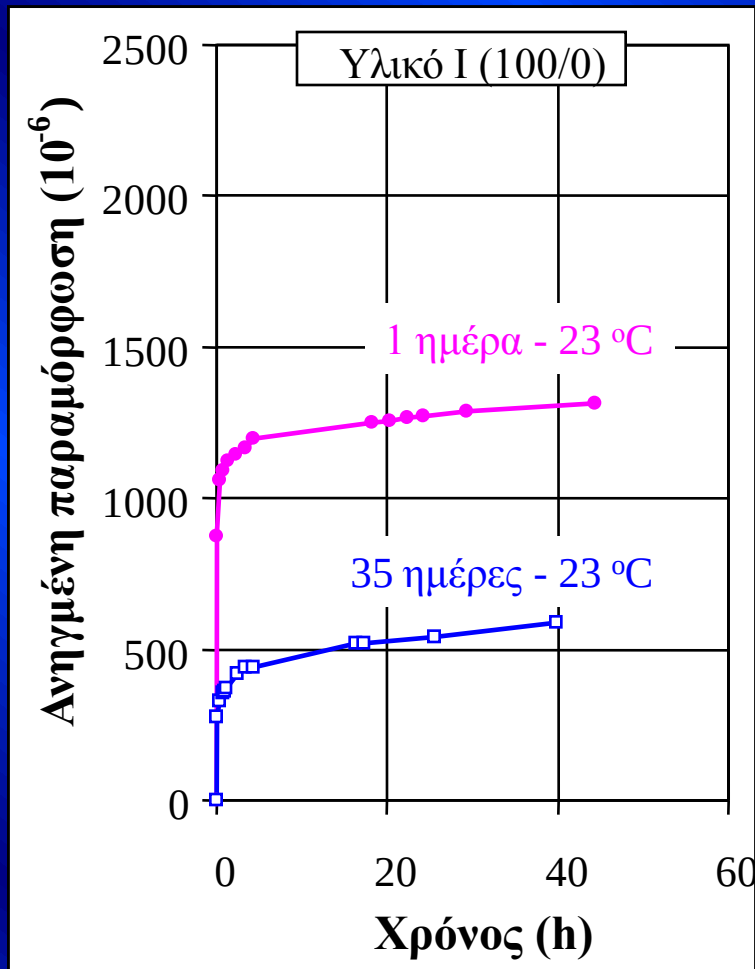
Άρα

Η επίδραση της θερμοκρασίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό οδοστρωμάτων

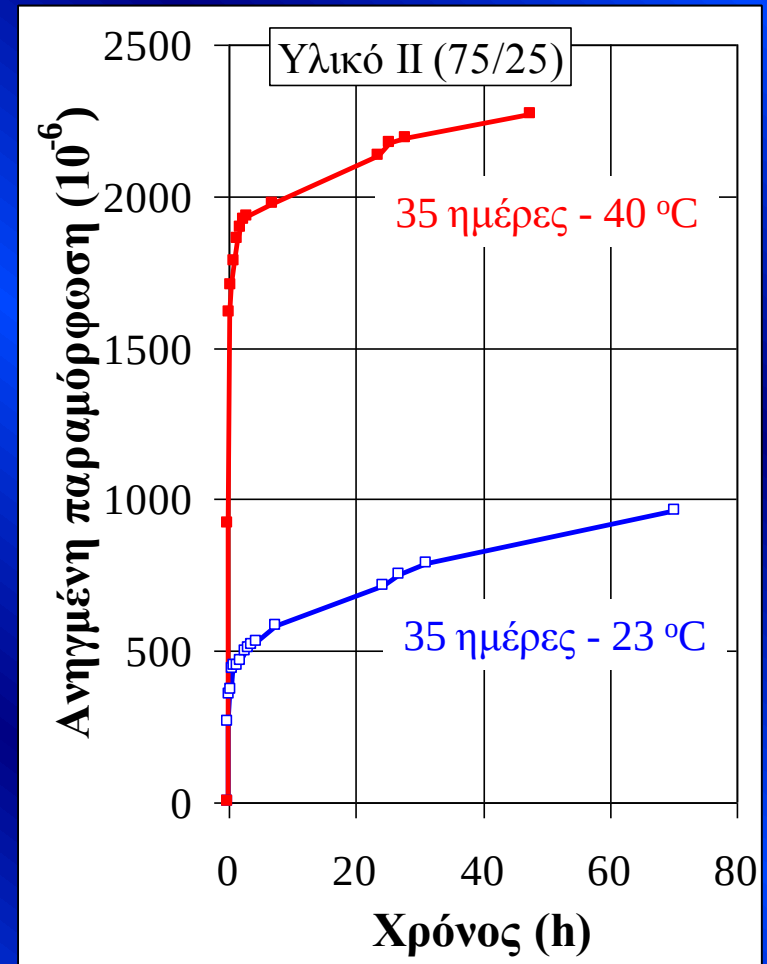
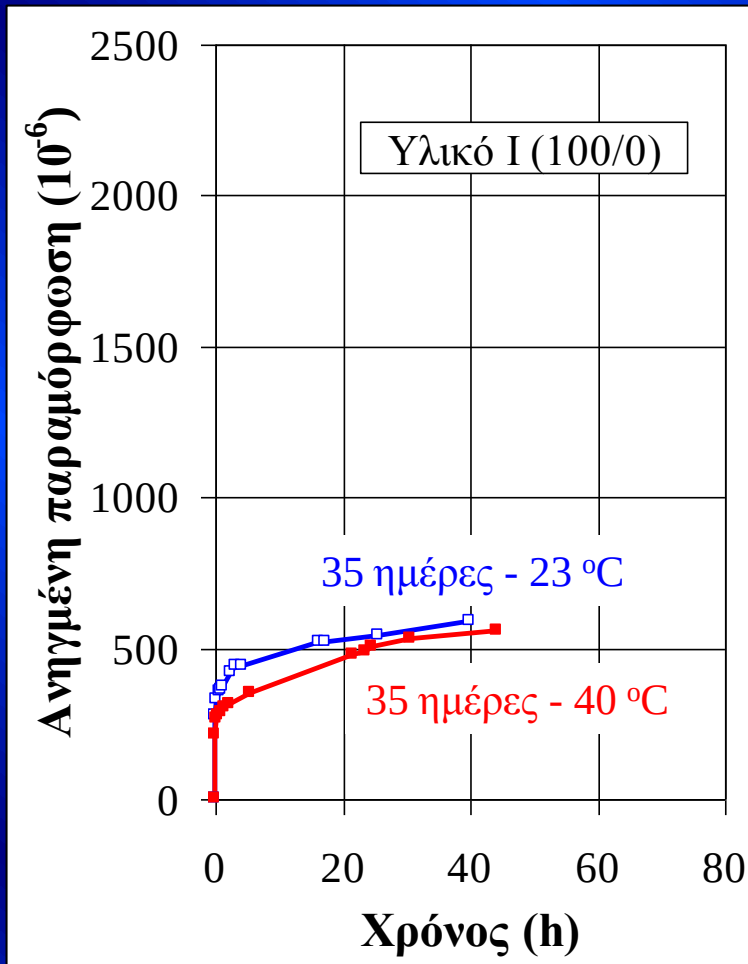
ΕΡΠΥΣΜΟΣ (Επίδραση του ΦΑ %)



ΕΡΙΠΥΣΜΟΣ (Επίδραση της ηλικίας)



ΕΡΠΥΣΜΟΣ (Επίδραση της θερμοκρασίας)



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Οι ερπυστικές παραμορφώσεις αυξάνουν όσο :

- Το ποσοστό του ΦΑ στο μίγμα αυξάνει
- Η θερμοκρασία αυξάνει
- Η ηλικία δοκιμής μειώνεται

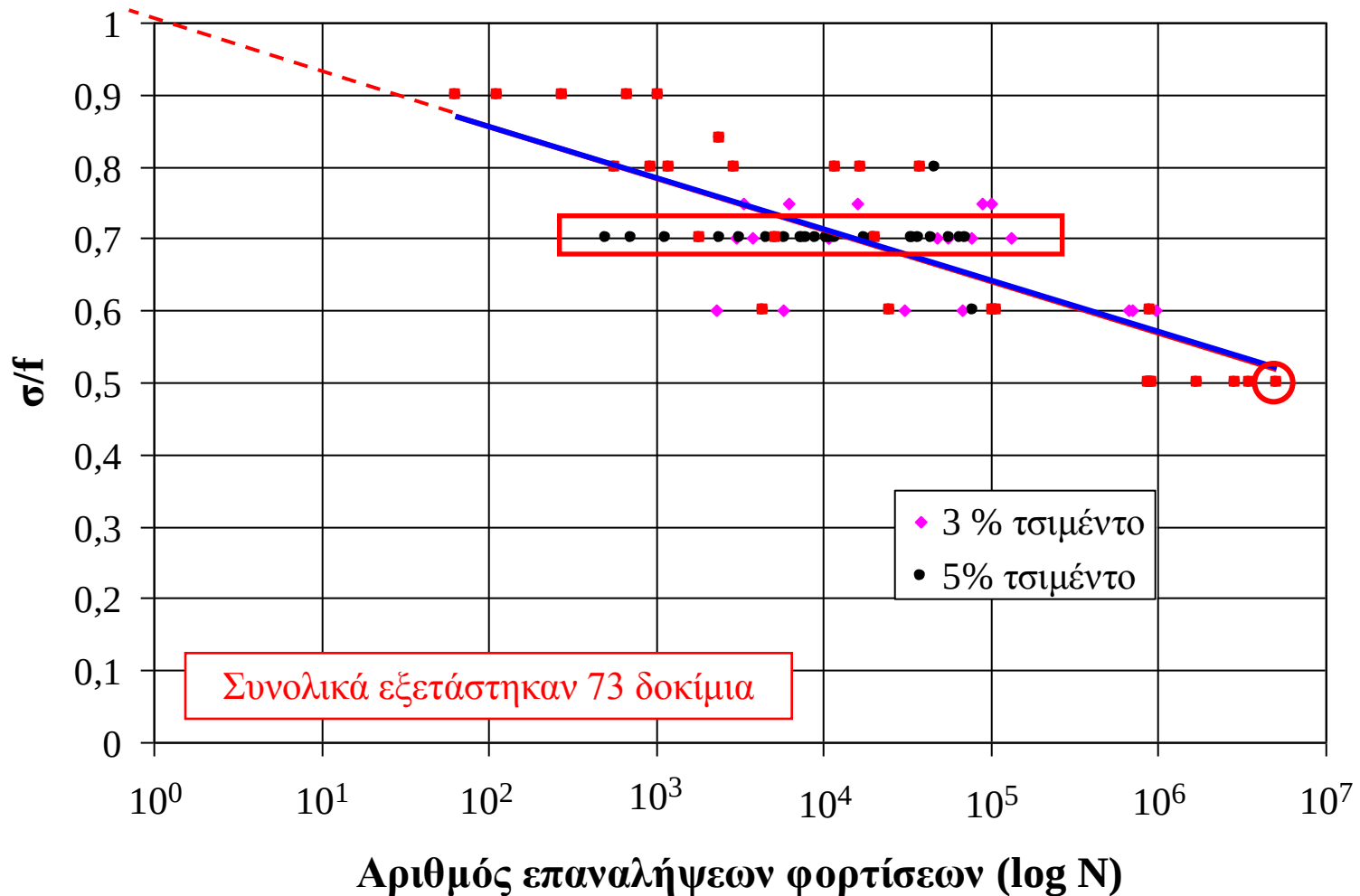
Άρα

Οι ανακυκλωμένες στρώσεις υφίστανται σημαντική χαλάρωση, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό των τάσεων από παρεμποδιζόμενη παραμόρφωση (θερμοκρασιακές μεταβολές)

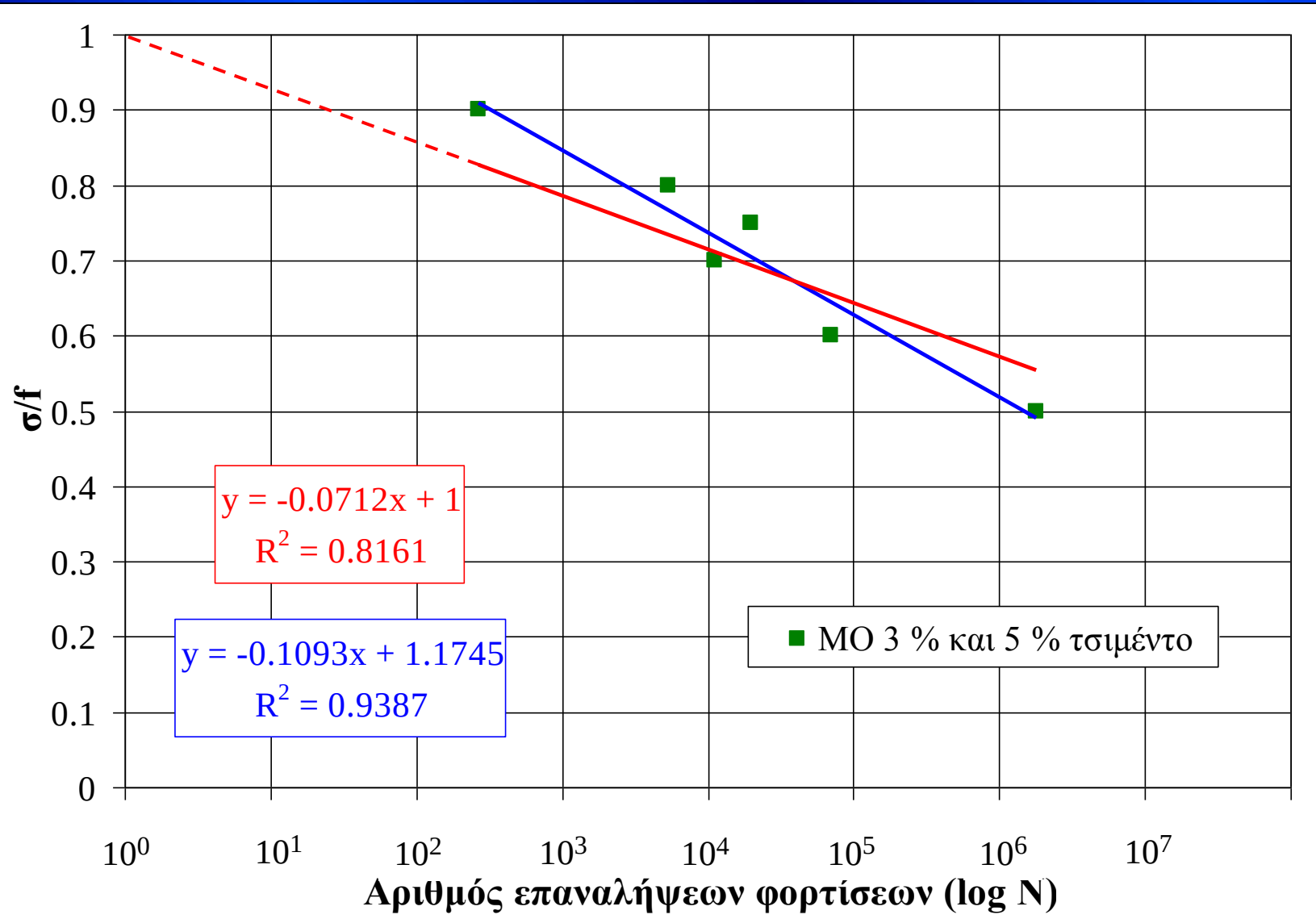
Οι αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω θερμοκρασίας στα οδοστρώματα που περιέχουν ανακυκλωμένες με τσιμέντο στρώσεις είναι μικρότερες από αυτές των ΚΘΑ

ΚΟΠΩΣΗ Υλικό ΙΙΙ (50/50)

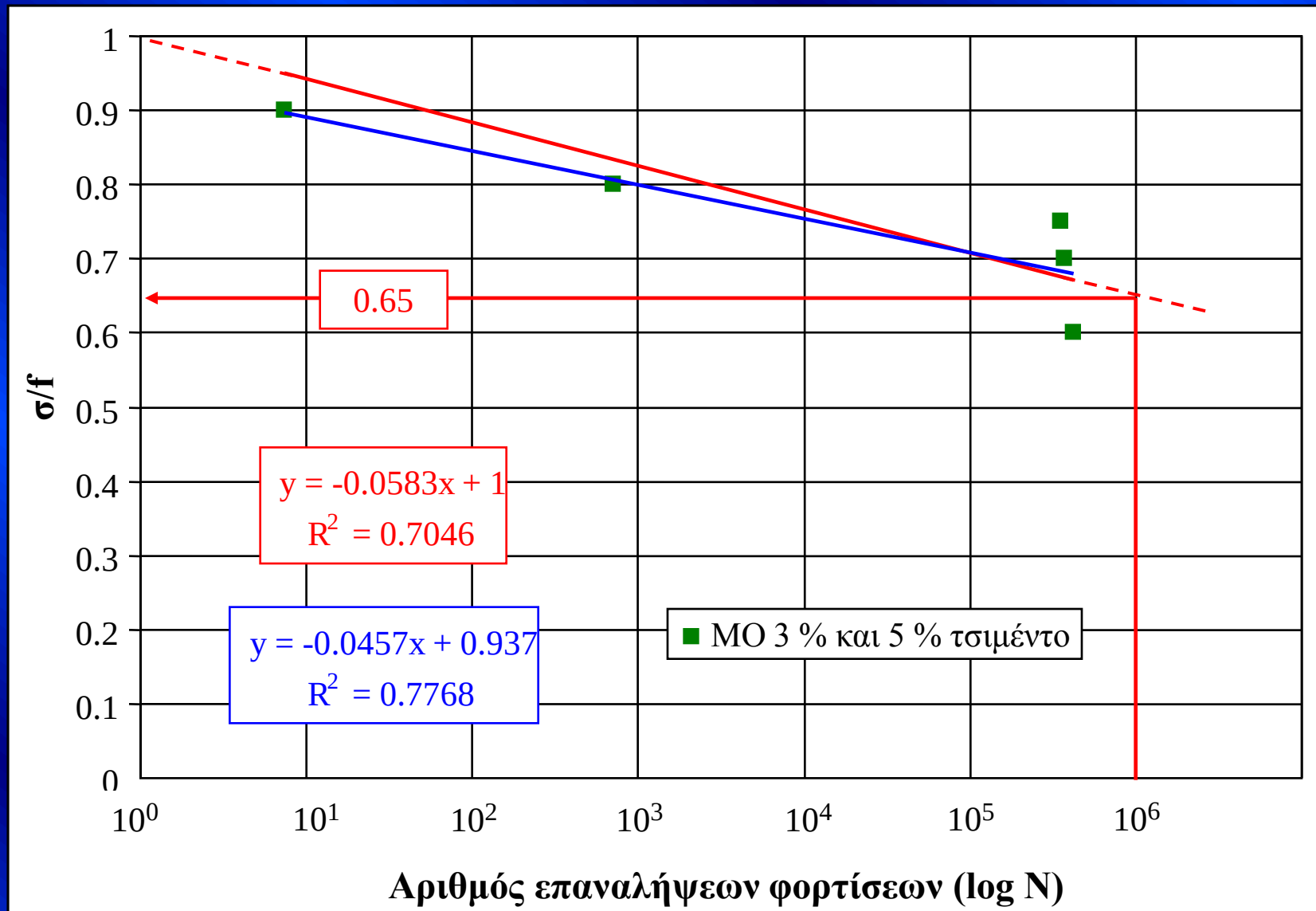
Μεμονωμένα αποτελέσματα



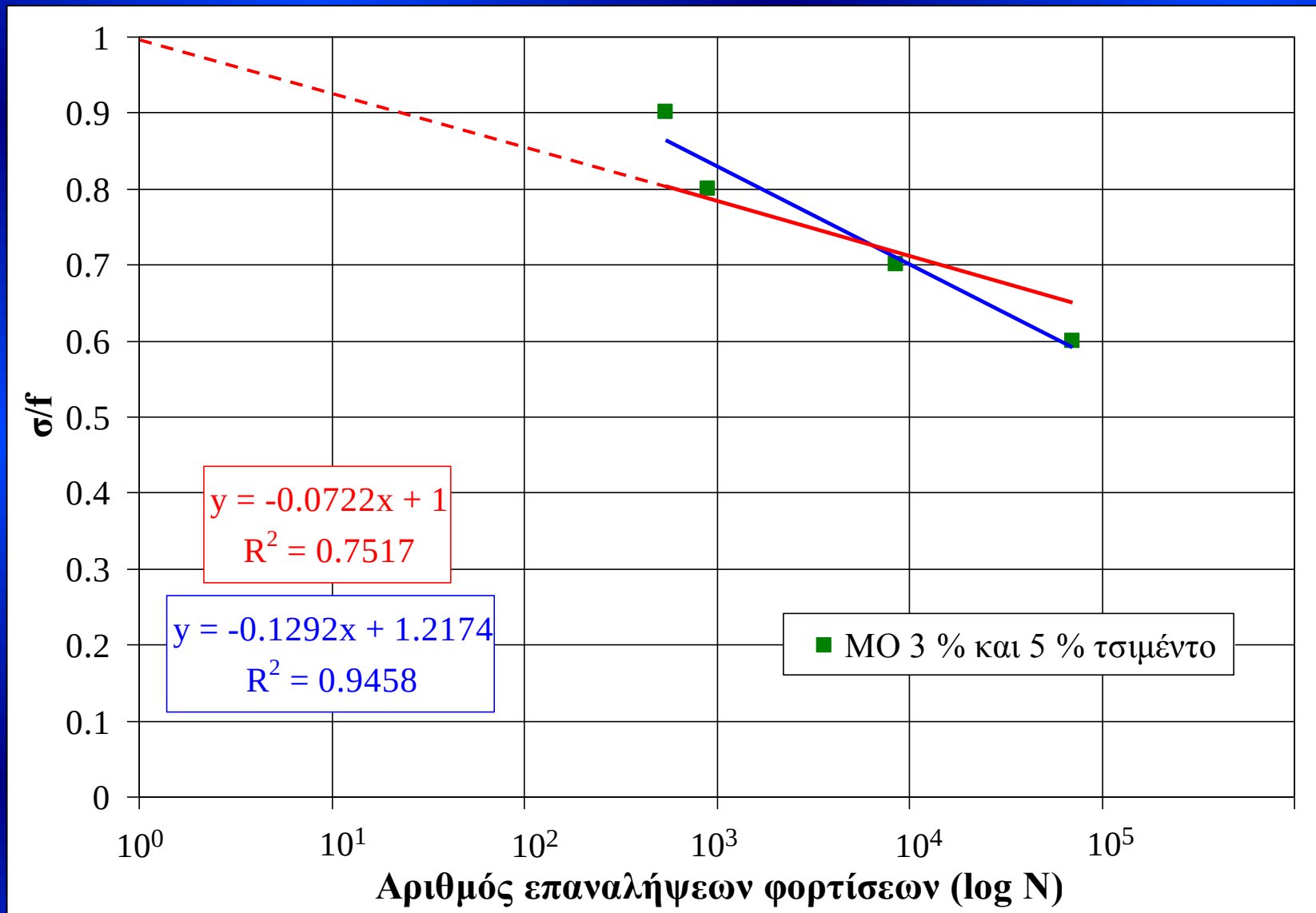
ΚΟΠΩΣΗ Υλικό ΙΙΙ (50/50)



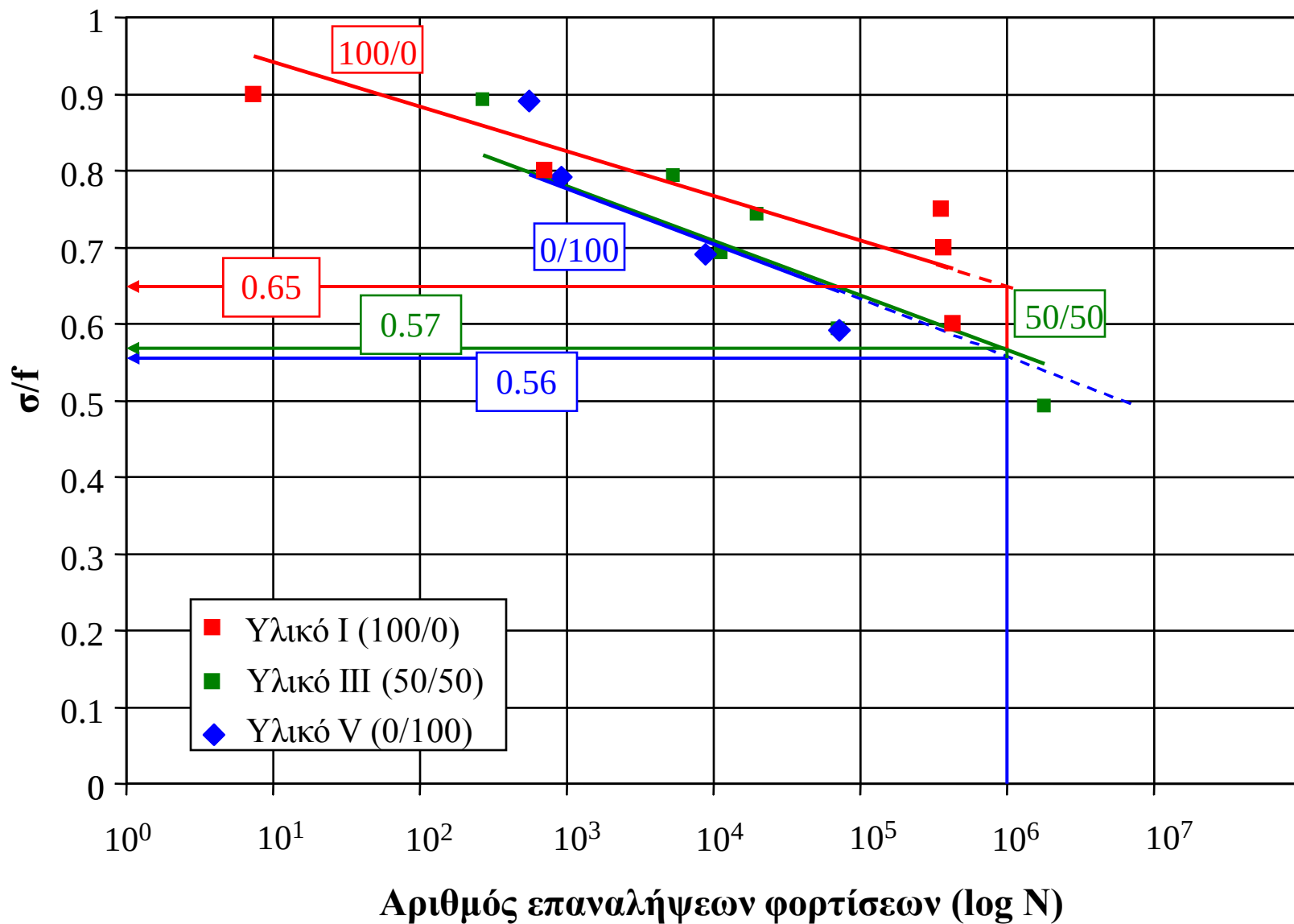
ΚΟΠΩΣΗ Υλικό Ι (100/0)



ΚΟΠΩΣΗ Υλικό V (0/100)

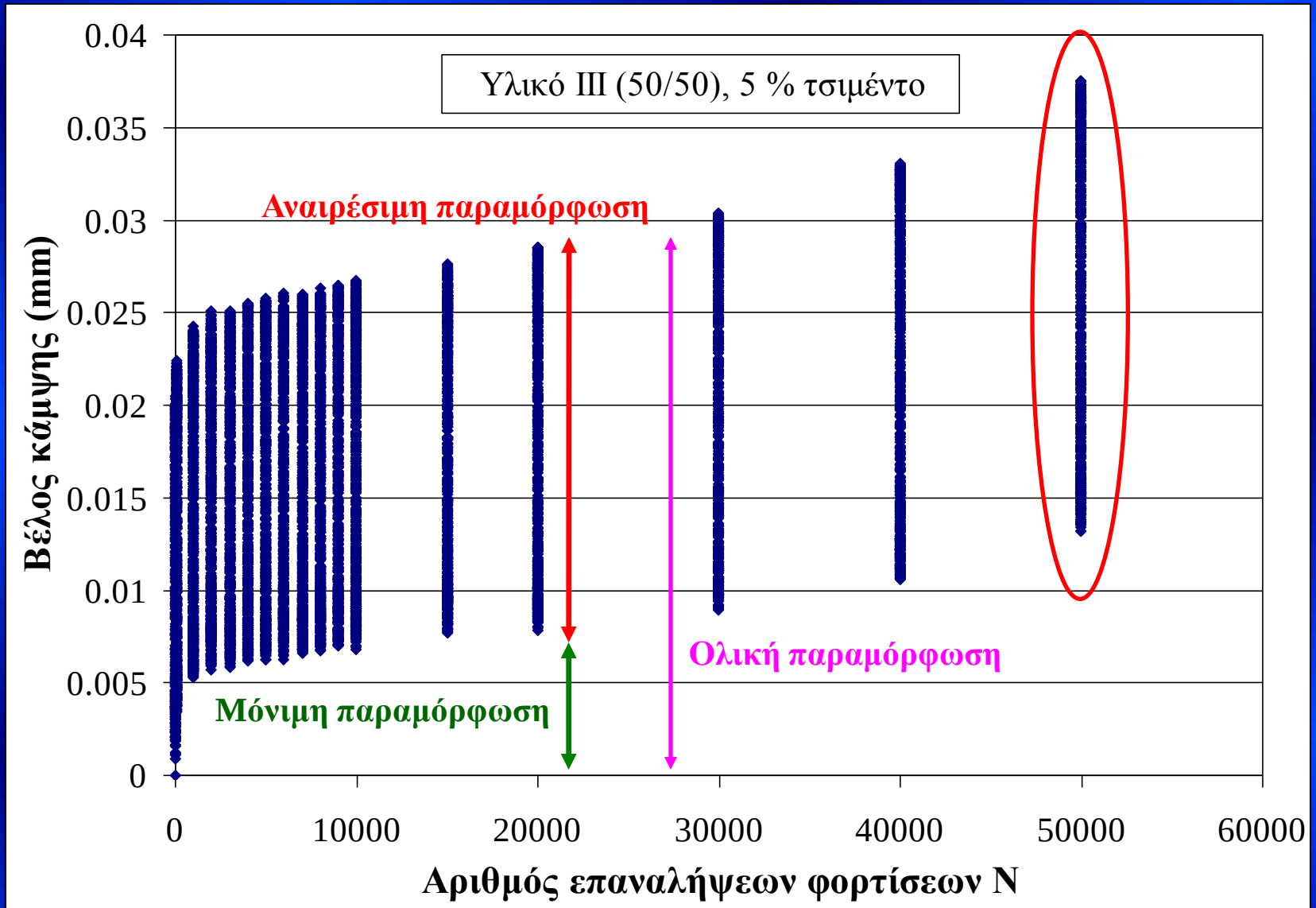


ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΜΠΥΛΩΝ ΚΟΠΩΣΗΣ

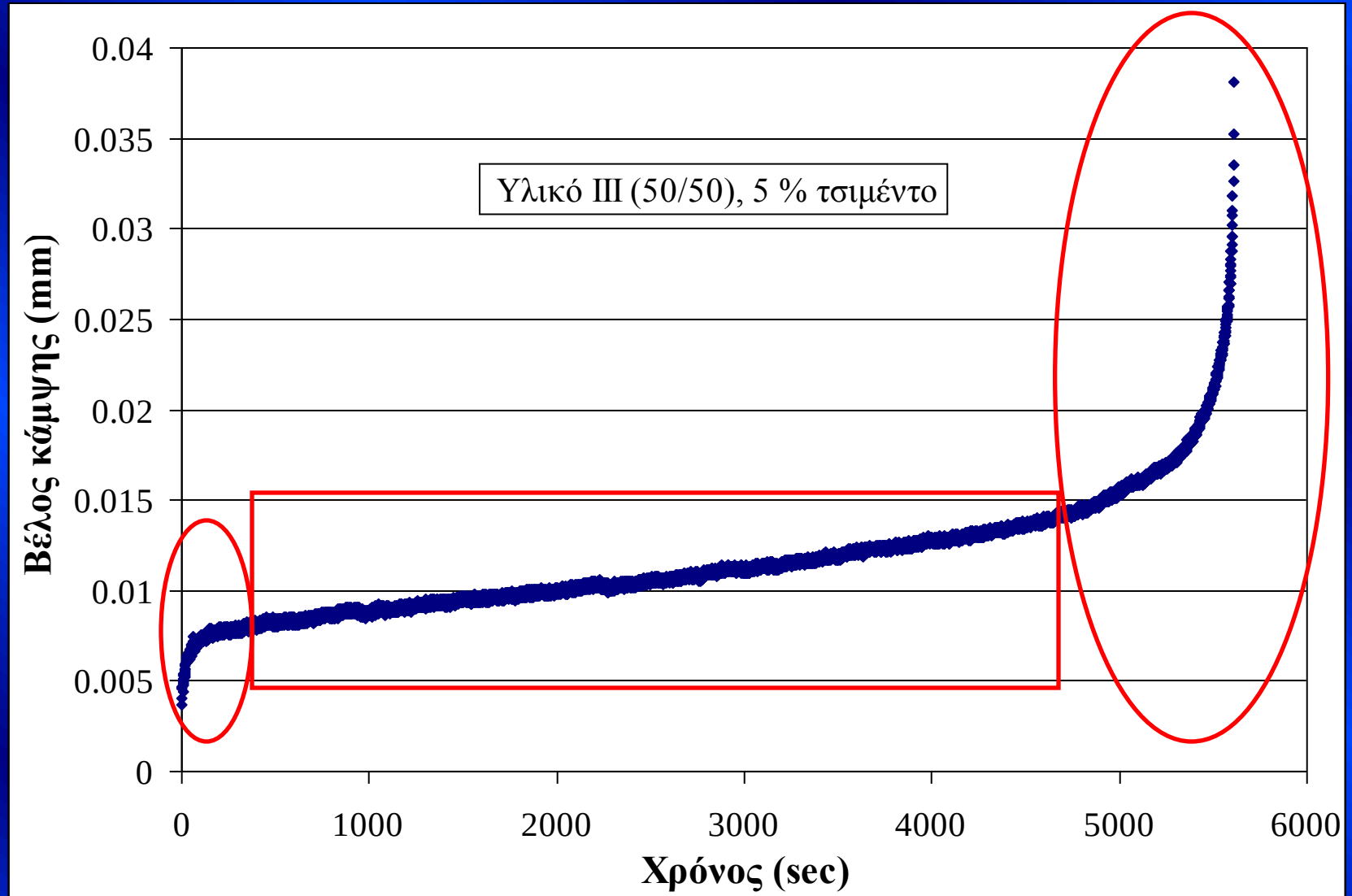


Μεταβολή βέλους κάμψης κατά τη δοκιμή κόπωσης

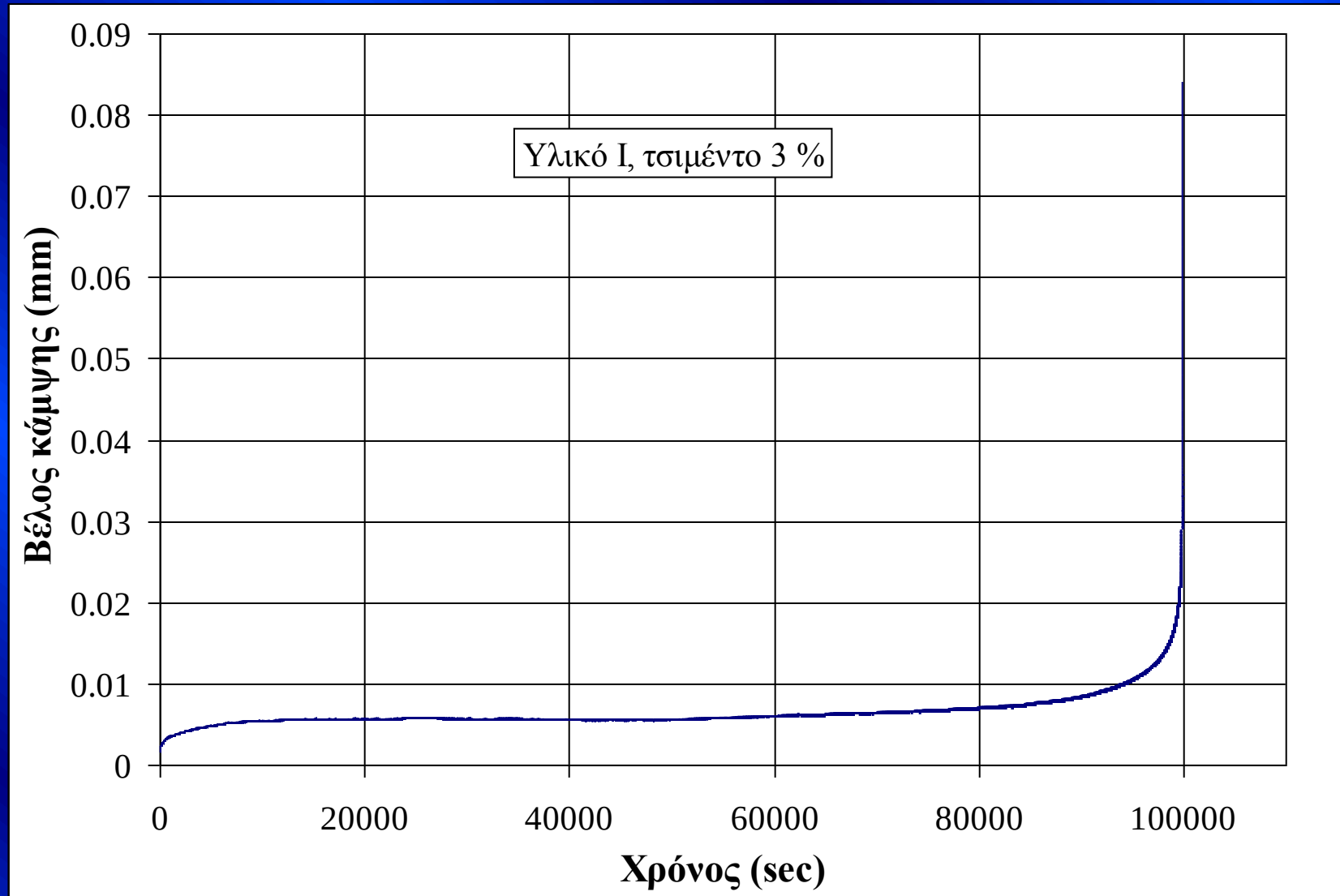
Υλικό ΙΙΙ (50/50)



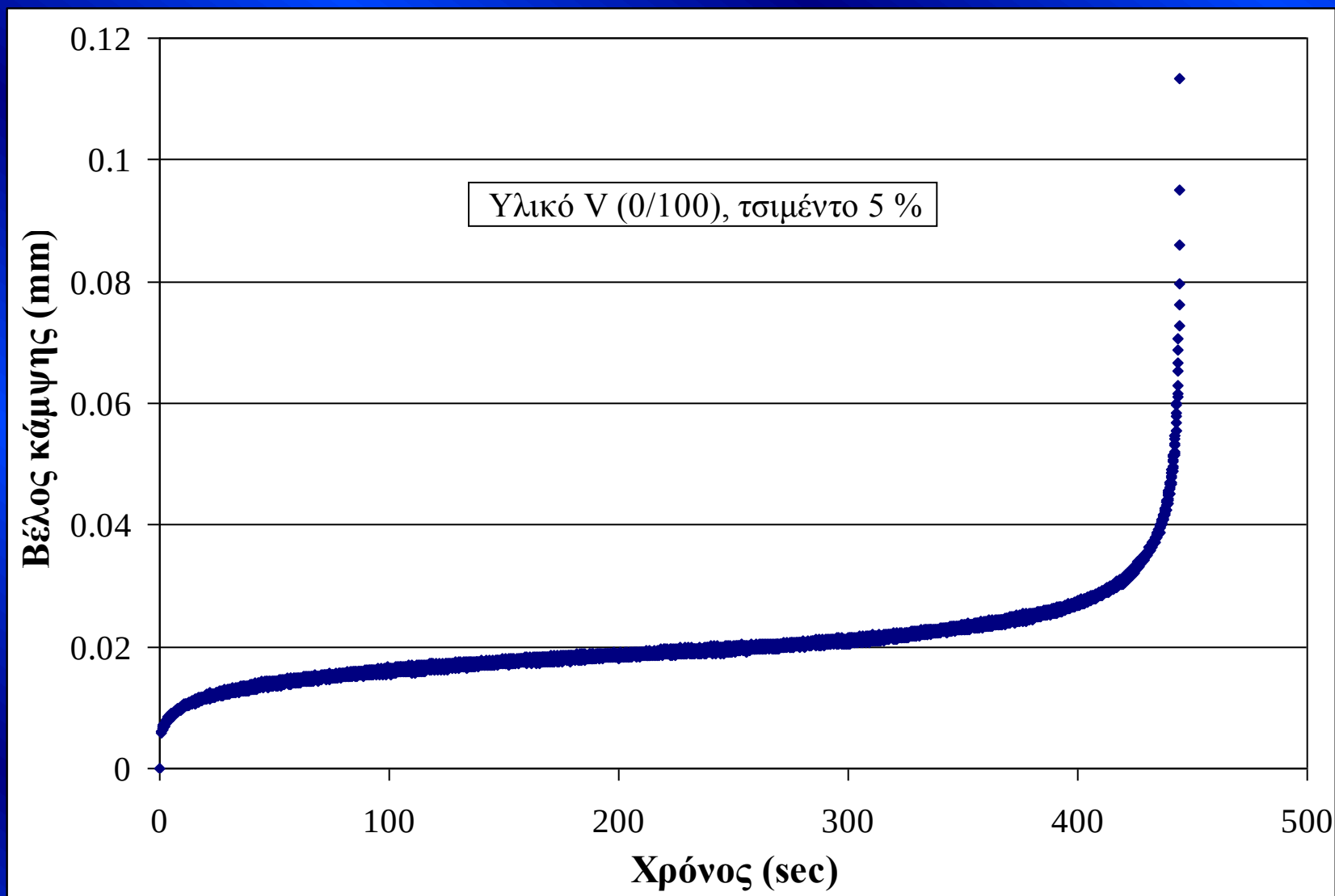
Μεταβολή βέλους κάμψης (μόνιμη παραμόρφωση) για το min φορτίο - Υλικό ΙΙΙ (50/50)



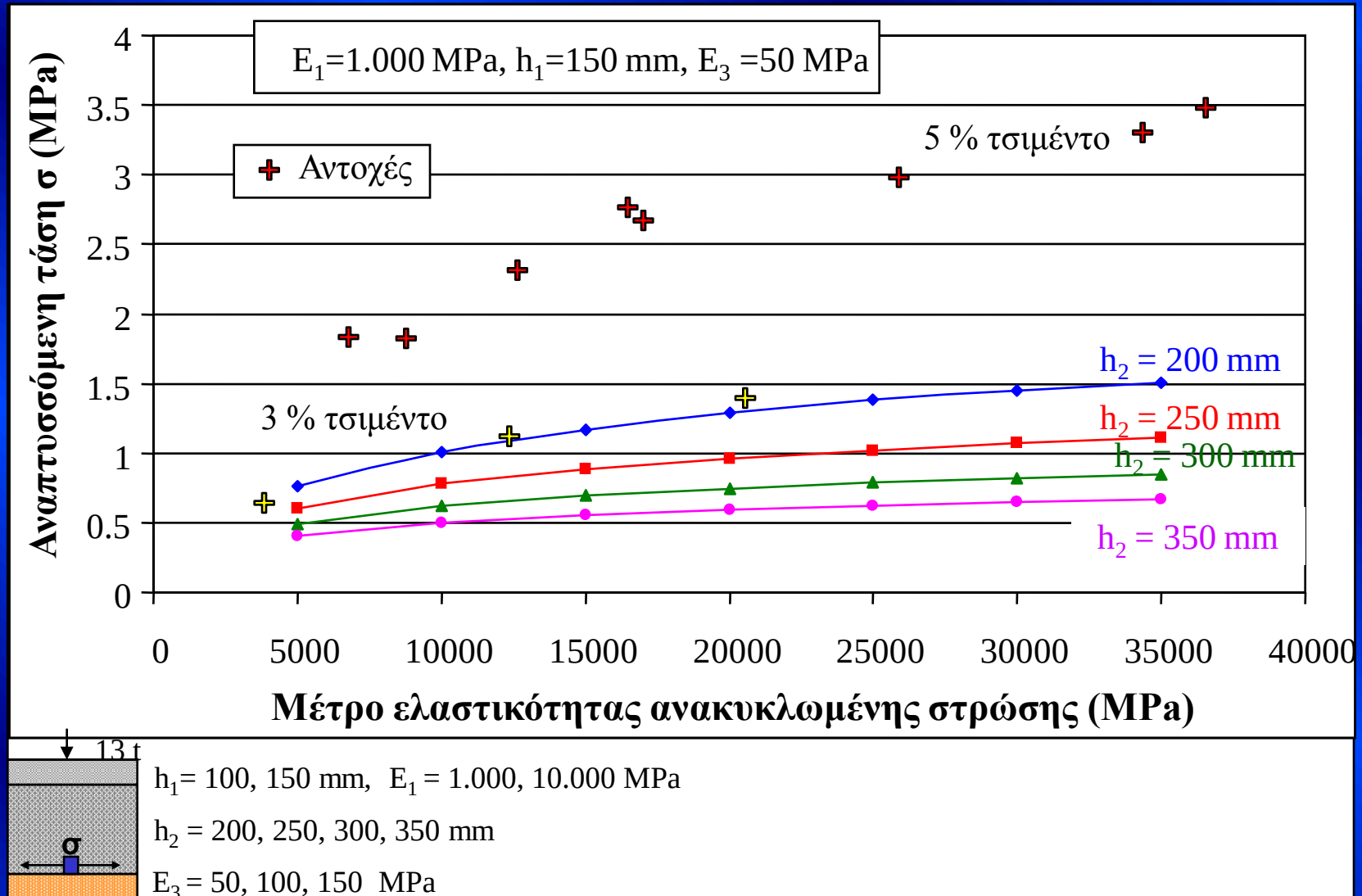
Μεταβολή βέλους κάμψης (μόνιμη παραμόρφωση) για το min φορτίο - Υλικό I (100/0)



Μεταβολή βέλους κάμψης (μόνιμη παραμόρφωση) για το min φορτίο - Υλικό V (0/100)



Αναπτυσσόμενες τάσεις στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης από φορτία



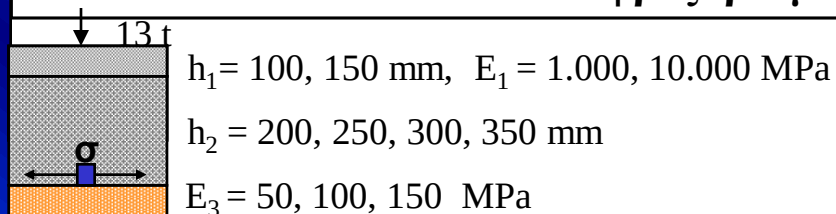
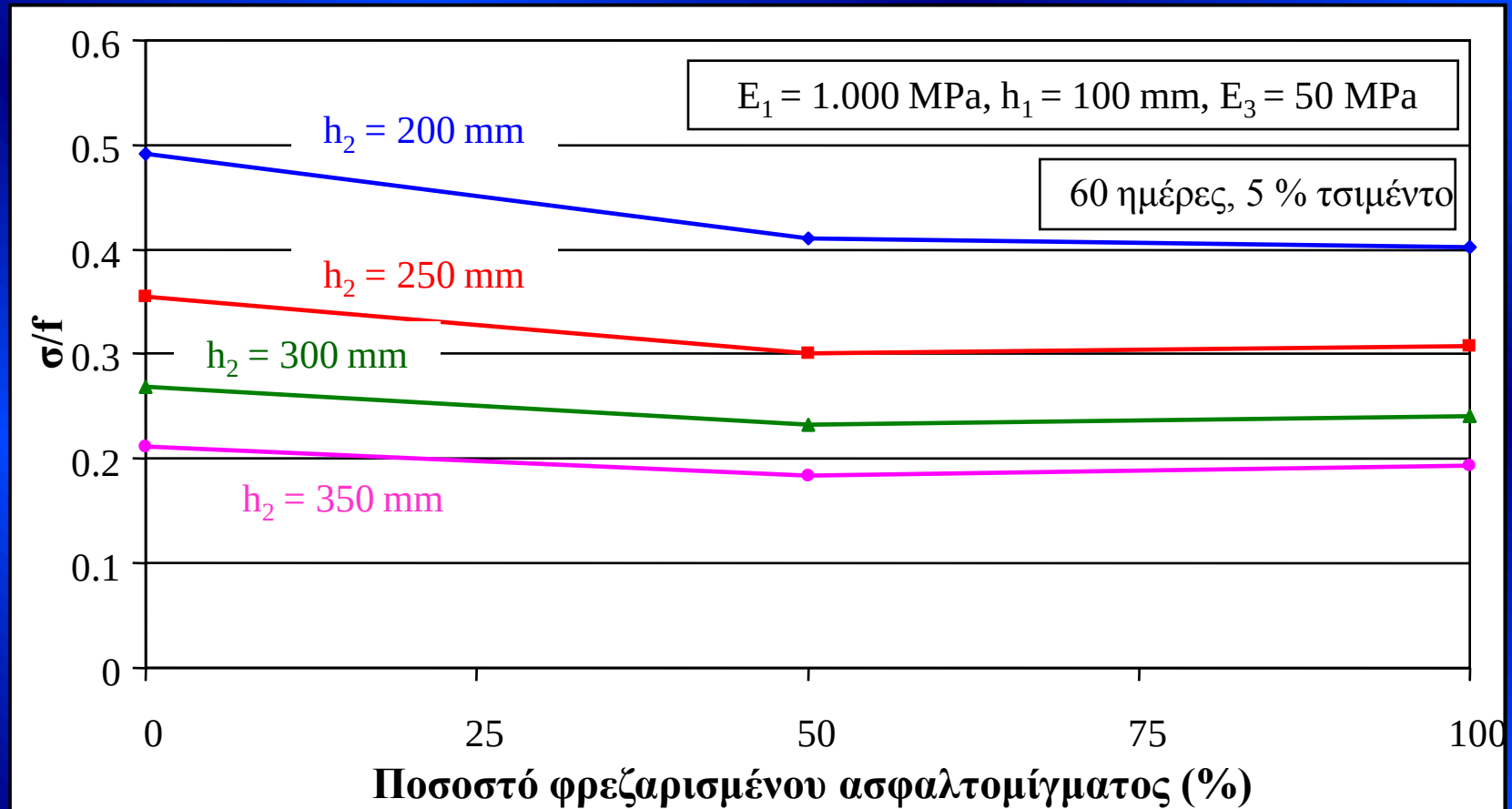
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

- Οι αντοχές για ποσοστό τσιμέντου 5 % είναι μεγαλύτερες από τις αναπτυσσόμενες τάσεις, με περιθώριο ασφαλείας που κρίνεται ικανοποιητικό

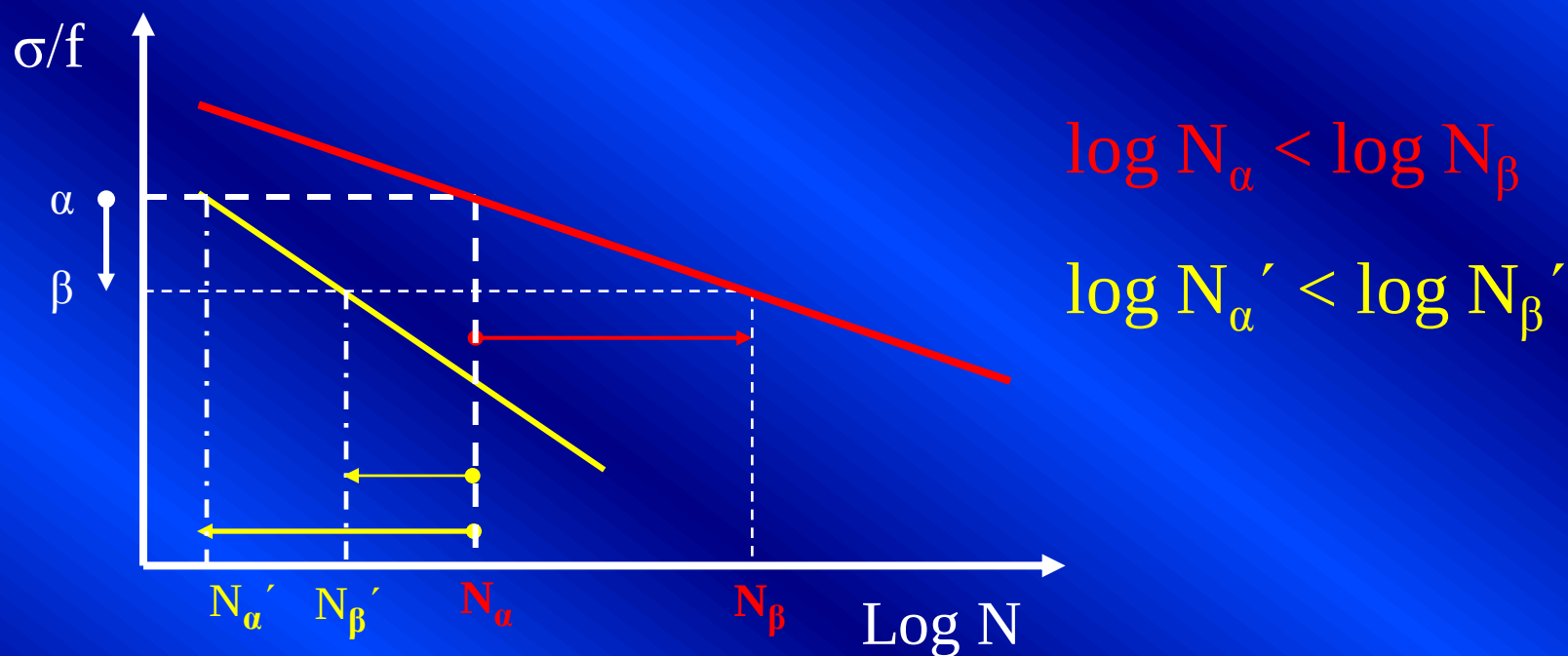
Οι αναπτυσσόμενες τάσεις μειώνονται όσο :

- Μειώνεται το μέτρο δυσκαμψίας της ανακυκλωμένης στρώσης
- Αυξάνει το μέτρο δυσκαμψίας της ασφαλικής στρώσης
- Αυξάνει το πάχος της ασφαλικής στρώσης
- Αυξάνει το μέτρο δυσκαμψίας της στρώσης έδρασης

Μεταβολή του λόγου σ/f , των αναπτυσσομένων τάσεων στον πυθμένα της ανακυκλωμένης στρώσης προς τις αντοχές



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ σ/f ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ



Μείωση του $\sigma/f \Rightarrow$

Βελτίωση της απόκρισης του οδοστρώματος

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Τα ανακυκλωμένα με τσιμέντο υλικά πρέπει να θεωρούνται ως "**νέα υλικά οδοστρώσας**", με τα δικά τους μηχανικά χαρακτηριστικά, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις **πλεονεκτούν** έναντι των ΚΘΑ (συμβατικά κατεργασμένα με τσιμέντο υλικά)
- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται από την **περιεκτικότητα του μίγματος σε ΦΑ**
- Τα συμπεράσματα αυτά **στηρίζονται** σε εργαστηριακές δοκιμές και πρέπει να **επιβεβαιωθούν** και σε οδοστρώματα σε λειτουργία