# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Γενικά ως πετρώματα χαρακτηρίζονται τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο στερεός φλοιός της γης, το ανώτερο δηλαδή στρώμα της λιθόσφαιρας. Μερικά εξ αυτών εμφανίζονται κατά συμπαγείς μάζες όπως ο γρανίτης ή ο ασβεστόλιθος. Άλλα είναι δυνατόν να αποτελούνται από μαλακότερα ή ασύνδετα υλικά όπως η άμμος, η άργιλος κλπ, ενώ κάποια άλλα είναι ρευστά, όπως το νερό και το πετρέλαιο. Τα πετρώματα σχηματίζονται από ένα ή περισσότερα ορυκτολογικά συστατικά.

### 1.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους τα πετρώματα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

a) Τα εκρηξιγενή ή πυριγενή ή μαγματικά πετρώματα
b) Τα ιζηματογενή πετρώματα και
c) Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

Από την παραπάνω ονομαστική σειρά των κατηγοριών των πετρωμάτων καθίσταται έκδηλος και ο τρόπος δημιουργίας τους, καθώς αντικατοπτρίζουν της διεργασίες που συντελέστηκαν κατά το χρόνο σχηματισμού τους.

a) Τα εκρηξιγενή ή πυριγενή ή μαγματικά πετρώματα

Τα εκρηξιγενή, ή πυριγενή, ή μαγματογενή πετρώματα αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος των πετρωμάτων επί των οποίων και δημιουργήθηκαν τα ιζηματογενή. Αποτελούν μια από τις τρεις κύριες ομάδες των πετρωμάτων, (η τρίτη ομάδα είναι τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα), που παρατηρούνται στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Τα πετρώματα αυτά δημιουργήθηκαν από διάπυρο υλικό (μάγμα), που στερεοποιήθηκε στο εσωτερικό ή τελικά καλύφθηκε από άλλα πετρώματα του εξωτερικού φλοιού της Γης. Μερικά από αυτά τα μάγματα περιέχουν πολύ πυρίτιο, είναι πυκνόρρευστα όπως όταν λιώνει το γυαλί. Σε άλλες περιπτώσεις το μάγμα έχει διεισδύσει σε πτυχώσεις, σχισμές βράχων σε μεγάλο μήκος. Τα μάγματα αρχίζουν να προβάλλουν στην επιφάνεια της γης μετά πολύ καιρό από τη σκλήρυνσή τους όταν πλέον η διάβρωση καταστρέψει τα υπερκείμενα πετρώματα από τα οποία καλύπτονται.

Τα μάγματα καθώς ψύχονται απελευθερώνουν αέρια που περιέχουν. Εάν αυτή η ψύξη γίνει αργά τότε η ολοκλήρωσή της θ΄ απαιτήσει ίσως χιλιάδες χρόνια. Οι κρύσταλλοι των ορυκτών που σχηματίζονται σ΄ αυτή τη περίπτωση είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι από εκείνους της ταχείας ψύξης και, επειδή είναι εμφανείς με γυμνό μάτι χαρακτηρίζονται ως φαινοκρύσταλλοι. Συνεπώς όλα τα υαλώδη εκρηξιγενή πετρώματα ή αυτά που περιέχουν πολύ μικρούς κρυστάλλους (κρυπτοκρυστάλλους) έχουν υποστεί στερεοποίηση πολύ κοντά στην επιφάνεια της Γης και τα πετρώματα ονομάζονται κρυπτοκρυσταλλικά.

Εάν οι κρύσταλλοι στο ίδιο πέτρωμα εμφανίζουν με δύο διαφορετικά μεγέθη τότε το πέτρωμα καλείται πορφυροειδές.

Το μάγμα που ψύχεται σε μεγάλα βάθη δίνει γένεση στα λεγόμενα πλουτώνεια πετρώματα (γρανίτης, γάββρος).

Το μάγμα που ψύχεται διεισδύοντας σε ρωγμές, πτυχώσεις κτλ. δίνει γένεση σε πετρώματα που ονομάζονται φλεβικά (ή μέσου βάθους), (πορφυρίτες).

Τέλος, το μάγμα που ψύχεται πολύ κοντά ή στην επιφάνεια του γήινου φλοιού δίνει γένεση στα αποκαλούμενα ηφαιστειακά πετρώματα, (οψιδιανός).

b) Τα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι μια από τις τρεις κύριες ομάδες πετρωμάτων (οι άλλες δυο είναι τα εκρηξιγενή ή πυριγενή πετρώματα και τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα), που παρατηρούνται στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Τα ιζηματογενή πετρώματα αποτελούνται από υλικά που έχουν συνήθως μεταφερθεί από τον τόπο προέλευσής τους στον τόπο απόθεσής τους, παρατηρούμενα συνήθως ως προσχώσεις. Οι κυριότερες κατηγορίες ιζηματογενών πετρωμάτων είναι:

- Κλαστικά ή μηχανικά ιζήματα: Πολλές τέτοιες προσχώσεις παρατηρούνται στη θάλασσα και σε λίμνες, σε εκβολές ποταμών, αλλά και σε πρόποδες βουνών, σε κοιλάδες ή σε κοίτες ποταμών και λιμνών. Οι προσχώσεις αυτές προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων που υπήρχαν προηγουμένως. Έτσι, μεγάλες βραχώδεις μάζες μετασχηματίζονται σε στρογγυλεμένους όγκους μέχρι πολύ απλούστερες μάζες όπως η άμμος και η άργιλος που μεταφέρονται εύκολα από το νερό, τη βροχή, τον πάγο και τον άνεμο (αιολικές αποθέσεις). Στο σημείο που μεταφέρονται, αποτίθενται σε στρώματα. Εκεί τα υλικά αυτά παραμένουν ευκίνητα είτε ως λάσπη ή άμμος είτε συσσωματώνονται με τη βοήθεια του χαλαζία ή άλλων ορυκτών όπως ασβεστίτη, αιματίτη, λειμωνίτη κλπ. Αυτό συμβαίνει π.χ. στους ψαμμίτες, με διαδικασία που είναι γνωστή ως διαγένεση.
- Χημικά ιζήματα: Άλλες αποθέσεις ιζηματογενών πετρωμάτων σχηματίζονται με την εξάτμιση του νερού που περιέχει διαλυμένες διάφορες χημικές ουσίες, όπως είναι το ορυκτό αλάτι, η γύψος κλπ., ενώ άλλα σχηματίζονται με χημική κατακρήμνιση, όπως ο ασβεστόλιθος.
- Οργανογενή ή οργανικά ιζήματα: Σχηματίζονται από την εναπόθεση υπολειμμάτων ζωντανών οργανισμών, όπως π.χ. κελύφη μαλακίων, σκελετούς υδρόβιων όντων, ακόμη και την καταπλάκωση μεγάλων εκτάσεων με ζωντανούς οργανισμούς από μεγάλους όγκους άλλων πετρωμάτων. Παραδείγματα τέτοιων πετρωμάτων είναι οι οργανογενείς ασβεστόλιθοι, η γη διατόμων, οι ορυκτοί άνθρακες κτλ.

Σημαντικό χαρακτηριστικό των ιζηματογενών πετρωμάτων είναι η διάταξή τους σε επάλληλα στρώματα (strata, ενικός stratum), τα οποία είναι αντικείμενα μελέτης της στρωματογραφίας. Συχνή είναι, επίσης, η παραμόρφωση αυτών των στρωμάτων, λόγω ενδογενών δυνάμεων, οπότε σχηματίζονται οι πτυχώσεις, οι οποίες δεν παρατηρούνται στις άλλες κατηγορίες

πετρωμάτων, παρά μόνο στα μεταμορφωσιγενή που προέρχονται από μεταμόρφωση ιζηματογενών, αλλά και πάλι σε πολύ μικρότερο βαθμό. Εφόσον τα πετρώματα δεν έχουν υποστεί ισχυρή παραμόρφωση, η αλληλουχία των επάλληλων στρωμάτων ορίζει και την (σχετική) ηλικία τους. Επειδή τα ιζηματογενή πετρώματα είναι οι κύριοι φορείς των απολιθωμάτων, ο συνδυασμός τους δίνει μια σχετικά ακριβή εικόνα της γεωλογικής ιστορίας των περιοχών στις οποίες απαντούν.

c) Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Στη κατηγορία των μεταμορφωσιγενών ή κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων ανήκουν τα πετρώματα εκείνα που έχουν ανακρυσταλλωθεί, δηλαδή έχουν μετασχηματισθεί κάτω από θερμότητα και πίεση σε βαθμό τέτοιο, ώστε να εμφανίζουν μορφή πολύ διαφορετική από τα αρχικά πετρώματα.

Συνεπώς και οι τρεις κατηγορίες των πετρωμάτων (ιζηματογενή, εκρηξιγενή και μεταμορφωσιγενή) υπόκεινται σε μετασχηματισμούς. Κατά το στάδιο των μετασχηματισμών αυτών τα εντός αυτών ορυκτά παίρνουν νέο προσανατολισμό και σχηματίζουν κάθετες σειρές προς τη διεύθυνση της ασκουμένης πίεσης. Το αποτέλεσμα είναι μια στρωματοειδής μορφή του πετρώματος, που, μερικές φορές, καταμερίζεται σε λεπτά φυλλάρια.

Ο Γνεύσιος, το πιο κοινό από τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα παρουσιάζει χαρακτηριστική τη στρωματοειδή αυτή υφή.
Οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι είναι μεταμορφωσιγενή πετρώματα που σχηματίσθηκαν από μαρμαρυγία και χαλαζία με πολύ εμφανή τη φυλλοειδή υφή.
Επίσης τα ορυκτά που εμφανίζουν επίπεδους κρυστάλλους όπως ο μοσχοβίτης, ο Βιοτίτης και ο χλωρίτης βρίσκονται στα συνήθη μεταμορφωσιγενή πετρώματα, στα οποία ανήκουν τα μάρμαρα, οι χαλαζίτες και μερικοί γραφίτες.

Ανάλογα με τον βαθμό της μεταμόρφωσης, διακρίνονται σε πετρώματα ισχυρής μεταμόρφωσης και πετρώματα ήπιας μεταμόρφωσης. Συνήθως, η ισχυρή μεταμόρφωση λαμβάνει χώρα με την άμεση επίδραση μάγματος (μεταμόρφωση επαφής), ενώ η ήπια γίνεται σε μεγαλύτερες από το μάγμα αποστάσεις ή υπό την επίδραση υπέρθερμων διαλυμάτων υπόγειου νερού (υδροθερμικά διαλύματα).

### 1.1.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

#### 1.1 .2.1 Συμπαγή βραχώδη υλικά

Η διατμητική αντίσταση βραχωδών υλικών εξετάζεται πληρέστερα με τη βοήθεια της δοκιμής τριαξονικής θλίψης όπου $\sigma_1 > \sigma_2=\sigma_3$. Τα πλήρη διαγράμματα αξονικής τάσης ($\sigma_1$) - αξονικής παραμόρφωσης ($\varepsilon_1$) σε τριαξονική θλίψη με διαφορετικές πλευρικές πιέσεις είναι της μορφής του σχήματος 1, και αφορούν δοκίμια μαρμάρου Carrara (von Karman, 1911). Η τιμή που αναγράφεται σε κάθε καμπύλη δείχνει την αντίστοιχη πλευρική πίεση. Με την αύξηση της πλευρικής πίεσης:

α) η αντοχή αυξάνει,

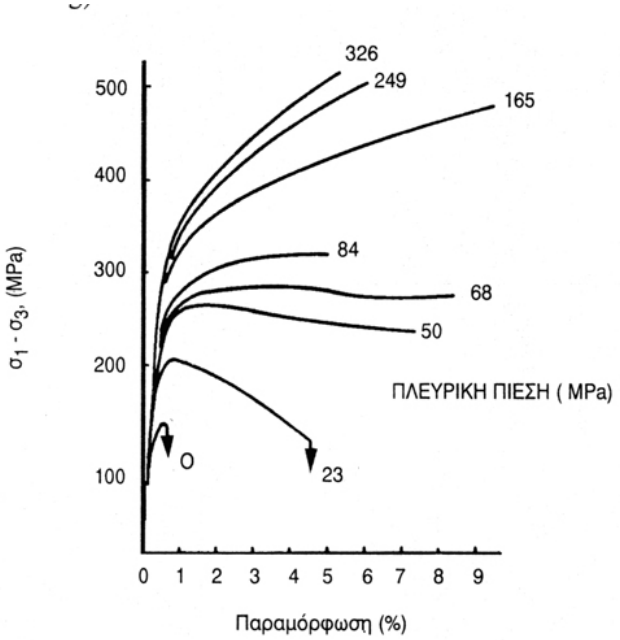
β) η συμπεριφορά αλλάζει από ψαθυρή σε πλαστική,

γ) η ολκιμότητα, που ορίζεται σαν η ικανότητα ενός υλικού να υπόκειται σε μεγάλες μόνιμες παραμορφώσεις χωρίς θραύση (Handin, 1966), αυξάνεται σημαντικά,

δ) η πτώση τάσης που παρατηρείται μετά τη μέγιστη τιμή της τάσης μειώνεται βαθμιαία και εξαφανίζεται τελείως σε υψηλές τιμές της πλευρικής πίεσης, και τέλος

ε) η επίδραση της πλευρικής πίεσης στη διατμητική αντοχή μειώνεται.

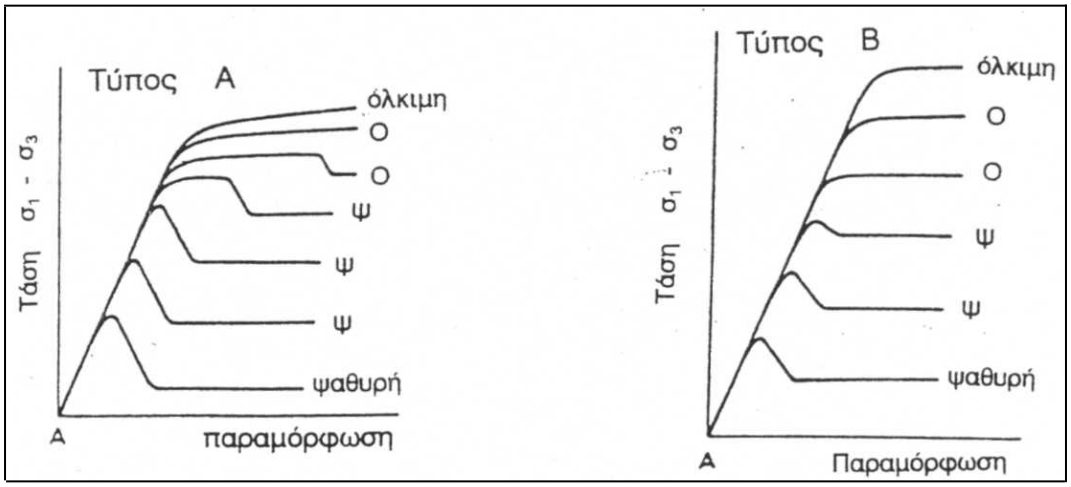
Η αλλαγή της συμπεριφοράς από ψαθυρή σε πλαστική καθώς η πλευρική πίεση αυξάνεται είναι χαρακτηριστικό όλων των ψαθυρών βραχωδών υλικών.




**Σχήμα 1.** Τυπική συμπεριφορά βράχων σε τριαξονική θλίψη ( von Karman, 1911)

**Το όριο ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς**

Η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη δεν είναι απότομη αλλά περιλαμβάνει μια "ημιψαθυρή" φάση (Evans κ.α., 1990). Οι μηχανισμοί παραμόρφωσης που χαρακτηρίζουν τη φάση αυτή ποικίλουν, ανάλογα με τους αντίστοιχους μηχανισμούς που παρατηρούνται στην πλαστική περιοχή. Δεν υπάρχει απλή, ενιαία ερμηνεία για τα φαινόμενα που παρατηρούνται στην περιοχή αυτή που να ισχύει κάτω από όλες τις συνθήκες (Paterson, 1978). Υπάρχουν δυο απλοποιημένοι μηχανισμοί παραμόρφωσης των βραχωδών υλικών με τη βοήθεια των οποίων ερμηνεύεται η μετάβαση από την ψαθυρή στην πλαστική συμπεριφορά με την αύξηση της πλευρικής πίεσης (σχήμα 2). Οι τύποι αυτοί έχουν χαρακτηριστεί από τον Mogi (1972 και 1974) σαν τύπος Α και τύπος Β και αντιπροσωπεύουν τις δυο οριακές καταστάσεις παραμόρφωσης σε χαμηλές θερμοκρασίες: Ο τύπος Α αντιστοιχεί σε βραχώδη υλικά που παραμορφώνονται στην πλαστική περιοχή αποκλειστικά με κρυσταλλική πλαστική παραμόρφωση (crystal plasticity), ενώ ο τύπος Β αποκλειστικά με κατακλαστική ροή (cataclastic flow).




**Σχήμα 2.** Τύποι αλλαγής συμπεριφοράς από ψαθυρή σε πλαστική (κατά Mogi, 1974).

Συμπεριφορά τύπου Α παρουσιάζουν μερικοί βράχοι ασβεστικής σύστασης (ασβεστόλιθος, δολομίτης, μάρμαρο), ενώ τύπου Β πολλοί βράχοι χαλαζιακής σύστασης. Έτσι μια πρώτη διάκριση των βράχων ως προς τη διατμητική συμπεριφορά βασίζεται στην ορυκτολογική τους σύσταση. Τα πιο πολλά όμως βραχώδη υλικά έχουν ενδιάμεση συμπεριφορά και στο όριο ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς συνυπάρχουν τόσο η ψαθυρή θραύση όσο και η πλαστική

παραμόρφωση (Mogi, 1974).Κατά τον Orowan (1960) η πτώση τάσης που ακολουθεί τη θραύση δεν συμβαίνει σε υψηλές πιέσεις επειδή η αντίσταση τριβής κατά μήκος της επιφάνειας ρηγμάτωσης υπερβαίνει τη διατμητική αντοχή του βραχώδους υλικού (υπόθεση Orowan). Ο Mogi (1966) διαπίστωσε ότι το όριο μεταξύ ψαθυρής και πλαστικής συμπεριφοράς εκφράζεται με τη γραμμική σχέση:

$$\sigma_1 - \sigma_3 \approx 3,4 \cdot \sigma_3 \tag{1}$$

για διάφορα χαλαζιακά βραχώδη υλικά, που αντιστοιχεί σε μια γωνία τριβής ίση με 39°. Για βραχώδη υλικά ασβεστιτικής σύστασης η αντίστοιχη τιμή της γωνίας τριβής είναι κατά τι μεγαλύτερη.Κατά τον Byertee (1968) η ψαθυρή ή η πλαστική κατάσταση ορίζεται ανάλογα με το αν παρατηρείται ή όχι πτώση τάσης μετά τη ρηγμάτωση του δοκιμίου. Στην περίπτωση αυτή η τάση που αντιστοιχεί στο όριο πλαστικής-ψαθυρής συμπεριφοράς είναι ανεξάρτητη του τύπου του βραχώδους υλικού, και η υπόθεση Orowan έχει γενική ισχύ, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα ερμηνείας και για τους δυο τύπους συμπεριφοράς (A και B) στη μεταβατική περιοχή. Ο συντελεστής τριβής μπορεί να υπολογιστεί από την πλευρική πίεση που αντιστοιχεί σε αυτή την περιοχή και την αντίστοιχη μέγιστη κύρια τάση.

Η ορθή τάση σε επίπεδο με κλίση **α** σε σχέση με τον άξονα του δοκιμίου είναι:

$$\sigma_a = OC = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \cos 2a \tag{2}$$

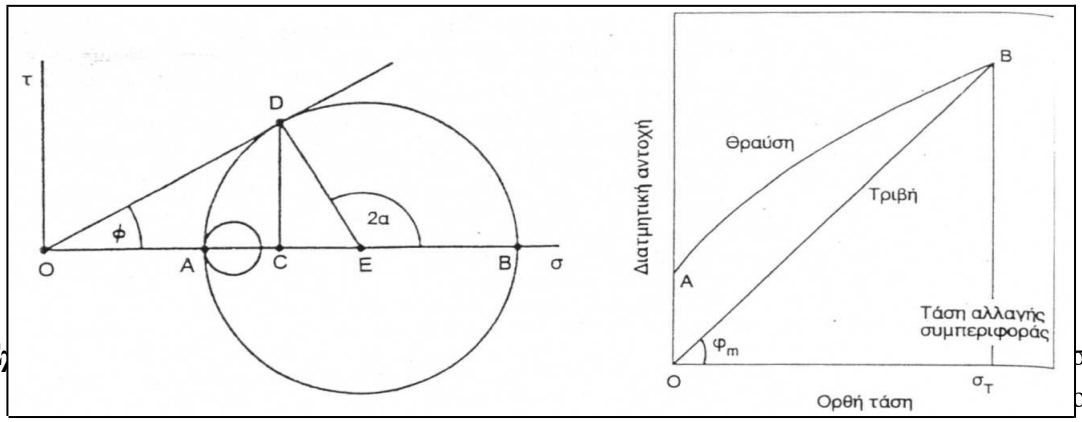
ενώ η διατμητική τάση είναι:

$$\tau_a = CD = \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right) \sin 2a \tag{3}$$

Το διάγραμμα Mohr που δείχνει την -αντίστοιχη εντατική κατάσταση δίνεται στο σχήμα 3. Η τεταγμένη οποιουδήποτε σημείου πάνω στη OD που σχηματίζει γωνία φ με τον άξονα σ δίνει την αντίσταση τριβής για την ορθή τάση που αντιπροσωπεύεται από την τετμημένη του άξονα. Η αστοχία συμβαίνει όταν με την αύξηση του φορτίου ο κύκλος έρχεται σε επαφή με την ευθεία τριβής στο σημείο D. Η γωνία τριβής φ συνδέεται με τις τάσεις $\sigma_1$ και $\sigma_3$ με τη σχέση

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} \tag{4}$$

από την οποία προκύπτει ο συντελεστής τριβής. Η αντίστοιχη καμπύλη αξονικών τάσεων ($\sigma_T$) - αξονικών παραμορφώσεων ($\varepsilon_T$) για την οποία ισχύει αυτή η σχέση θα είναι παράλληλη προς τον άξονα των παραμορφώσεων.




**Σχ** σταση ού.

Για παράδειγμα, από την οικογένεια καμπυλών του σχήματος 1, η πιο κατάλληλη για υπολογισμό του συντελεστή τριβής είναι εκείνη που αντιστοιχεί σε $\sigma_3$=68 MPa. Οι καμπύλες σε χαμηλότερες πιέσεις δείχνουν μια πτώση τάσης που σημαίνει ότι η αντίσταση σε θραύση είναι υψηλότερη από την αντίσταση τριβής ολίσθησης, ενώ οι καμπύλες σε υψηλότερες πιέσεις δείχνουν αυξανόμενη αντίσταση.

Στην καμπύλη με $\sigma_3$=68 MPa, αντιστοιχεί $\sigma_1$-$\sigma_3$=288 MPa, οπότε:

$$\sin\varphi = \frac{288}{288 + 2\times 68} = 0,677$$

από την οποία προκύπτει η τιμή του συντελεστή τριβής n=tanφ=0.92 (φ= 42.6°).

Έτσι είναι δυνατός ο προσδιορισμός του συντελεστή τριβής των βραχωδών υλικών, όταν είναι γνωστή η εντατική κατάσταση του υλικού στην περιοχή αλλαγής συμπεριφοράς. Η περιβάλλουσα διατμητικής αντοχής του συμπαγούς υλικού και η ευθεία τριβής του ίδιου υλικού τέμνονται σε μια ορθή τάση η οποία αντιστοιχεί στην αλλαγή της συμπεριφοράς από ψαθυρή σε πλαστική ($\sigma_T$). Αν αυτή είναι γνωστή τότε προσδιορίζεται και η γωνία τριβής με τη βοήθεια κάποιου κριτηρίου διατμητικής αντοχής συμπαγών βραχωδών υλικών, όπως δείχνεται στο σχήμα 4. Παραδείγματα τιμών $\sigma_T$ σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δίνονται στον Πίνακα 1.

Ένα απλό εμπειρικό κριτήριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής του συμπαγούς βραχώδους υλικού είναι το παραβολικό κριτήριο Fairhurst (1964) που δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_m = C_o \frac{\sqrt{1+n}-1}{n}\sqrt{1+n\frac{\sigma_n}{C_o}} \qquad (5)$$

όπου $\tau_m$ είναι η διατμητική αντοχή, $C_0$ η θλιπτική αντοχή και n ο λόγος της θλιπτικής προς την εφελκυστική αντοχή. Αν σε πρώτη προσέγγιση η τάση αλλαγής συμπεριφοράς ληφθεί ίση με τη θλιπτική αντοχή $C_o$, όπως προτείνεται από πολλούς συγγραφείς (π.χ.Goodman, 1976) η σχέση (5) δίνει:

$$\mu_m = \frac{\sqrt{1+n}-1}{n}\sqrt{1+n} \tag{6}$$

όπου $\mu_m$ ο συντελεστής τριβής του βραχώδους υλικού. Για μια μέση τιμή n = 15, ο συντελεστής τριβής προκύπτει $\mu_m$= 0.8 ($\varphi_m$= 38.7°). Αυτή η τιμή είναι σχεδόν ταυτόσημη με την τιμή της γωνίας τριβής 39° που αντιστοιχεί σε αρκετά χαλαζιακά πετρώματα, όπως ήδη προαναφέρθηκε. Επομένως το κριτήριο Fairhurst φαίνεται να δίνει μια καλή εκτίμηση της γωνίας τριβής του υλικού για χαλαζιακά πετρώματα στα οποία η πίεση αλλαγής της συμπεριφοράς συμπίπτει να είναι περίπου ίση με τη θλιπτική αντοχή. Αυτό ίσως εξηγεί και το γεγονός ότι το κριτήριο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε αρκετά κριτήρια διατμητικής αντοχής ασυνεχειών βράχων, όπως για παράδειγμα από τους Ladanyi & Archambault (1970).

**Πίνακας 1.** Τυπικές τιμές πιέσεων στη περιοχή αλλαγής συμπεριφοράς (κατά Paterson. 1978)

| Βραχώδες υλικό | Πίεση αλλαγής συμπεριφοράς (MPa) |
|---|---|
| Ασβεστόλιθοι και μάρμαρα | 30-100 |
| Δολομίτης | 100-200 ή μεγαλύτερη |
| Γύψος | 40 |
| Ανυδρίτης | 100 |
| Ορυκτό άλας | <20 |
| Τάλκης | 400 |
| Σερπεντίνης | 300-500 |
| Χλωριτίτης | 300 |
| Αργιλικός ψαμμίτης (πορώδες - 10%) | 200-300 |
| Ιλυόλιθοι και αργιλικοί σχιστόλιθοι σχετικά μεγάλου πορώδους | <100 |
| Πορώδεις λάβες | 30-100 |

Η εξίσωση (6) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο συντελεστής τριβής σχετίζεται μόνο με το λόγο της θλιπτικής προς την εφελκυστική αντοχή και είναι ανεξάρτητος του τύπου του βραχώδους υλικού, γεγονός που έχει επισημανθεί από πολλούς ερευνητές, όπως οι Maurer (1965), Mogi (1966), Byerlee (1978), Dieterich (1972), κ.α.

Η υπόθεση όμως ότι η πίεση που χαρακτηρίζει την αλλαγή από ψαθυρή σε πλαστική συμπεριφορά είναι ίση με τη θλιπτική αντοχή είναι μια χονδρική προσέγγιση. Σε μερικά βραχώδη υλικά μεγάλης αντοχής, όπως οι γρανίτες, η πίεση αυτή μπορεί να είναι πενταπλάσια της θλιπτικής αντοχής ή και ακόμα υψηλότερη (Byerlee, 1968), ενώ

ασβεστόλιθοι και μάρμαρα μπορεί να έχουν μικρότερη από τη θλιπτική αντοχή (Paterson, 1978). Από μια ανάλυση βιβλιογραφικών δεδομένων που αναφέρεται σε έγκριτη δημοσίευση και αφορούν σε τριαξονικές δοκιμές με πλευρικές πιέσεις που αντιστοιχούν στο όριο ψαθυρής - πλαστικής συμπεριφοράς, προκύπτει ότι μεγάλη πλειοψηφία των βραχωδών υλικών σε υγιή κατάσταση παρουσιάζει μια τιμή της γωνίας τριβής μεταξύ 33° και 43° με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν σε βράχους ασβεστιτικής σύστασης και τις μικρότερες σε βράχους χαλαζιακής σύστασης. Η ανάλυση αυτή επιβεβαιώνει την ήδη προαναφερθείσα άποψη ότι η γωνία τριβής των βραχωδών υλικών δεν επηρεάζεται σημαντικά από την ορυκτολογική τους σύσταση.

### 1.1.2.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΒΡΑΧΩΝ

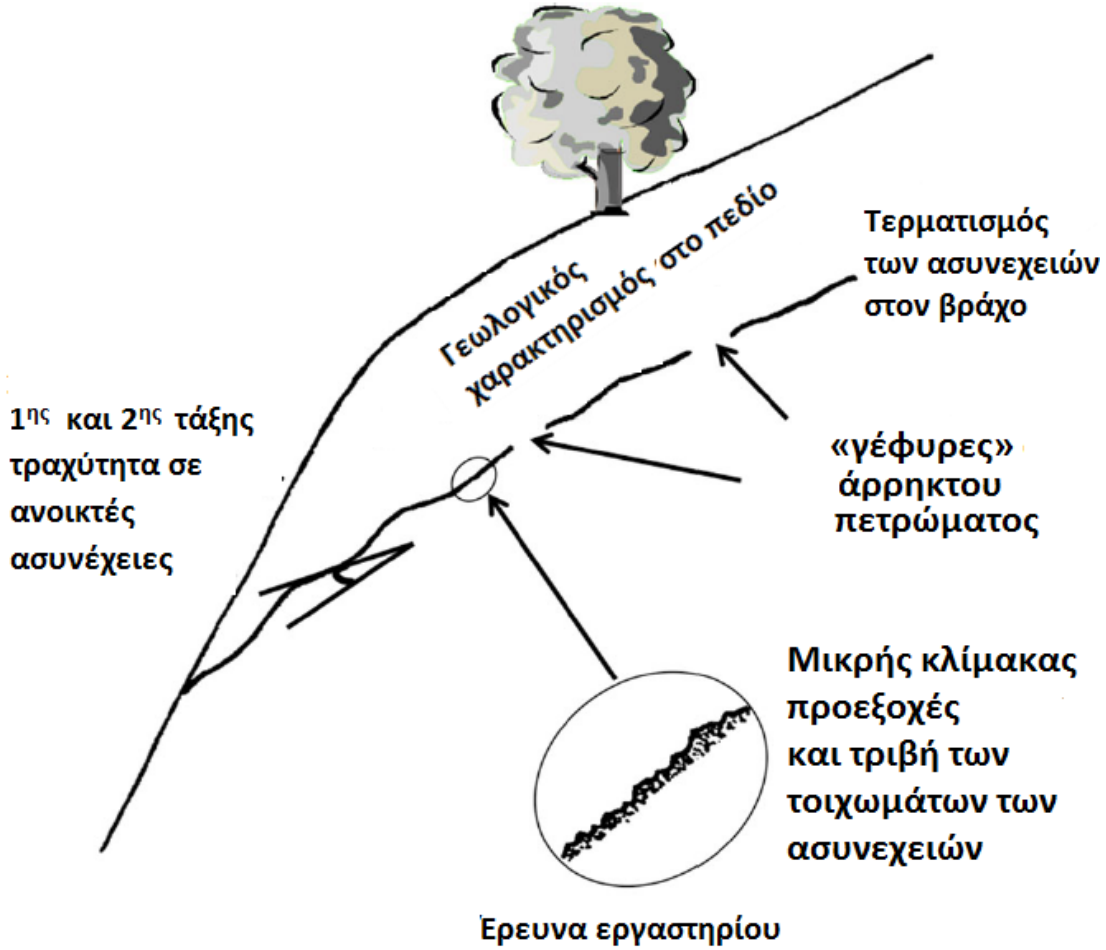
**ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

Οι παράγοντες που συμβάλουν στην αντοχή σε διάτμηση των ασυνεχειών στο πεδίο όπως φαίνονται στο Σχήμα 5 είναι:

α) Η πραγματική συνοχή που δημιουργείται από την αντοχή των τοπικών «γεφυρών» μεταξύ των τοιχωμάτων του άρρηκτου πετρώματος.

β) Η τραχύτητα που σε μεγάλη κλίμακα προκαλεί αλληλοεμπλοκή της βραχομάζας και διαστολή. Σημειώνεται πως η κυμάτωση μεγέθους μέτρων ονομάζεται πρώτης τάξεως, ενώ μικρότερης κλίμακας τραχύτητα ονομάζεται δευτέρας τάξεως (Patton and Deere, 1970)

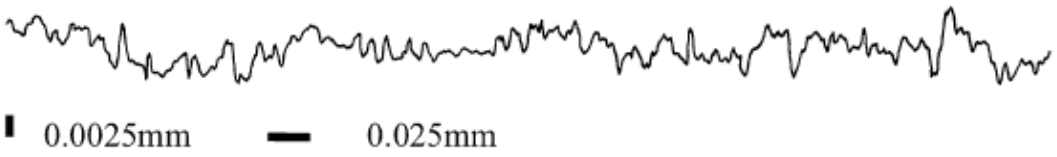
γ) Σε εργαστηριακή κλίμακα μπορεί να εξεταστεί η αλληλεπίδραση των μικροεξοχών και της τριβής του υλικού των τοιχωμάτων της ασυνέχειας .




**Σχήμα 5.** Κύριοι παράγοντες για την αξιολόγηση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών (Hencher & Richards, 2014).

**Βασική γωνία τριβής**

Η παράμετρος που επηρεάζει μια επίπεδη ανοικτή ασυνέχεια (μη διαστελλόμενη) είναι η αντίσταση τριβής σε διάτμηση που είναι ανάλογη προς την ορθή τάση. Αξίζει να σημειωθεί πως σύμφωνα με τον «Δεύτερο νόμο της τριβής, Amonton (1699), η βασική γωνία τριβής των επίπεδων ασυνεχειών των πετρωμάτων είναι ανεξάρτητη από το μέγεθος της επιφάνειας που υποβάλλεται σε διάτμηση. Ωστόσο, ακόμα και φαινομενικά λείες επιφάνειες διαμορφωμένες με κοπή με τροχό στην πραγματικότητα είναι τραχειές όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6, όπου η κατακόρυφη κλίμακα είναι πενταπλάσια της οριζόντιας.



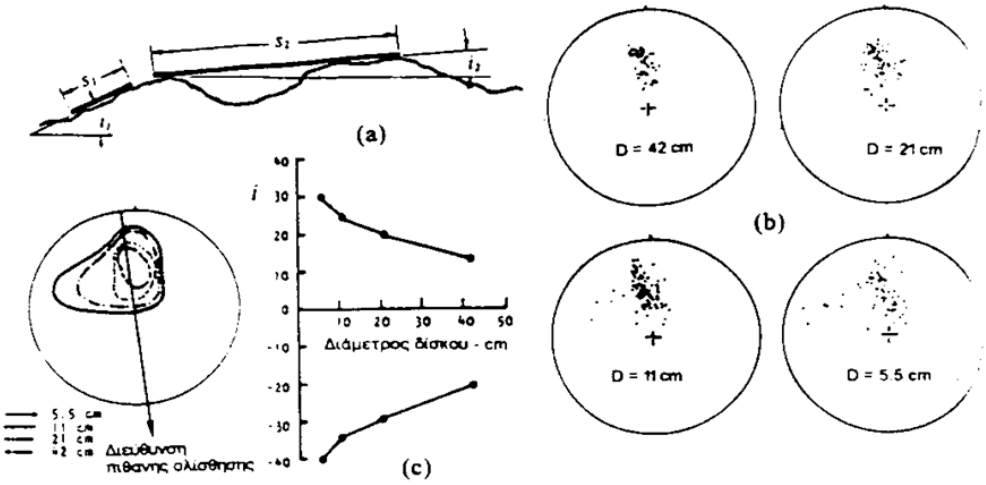

**Σχήμα 6.** Προφίλ από την επιφάνεια κοπής μετρούμενο με τη χρήση ενός μορφομέτρου Talysurf (Hencher & Richards, 2014)

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφερθούν μερικά παραδείγματα επιστημόνων που ερεύνησαν την βασική γωνία τριβής. Ο Alejano et al. (2012) πραγματοποίησε δοκιμές κεκλιμένου επιπέδου (tilting tests) σε ένα ενιαίο τέμαχος γρανίτη και η γωνία τριβής κυμαινόταν από $10^{o}$ – $40^{o}$. Παρόμοια μεταβλητότητα διαπίστωσε και ο Nicholson (1994) όταν πραγματοποίησε στον ψαμμίτη Berea δοκιμές άμεσης διάτμησης σε λείες επιφάνειες διαμορφωμένες με κοπή. Η απόκλιση ήταν της τάξεως των $12,5^{o}$ παρότι υπήρχε μεγάλη προσοχή στην διαμόρφωση των δειγμάτων και στην επαναληψιμότητα.

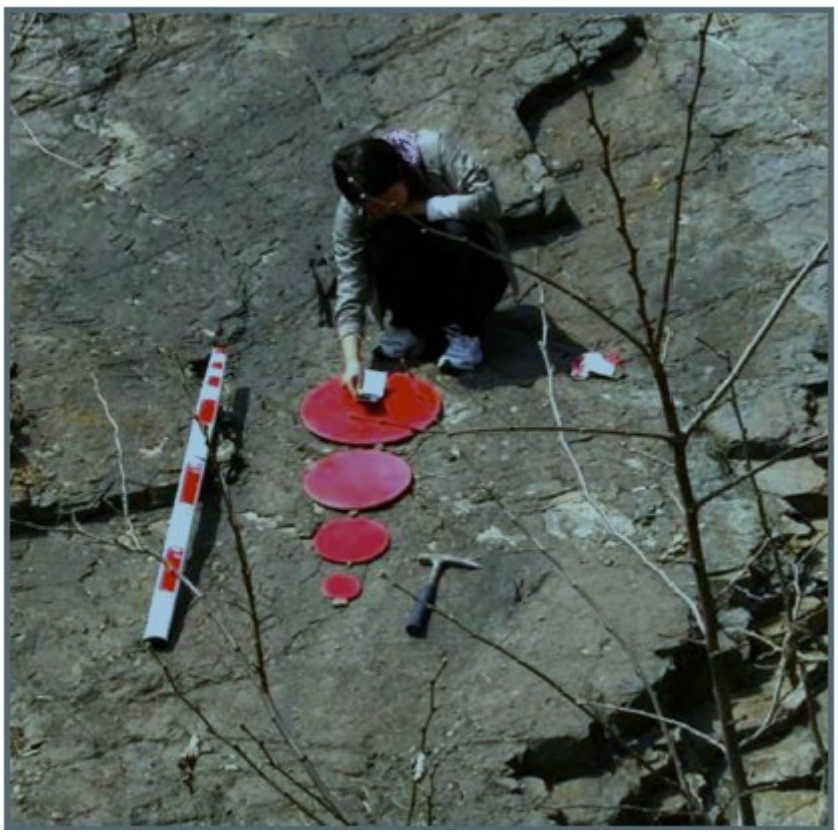
Συμπερασματικά είναι μια κοινή εσφαλμένη εκτίμηση ότι μια δοκιμή διάτμησης σε επιφάνεια «λεία» διαμορφωμένη με κοπή θα δώσει μια μοναδική τιμή για τη βασική γωνία τριβής. Επιπλέον, ότι αυτή η τιμή είναι επαναλαμβανόμενη και ότι δίνει τη κατώτερη αντίσταση διάτμησης για κάποιο πέτρωμα, και κατά συνέπεια, πολύ περισσότερο ότι αυτή η βασική γωνία τριβής συσχετίζεται με την διάτμητική αντοχή μιας φυσικής ασυνέχειας.

**Γωνία κλίσης των μικροεξοχών – διαστολή**

Η μέγιστη γωνία κλίσης των μικροεξοχών της επιφάνειας μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα με τη πραγματοποίηση μετρήσεων της επιφανειακής τραχύτητας. Επιπλέον, εφόσον ενεργοποιηθεί όλη η τραχύτητα, η γωνία κλίσης των μικροεξοχών ισούται με την γωνία διαστολής. Στο ύπαιθρο, η γωνία αυτή προσδιορίζεται με φωτογραμμετρικές ή προφιλομετρικές μεθόδους ή τη μέθοδο δίσκου-πυξίδας των Fecker & Rengers (1971). Σύμφωνα με την τελευταία μέθοδο, πραγματοποιείται ένας αρκετός αριθμός μετρήσεων της διεύθυνσης κλίσης και της γωνίας κλίσης της υπό εξέταση ασυνέχειας με τη βοήθεια διαφόρων μεγεθών κυκλικών δίσκων πάνω στους οποίους προσαρμόζεται μια γεωλογική πυξίδα όπως φαίνεται στο Σχήμα 7 και στην Εικόνα 1. Οι μετρήσεις αυτές παριστάνονται σαν πόλοι σε στερεογραφικό διάγραμμα προβολών (Σχήμα 7 a,b,c), στο οποίο μπορούν να προκύψουν καμπύλες ίσης μέγιστης γωνίας κλίσης καθώς και η μεταβολή της μέγιστης γωνίας κλίσης με το μέγεθος των δίσκων. Αν η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι ορατή, η γωνία κλίσης των μικροεξοχών μπορεί να εκτιμηθεί από άλλες παρόμοιες επιφάνειες με ορατές εμφανίσεις ή με αναγωγή από μετρήσεις σε επιφάνειες δοκιμίων εργαστηριακής κλίμακας.




**Σχήμα 7.** Μέτρηση ταχύτητας στο ύπαιθρο (Fecker & Rengers ,1971)



**Εικόνα 1.** Χρήση δίσκων διαφορετικού μεγέθους για τον χαρακτηρισμό και τον προσδιορισμό της επιφανειακής τραχύτητας (Hencher & Richards ,2014).

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Ο σκοπός της δοκιμής άμεσης διάτμησης σε ασυνέχειες βράχων είναι ο προσδιορισμός:

α) της γωνίας τριβής του υλικού των τοιχωμάτων της ασυνέχειας

β) των χαρακτηριστικών της επιφάνειας, π.χ. ορυκτολογική σύσταση, αποσάθρωση, βαθμός λείανσης και κατά επέκταση της επιρροής στην διατμητική αντοχή σε ένα συγκεκριμένο εύρος ορθών τάσεων.

γ) της απομείωση της τραχύτητας και της θραύσης προεξοχών των δοκιμίων κατά την διάρκεια της διάτμησης σε συγκεκριμένα επίπεδα ορθών τάσεων.

Έτσι, μπορεί να καταστεί δυνατός ο βαθμός επίδρασης της τραχύτητας στον σχεδιασμό ενός έργου σε βράχο.

### 1.1.2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

**ΚΡΙΤΗΡΙΟ PATTON**

Η επίδραση της τραχύτητας των ασυνεχειών στη διατμητική αντοχή τους, μελετήθηκε για πρώτη φορά από τον Patton (1966) που έδειξε ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή τραχειών επιφανειών του πετρώματος έχει την παρακάτω σχέση:

$$\tau = \sigma_n \varepsilon\varphi\left(\varphi_b + i\right)$$

όπου,

$\sigma_n$ η επιβαλλόμενη ορθή τάση,

$\varphi_b$ η βασική γωνία τριβής και

i η γωνία που εκφράζει την τραχύτητα.

Ο Patton ουσιαστικά κατέδειξε την επίδραση της τραχύτητας στην διατμητική αντοχή των ασυνεχειών των πετρωμάτων μέσα από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε δοκίμια τα οποία παρουσίαζαν μια ασυνέχεια πριονωτής μορφής .

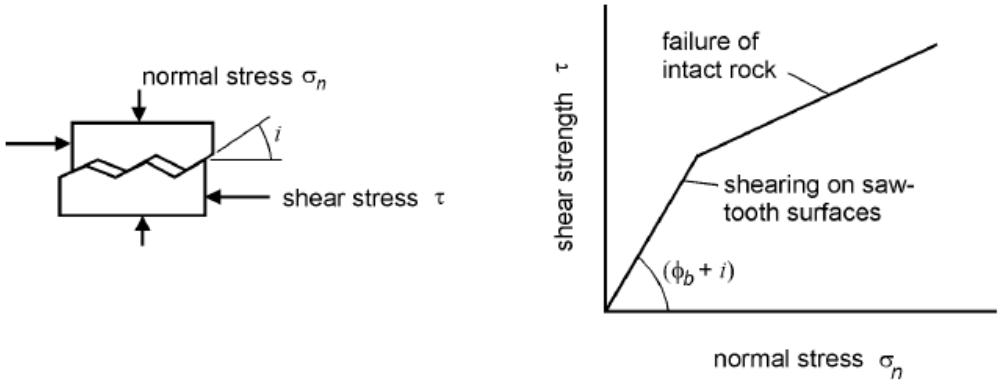
Η παραπάνω σχέση ισχύει για καθαρές τραχείες ασυνέχειες και σε μικρές τιμές της ορθής τάσης, δηλαδή πριν την θραύση των προεξοχών. Για μεγαλύτερες τάσεις ισχύει η σχέση:

$$\tau = c + \sigma_n \varepsilon\varphi\, \varphi_r$$

όπου,

c η συνοχή και

φr η παραμένουσα γωνία τριβής




**Σχήμα 8.** Πειράματα του Patton για τα μελέτη της επιρροής της τραχύτητας των ασυνεχειών ( Hoek, Kaiser & Badwen, 1995)

**ΚΡΙΤΗΡΙΟ BARTON**

Οι Barton et al. (1973,1976,1977) βασιζόμενοι στην θεωρία του Patton και αφού μελέτησαν λεπτομερειακά τη συμπεριφορά των φυσικών ασυνεχειών, πρότειναν την παρακάτω σχέση για την εκτίμηση της μέγιστης διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών πετρωμάτων:

$$t = \sigma_n \varepsilon \varphi \left[ \varphi_b + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

Όπου,

T μέγιστη διατμητική αντοχή

$\sigma_n$ η ορθή τάση

$\varphi_b$ βασική γωνία τριβής

JRC είναι ο συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών (Joint Roughness Coefficient)

JCS είναι η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη των τοιχωμάτων της ασυνέχειας (Joint wall Compression Strength).

Οι Barton & Bandis (1990) βασιζόμενοι σε αποτελέσματα 130 δειγμάτων αποσαθρωμένων ασυνεχειών μετέτρεψαν την παραπάνω σχέση σε:

$$\tau = \sigma_n \varepsilon \varphi \left[ \varphi_r + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

Όπου,

$\varphi_r$ η παραμένουσα γωνία τριβής που υπολογίζεται με βάση τους Barton – Choubey από την σχέση

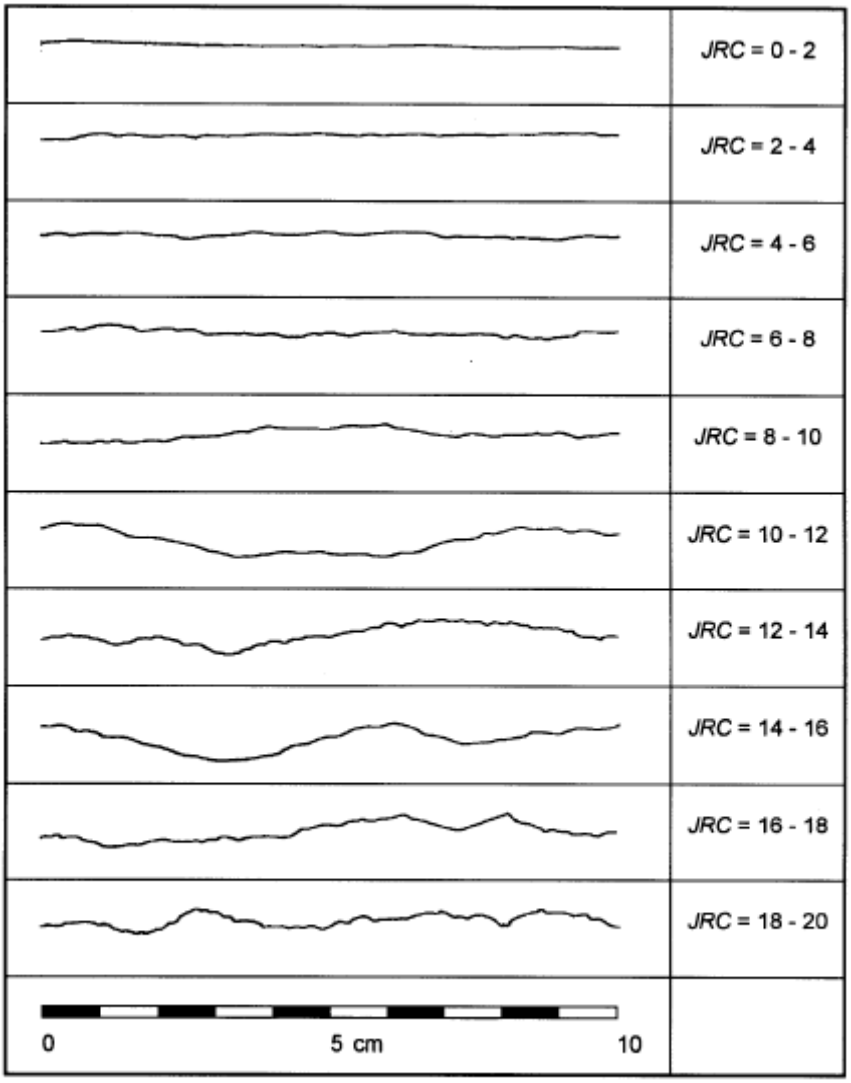
$$\varphi_r = \left( \varphi_b - 20 \right) + 20 \left( \frac{r}{R} \right)$$

Όπου,

r η τιμή του κρουσίμετρου Schmidt σε αποσαθρωμένες και κορεσμένες με νερό επιφάνειες

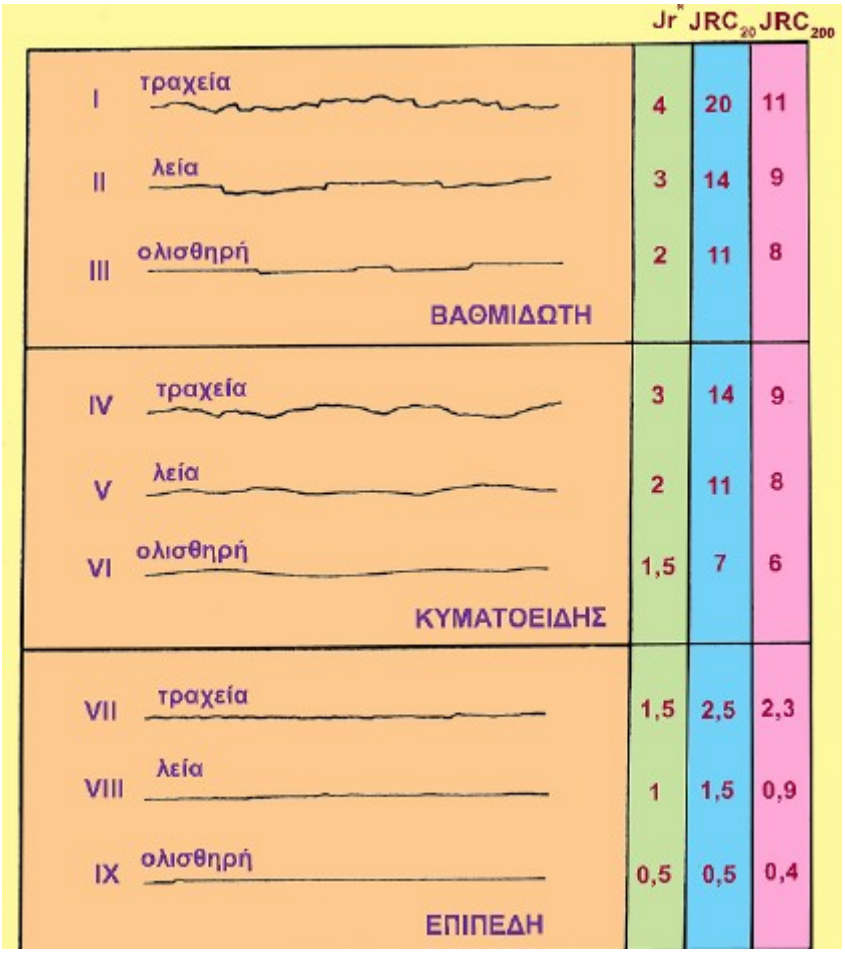
R η τιμή του κρουσίμετρου Schmidt σε υγιείς και στεγνές επιφάνειες

Ο συντελεστής τραχύτητας JRC είναι ένας αριθμός που μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας την επιφάνεια της ασυνέχειας με τυποποιημένα προφίλ που είναι δημοσιευμένα από τους Barton et al. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται ένα από τα πιο χρήσιμα πρότυπα προφίλ από τους Barton & Choubey (1977).



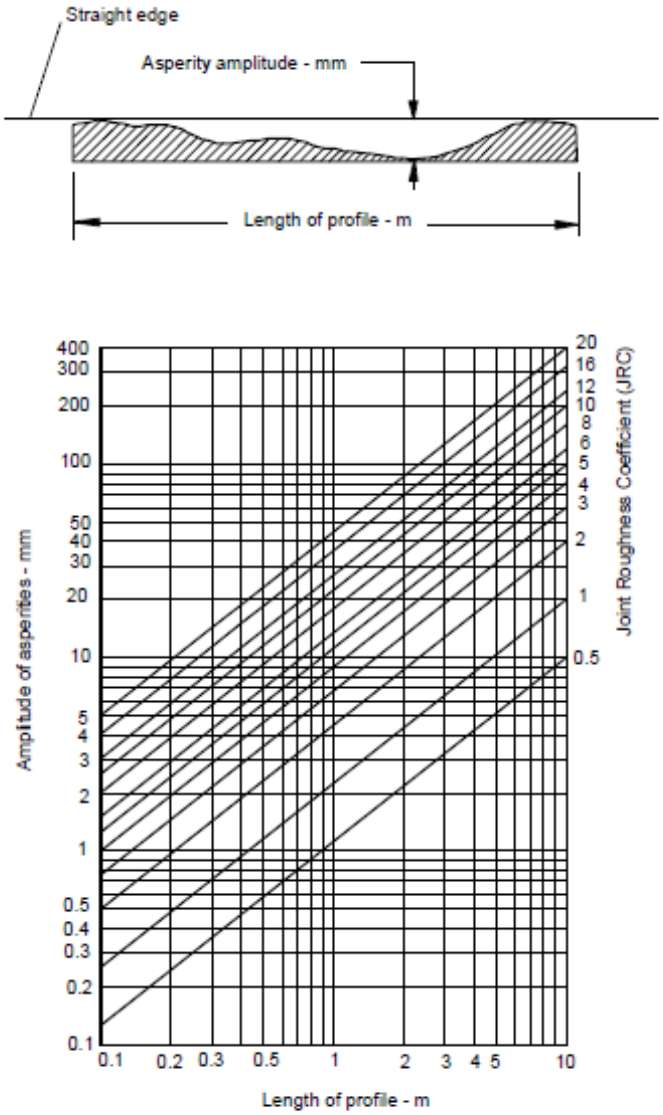

**Σχήμα 9.** Τυπικά προφίλ και αντίστοιχες τιμές του συντελεστή JRC ( Barton & Choubey, 1977)

Στην περίπτωση μικρής κλίμακας εργαστηριακών δειγμάτων τα προφίλ του παραπάνω σχήματος και οι αντίστοιχες τιμές του JRC έρχονται σε συμφωνία. Ωστόσο, στο πεδίο το μήκος της ασυνέχειας μπορεί να είναι αρκετά μέτρα ή ακόμη και δεκάδες μέτρα, έτσι η τιμή του JRC θα πρέπει να λαμβάνεται με βάση το σύνολο της επιφάνειας. Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκαν από τον Barton (1987) προφίλ με βάση ασυνέχειες 2m (Σχήμα 10).



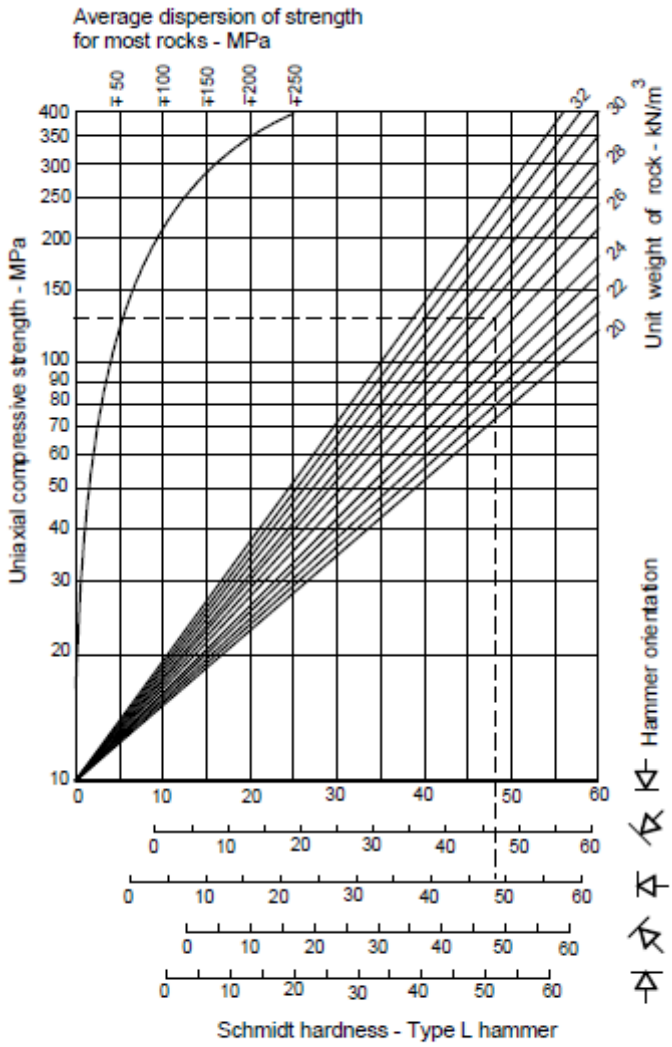

**Σχήμα 10.** Τυπικά προφίλ και αντίστοιχες τιμές του συντελεστή JRC (Barton, 1987).

Επίσης στο Σχήμα 11 παρουσιάζεται μια διαφορετική μεθοδολογία εύρεσης του JRC υπολογίζοντας το μήκος του εξεταζόμενου προφίλ και το αντίστοιχο μέγιστο πλάτος της τραχύτητας.




**Σχήμα 11.** Μέθοδος εκτίμησης JRC με βάση το μήκος και το εύρος των ασυνεχειών (Barton, 1982).

Για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των τοιχωμάτων της ασυνέχειας JCS έχουν προταθεί από προτεινόμενες μέθοδοι από την ISRM(1978). Η χρήση του κρουσίμετρου Schmidt για την εκτίμηση της αντοχής των τοιχωμάτων σε θλίψη προτάθηκε από τους Deere & Miller(1966) όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 12.




**Σχήμα 12.** Εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των τοιχωμάτων της ασυνέχειας μέσω του κρουσίμετρου Schmidt

**Επίδραση της κλίμακας στους συντελεστές JRC και JCS**

Με βάση την εκτεταμένη έρευνα που έχουν πραγματοποιήσει οι Barton & Bandis στις ασυνέχειες και με ανασκόπηση της βιβλιογραφίας το 1982 προτείνουν διορθώσεις λόγω κλίμακας στους συντελεστές JRC και JCS με βάση τις παρακάτω σχέσεις:

$$JRC_n = JRC_o \left( \frac{L_n}{L_o} \right)^{-0.02 JRC_o}$$

$$JCS_n = JCS_o \left( \frac{L_n}{L_o} \right)^{-0.03 JRC_o}$$

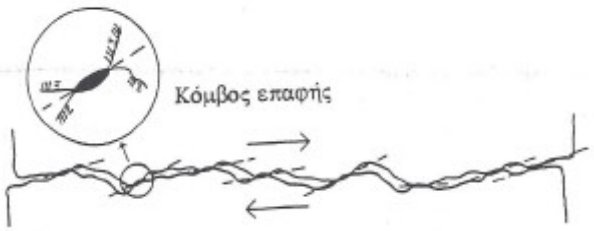
Όπου,

$JRC_o$, **JCSo** και $L_o$ αναφέρονται σε κλίμακα των εργαστηριακών δειγμάτων 100mm,

$JRC_n$ , **JCSn** και $L_n$ αναφέρονται σε κλίμακα πεδίου.

## ΚΡΙΤΗΡΙΟ PAPALIANGAS

Το κριτήριο Papaliangas αποτελεί ένα απλό, θεωρητικό κριτήριο που βασίζεται σε ένα μηχανισμό διάτμησης ασυνεχειών ανάλογο με αυτόν που έχει μελετηθεί από τους Bowden & Tabor (1950) για την περίπτωση των μεταλλικών υλικών. Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό, όταν σε μια ασυνέχεια εφαρμοστεί μια ορθή τάση, τα τοιχώματά της έρχονται σε επαφή σε ορισμένες μόνο περιοχές που αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής επιφάνειας. Η ορθή τάση σε αυτές τις περιοχές επαφής είναι τόσο υψηλή ώστε προκαλεί πλαστική "συγκόλληση" των δυο τμημάτων της ασυνέχειας (Terzaghi, 1925) όπως συμβαίνει στην περίπτωση των μετάλλων (Bowden & Tabor, 1950). Η μικρότερη τιμή της πραγματικής ορθής τάσης που έχει την ικανότητα να προκαλέσει πλαστική συμπεριφορά στο υλικό είναι η τάση που αντιστοιχεί στη μετάβαση από ψαθυρή σε πλαστική συμπεριφορά του βραχώδους υλικού. Έτσι, γίνεται αποδεκτό ότι τη στιγμή της μέγιστης διατμητικής αντοχής οι περιοχές επαφής βρίσκονται στη μεταβατική περιοχή ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς. Επιπρόσθετα, στο τέλος της διατμητικής μετατόπισης παρατηρούνται "κόμβοι επαφής" που έχουν δημιουργηθεί από τον παραπάνω μηχανισμό. Αυτοί οι κόμβοι κατανέμονται σε όλη την επιφάνεια της ασυνέχειας, και έχουν διαφορετική κλίση σε σχέση με το μέσο επίπεδο της (Σχήμα 13).




**Σχήμα 13.** Επαφή δυο τραχειών βραχωδών επιφανειών (Papaliangas , 1997).

Η εφαρμογή μιας διατμητικής δύναμης προκαλεί σχετική ολίσθηση των δυο τμημάτων της ασυνέχειας κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου που η διεύθυνση του εξαρτάται από τη μέση κλίση των κόμβων επαφής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η διατμητική αντίσταση σε οποιαδήποτε ορθή τάση να μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από απότμηση των πλαστικών κόμβων επαφής, η οποία πραγματοποιείται κατά μήκος αυτού του κεκλιμένου επιπέδου και εξαιτίας του προκαλείται διαστολή. Επομένως η αντίσταση αυτή εμπεριέχει δυο επιμέρους συνιστώσες. Η μια οφείλεται στη διατμητική αντοχή του υλικού των τοιχωμάτων σε εντατική κατάσταση υψηλών τάσεων και η δεύτερη αποτελεί μια γεωμετρική συνιστώσα που οφείλεται στη μέση κλίση των περιοχών επαφής. Εφόσον γίνεται δεκτό ότι οι κόμβοι επαφής βρίσκονται στο όριο ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς, η διατμητική αντίσταση είναι ίση με την αντίσταση τριβής **(**Orowan, 1960) και επομένως η πρώτη συνιστώσα είναι ανάλογη

της ορθής τάσης και είναι ανεξάρτητη της τραχύτητας και της κλίμακας. Η δεύτερη συνιστώσα αποδίδεται στην επιφανειακή τραχύτητα και εξαρτάται από την ορθή τάση. Κατά συνέπεια το μέγεθος της συνιστώσας τριβής προσδιορίζεται από τη γωνία τριβής του υλικού των τοιχωμάτων. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους της γεωμετρικής συνιστώσας εφαρμόζονται οι αρχές της «θεωρίας ορθής επαφής» των Greenwood & Williamson (1966), με αξιοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας.

Με βάση την παραπάνω ρεαλιστική περιγραφή του μηχανισμού διάτμησης, το κριτήριο Papaliangas, έχει τη γνωστή απλή μορφή

$$\tau_p = \sigma_n \varepsilon\varphi\left(\varphi_m + \psi\right)$$

Όπου,

$\tau_p$ η μέγιστη διατμητική αντοχή

$\sigma_n$ η ορθή τάση

$\varphi_m$ η γωνία τριβής του υλικού των τοιχωμάτων αυτής ασυνέχειας και

$\psi$ η γωνία διαστολής που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική αντοχή.

Η τιμή της γωνίας μεταβάλλεται λογαριθμικά με την ορθή τάση και δίνεται από τη σχέση (Papaliangas, 1995)

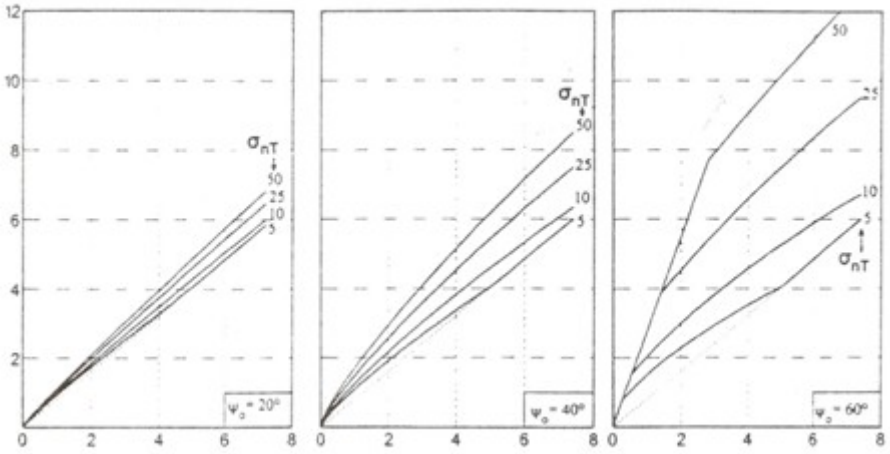
$$\varepsilon\varphi\psi = \varepsilon\varphi\,\psi_o \log_{10}\frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n} / \log_{10}\frac{\sigma_{nT}}{\sigma_{no}}$$

Όπου,

$\psi_o$ η μέγιστη γωνία κλίσης των μικροεξοχών της επιφάνειας και

$\sigma_{nT}$ η ορθή τάση η οποία εμποδίζει πλήρως την ασυνέχεια να διασταλεί.

$\sigma_{no}$ εκφράζει μια μικρή τιμή της ορθής τάσης η οποία προκαλεί μηδενική παραμόρφωση στην επιφάνεια της ασυνέχειας, και μπορεί να ληφθεί π.χ. 1 kPa




**Σχήμα 14.** Περιβάλλουσες διατμητικές αντοχές σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas.

Στο Σχήμα 14 παρατίθενται τρεις οικογένειες περιβαλλουσών διατμητικής αντοχής, σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετική τιμή της γωνίας $\psi_0$, ενώ σε κάθε καμπύλη δίνεται η αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου $\sigma_{nT}$. Για λόγους απλότητας η τιμή της γωνίας τριβής $\varphi_m$ έχει ληφθεί ίση με 39° σε όλες τις περιπτώσεις. Γίνεται δεκτό πως η τιμή της μέγιστης γωνίας τριβής δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 70° (arctan(τ/σn) =70° όπως έχει προταθεί από τους Barton & Choubey (1977) και γι αυτό στο δεξιό διάγραμμα το αρχικό τμήμα της καμπύλης έχει αντικατασταθεί από την ευθεία $\tau = \sigma \tan 70°$. Ο προσδιορισμός των τριών βασικών παραμέτρων του κριτηρίου, δηλαδή των $\varphi_m$ , $\psi_o$ και $\sigma_{nT}$ μπορεί να γίνει ως εξής:

Η γωνία $\varphi_m$ μπορεί να προσδιοριστεί με δυο τρόπους , είτε από τριαξονικές δοκιμές σε άρρηκτο δοκίμιο υπό πλευρική πίεση αρκετά υψηλή τέτοια ώστε να προσεγγιστεί το όριο ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς (Papaliangas, 1997) ή από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε ασυνέχειες πετρωμάτων, αν από τη μέγιστη διατμητική αντοχή αφαιρεθεί η γεωμετρική συνιστώσα (διαστολή).

Η μέγιστη γωνία κλίσης των μικροεξοχών της επιφάνειας $\psi_o$ μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα με τη πραγματοποίηση μετρήσεων της επιφανειακής τραχύτητας. Επίσης, η γωνία αυτή είναι ισοδύναμη με τη γωνία διαστολής, εφόσον ενεργοποιείται όλη η τραχύτητα (αμελητέα επιφανειακή φθορά). Η γωνία διαστολής προκύπτει στο εργαστήριο από δοκιμές διάτμησης υπό ορθή τάση που προέρχεται μόνο από το ίδιο βάρος του δοκιμίου(νεκρό φορτίο). Στο ύπαιθρο, η γωνία αυτή προσδιορίζεται με φωτογραμμετρικές ή προφιλομετρικές μεθόδους ή τη μέθοδο δίσκου-πυξίδας των Fecker & Rengers (1971). Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως η τιμή της γωνίας $\psi_0$ εξαρτάται από το βήμα της διατμητικής μετατόπισης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της. Προτείνεται η τιμή για το βήμα αυτό να είναι το 0.2%L, όπου L το μήκος της ασυνέχειας, που σύμφωνα με τον Patton (1966) αντιστοιχεί στην τραχύτητα δευτέρας τάξεως.

Τέλος η ορθή τάση $\sigma_{nT}$ εκφράζει τη μετάβαση από διάτμηση με δυνατότητα διαστολής σε διάτμηση χωρίς διαστολή και μπορεί να προσδιοριστεί πειραματικά με τη χρήση ενός διαγράμματος

διαστολής- ορθής τάσης ($\tan\psi - \log\sigma_n$) που προκύπτει από την ίδια σειρά δοκιμών άμεσης διάτμησης, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γωνίας $\varphi_m$ . Για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά μπορεί να ληφθεί η τιμή της γωνίας ψο από μια δοκιμή άμεσης διάτμησης υπό την επίδραση μόνο του ιδίου βάρους. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται πριν από την κύρια δοκιμή στην οποία θα υποβληθεί το συγκεκριμένο δοκίμιο. Είναι σημαντικό πως για τιμές της ορθής τάσης μεγαλύτερες της $\sigma_{nT}$ η τραχύτητα δεν παίζει κανένα ρόλο, ενώ η διατμητική αντοχή είναι ανάλογη της ορθής τάσης. Η αναλογία αυτή ισχύει μέχρι η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας να γίνει ίση με τη διατμητική αντοχή του συμπαγούς πετρώματος, πέρα από αυτή η διατμητική αντοχή είναι ίση με αυτή του συμπαγούς βραχώδους υλικού. Για φυσικές ασυνέχειες η $\sigma_{nT}$ είναι αισθητά χαμηλότερη από τη θλιπτική αντοχή και από την τάση που προκαλεί την αλλαγή της συμπεριφοράς του υλικού από ψαθυρή σε πλαστική. Αυτό αποδεικνύεται από αποτελέσματα πολλών ερευνητών, όπως οι Goodman & Dubois (1972), Schneider (1976), Leichnitz (1985) κ.α. Έτσι αν θεωρήσουμε σαν τυπικές τιμές $\sigma_{nT}$ = 10MPa. και $\sigma_{no}$ = 1kPa , η παραπάνω σχέση δίνει:

$$\varepsilon\varphi\psi = \frac{\varepsilon\varphi\psi_o}{4}\log_{10}\frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n}$$

Η πρακτική σημασία των δύο σχέσεων είναι μεγάλη και βρίσκεται στη χρήση μιας απλής φυσικής παραμέτρου της επιφάνειας της ασυνέχειας, που μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Με άλλα λόγια της μέγιστης κλίσης των μικροεξοχών ενώ η τάση $\sigma_{nT}$ μπορεί να προσδιοριστεί από μια σειρά δοκιμών σε δείγματα φυσικής ασυνέχειας, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε ειδική προετοιμασία των επιφανειών τους.

Για τους περισσότερους τύπους υγιών πετρωμάτων η τιμή της γωνίας τριβής φm όπως προσδιορίζεται από τριαξονικές δοκιμές βρίσκεται μεταξύ 33° και 43°. Οι χαμηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε ορισμένους τύπους βράχων χαλαζιακής σύστασης ενώ οι μεγαλύτερες σε βράχους ασβεστιτικής σύστασης (Papaliangas, 1996). Όμως υπάρχει η πιθανότητα να υπάρξουν περιπτώσεις με αισθητά χαμηλότερες τιμές σε περιπτώσεις πετρωμάτων όπως οι σχιστόλιθοι, φυλλίτες και γενικά πετρώματα που περιέχουν ορυκτά χαμηλής διατμητικής αντοχής, ή όταν τα τοιχώματα εμφανίζουν αποσάθρωση ή είναι καλυμμένα με επιστρώσεις εδαφικών υλικών ή ορυκτών χαμηλής γωνίας τριβής. Επίσης, χαμηλότερες γωνίες τριβής, ιδιαίτερα σε χαμηλές ορθές τάσεις προκύπτουν σε περιπτώσεις που η επιφάνεια μιας ασυνέχειας έχει λειανθεί λόγω κάποιας φυσικής ή τεχνικής διεργασίας . Σε αυτή την περίπτωση η τιμή της γωνίας $\varphi_m$ πρέπει να προσδιοριστεί μόνο από δοκιμές άμεσης διάτμησης, επειδή οι τριαξονικές δοκιμές δεν είναι ικανές και δεν "αντιλαμβάνονται" πλήρως τα διαφοροποιημένα επιφανειακά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.

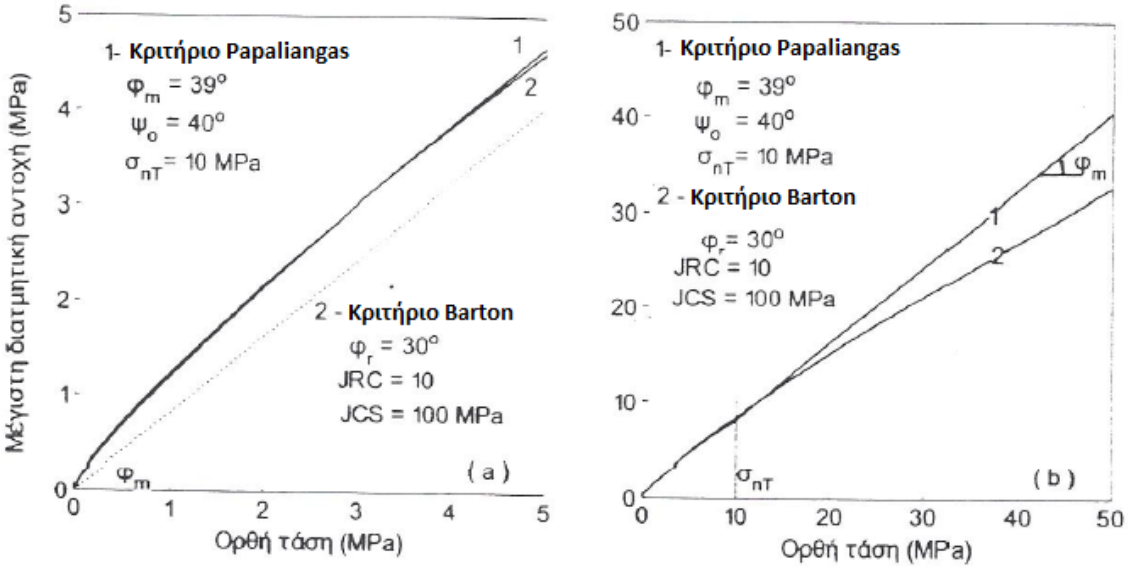
Το κριτήριο Papaliangas δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ασυνεχειών με υλικό πληρώσεως, για τις οποίες άλλα κριτήρια είναι ποιο ενδεδειγμένα(Papaliangas 1993 και 1995).

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ BARTON**

Η μορφή του θεωρητικού κριτηρίου είναι παρόμοια με αυτή του εμπειρικού κριτηρίου Barton που έχει ευρεία εφαρμογή. Όμως το κριτήριο Papaliangas έχει σαφή θεωρητική βάση, διαθέτει ένα πολύ ρεαλιστικό μηχανισμό διάτμησης και εφαρμόζει παραμέτρους με φυσική έννοια. Οι παράμετροι αυτές μπορούν να προσδιορίζουν εύκολα από μια σειρά δοκιμών άμεσης διάτμησης σε δείγματα της προς εξέταση φυσικής ασυνέχειας, χωρίς κάποια ειδική προετοιμασία των επιφανειών της π.χ κοπή δοκιμίων κλπ. Στις δοκιμές αυτές καταγράφονται η κατακόρυφη μετατόπιση του δοκιμίου μαζί με την οριζόντια, όπως προδιαγράφεται από τη Διεθνή Εταιρεία Βραχομηχανικής (Brown, 1981). Επίσης δεν χρησιμοποιούνται εμπειρικές παράμετροι, ούτε πρόσθετες δοκιμές και εμπειρικές σχέσεις για τον προσδιορισμό τους όπως συμβαίνει με τη μέθοδο Barton.

Τα δυο κριτήρια παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 15, από το οποίο προκύπτει ότι στην περιοχή των χαμηλών ορθών τάσεων μπορεί να ταυτίζονται (Σχήμα 15.a), όμως σε υψηλότερες ορθές τάσεις αποκλίνουν σημαντικά (Σχήμα 15.b), καθώς το κριτήριο Barton προβλέπει πως η μέγιστη γωνία τριβής θα είναι ίση με την παραμένουσα γωνία τριβής ($\varphi_p=\varphi_r$), τιμή η οποία είναι χαμηλή (Barton, 1973 και 1976), ενώ το κριτήριο Papaliangas προβλέπει ότι θα είναι ίση με τη γωνία τριβής των τοιχωμάτων ($\varphi_p=\varphi_m$), που θεωρείται πιο ρεαλιστική τιμή (Byerlee, 1978). Συγκριτική παράθεση των επιμέρους παραμέτρων των δυο κριτηρίων γίνεται στον Πίνακα 2, ενώ ενδεικτικές εφαρμογές του νέου κριτηρίου δίνονται σε άλλες εργασίες (Papaliangas et al., 1996 , 1997).

Το κριτήριο μέγιστης διατμητικής αντοχής ασυνεχειών βράχων που περιγράφηκε σύντομα παραπάνω, είναι βασισμένο σε ένα ρεαλιστικό μηχανισμό τριβής και ευρέως αποδεκτή θεωρία παραμόρφωσης τραχειών επιφανειών. Η βασική παραδοχή είναι ότι η διατμητική αντοχή προέρχεται από αποτίμηση κόμβων επαφής των δυο τμημάτων της ασυνέχειας, στους οποίους η ορθή τάση είναι ίση με την τάση που προκαλεί αλλαγή της συμπεριφοράς από ψαθυρή σε πλαστική. Το κριτήριο απαιτεί μια απλή γεωμετρική παράμετρο που χαρακτηρίζει την επιφάνεια, συγκεκριμένα τη μέγιστη γωνία κλίσης των επιφανειακών προεξοχών, μια βασική ιδιότητα του βραχώδους υλικού (γωνία τριβής του υλικού των τοιχωμάτων) και την ορθή τάση πέραν της οποίας η διαστολή μηδενίζεται.




**Σχήμα 15.** Γραφική μορφή των κριτηρίων Barton και Papaliangas

Και οι τρεις αυτές παράμετροι μπορούν να προσδιοριστούν εύκολα από μια απλή σειρά δοκιμών άμεσης διάτμησης σε δείγματα της υπό εξέταση ασυνέχειας. Το κριτήριο Papaliangas υιοθετεί τις αρχές της θεωρίας τριβής των Bowden & Tabor (1950) για την ερμηνεία της προέλευσης της διατμητικής αντοχής, ενώ για τον προσδιορισμό της γεωμετρικής συνιστώσας σε οποιαδήποτε ορθή τάση χρησιμοποιούνται οι βασικές αρχές της θεωρίας ορθής επαφής των Greenwood & Williamson (1966) με χρήση μόνο μιας γεωμετρικής παραμέτρου της επιφάνειας της ασυνέχειας. Τα πλεονεκτήματα του νέου κριτηρίου φαίνονται σε μια παράμετρο προς σύγκριση με το ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη εμπειρικό κριτήριο Barton.

**Πίνακας 1.** Σύγκριση των παραμέτρων του κριτηρίου Papaliangas και του κριτηρίου Barton

| | Κριτήριο Papaliangas | | Κριτήριο Barton |
|---|---|---|---|
| 1. Μορφή | $\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_m + \psi)$ | | $\tau_p = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$ |
| 2.Παράμετρος τριβής | $\phi_m$ :Γωνία τριβής υλικού τοιχωμάτων | | $\phi_r$ : Παραμένουσα γωνία τριβής |
| | -βασική ιδιότητα του υλικού<br>-προσδιορίζεται από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε δείγματα φυσικής ασυνέχειας (αμεσότητα) | | -δεν είναι ιδιότητα του υλικού<br>-προσδιορίζεται από τη γωνία τριβής επίπεδων διαμορφωμένων επιφανειών με εμπειρικό τρόπο (κρουσίμετρο Schmidt ) |
| 3. Παράμετρος τραχύτητας | $\tan\psi = \tan\psi_o \log_{10}\frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n} / \log_{10}\frac{\sigma_{nT}}{\sigma_{no}}$ | | $i = JRC \log_{10}\frac{JCS}{\sigma_n}$ |
| | $\tan\psi$ : αποτέλεσμα μόνο της διαστολής | | i : αποτέλεσμα της διαστολής και της απότμησης των μικροεξοχών |
| | $\psi_o$ : μέγιστη γωνία κλίσης μικροεξοχών<br>-φυσική παράμετρος<br>-προσδιορίζεται με άμεση μέτρηση | | JRC: δείκτης τραχύτητας ασυνέχειας<br>-εμπειρική παράμετρος<br>-προσδιορίζεται εμπειρικά |
| | $\sigma_{nT}$ : ορθή τάση ικανή να περιορίσει πλήρως τη διαστολή<br>-προσδιορίζεται από τις ίδιες δοκιμές όπως και η $\phi_m$ | | JCS: θλιπτική αντοχή τοιχωμάτων<br>- για αποσαθρωμένες επιφάνειες προσδιορίζεται έμμεσα με το κρουσίμετρο Schmidt |
| 4. Οριακές συνθήκες | χαμηλές ορθές τάσεις | $\tau_p = \sigma_n \tan 70°$ | $\tau_p = \sigma_n \tan 70°$ |
| | υψηλές ορθές τάσεις | $\tau_p = \sigma_n \tan\phi_m$ | $\tau_p = \sigma_n \tan\phi_b$ |

# 2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

## 2.1 ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Η δοκιμή άμεσης διάτμησης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής ως συνάρτηση της ορθής τάσης στο επίπεδο διατμήσεως. Αν και μπορεί να εφαρμοσθεί για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής δοκιμίων άρρηκτου πετρώματος, συνηθέστερα το επίπεδο διάτμησης ταυτίζεται με ένα επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος (π.χ. μία ασυνέχεια).

Η εργαστηριακή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής διάτμησης, μπορεί να είναι φορητή ή σταθερή σε μόνιμη θέση στο εργαστήριο. Η συσκευή πρέπει να περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα επιβολής ορθής και διατμητικής δύναμης καθώς και σύστημα μέτρησης των δυνάμεων αυτών. Οι αναγνώσεις της κάθετης και διατμητικής μετατόπισης μπορεί να λαμβάνονται οπτικά ( με αναλογικά βελόμετρα ) ή να προσαρμοσθεί κατάλληλο σύστημα αυτοματοποίησης, το οποίο να δίνει τις επιθυμητές ψηφιακές ενδείξεις.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται είναι μορφής ορθογωνίων πρισμάτων ή κυλινδρικά (από πυρήνες γεωτρήσεων). Οι διαστάσεις τους και ο τρόπος μόρφωσης τους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μη χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία τους στο εργαστήριο. Το επίπεδο διατμήσεως πρέπει να είναι κατά προτίμηση τετράγωνο με ελάχιστη επιφάνεια 2500 mm.

Τα δύο τεμάχια του δοκιμίου εκατέρωθεν του επιπέδου αδυναμίας πρέπει να διατηρηθούν σε επαφή μέχρι την στιγμή πραγματοποίησης της δοκιμής. Αυτό επιτυγχάνεται με το δέσιμο των τεμαχίων με μεταλλικό σύρμα μικρής διαμέτρου ή πλαστική ταινία. Τα δύο τεμάχια του δοκιμίου τοποθετούνται στη συσκευή, και εγκιβωτίζονται με κατάλληλο υλικό στερεώσεως του δείγματος (γύψος, τσιμέντο, ή ειδική ρητίνη).

Η δοκιμή αρχίζει με την εφαρμογή της ορθής δύναμης ( το στάδιο αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και σχετική στερεοποίηση ) και στη συνέχεια της διατμητικής. Η αντίστοιχη ορθή και διατμητική τάση υπολογίζονται από τις σχέσεις:

Διατμητική τάση: $\tau = \frac{P_S}{A}$

Κάθετη τάση: $\sigma_{\pi} = \frac{P_n}{A}$

όπου Ps η ασκούμενη διατμητική δύναμη, Pn η ασκούμενη κάθετη δύναμη και A η επιφάνεια του επιπέδου διατμήσεως που είναι ενεργή την κάθε δεδομένη στιγμή.

Για κάθε δοκιμή κατασκευάζονται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης - διατμητικής μετατόπισης και ορθής τάσης-διατμητικής μετατόπισης. Από αυτά λαμβάνονται οι τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής και οι τιμές των αντίστοιχων ορθών και διατμητικών μετατοπίσεων. Εάν εκτελεστεί μία σειρά δοκιμών με διάφορες ορθές τάσεις τότε μπορούν να κατασκευαστούν διαγράμματα μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης, από τα οποία εξάγονται αποτελέσματα για τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας. Συγκεκριμένα υπολογίζονται:

– Η παραμένουσα γωνία τριβής φr (residual friction angle).

– Η φαινόμενη γωνία τριβής φa, για τιμές της ορθής τάσεως μικρότερες της τιμής σa (δηλαδή στην κλίμακα εκείνη των ορθών τάσεων που δεν καταστρέφεται πρακτικά η τραχύτητα της ασυνέχειας).

– Η φαινόμενη γωνία τριβής φb, για τιμές της κάθετης τάσεως μεγαλύτερες της τιμής σa (δηλαδή στην κλίμακα εκείνη των ορθών τάσεων που καταστρέφεται πρακτικά η τραχύτητα της ασυνέχειας). Η φb είναι συνήθως ίση, ή περίπου ίση, με την φr.

– Η συνοχή του επιπέδου της ασυνέχειας c΄ όπως υπολογίζεται από την καμπύλη της μέγιστης διατμητικής αντοχής. Η τιμή της c΄ είναι συχνά μηδενική.

– Η συνοχή του επιπέδου της ασυνέχειας c (παράμετρος διατμητικής αντοχής).

### 2.1.1 ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Προτεινόμενη από την International Society for Rock Mechanics (ISRM) μέθοδος προσδιορισμού της άμεσης διατμητικής αντοχής.

**Σκοπός**

(α) Με τη δοκιμή αυτή μετρώνται η μέγιστη και παραμένουσα άμεση διατμητική αντοχή συναρτήσει της ορθής τάσης στο επίπεδο διάτμησης. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν π.χ. στην ανάλυση οριακής ισορροπίας προβλημάτων ευστάθειας πρανών ή για την ανάλυση ευστάθειας της θεμελίωσης φραγμάτων.

(β) Η κλίση του δοκιμίου σε σχέση με το επί τόπου πέτρωμα και ο προσανατολισμός κατά την στερέωση στη συσκευή της δοκιμής επιλέγονται συνήθως έτσι ώστε το επίπεδο

διάτμησης να ταυτίζεται με ένα επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος, όπως π.χ. μία ασυνέχεια, επίπεδο στρώσης, σχιστότητα ή σχισμός, ή με τη διεπιφάνεια εδάφους και πετρώματος ή πετρώματος και σκυροδέματος υποστήριξης.

(γ) Ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής θα πρέπει κατά προτίμηση να περιλαμβάνει τουλάχιστο πέντε (5) δοκιμές με τον ίδιο προσανατολισμό δείγματος με κάθε δοκίμιο να υποβάλλεται σε διαφορετική αλλά σταθερή κατά τη διάρκεια της δοκιμής ορθή τάση.

(δ) Κατά την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της δοκιμής, οι συνθήκες πίεσης του νερού των πόρων και η πιθανότητα προοδευτικής αστοχίας πρέπει να συνεκτιμώνται κατά το σχεδιασμό καθώς μπορεί να διαφοροποιούνται από της συνθήκες της δοκιμής.

**Εργαστηριακή συσκευή**

Ο εξοπλισμός για τη λήψη των δειγμάτων περιλαμβάνει:

(α) εξοπλισμό για την κοπή του δείγματος. Για παράδειγμα ένα δειγματολήπτη μεγάλης διαμέτρου, δίσκους κοπής, γεωλογικό σφυρί και καλέμι, καθώς και εξοπλισμό για τη μέτρηση της κλίσης, της διεύθυνσης κλίσης, της τραχύτητας και άλλων χαρακτηριστικών στοιχειών του επιπέδου διάτμησης.

(β) υλικά για τη συγκράτηση του δοκιμίου, π.χ. σύρμα ή μεταλλικά τσέρκια

(γ) υλικά για την προστασία του δοκιμίου από μηχανική διαταραχή ή μεταβολές της φυσικής υγρασίας τόσο κατά τη διάρκεια της κοπής όσο και κατά τη μεταφορά στο εργαστήριο. Για παράδειγμα προστατευτικές συσκευασίες και μουσαμάδες ή παρόμοια υδατοστεγή υλικά.

Εξοπλισμό προσαρμογής/στερέωσης του δοκιμίου συμπεριλαμβανομένων:

(α) φορείς του δείγματος που να σχηματίζουν ένα αποσυναρμολογούμενο τμήμα του εξοπλισμού της συσκευής.

(β) τσιμέντο, γύψο, ρητίνη ή παρόμοια ισχυρά υλικά ενθυλάκωσης μαζί με κατάλληλα μέσα ανάμιξης.

Εξοπλισμό εκτέλεσης της δοκιμής που να περιλαμβάνει:

(α) κατάλληλο μέσο για την εφαρμογή του ορθού φορτίου, τυπικά υδραυλικό, πνευματικό ή βασιζόμενο σε βάρη σύστημα, κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε να εξασφαλίζεται ότι το φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το επίπεδο διάτμησης. Η συνισταμένη δύναμη πρέπει να δρα κάθετα στο επίπεδο διάτμησης και να διέρχεται από το κέντρο της διατμητικής επιφάνειας. Το σύστημα θα πρέπει να έχει διαδρομή φόρτισης μεγαλύτερη από την αναμενόμενη διαστολή ή συρρίκνωση και να είναι ικανό να διατηρήσει την ορθή δύναμη σταθερή εντός ποσοστού 2 % της επιλεγμένη τιμής καθ’ όλη τη διάρκεια της δοκιμής.

(β) κατάλληλο μέσο για την εφαρμογή του διατμητικού φορτίου, τυπικά ένα υδραυλικό έμβολο ή ένα μηχανικό σύστημα, σχεδιασμένο ώστε το φορτίο να κατανέμεται ομοιόμορφα στη μία επιφάνεια διάτμησης και η συνισταμένη ορθή δύναμη να εφαρμόζεται στο επίπεδο διάτμησης. Ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος για διαδρομή παράλληλα στο επίπεδο διάτμησης μεγαλύτερη από 10% του μήκους του δοκιμίου. Η διατμητική αντίσταση λόγω της κίνησης της συσκευής πρέπει να είναι μικρότερη από το 1% της μέγιστης διατμητικής δύναμης που εφαρμόζεται στη δοκιμή.

(γ) εξοπλισμό για την ανεξάρτητη μέτρηση των διατμητικών και ορθών δυνάμεων με ακρίβεια καλύτερη από ±2 % των μέγιστων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη δοκιμή. Πρόσφατα δεδομένα βαθμονόμησης της συσκευής πρέπει να προσαρτώνται στην έκθεση των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

(δ) εξοπλισμό για τη μέτρηση της διατμητικής, της ορθής και της πλευρικής μετατόπισης, για παράδειγμα αναλογικά βελόμετρα ή ηλεκτρικοί μορφοτροπείς. Το σύστημα μέτρησης της διατμητικής μετατόπισης πρέπει να έχει διαδρομή μεγαλύτερη από 10% του μήκους του δοκιμίου και ακρίβεια 0.1 mm. Τα συστήματα μέτρησης της ορθής και της πλευρικής μετατόπισης πρέπει να έχουν διαδρομή μεγαλύτερη από 20 mm και ακρίβεια καλύτερη από 0.05 mm. Μηδενισμός των ενδείξεων των οργάνων κατά τη διάρκεια της δοκιμής θα πρέπει εάν είναι δυνατόν να αποφεύγεται. Εάν χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί μορφοτροπείς ή ένα αυτόματο καταγραφικό σύστημα τότε μία πρόσφατη βαθμονόμηση πρέπει να περιλαμβάνεται στην έκθεση των αποτελεσμάτων.

**Διαδικασία**

Προετοιμασία

(α) Επιλέγεται το επίπεδο της δοκιμής και καταγράφεται η κλίση, η διεύθυνση κλίσης και άλλα σχετικά γεωλογικά χαρακτηριστικά. Δείγματα (τεμάχη ή πυρήνες) που περιέχουν το επίπεδο διάτμησης συλλέγονται με μεθόδους ώστε να ελαχιστοποιείται η διαταραχή και εάν είναι δυνατόν με τρόπο ώστε να διατηρείται η φυσική υγρασία του δείγματος. Οι διαστάσεις του δείγματος και η θέση του επιθυμητού επιπέδου διάτμησης μέσα στο δείγμα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν, αν είναι δυνατόν, την απευθείας προσαρμογή του δείγματος στη συσκευή χωρίς περεταίρω κοπή στο εργαστήριο, ενώ θα πρέπει να μένει αρκετός χώρος για την ενθυλάκωση του δείγματος. Το επίπεδο της δοκιμής θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι τετραγωνικό με επιφάνεια 2500 mm2. Η μηχανική ακεραιότητα του δείγματος πρέπει να προστατεύεται δένοντας σφικτά το δείγμα με μεταλλικό σύρμα ή ταινία που πρέπει να παραμένει στη θέση του μέχρι τη στιγμή της δοκιμής.

(β) Τα δείγματα που δε ενθυλακώνονται άμεσα για δοκιμή πρέπει να προστατεύονται με υδατοστεγή περιβλήματα, να χαρακτηρίζονται και να συσκευάζονται ώστε να αποφεύγεται η καταστροφή τους κατά τη μεταφορά στο εργαστήριο. Τα εύθρυπτα δείγματα απαιτούν ειδική μεταχείριση, όπως π.χ. συσκευασία με αφρό πολυουρεθάνης.

(γ) Η προστατευτική συσκευασία εκτός από το μεταλλικό σύρμα αφαιρείται και το τέμαχος στηρίζεται στον ένα από τους δύο φορείς του δείγματος ώστε το επίπεδο της δοκιμής να έχει σωστή θέση και προσανατολισμό. Περιχύνεται το υλικό ενθυλάκωσης και μετά τη σκλήρυνση του το άλλο μισό του δείγματος ενθυλακώνεται με παρόμοιο τρόπο. Μία ζώνη τουλάχιστο 5 mm εκατέρωθεν του επιπέδου διάτμησης πρέπει να μένει ελεύθερη.

Στερεοποίηση

(α) Η φάση στερεοποίησης επιτρέπει την αποτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων του πετρώματος και του τυχόν υλικού πλήρωσης στην περιοχή πλησίον του επιπέδου διάτμησης υπό πλήρη ορθή φόρτιση πριν την έναρξη της διάτμησης. Η συμπεριφορά του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης μπορεί επίσης να επιβάλλει ένα επιτρεπτό όριο στο ρυθμό της διάτμησης.

(β) Μετά την τοποθέτηση του δείγματος στο διατμητικό κιβώτιο ελέγχονται όλοι οι μετρητές και εφαρμόζεται ένα δοκιμαστικό φορτίο καταγράφοντας τις αναγνώσεις των φορτίων και των μετατοπίσεων.

(γ) Το ορθό φορτίο ανυψώνεται στην πλήρη προκαθορισμένη τιμή για τη δοκιμή, καταγράφοντας της ορθές μετατοπίσεις (στερεοποίηση) του δοκιμίου συναρτήσει του χρόνου και του εφαρμοζόμενου φορτίου.

(δ) Η φάση της στερεοποίησης θεωρείται ότι ολοκληρώνεται όταν ο ρυθμός μεταβολής της ορθής μετατόπισης είναι μικρότερος από 0.05 mm σε διάστημα 10 min. Η διατμητική φόρτιση μπορεί τότε να εφαρμοσθεί.

Διάτμηση:

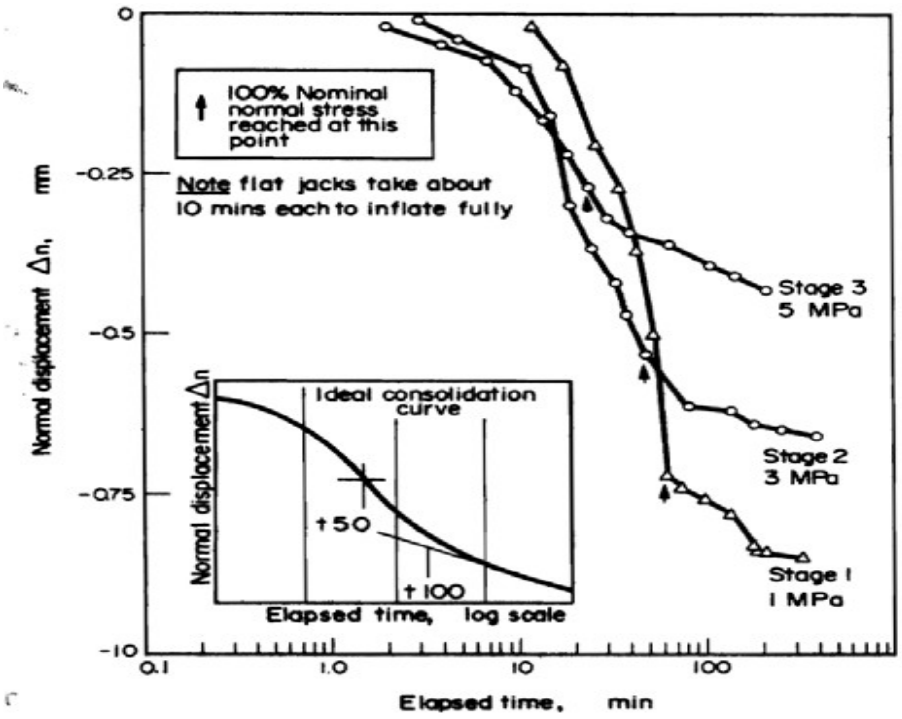
(α) Σκοπός της διάτμησης είναι ο καθορισμός της μέγιστης και παραμένουσας άμεσης διατμητικής αντοχής του επιπέδου της δοκιμής.

(β) Η διατμητική δύναμη μπορεί να εφαρμόζεται επαυξητικά, συνήθως όμως εφαρμόζεται συνεχώς με τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχεται ο ρυθμός της διατμητικής μετατόπισης.

(γ) Κατά προσέγγιση 10 σειρές αναγνώσεων θα πρέπει να λαμβάνονται πριν από την επίτευξη της μέγιστης αντοχής. Ο ρυθμός διατμητικής μετατόπισης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0.1 mm/min σε ένα διάστημα 10 min πριν από τη λήψη μίας σειράς αναγνώσεων. Ο ρυθμός αυτός μπορεί να αυξάνεται μέχρι 0.5 mm/min μεταξύ των αναγνώσεων εφόσον εξασφαλίζεται ότι μπορεί να καταγραφή επαρκώς η μέγιστη αντοχή. Για δοκιμές υπό

στραγγιζόμενες συνθήκες και ειδικότερα όταν δοκιμάζονται ασυνέχειες με αργιλικό υλικό πλήρωσης, ο συνολικός χρόνος για την επίτευξη της μέγιστης αντοχής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 6t100 όπως προσδιορίζεται από την καμπύλη στερεοποίησης. Εάν είναι απαραίτητο ο ρυθμός της διάτμησης θα πρέπει να μειώνεται ή ο χρόνος μεταξύ των βημάτων αύξησης της διατμητικής δύναμης να παρατείνεται ώστε να ικανοποιηθεί η προηγούμενη απαίτηση.

(δ) Μετά την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, οι αναγνώσεις να πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε αύξηση της διατμητικής μετατόπισης κατά 0.5 έως 5 mm, όπως απαιτείται για τον επαρκή καθορισμό των διαγραμμάτων δύναμης-μετατόπισης. Ο ρυθμός της διατμητικής μετατόπισης θα πρέπει να είναι μεταξύ 0.02-0.2 mm/min στο χρονικό διάστημα των 10 min πριν από την λήψη μιας σειράς αναγνώσεων και μπορεί να αυξηθεί μέχρι 1 mm/min μεταξύ των αναγνώσεων.




**Σχήμα 16**. Καμπύλες στερεοποίησης

(ε) Είναι δυνατόν να καθορισθεί η τιμή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής όταν το δείγμα υποβάλλεται σε διάτμηση υπό σταθερή ορθή δύναμη και τουλάχιστο τέσσερεις σειρές αναγνώσεων δείχνουν μεταβολή της διατμητικής τάσης μικρότερη από 5 % για διατμητική μετατόπιση 1 cm.

(στ) Έχοντας καθορίσει μία τιμή για την παραμένουσα διατμητική αντοχή η ορθή τάση μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί και η διάτμηση να συνεχισθεί για την λήψη επιπλέον τιμών παραμένουσας διατμητικής αντοχής. Το δείγμα πρέπει να στερεοποιείται ύστερα από την

εφαρμογή κάθε νέας ορθής τάσης και η διάτμηση να συνεχίζεται σύμφωνα με την παράγρ. 7 (γ) έως (ε).

(ζ) Ύστερα από την ολοκλήρωση της δοκιμής το επίπεδο διάτμησης θα πρέπει να περιγράφεται πλήρως. Το εμβαδό της επιφάνειας διάτμησης μετρείται και λαμβάνονται τυχόν απαιτούμενες φωτογραφίες. Δείγματα του πετρώματος του υλικού πλήρωσης και θραύσματα λόγω της διάτμησης θα πρέπει να λαμβάνονται για δοκιμές κατάταξης.

**Υπολογισμοί**

**(**α) Μία καμπύλη στερεοποίησης σχεδιάζεται κατά τη διάρκεια της φάσης στερεοποίησης. Ο χρόνος t100 για την ολοκλήρωση της "αρχικής στερεοποίησης" προσδιορίζεται φέροντας τις εφαπτόμενες στην καμπύλη. Το χρονικό διάστημα από την έναρξη της διάτμησης μέχρι την επίτευξη της μέγιστης αντοχής πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 6t100 ώστε να είναι δυνατή η αποτόνωση της πίεσης πόρων.

(β) Υπολογίζονται οι μέσες τιμές των διατμητικών και ορθών μετατοπίσεων Δs και Δn. Οι πλευρικές μετατοπίσεις καταγράφονται μόνο για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, παρόλο που εάν είναι σημαντικές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της επιφάνειας επαφής.

(γ) Η διατμητική και η ορθή τάση υπολογίζονται ως ακολούθως:

ορθή τάση : $\sigma_{\pi=\frac{P_n}{A}}$

διατμητική τάση : $\tau = \frac{P_S}{A}$

όπου Ps η ολική διατμητική δύναμη, Pn η ολική ορθή δύναμη, A το εμβαδό της επιφάνειας του επιπέδου διάτμησης σε επαφή (διορθωμένο ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διατμητική μετατόπιση)

(δ) Για κάθε δοκίμιο σχεδιάζονται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης (ή διατμητικής δύναμης) και ορθής μετατόπισης συναρτήσει της διατμητικής μετατόπισης με σημειωμένη την ονομαστική ορθή τάση και τυχόν μεταβολές αυτής κατά τη διάτμηση. Οι τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής και η αντίστοιχη ορθή τάση, διατμητική μετατόπιση και ορθή μετατόπιση λαμβάνονται από τα διαγράμματα αυτά.

(ε) διαγράμματα της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης σχεδιάζονται συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από όλα τα δείγματα. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής φa, φb, φr, c' και c εξάγονται από αυτά τα διαγράμματα.

**Έκθεση των αποτελεσμάτων**

Η έκθεση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

(α) Ένα διάγραμμα και περιγραφή του εξοπλισμού της δοκιμής και μία περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη, τη συσκευασία, τη μεταφορά, την αποθήκευση, την προσαρμογή στη συσκευή και την δοκιμή των δειγμάτων. (Μπορεί να γίνει αναφορά στην προτεινόμενη μέθοδο της ISRM παραθέτοντας μόνο τις διαφοροποιήσεις από τις προδιαγεγραμμένες τεχνικές).

(β) Για κάθε δείγμα μία πλήρης γεωλογική περιγραφή του άρρηκτου πετρώματος, της διατμημένης επιφάνειας, του υλικού πλήρωσης και των θραυσμάτων της διάτμησης κατά προτίμηση συνοδευόμενα από δεδομένα σχετικών δοκιμών κατάταξης (π.χ. προφίλ τραχύτητας, όρια Atterberg, περιεκτικότητα σε υγρασία και κατανομή μεγέθους κόκκων των υλικών πλήρωσης)

(γ) Διαγράμματα και κατά προτίμηση φωτογραφίες που να δείχνουν την θέση δειγματοληψίας, την κλίση και τη διεύθυνση κλίση του επιπέδου της δοκιμής, καθώς επίσης τις διαστάσεις και οποιαδήποτε χαρακτηριστικό γνώρισμα των δειγμάτων

(δ) Για κάθε δείγμα μία σειρά από πίνακες δεδομένων, ένα διάγραμμα στερεοποίησης και διαγράμματα διατμητικής τάσης και ορθής μετατόπισης συναρτήσει της διατμητικής μετατόπισης. Οι εξαγόμενες τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής θα πρέπει να πινακοποιούνται με τις αντίστοιχες τιμές της ορθής τάσης, της διατμητικής μετατόπισης και της ορθής μετατόπισης.

(ε) Για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής συνολικά, τα διαγράμματα και οι πινακοποιημένες τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης, μαζί με τις εξαγόμενες τιμές για τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής.

## 2.2 ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

### Σκοπός

Η μέθοδος αυτή έχει σαν σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριαξονική θλίψη δοκιμίων πετρωμάτων ορθού κυλινδρικού σχήματος. Η δοκιμή αυτή δίνει επίσης τα απαραίτητα στοιχεία για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής φ και της «φαινόμενης» συνοχής c των δοκιμίων. Οι τιμές της αντοχής όπως προσδιορίζονται με την παραπάνω μέθοδο δίνονται σε τιμές ολικών τάσεων, γιατί δεν προβλέπεται η μέτρηση της πιέσεως πόρων.

### Εργαστηριακός εξοπλισμός

(α) Συσκευή φορτίσεως: Αυτή πρέπει να είναι κατάλληλα εξοπλισμένη για την εφαρμογή, τον έλεγχο και τη μέτρηση του αξονικού φορτίου που εφαρμόζεται στο δοκίμιο. Πρέπει επίσης να έχει επαρκή ικανότητα για την εφαρμογή του απαιτούμενου φορτίου με ταχύτητα εφαρμογής αυτού όπως αναφέρεται παρακάτω.

(β) Συσκευή εφαρμογής και μετρήσεως πλευρικής πιέσεως:

Αυτή πρέπει να περιλαμβάνει:

1. μια υδραυλική αντλία ή άλλο κατάλληλο σύστημα με επαρκή ικανότητα για την επιβολή σταθερής πλευρικής πιέσεως και τη διατήρηση αυτής με απόκλιση όχι μεγαλύτερη του 2% της επιθυμητής τιμής και
2. ένα κατάλληλο μηχανισμό για τη μέτρηση της πλευρικής πιέσεως.

(γ) Τριαξονικό κελί: Στη συσκευή αυτή τοποθετούνται τα δοκίμια αφού πρώτα περιβληθούν με μια αδιαπέραστη εύκαμπτη μεμβράνη. Το κελί πρέπει να είναι εξοπλισμένο με δύο χαλύβδινες πλάκες με σφαιρικές εδράσεις που προσαρμόζονται στις άκρες του δοκιμίου και που έχουν σκληρότητα κατά Rockwell όχι μικρότερη από HRC 58. Οι πλάκες αυτές πρέπει να έχουν πάχος μεγαλύτερο από 15 mm και οι επιφάνειες τους δεν θα πρέπει να αποκλίνουν του επιπέδου περισσότερο από 0,005 mm.Το τριαξονικό κελί πρέπει να έχει ένα κύλινδρο υψηλής πιέσεως, με κατάλληλες εισόδους για την πλήρωση του με το υδραυλικό υγρό, καθώς επίσης και μια βαλβίδα διαφυγής του αέρα.

### Προετοιμασία δοκιμίων

Τα δοκίμια πρέπει να είναι ορθού κυλινδρικού σχήματος με λόγο ύψους προς διάμετρο (L/D) 2,0 έως 3,0 και διάμετρο μεγαλύτερη από 54 mm. Οπωσδήποτε η διάμετρος του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 10πλάσια του μεγέθους του μεγαλύτερου κόκκου των ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή του πετρώματος. Τα άκρα του δοκιμίου πρέπει να είναι λεία και

επίπεδα με μέγιστη απόκλιση 0,02 mm και να κόβονται παράλληλα μεταξύ τους ώστε να μην αποκλίνουν από την κάθετο προς τον άξονα του δοκιμίου περισσότερο από 0,001 rad. Οι πλευρές του δοκιμίου πρέπει να είναι λείες και απαλλαγμένες από απότομες ανωμαλίες με μέγιστη απόκλιση από την ευθεία για όλο το μήκος του δοκιμίου 0,3 mm. Η διάμετρος πρέπει να μετράται με ακρίβεια 0,1 mm με τη λήψη του μέσου όρου δύο μετρήσεων της διαμέτρου σε ορθή γωνία μεταξύ, τους στο μέσον του δοκιμίου, καθώς και στο άνω και κάτω άκρο αυτού. Ο μέσος όρος των έξι αυτών μετρήσεων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου. Το ύψος του δοκιμίου μετράται με ακρίβεια 1,0 mm. Οι συνθήκες υγρασίας του δοκιμίου θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές επί τόπου συνθήκες. Είναι δυνατόν όμως οι συνθήκες υγρασίας να είναι διαφορετικές ή τα δοκίμια να είναι σε ξηρά κατάσταση, οπότε οι συνθήκες αυτές της δοκιμής θα πρέπει να αναφέρονται στο δελτίο αποτελεσμάτων. Τα δοκίμια που εξετάζονται σε ξηρά κατάσταση πρέπει να τοποθετούνται σε φούρνο θερμοκρασίας 105 + 5°C για 24 ώρες. Ο αριθμός των δοκιμίων και των τιμών της πλευρικής πιέσεως εξαρτάται από τον σκοπό για τον οποίο γίνονται οι δοκιμές. Συνιστάται πάντως τα δοκίμια να είναι περισσότερα από πέντε για κάθε δείγμα πετρώματος.

**Εκτέλεση δοκιμής**

Αφού καθαριστούν τα άκρα του δοκιμίου και οι επιφάνειες των χαλύβδινων πλακών τοποθετείται εύκαμπτη μεμβράνη στο δοκίμιο και συναρμολογείται το κελί με την τοποθέτηση του δοκιμίου μεταξύ των πλακών. Γεμίζεται το κελί με το υδραυλικό υγρό και αφήνεται να διαφύγει ο αέρας από την βαλβίδα εξαγωγής. Κλείνεται η βαλβίδα και εξασκείται μια μικρή πλευρική πίεση για να συγκρατήσει το σύστημα των πλακών και του δοκιμίου στη θέση του. Τοποθετείται το τριαξονικό κελί στο διάστημα μεταξύ των πλακών της μηχανής φορτίσεως και εξασκείται ένα μικρό αξονικό φορτίο ενώ γίνεται προσπάθεια ευθυγραμμίσεως του κελιού με τον άξονα φορτίσεως.

Αυξάνεται προοδευτικά και ομοιόμορφα το αξονικό φορτίο και η πλευρική πίεση ώστε η αξονική και πλευρική πίεση να γίνουν ίσες με την επιθυμητή πλευρική πίεση. Στη συνέχεια αυξάνεται συνεχώς και βαθμιαία το αξονικό φορτίο ενώ η πλευρική πίεση διατηρείται σταθερή με απόκλιση από την επιθυμητή τιμή μικρότερη του 2%. Η ταχύτητα φορτίσεως πρέπει να είναι τέτοια ώστε η θραύση του δοκιμίου να επέλθει μέσα σε 5 - 15 min από την αρχή της φορτίσεως ή η τιμή της να κυμαίνεται από 0,5 - 1,0 MPa/sec. Η τιμή της πλευρικής πιέσεως και του αξονικού φορτίου θραύσεως αναγράφονται στο δελτίο της δοκιμής.

**Υπολογισμοί**

Η αντοχή του δοκιμίου σε τριαξονική θλίψη υπολογίζεται δια διαιρέσεως του μεγίστου φορτίου που επιβλήθηκε στο δοκίμιο με. το εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής σύμφωνα με τον τύπο:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

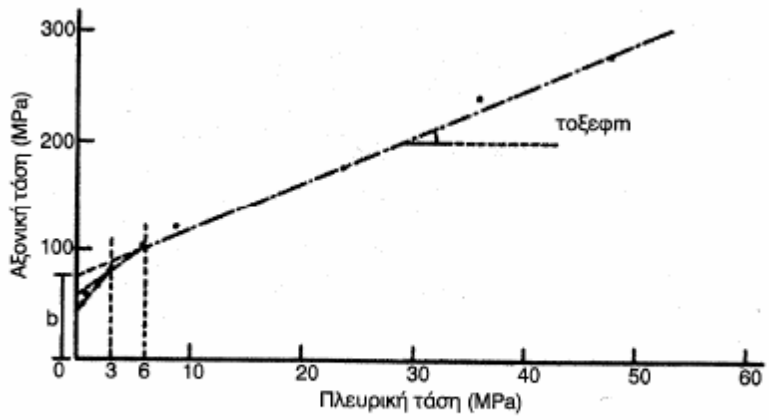
Όπου:

$\sigma_1$: αντοχή σε τριαξονική θλίψη του δοκιμίου σε Pa (ή kPa ή MPa).

P: μέγιστο αξονικό φορτίο σε N (ή KN ή MN).

A: εμβαδόν της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου σε $m^2$.

Οι πλευρικές πιέσεις $\sigma_3$ και οι αντίστοιχες αντοχές για διαφορετικά δοκίμια του ίδιου δείγματος σημειώνονται σε σύστημα ορθογωνίων αξόνων όπως στο σχ. 17




**Σχήμα 17.** Περιβάλλουσα αντοχής σε τριαξονική θλίψη (ISRM, 1981)

Τα σημεία αυτά συνδέονται με ευθύγραμμα τμήματα που κάθε ένα από αυτά χαρακτηρίζεται από την εφαπτομένη της γωνίας κλίσεως αυτού m και την τιμή b που ορίζει η τομή του ευθύγραμμου τμήματος με τον άξονα της αξονικής τάσης.

Για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής φ και της «φαινόμενης» συνοχής c χρησιμοποιούνται οι σχέσεις:

$$\phi = \sin^{-1}\frac{(m-1)}{(m+1)} \qquad c = b\frac{(1-\sin\phi)}{(2*\cos\phi)}$$

Όπου m και b υπολογίζονται αντίστοιχα:

$$m = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_3}$$

$$b = \sigma_1 \quad \text{για } \sigma_3 = 0$$

Για κάθε ευθύγραμμο τμήμα, που αντιστοιχεί σε ένα ορισμένο πεδίο τιμών της πλευρικής πιέσεως, αντιστοιχούν χαρακτηριστικές τιμές της γωνίας εσωτερικής τριβής και της «φαινόμενης» συνοχής.

**Δελτίο αποτελεσμάτων**

Στο δελτίο αποτελεσμάτων περιλαμβάνονται τα εξής:

(α) Η πετρογραφική περιγραφή του δείγματος.

(β) Η προέλευση του δείγματος (γεωγραφική θέση, βάθος και μέθοδος λήψεως, ημερομηνία και συνθήκες διατηρήσεως).

(γ) Η ημερομηνία της δοκιμής και η περιγραφή του εργαστηριακού εξοπλισμού.

(δ) Η ταχύτητα θραύσεως του δοκιμίου και ο χρόνος δοκιμής.

(ε) Η φυσική υγρασία, ο βαθμός κορεσμού του δοκιμίου και κάθε άλλο διαθέσιμο στοιχείο για τη φυσική κατάσταση αυτού (ειδικό βάρος, πορώδες, κ.λπ.) καθώς και ο τύπος θραύσεως αυτού.

(στ) Ο προσανατολισμός των επιφανειών ασυνέχειας (σχιστότητα, στρώση, κ.λπ.) ως προς τον άξονα φορτίσεως.

(ζ) Ένας πίνακας με το αριθμό του δοκιμίου, το ύψος αυτού, τη διάμετρο, την πλευρική πίεση και την αντίστοιχη αντοχή.

(η) Το διάγραμμα αξονικών τάσεων - πλευρικών πιέσεων όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο.

(θ) Ένας πίνακας με τις τιμές φ και c καθώς και το πεδίο τιμών της πλευρικής πιέσεως, για το οποίο ισχύουν οι τιμές αυτές.

(ι) Κάθε απόκλιση από την μέθοδο της δοκιμής όπως έχει περιγραφεί.

## 2.3 ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Η δοκιμή, εκτελούμενη σε δοκίμια από πυρήνες γεωτρήσεων, είναι η συνηθέστερα εκτελούμενη εργαστηριακή δοκιμή. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σc, και των ελαστικών σταθερών Ε και ν του άρρηκτου πετρώματος. Για παρόμοια ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος, η σc μειώνεται με το πορώδες, το βαθμό αποσάθρωσης, τις μικρορωγματώσεις, και την περιεκτικότητα σε νερό. Γι αυτό η αντοχή δοκιμίων με την ίδια γεωλογική ονομασία δύναται να διαφέρει σημαντικά. Για παράδειγμα, η αντοχή του ψαμμίτη διαφέρει με το μέγεθος των κόκκων, την πυκνότητα, τη φύση και έκταση συγκόλλησης των κόκκων, και το βαθμό συμπίεσης και θερμοκρασίας που το πέτρωμα υπέστη μέχρι σήμερα. Εν τούτοις η γεωλογική ονομασία δίνει χρήσιμα στοιχεία όπως για παράδειγμα ένας σχιστόλιθος αναμένεται να παρουσιάζει σχιστότητα και ένας χαλαζίτης θα είναι γενικά ένα σκληρό ψαθυρό υλικό. Παρακάτω δίνονται κάποιοι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της μηχανικής απόκρισης των πετρωμάτων. Αντοχή ή μέγιστη αντοχή, είναι η μέγιστη τάση που το πέτρωμα δύναται να αναλάβει για δεδομένες συνθήκες. Μετά την επίτευξη της μέγιστης τιμής το δοκίμιο μπορεί να εξακολουθεί να αναλαμβάνει κάποιο φορτίο. Η παραμένουσα αντοχή, όταν επιτυγχάνεται, συμβαίνει μετά από σημαντική παραμόρφωση. Ψαθυρή θραύση είναι η διαδικασία κατά την οποία συμβαίνει ξαφνική απώλεια αντοχής με ελάχιστη ή μηδενική πλαστική παραμόρφωση. Όλκιμη παραμόρφωση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το πέτρωμα συνεχίζει να παραμορφώνεται χωρίς να χάνει τη φέρουσα ικανότητά του. Διαρροή ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία η καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων αποκλίνει από την ελαστική συμπεριφορά. Η τάση διαρροής αντιστοιχεί στην έναρξη της διαρροής. Αστοχία είναι ένας γενικότερος όρος που άλλες φορές ταυτίζεται με την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, άλλες φορές με την αδυναμία ανάληψης των δρώντων φορτίων, άλλοτε με υπερβολικές παραμορφώσεις, κ.α.

### ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

Προτεινόμενες τεχνικές για τον καθορισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου πετρώματος δίνονται από την Επιτροπή προτυποποίησης εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών της Διεθνούς Ένωσης Βραχομηχανικής (ISRM, 1979). Βασικά χαρακτηριστικά της συνιστώμενης διαδικασίας είναι:

(α) Τα δοκίμια έχουν κυλινδρική μορφή (Σχήμα 16)με λόγο = D Η 2.5 έως 3 όπου Η το ύψος και D η διάμετρος του δοκιμίου.

(β) Η διάμετρος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 54 mm (NX μέγεθος πυρήνα) και πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από το μέγιστο μέγεθος κόκκου του υπό δοκιμή πετρώματος.

(γ) Οι βάσεις των δοκιμίων πρέπει να είναι επίπεδες με ανοχή 0.02 mm, και κάθετες στον διαμήκη άξονα συμμετρίας του δοκιμίου με απόκλιση όχι περισσότερο από 0.001 rad ή 0.05mm στα 50mm.

(δ) Η πλευρική επιφάνεια πρέπει να είναι λεία, με ανοχή όχι περισσότερο από 0.3 mm.

(ε) Τα δοκίμια πρέπει να έχουν ληφθεί πριν από 30 ημέρες το πολύ από το μητρικό πέτρωμα, έτσι ώστε να διατηρούν, κατά το δυνατόν, τη φυσική τους υγρασία.

(στ) Το φορτίο θα εφαρμόζεται στο δοκίμιο με σταθερό ρυθμό 0.5÷1 MPa/s.

(ζ) Αξονικό φορτίο και ακτινικές ή διαμετρικές παραμορφώσεις θα καταγράφονται καθ΄ όλη τη διάρκεια της δοκιμής.

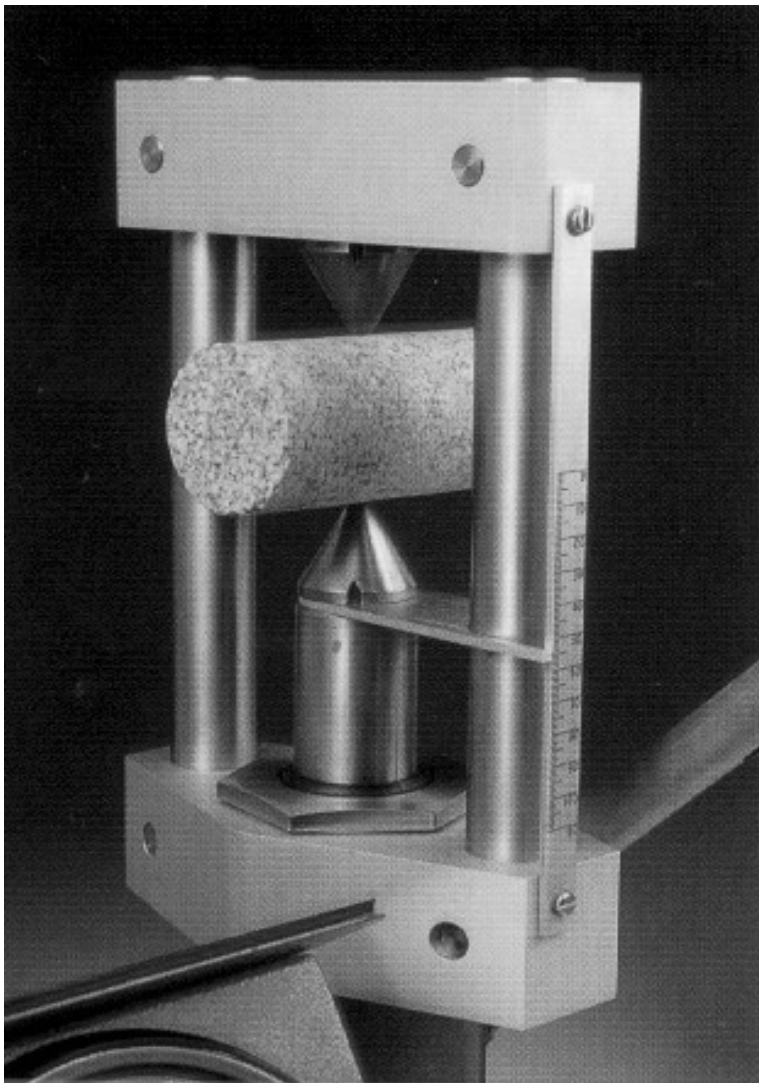
(η) Θα πρέπει να εκτελούνται τουλάχιστον πέντε δοκιμές.

## 2.4 ΔΟΚΙΜΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

### 2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντοχής δοκιμίων πετρωμάτων τόσο στο ύπαιθρο όσο και στο εργαστήριο. Από τη δοκιμή λαμβάνεται ο Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση Is(50), ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη των πετρωμάτων από πλευράς αντοχής αλλά και για την έμμεση εκτίμηση χονδρικά της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και μονοαξονικό εφελκυσμό. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής σε διαφόρων διαστάσεων δοκίμια πετρώματος μπορεί επίσης να μελετηθεί και η επίδραση του όγκου του δοκιμίου στην αντοχή του.

Η δοκιμή σημειακής φορτίσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κυλινδρικά δοκίμια αξονικά ή αντιδιαμετρικά, καθώς και σε ορθογωνικά ή ακανόνιστης μορφής δοκίμια.



**Σχήμα 18.** Συσκευή σημειακής φόρτισης

Με τη φόρτιση του δοκιμίου μεταξύ των ακμών φόρτισης το δοκίμιο θραύεται σε εφελκυσμό κατ' αναλογία με τη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης. Το φορτίο επομένως στο οποίο θραύεται το δοκίμιο συναρτάται άμεσα με την αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό και έμμεσα με την αντοχή του σε θλίψη. Ο μη διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση (Uncorrected Point Load Strength Index) Is υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_S = \frac{P}{D_e 2}$$

(Εξίσωση 1)

όπου:

P το φορτίο τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου

De η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$De^2=D^2$ για την περίπτωση διαμετρικής δοκιμής

$=4A/\pi$ για την περίπτωση αξονικής δοκιμής και δοκιμής ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου, όπου A=WxD η επιφάνεια του επιπέδου που διέρχεται από τα σημεία φόρτισης.

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορες διαμέτρους απαιτείται διόρθωση του ως ανωτέρω υπολογιζόμενου δείκτη Is, ο οποίος είναι συνάρτηση της ισοδύναμης διαμέτρου De του δοκιμίου. Ο διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση Is(50) (size-corrected Point Load Strength Index) ορίζεται ως η τιμή του Is όταν πραγματοποιείται διαμετρική δοκιμή με D = 50 mm.

Η καλύτερη μέθοδος για τον υπολογισμό του Is(50) είναι η πραγματοποίηση διαμετρικής δοκιμής με διάμετρο D να πλησιάζει τα 50 mm, ώστε είτε να μην απαιτείται διόρθωση ή αυτή να εισάγει ελάχιστο σφάλμα (π.χ. στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δοκίμια διαμέτρου NX, D=54.7 mm).

Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την πραγματοποίηση της διόρθωσης είναι η εκτέλεση μίας σειράς δοκιμών με διάφορες διαμέτρους D ή De και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε σύστημα αξόνων (P, $De^2$). Εάν χρησιμοποιηθούν λογαριθμικές κλίμακες αξόνων η σχέση P- $De^2$ είναι μία ευθεία από την οποία μπορεί να προσδιορισθεί γραφικά η τιμή P50, η οποία αντιστοιχεί σε $De^2$=2500 mm2 (De=50mm). Ο δείκτης $I_{s(50)}$ υπολογίζεται τότε από τη σχέση:

$$I_{S(50)} = \frac{P_{50}}{50^2}$$

(Εξίσωση 2)

Όταν τα παραπάνω δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, τότε η διόρθωση μεγέθους μπορεί να γίνει με τη σχέση:

$$I_{S(50)} = F*I_8$$

(Εξίσωση 3)

όπου F ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους (Size Correction Factor, F), ο οποίος λαμβάνεται από τη σχέση:

$F=(De/50)^{0.45}$ (Εξίσωση 4)

Όταν η ισοδύναμη διάμετρος De πλησιάζει τα 50 mm, τότε για τον υπολογισμό του F μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση:

$F=\sqrt{(De/50)}$

(Εξίσωση 5)

Σύμφωνα με τις οδηγίες της I.S.R.M. η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από τη ύπαρξη ανισοτροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φορτίσεως σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος. Ο Πίνακας 1 δίνει τον χαρακτηρισμό της αντοχής του πετρώματος με βάση την τιμή του δείκτη.

**Πίνακας 3.** Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης Is(50) σε MPa (Bieniawski, 1975).

| Περιγραφή | Δείκτης σημειακής φόρτισης Is(50) (MPa) |
|---|---|
| Πολύ υψηλής αντοχής | >8 |
| Υψηλής αντοχής | 4-8 |
| Μέσης αντοχής | 2-4 |
| Χαμηλής αντοχής | 1-2 |
| Πολύ χαμηλής αντοχής | Δεν συνίσταται η δοκιμή (<1) |

Ο Δείκτης Ανισοτροπίας της Αντοχής σε σημειακή φόρτιση $I_{a(50)}$ (Strength Anisotropy Index) ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη $I_{s(50)}$ για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος ως προς τον δείκτη $I_{s(50)}$ για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του

πετρώματος. Ο δείκτης $I_{a(50)}$ λαμβάνει τιμές κοντά στο 1.0 για την περίπτωση σχετικά ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

Σύμφωνα με τους Broch and Franklin (1972) ο μέσος όρος του δείκτη $I_{s(50)}$, που έχει προκύψει ύστερα από την εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών, σε κυλινδρικής μορφής δοκίμια σε διαμετρική δοκιμή, μπορεί να συσχετισθεί με τη μονοαξονική αντοχή πετρώματος σε θλίψη του πετρώματος. Για δοκίμια με D=50 mm, βρέθηκε ότι:

$$\sigma_c \approx 24 \cdot I_s$$

(Εξίσωση 6)

Για άλλες τιμές της διαμέτρου D απαιτείται μια σχετική διόρθωση. Ο Bieniawski (1975) προτείνει την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση μεταξύ των , και τη διάμετρο D (mm) του πυρήνα:

$$\sigma_c \approx (14+0.175 \cdot D) \cdot I_s$$

(Εξίσωση 7)

### 2.4.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

Η ISRM (1985) δίνει οδηγίες για την εκτέλεση τεσσάρων τύπων δοκιμής :

(α) Διαμετρική δοκιμή, (β) Αξονική δοκιμή, (γ) Δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου

και (δ) Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου.

Η διαμετρική δοκιμή, πραγματοποιείται με αντιδιαμετρική φόρτιση ενός τεμαχίου πυρήνα μέχρι θραύσης με ένα ζεύγος χαλύβδινων ακμών. Κατάλληλα δοκίμια για την εκτέλεση της δοκιμής θεωρούνται αυτά με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με τη διάμετρο του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια ±2%. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec. Η δύναμη P στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης.

Η Δοκιμή Ορθογωνικού και Ακανόνιστου Δοκιμίου (Block Test and Irregular Lump Test) πραγματοποιείται σε δοκίμια ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής που πρέπει να έχουν μέγεθος 50±35 mm. Ο λόγος D/W πρέπει να είναι μεταξύ 0.3 και 1.0 και προτιμάται να πλησιάζει το 1.0. Η απόσταση L πρέπει να είναι τουλάχιστο 0,5W. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια ±2 %. Το μικρότερο πλάτος του δοκιμίου W κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια ±5 %. Εάν οι πλευρές του

δοκιμίου δεν είναι παράλληλες τότε το W υπολογίζεται ως W=(W1 + W2) / 2. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10÷60 sec. Η δύναμη P στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης.

## 2.5 ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ( ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΗ ΔΟΚΙΜΗ)

### 2.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για την έμμεση μέτρηση της αντοχής του πετρώματος σε εφελκυσμό. Στη δοκιμή αυτή δοκίμιο μορφής δίσκου υποβάλλεται σε αντιδιαμετρική θλίψη μέχρι θραύσης. Υπό τις συνθήκες αυτές φόρτισης το δοκίμιο αστοχεί κατά τη διάμετρο φόρτισης σε εφελκυσμό και η εφελκυστική τάση, που προκαλεί την αστοχία αυτή, θεωρείται ότι είναι ίση με την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό.
Η δοκιμή βασίζεται στο γεγονός, ότι τα περισσότερα πετρώματα, όταν βρεθούν σε διαξονικό εντατικό πεδίο αστοχούν σε εφελκυσμό, όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση θλιπτική και εφ' όσον το μέγεθος της τελευταίας δεν υπερβαίνει το τριπλάσιο της κύριας εφελκυστικής τάσης.

Στην περίπτωση δίσκου από ομοιογενές, ισότροπο και γραμμικώς ελαστικό υλικό, ο οποίος φορτίζεται ομοιόμορφα αντιδιαμετρικά, είναι δυνατό, με βάση τη θεωρία της ελαστικότητας, να υπολογισθούν οι τάσεις εφελκυσμού $\sigma_\vartheta$ και θλίψεως , κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως Y-Y'.
Η μεταβολή των τάσεων αυτών κατά μήκος της Y-Y' για την περίπτωση όπου $\theta=\tan^{-1}(1/12) \Rightarrow 2\theta=9{,}50^{o}$. Από αυτήν προκύπτει ότι η τάση $\sigma_\theta$, με εξαίρεση τις αντιδιαμετρικές περιοχές φορτίσεως είναι εφελκυστική στο μεγαλύτερο τμήμα της διαμέτρου Y-Y' και ταυτόχρονα σταθερή.

Η εφελκυστική αυτή τάση δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = -\frac{P}{\pi * R * t} * \left(\frac{\sin 2\theta}{\theta} - 1\right)$$

(1)

όπου: P = επιβαλλόμενη δύναμη τη στιγμή της αστοχίας.

R = ακτίνα του μορφής δίσκου δοκιμίου.

t = πάχος του μορφής δίσκου δοκιμίου.

2θ = τόξο γωνίας στο οποίο δρα ομοιόμορφα η δύναμη P επί του δοκιμίου.

Η παραπάνω σχέση, για μικρές γωνίες 2θ, δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από τη σχέση:

$$\sigma_\theta = -\frac{2P}{\pi * D * t}$$

(2)

όπου D=2R=διάμετρος του δοκιμίου.

Οι σχέσεις (1) και (2) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε εφελκυσμό του πετρώματος, υπό την προϋπόθεση ότι κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρείται έναρξη αστοχίας του δοκιμίου κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως.

### 2.5.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ISRM (1978), η δοκιμή πραγματοποιείται σε δοκίμια πετρώματος μορφής δίσκου. Βάση αυτής, τα δοκίμια πρέπει να αποκόπτονται και να προετοιμάζονται με χρήση καθαρού νερού. Οι κυλινδρικές επιφάνειες θα πρέπει να είναι ελεύθερες από εμφανή σημεία των εργαλείων και οι όποιες ανωμαλίες τους δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 0.025 mm. Ο προσανατολισμός του δοκιμίου θα πρέπει να είναι γνωστός, ενώ η διάμετρος του δεν πρέπει να είναι μικρότερη από NX (54,7 mm), και το πάχος του ίσο με την ακτίνα του. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι συνεχής και να πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό. Προτεινόμενος ρυθμός φόρτισης είναι 200 N/s (20 kgf/s).

Το δοκίμιο φορτίζεται μέχρι τη στιγμή της αστοχίας του. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην μέτρηση του φορτίου αστοχίας, καθόσον υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δοκίμιο εξακολουθεί να αναλαμβάνει αυξημένα φορτία ακόμη και ύστερα από την αστοχία του. Σημειώνεται ότι κατά την αρχική αστοχία του δοκιμίου παρατηρείται μια μικρής διάρκειας παύση στην κίνηση του σχετικού δείκτη. Παρά ταύτα, η διαφορά μεταξύ του φορτίου αρχικής θραύσεως και του τελικού φορτίου, που δύναται να αναλάβει το δοκίμιο είναι το πολύ 5 %.

Ο αριθμός των απαιτούμενων δοκιμίων ανά δείγμα καθορίζεται από τη διαθέσιμη ποσότητα δείγματος. Η ISRM προτείνει 10 δοκιμές ανά δείγμα.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής πετρώματος, που υπολογίζεται από τη δοκιμή Brazilian επηρεάζεται από τη γωνία 2θ, στο τόξο της οποίας εφαρμόζεται το θλιπτικό φορτίο, το λόγο πάχους προς διάμετρο του δοκιμίου (t/D), το πάχος του δοκιμίου και το ρυθμός φορτίσεως.

Η γωνία 2θ λαμβάνεται μεταξύ 10-140, ο λόγος t/D=0.5 και t=25-30 mm. Αύξηση του λόγου t/D οδηγεί σε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό του δοκιμίου, ενώ αύξηση του ρυθμού φορτίσεως δίνει γενικά αύξηση της αντοχής.

## 2.6. ΥΛΙΚΑ-ΜΕΘΟΔΟΣ

Στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας διεξήχθησαν δοκιμές διάτμησης ασυνεχειών, τριαξονικής θλίψης, μονοαξονικής θλίψης, σημειακής φόρτισης και αντιδιαμετρικής θλίψης σε υλικό προσομοίωσης από τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη. Οι αναλογίες βάρους των συστατικών του υλικού προσομοίωσης καθορίστηκαν ως εξής : μαρμαρόσκονη 2, λευκό τσιμέντο 1, νερό 0.5.

Συγκριμένα έγιναν:
Α) Δοκιμή διάτμησης: 6 δοκίμια, 6 διαφορετικές ορθές τάσεις το καθένα (από 0-1000 kPa) – Συνολικά 36 δοκιμές.
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ορθογωνικής διατομής με μέσες διαστάσεις 137x85 mm, και είχαν προκύψει από θραύση πρισματικών δοκών με διάρρηξη με εφελκυσμό.
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:
Μετρήσαμε τις διαστάσεις, το βάρος και την τραχύτητά τους σε τρείς διαφορετικές γραμμές κατά την έννοια του μήκους σε ίσες αποστάσεις από τα άκρα και μεταξύ τους, και στη συνέχεια τα φωτογραφήσαμε πριν και μετά τη δοκιμή. Τοποθετούσαμε το δοκίμιο μας μέσα σε μία κατάλληλη μήτρα συγκράτησης δοκιμίων για να μένει σταθερό κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Μετά το τοποθετούσαμε στη συσκευή διάτμησης και βάζαμε ένα μηκυνσιόμετρο για τη μέτρηση της οριζόντιας μετακίνησης και δυο μηκυνσιόμετρα για τη μέτρηση της κατακόρυφης μετακίνησης. Η διατμητική δύναμη καταγράφονταν με τη βοήθεια δυναμοδακτυλίου και μηκυνσιόμετρου. Όλες οι μετρήσεις καταγράφονταν με τη βοήθεια επεξεργαστή δεδομένων (MPX 3000) σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου παρακολουθούνταν η εξέλιξη της δοκιμής τόσο γραφικά όσο και αριθμητικά. Ο ρυθμός διατμητικής μετακίνησης ήταν σταθερός για όλες τις δοκιμές και ίσος με 1mm/min, ενώ ο η καταγραφή πραγματοποιούντα κάθε 2 s.

Β) Δοκιμή τριαξονικής θλίψης: 10 δοκίμια το καθένα σε διαφορετική τάση
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μορφής κυλινδρικής τα οποία αποσπάσαμε με διάτρηση στη συσκευή πυρηνοληψίας του Εργαστηρίου Γεωμηχανικής από τα ίδια δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της δοκιμής διάτμησης.
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:
Αρχικά τα δοκίμια μας τα τοποθετήσαμε στο φούρνο ούτως ώστε να πάρουμε το πραγματικό τους βάρος. Στη συνέχεια μετρήσαμε τις διαστάσεις τους και τα φωτογραφήσαμε πριν και μετά. Μετά τα τοποθετήσαμε στο τριαξονικό κελί και μετέπειτα στην υδραυλική πρέσα για να ξεκινήσουμε τις δοκιμές. Όλες οι μετρήσεις καταγράφονταν με τη βοήθεια επεξεργαστή δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου παρακολουθούνταν η εξέλιξη της δοκιμής τόσο γραφικά όσο και αριθμητικά. Ο ρυθμός διατμητικής μετακίνησης ήταν σταθερός για όλες τις δοκιμές

Γ) Δοκιμή Μονοαξονικής θλίψης: 1 δοκίμιο
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:
Αρχικά το δοκίμιο μας το τοποθετήσαμε στο φούρνο ούτως ώστε να πάρουμε το πραγματικό του βάρος. Στη συνέχεια μετρήσαμε τις διαστάσεις του και το φωτογραφήσαμε πριν και μετά. Μετά το τοποθετήσαμε στην υδραυλική πρέσα για να ξεκινήσουμε τη δοκιμή και να πάρουμε τα αποτελέσματά μας. Όλες οι μετρήσεις καταγράφονταν με τη βοήθεια επεξεργαστή δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου παρακολουθούνταν η εξέλιξη της δοκιμής τόσο γραφικά όσο και αριθμητικά. Ο ρυθμός διατμητικής μετακίνησης ήταν σταθερός για όλες τις δοκιμές

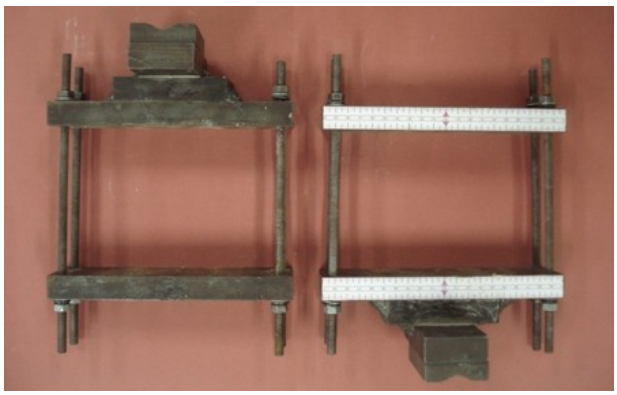
Δ) Δοκιμή Σημειακής φόρτισης: 5 δοκίμια σε τρία διαφορετικά σημεία
Τα δοκίμια είναι τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν στη δοκιμή άμεσης διάτμησης.
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:
Πήραμε τα δοκίμια και τα τοποθετήσαμε στη συσκευή σημειακής φόρτισης περίπου στο μέσο του κάθε δοκιμίου. Στη συνέχεια ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία για τα σπασμένα τμήματα του κάθε δοκιμίου.

Ε) Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης (Βραζιλιανή δοκιμή): 4 δοκίμια
Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μορφής κυλινδρικής τα οποία αποσπάσαμε από τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της τριαξονικής θλίψης, δηλαδή κόψαμε τα καρότα σε φέτες.
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής:
Αρχικά τα δοκίμια μας τα τοποθετήσαμε στο φούρνο και στη συνέχεια μετρήσαμε τις διαστάσεις τους και τα φωτογραφήσαμε. Βάλαμε το κάθε δοκίμιο ανάμεσα σε κατάλληλες σιαγόνες και μετά το τοποθετήσαμε στην υδραυλική πρέσα για να ολοκληρωθεί η δοκιμή. Όλες οι μετρήσεις καταγράφονταν με τη βοήθεια επεξεργαστή δεδομένων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μέσω του οποίου παρακολουθούνταν η εξέλιξη της δοκιμής τόσο γραφικά όσο και αριθμητικά. Ο ρυθμός διατμητικής μετακίνησης ήταν σταθερός για όλες τις δοκιμές

## 3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### Δοκιμή άμεσης διάτμησης

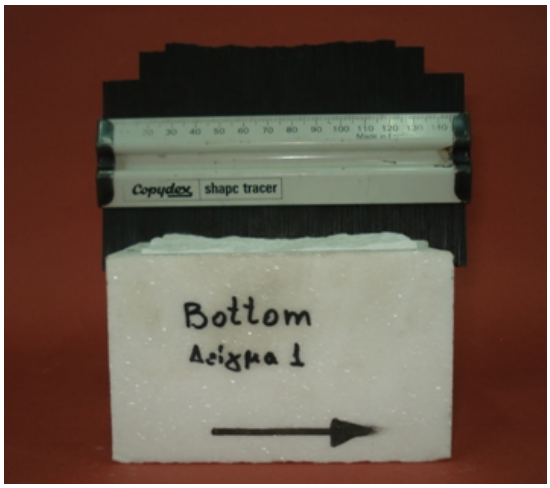
Προετοιμασία διάταξης δοκιμίου.
Πριν την τοποθέτηση του δοκιμίου στη συσκευή διάτμησης το δοκίμιο τοποθετείται σε ειδικές μήτρες, άνω και κάτω τμήματος αντίστοιχα, με σκοπό την καλύτερη δυνατή συμπεριφορά του κατά τη διατμητική μετατόπιση.(εικ.2).



**Εικόνα 2**. Μήτρες τοποθέτησης δοκιμίων

Η αμέσως επόμενη ενέργεια αφορά την αποτύπωση της τραχύτητας της ασυνέχειας με το αντίστοιχο όργανο που ονομάζεται προφιλόμετρο (εικ.3) ενώ η διαδικασία αποτύπωσης φαίνεται στην εικόνα 4.

**Εικόνα 3.** Προφιλόμετρο




**Εικόνα 4**. Αποτύπωση τραχύτητας

Στην προετοιμασία του δοκιμίου συμπεριλαμβάνονται η μέτρηση των διαστάσεων του δοκιμίου, όπως επίσης και η φωτογράφιση της διεπιφάνειας της ασυνέχειας.
Αφού ολοκληρωθεί η προετοιμασία του δοκιμίου , ακολουθεί η τοποθέτησή του στη συσκευή διάτμησης. Λεπτομέρειες της διάταξης καθώς και επεξηγήσεις αναφέρονται αναλυτικά στην εικόνα 5.

**Εικόνα 5.** Συσκευή άμεσης διάτμησης ασυνεχειών πετρωμάτων

**Εικόνα 6.** Σύστημα καταγραφής μετακινήσεων και δυνάμεων με ρυθμό ανάγνωσης κάθε 2 sec.

Τέλος, λαμβάνονται σε ηλεκτρονική μορφή τα δεδομένα των μετρήσεων τα οποία αφού επεξεργαστούν κατάλληλα δίνουν τα επιθυμητά αποτελέσματα και διαγράμματα.

**Δοκιμή μονοαξονικής θλίψης**

Τα δοκίμια τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτή τη δοκιμή, όπως επίσης και στην δοκιμή τριαξονικής θλίψης, είναι κυλινδρικού σχήματος. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως η πρώτη ενέργεια είναι η δημιουργία δοκιμίων κατάλληλων διαστάσεων και αναλογιών.
Αφού επιλεχτεί το συμπαγές τμήμα υλικού από το οποίο θα γίνει η λήψη δοκιμίου , ακολουθεί η μορφοποίηση (επιπέδωση) τουλάχιστον μίας πλευράς του συμπαγούς υλικού και εν συνεχεία η τοποθέτησή του στην μηχανή πυρηνοληψίας. (Εικόνα 7).

- Τοποθετείται το συμπαγές υλικό στη βάση της μηχανής.
- Στερεώνεται με κατάλληλο τρόπο στη βάση ώστε να μην ταλαντώνεται.
- Τοποθετείται το κυλινδρικό τρυπάνι εσωτερικής διαμέτρου 54 mm.
- Ξεκινάει η διαδικασία πυρηνοληψίας με σταθερή ταχύτητα διάτρησης.

**Εικόνα 7.** Μηχανή πυρηνοληψίας

Μόλις ολοκληρωθεί η εξαγωγή των κυλινδρικών δοκιμίων , η επόμενη ενέργεια είναι η κοπή τους στο επιθυμητό ύψος. Το ύψος των δοκιμίων θα πρέπει να είναι διπλάσιο έως τριπλάσιο της διαμέτρους τους. Ταυτόχρονα θα πρέπει να εξασφαλιστεί η παραλληλία των βάσεων του δοκιμίου. Στην εικόνα 8. παρουσιάζεται η μηχανή κοπής δοκιμίων.

**Εικόνα 8.** Μηχανή κοπής δοκιμίων

Μετά την μορφοποίηση των δοκιμίων μετρούνται οι διαστάσεις τους , ύψος και διάμετρος. Στην περίπτωση της διαμέτρου δε, γίνονται τέσσερις μετρήσεις, από δύο σε κάθε βάση

κάθετες μεταξύ τους και εξάγεται ο μέσος όρος αυτών. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιείται παχύμετρο ακρίβειας 0,01 mm. (εικ. 9).

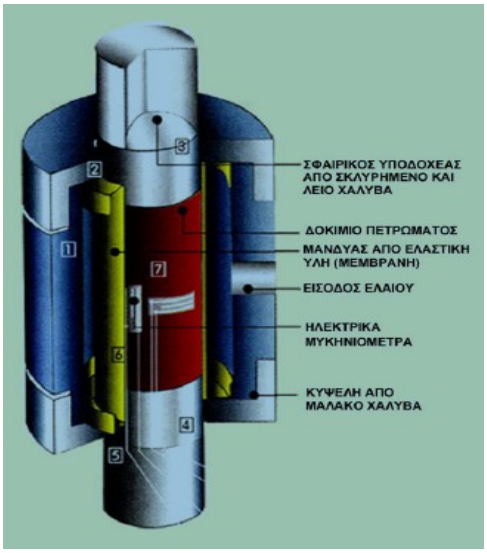
**Εικόνα 9**. Ηλεκτρονικό παχύμετρο

Στη συνέχεια τοποθετείται το δοκίμιο στην κατάλληλη πρέσα και έτσι είναι έτοιμη η έναρξη της δοκιμής.

**Δοκιμή τριαξονικής θλίψης**

Η διαδικασία προετοιμασίας των δοκιμίων είναι ίδια ακριβώς με αυτήν της μονοαξονικής θλίψης. Αυτό που κάνει την τριαξονική θλίψη να διαφέρει είναι η τοποθέτηση του δοκιμίου στο τριαξονικό κελί, ή Hoek cell όπως είναι γνωστό γενικότερα, και εκεί είναι που πρέπει να γίνει ιδιαίτερη αναφορά. Στην εικόνα 10. φαίνεται σε τομή το τριαξονικό κελί της εταιρίας ELE INTERNATIONAL .

Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας όπως προαναφέρθηκε στη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης το δοκίμιο τοποθετείται στο μέσον του τριαξονικού κελιού, αφού όμως έχει προηγηθεί επάλειψη της πλαστικής μεμβράνης του κελιού με κάποιο λιπαντικό, με σκοπό την καλύτερη δυνατή κύλιση του δοκιμίου μέσα στο κελί (εικ.11). Έπειτα προστίθενται στα άκρα του δοκιμίου οι ειδικές χαλύβδινες κεφαλές οι οποίες έχουν στο άκρο τους σφαιρικό σχήμα έτσι ώστε να δημιουργούνται αρθρώσεις (εικ.12).




**Εικόνα 10.** Τριαξονικό κελί (Hoek cell)

**Εικόνα 11.** Τοποθέτηση δοκιμίου

**Εικόνα 12**. Ολοκληρωμένη διάταξη

Αυτό που απομένει πλέον είναι η τοποθέτηση του κελιού στην πρέσα και η σύνδεσή του με την συσκευή άσκησης πλευρικής πίεσης.

# 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

## 4.1 ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Όλες οι δοκιμές διάτμησης πραγματοποιήθηκαν σε 6 στάδια με διαφορετική σταθερή ορθή τάση (0, 100, 250, 500, 750 και 1000 kPa) σε κάθε στάδιο.
Στη συνέχεια παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε στάδιο δοκιμή άμεσης διάτμησης, επιλεκτικά για το δοκίμιο 41Α:

- Σύντομη περιγραφή
- Καταγραφή ταχύτητας κατά μήκος 3 γραμμών αποτύπωσης
- Διαστάσεις και βάρος
- Φωτογραφίες πάνω και κάτω τμήματος του δοκιμίου πριν και μετά από κάθε στάδιο δοκιμής
- Διάγραμμα διατμητικής τάσης-διατμητικής μετακίνησης
- Διάγραμμα ορθής μετακίνησης-διατμητικής μετακίνησης

Τέλος παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα από όλα τα στάδια δοκιμής κάθε δοκιμίου:

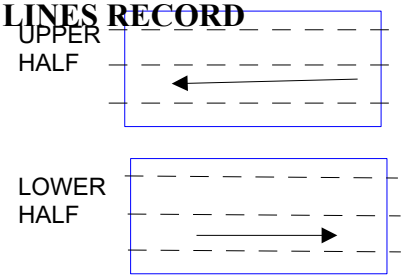
- Διάγραμμα διατμητικών τάσεων - διατμητικών μετακινήσεων
- Διάγραμμα ορθών μετακινήσεων - διατμητικών μετακινήσεων
- Διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης, όπου φαίνονται οι καμπύλες που αντιστοιχούν στη μέγιστη διατμητική αντοχή και στην αντοχή που προκύπτει μετά την αφαίρεση της διαστολής.

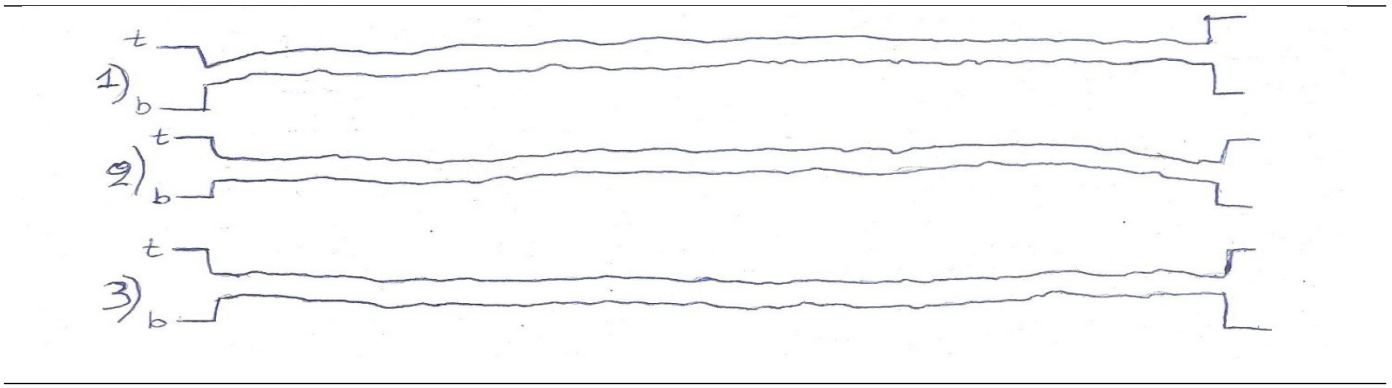
Τα αποτελέσματα από τα υπόλοιπα δοκίμια παρουσιάζονται στο Παράρτημα.

ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 2,38 kPa**

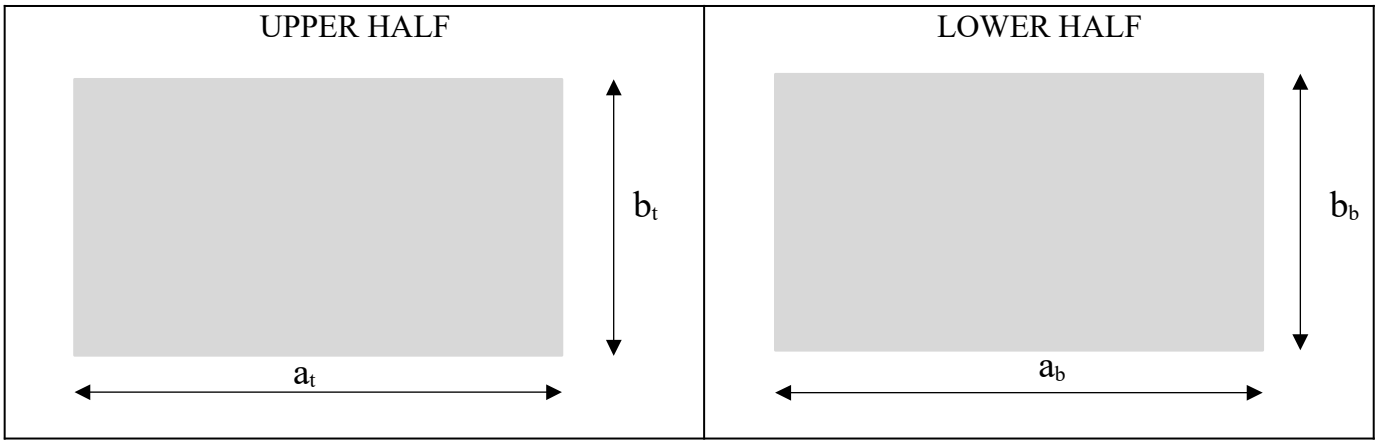
ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**

**ANNOTATED DIAGRAMS:**



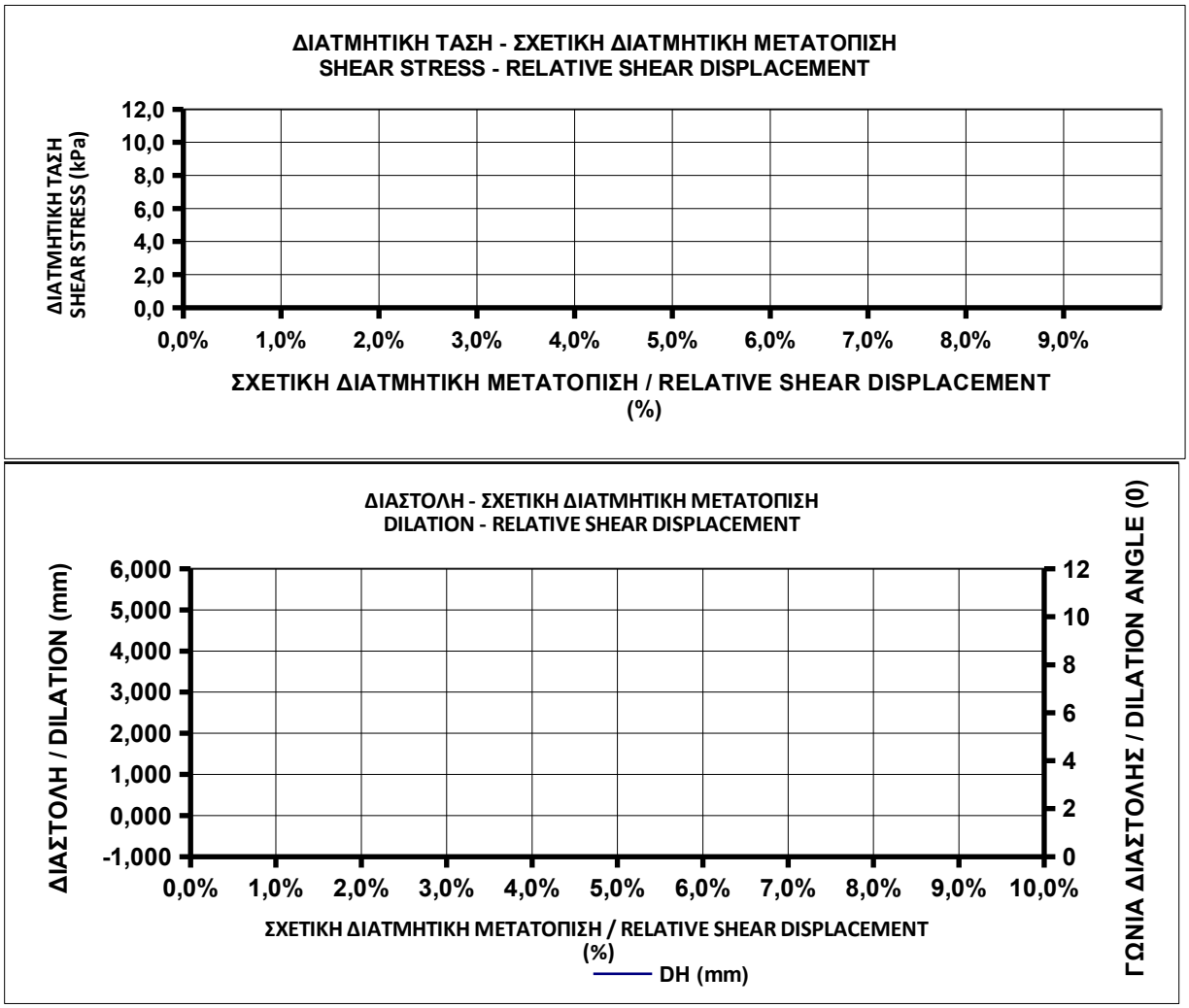

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

| | |
|---|---|
| | (g) :2121 |

Φωτογραφία 14. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 2,38 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 137,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 85,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2121 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11645 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 2,38 | **kPa** |

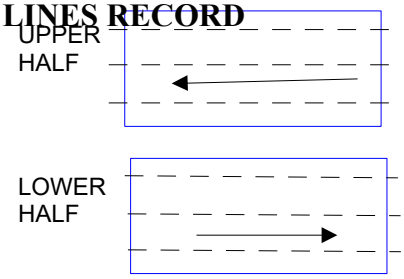
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **$\tau$ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **$\psi$ ($^0$)** |
| **$\tau$ (kPa)** | **3,40** | 3,40 | 0,00 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 1,06 | **1,06** | 0,00 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 30,98 | 0,40 | **33,37** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 24,01 | 24,01 | 0,00 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,095% | 0,095% | 0,000% |
| **$k_S$ (MPa)** | - | 3,580 | - |

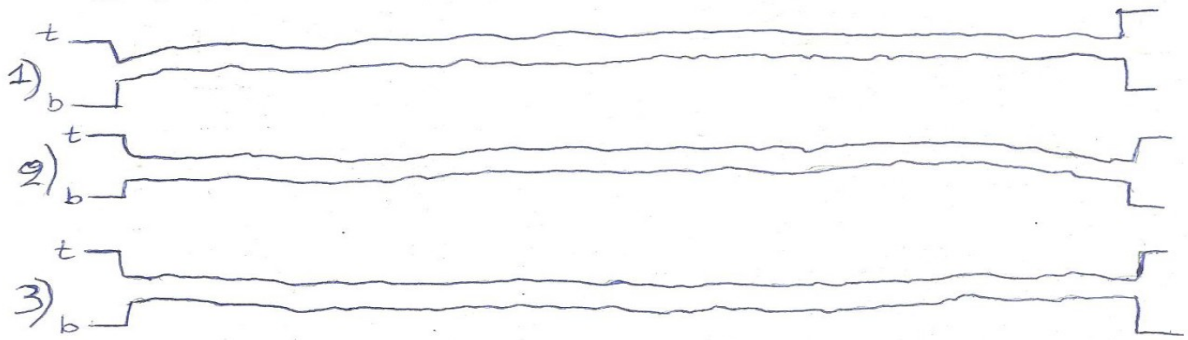



**Σχήμα 19.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

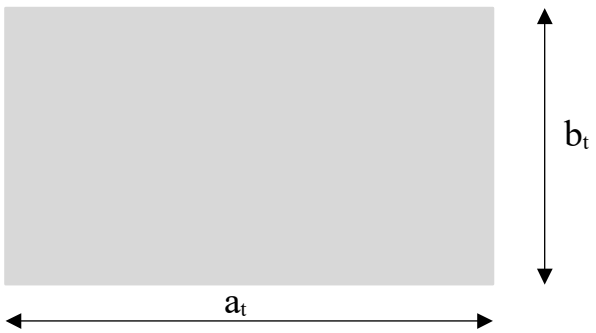
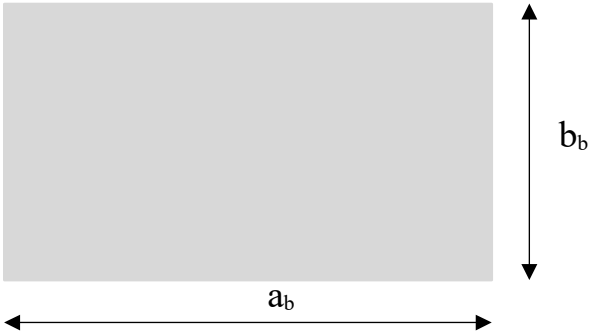
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 100 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

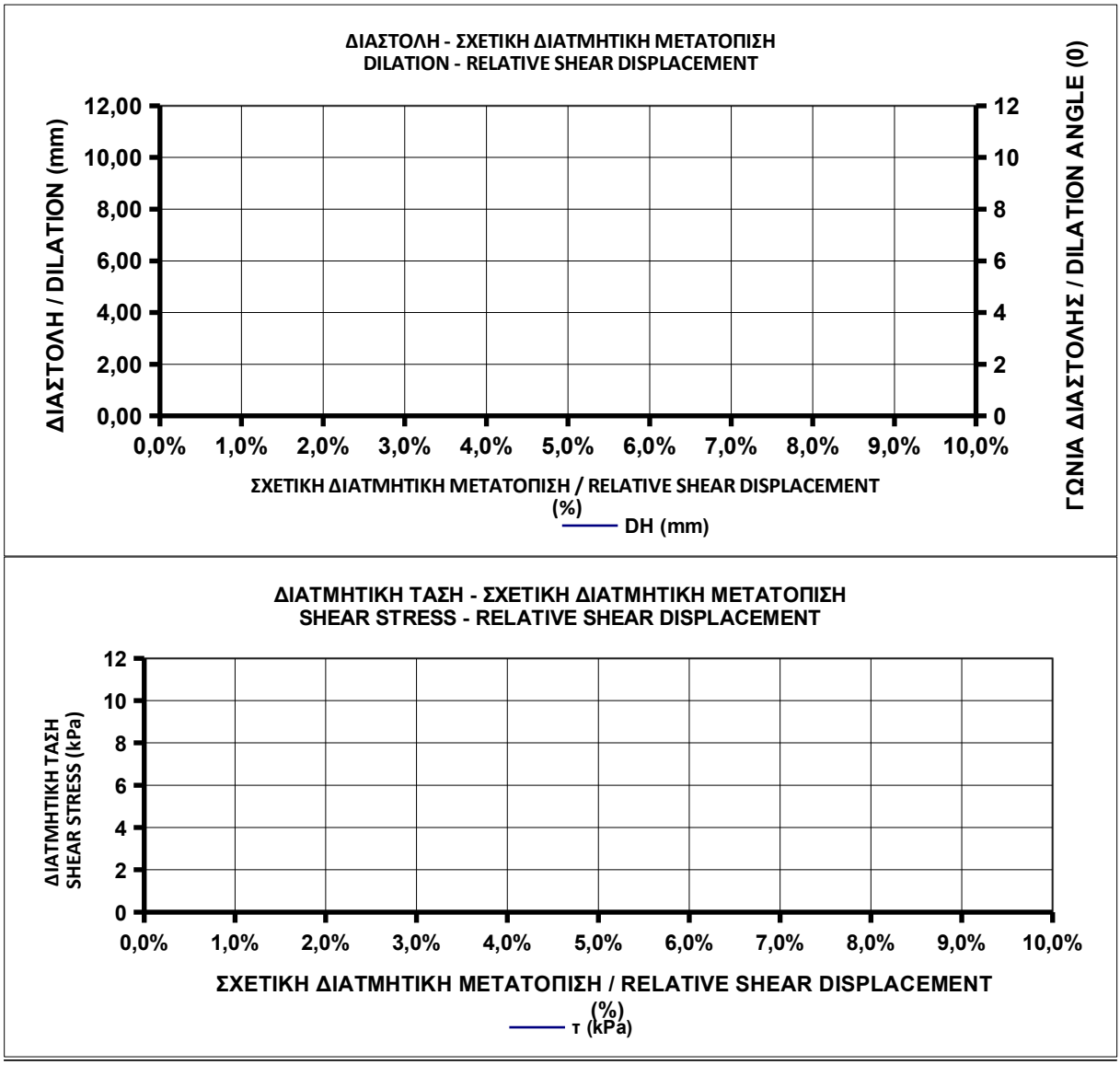
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |

| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2121 |
|---|---|

Φωτογραφία 15. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 100 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 137,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 85,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2121 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11645 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 100,0 0 | kPa |

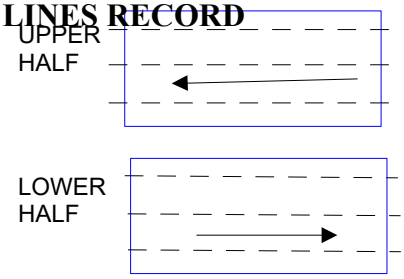
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **126,66** | 109,44 | 125,13 |
| $\tau_m$ (kPa) | 83,46 | **102,16** | 80,47 |
| $\psi$ ($^0$) | 11,86 | 9,82 | **12,54** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 39,85 | 45,61 | 38,82 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,649% | 7,025% | 0,842% |
| $k_S$ (MPa) | 19,52 | 1,558 | 14,868 |

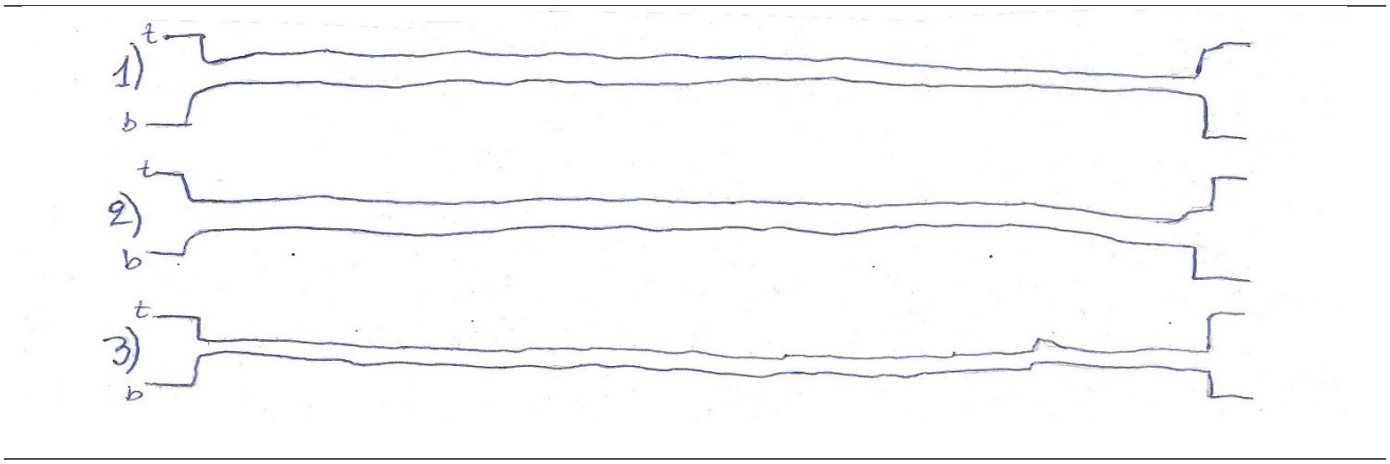



**Σχήμα 20.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

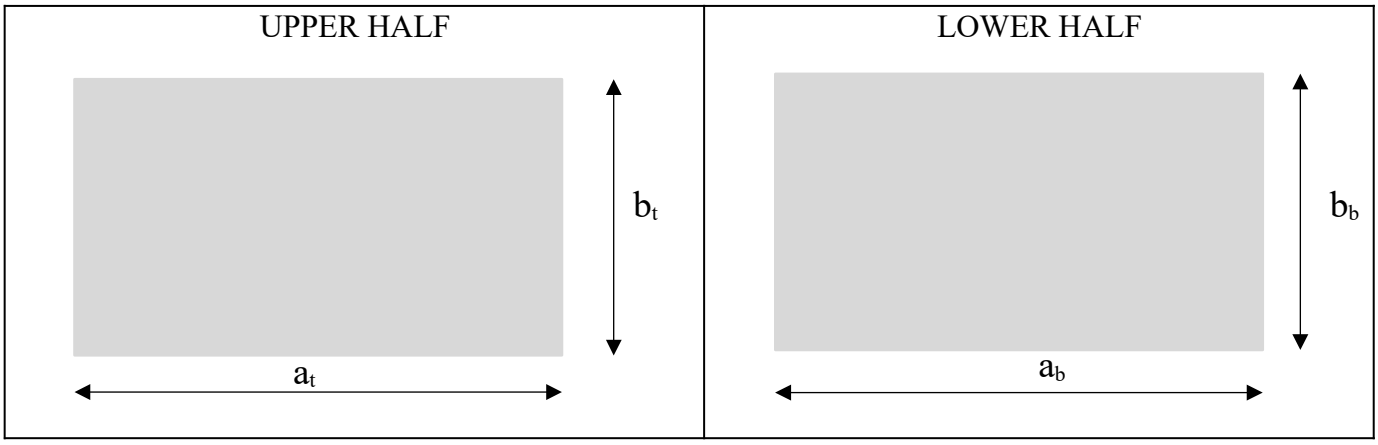
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 250 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |

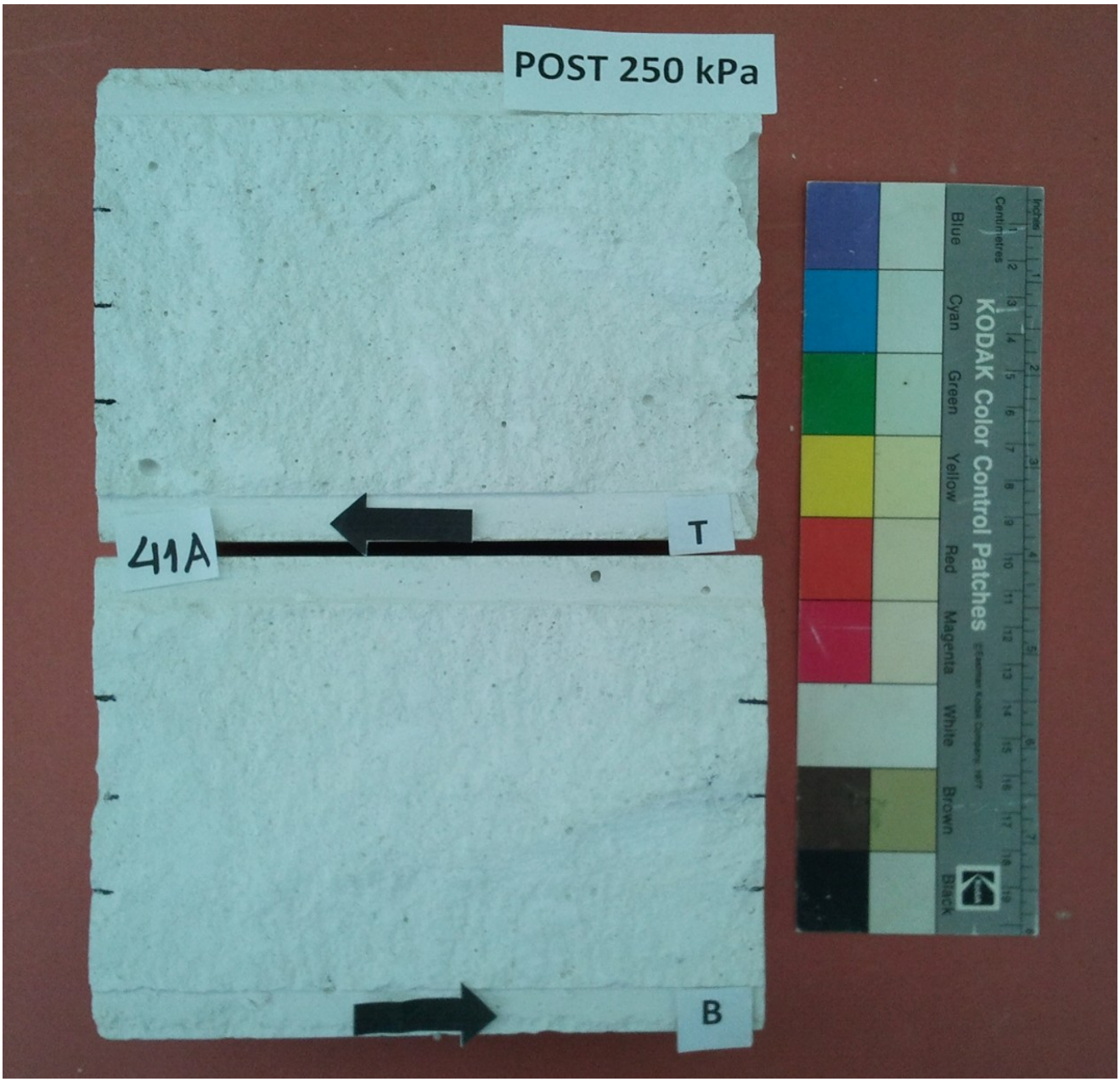



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**




| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |

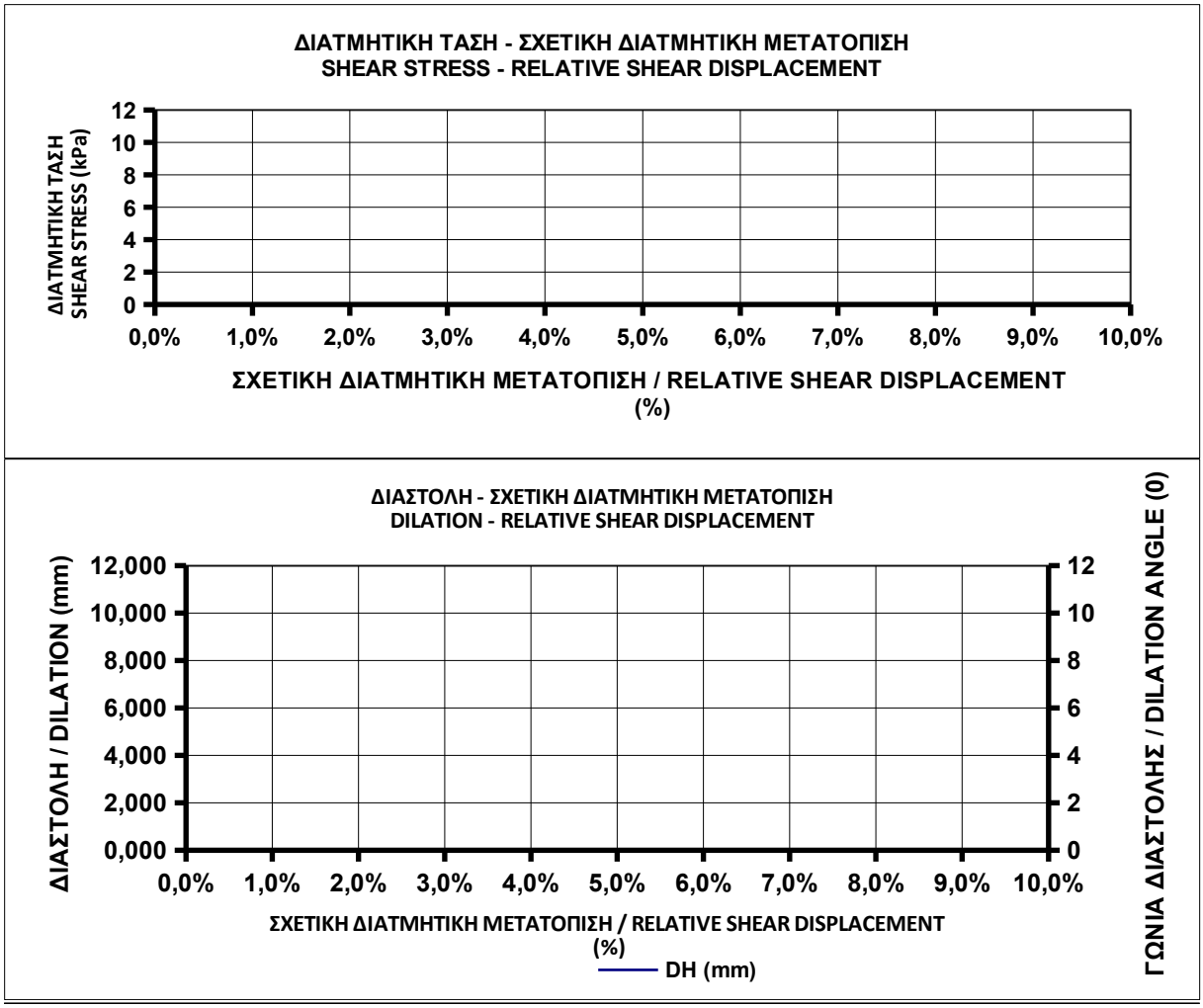
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2121 |
|---|---|




Φωτογραφία 16. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 250 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 137,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 85,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2121 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11645 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 250,00 | **kPa** |

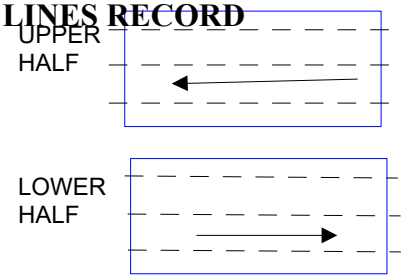
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **299,24** | 256,76 | 277,04 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 233,11 | **256,76** | 188,14 |
| **ψ ($^0$)** | 7,13 | 12,66 | **10,97** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 43,00 | 45,76 | 36,96 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,882% | 9,094% | 0,647% |
| **$k_S$ (MPa)** | 33,94 | 2,823 | 42,838 |

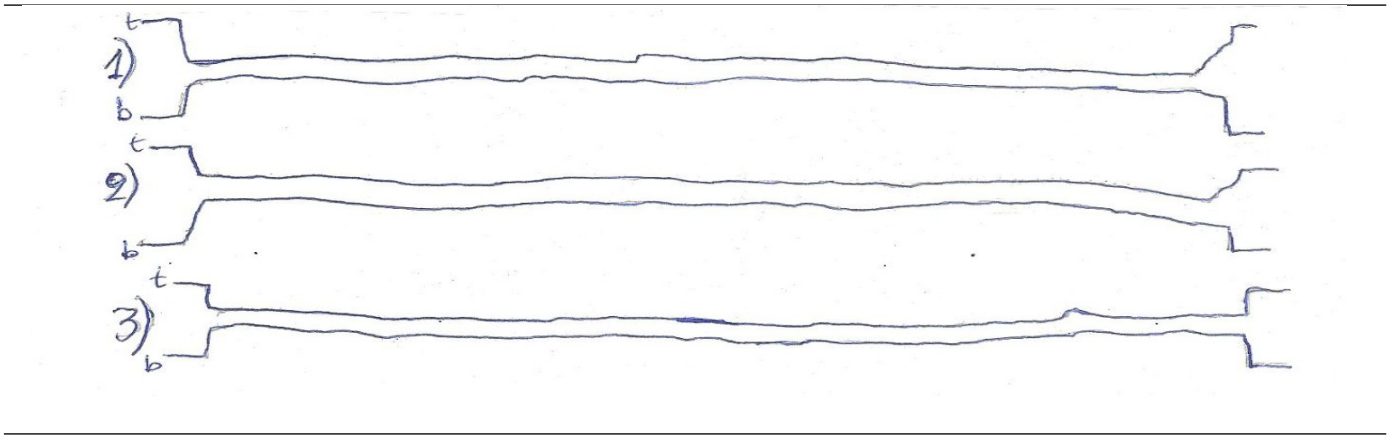



**Σχήμα 21.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

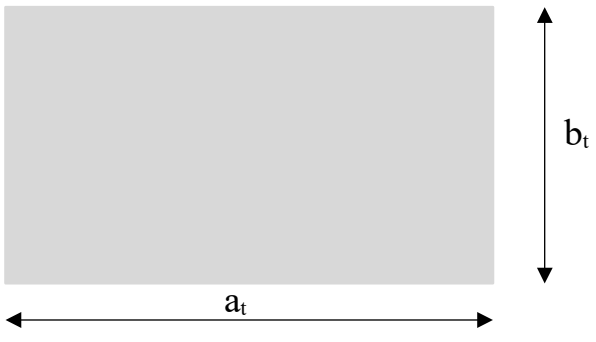
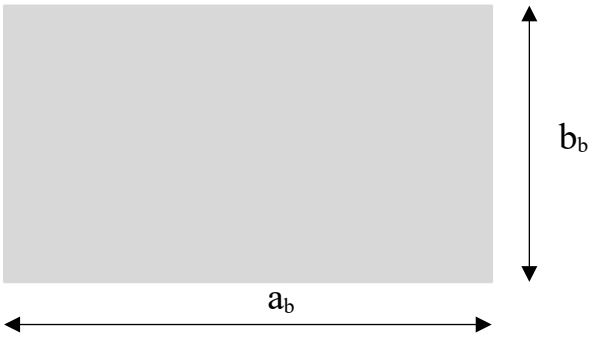
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 500 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |

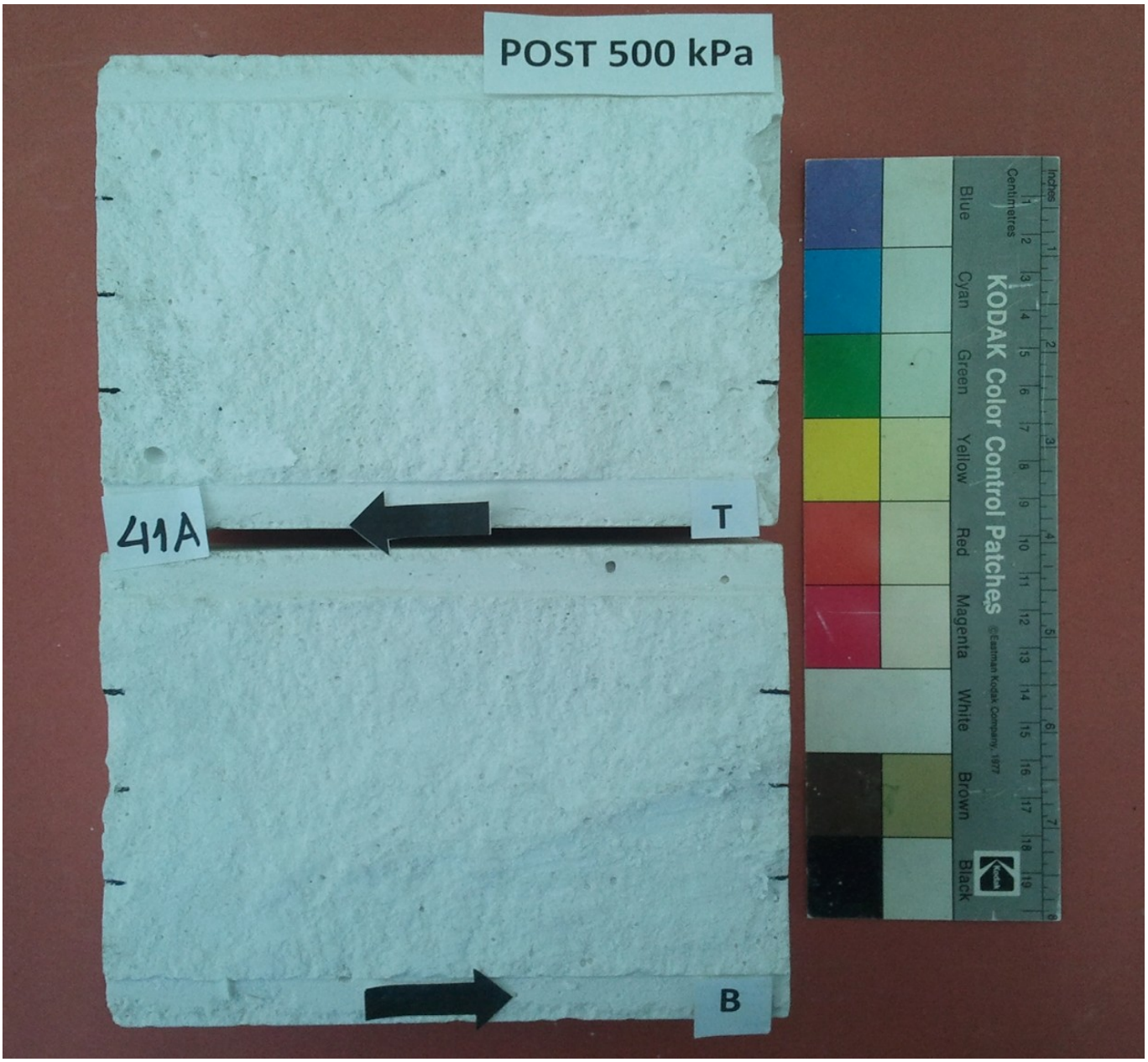



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |

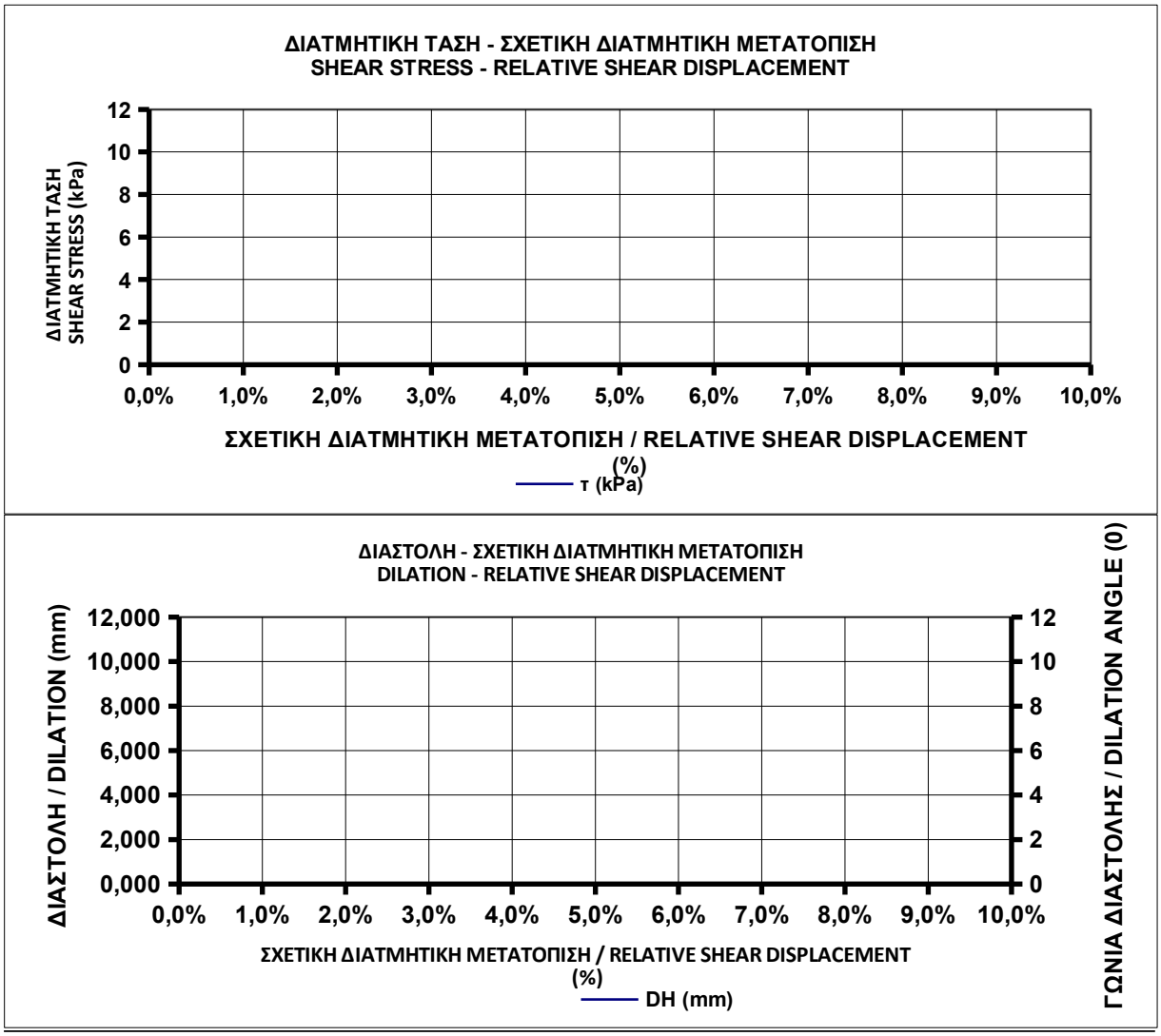
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |
|---|---|
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2121 |




Φωτογραφία 17. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 500 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 137,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 85,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2121 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11645 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 500,00 | **kPa** |

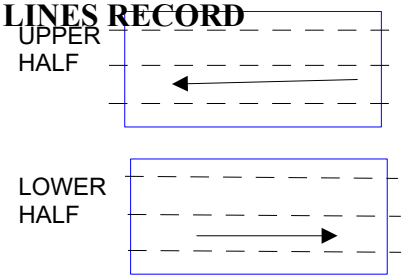
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **$\tau$ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **$\psi$ ($^0$)** |
| **$\tau$ (kPa)** | **595,41** | 577,81 | 588,90 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 503,10 | **551,24** | 365,83 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 4,80 | 1,45 | **13,48** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 45,18 | 47,79 | 36,19 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,996% | 0,912% | 1,183% |
| **$k_S$ (MPa)** | 59,80 | 63,328 | 49,772 |

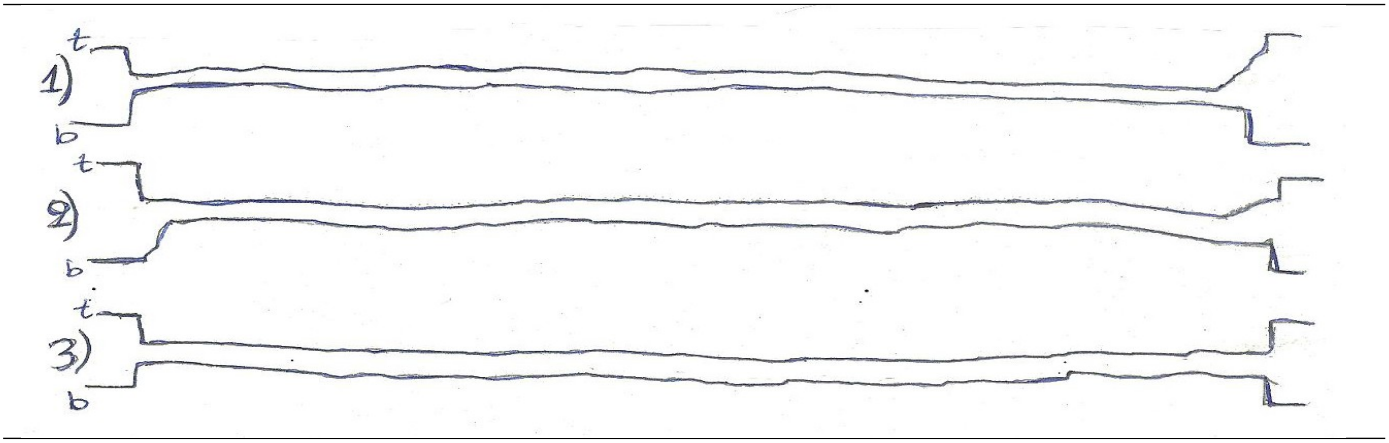



**Σχήμα 22.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

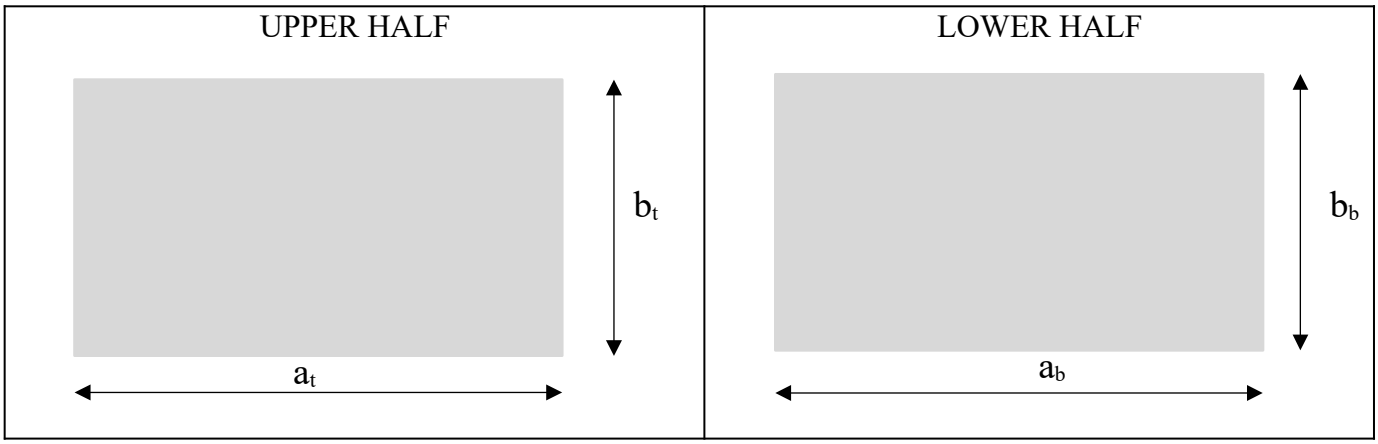
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 750 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE:**41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |

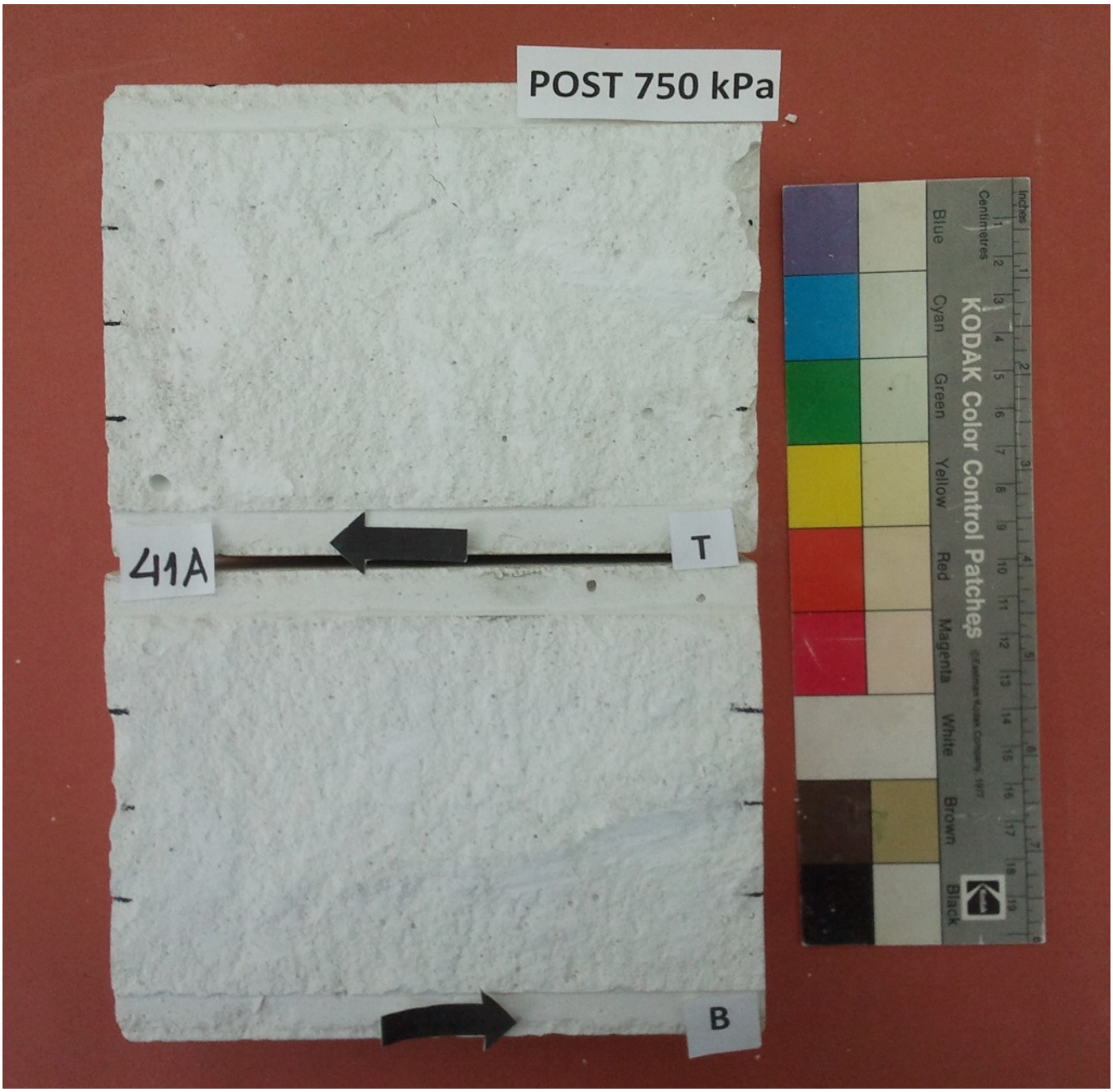



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**




| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

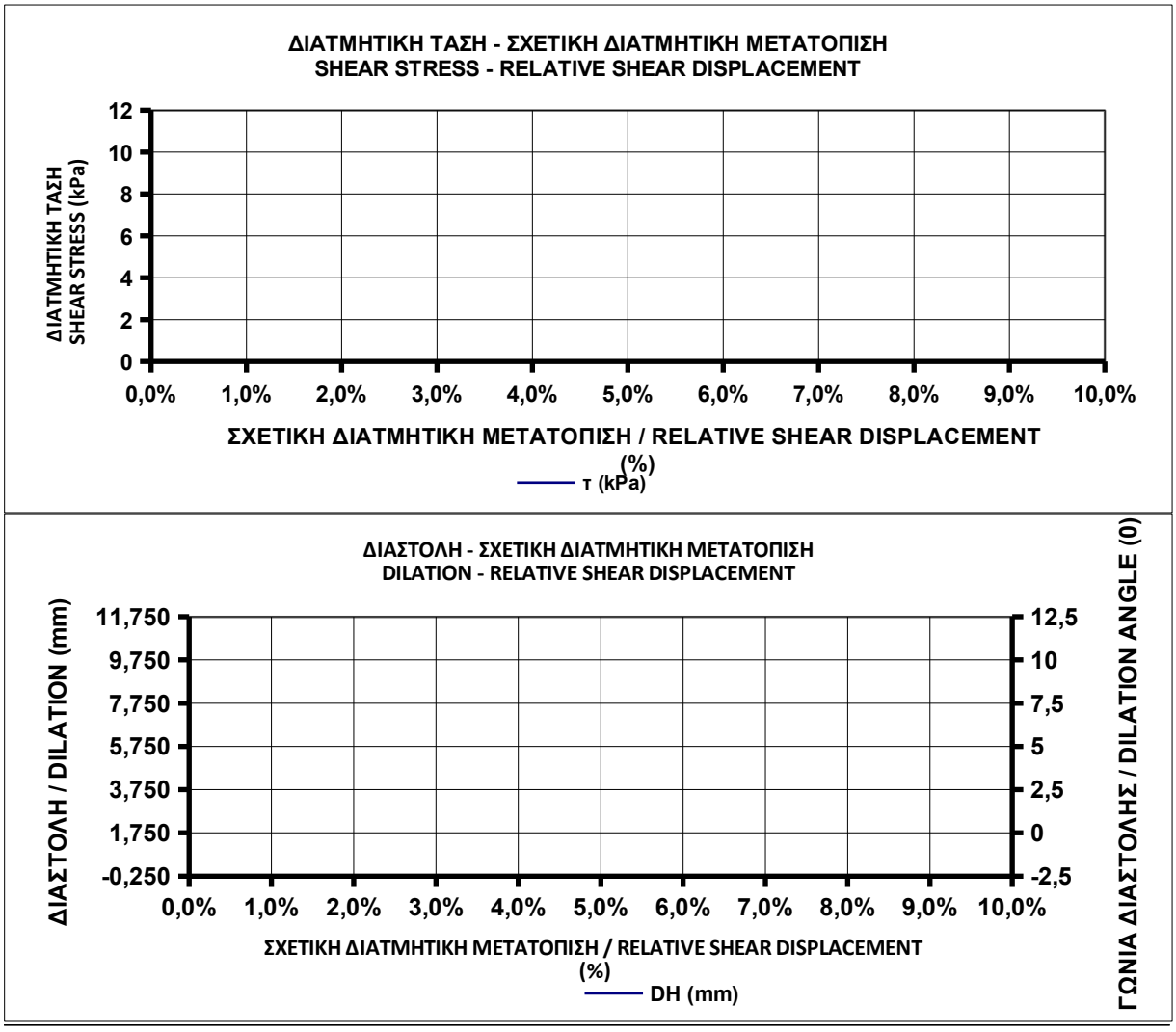
| | |
|---|---|
| | (g) :2121 |




Φωτογραφία 18. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 750 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 137,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 85,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2121 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11645 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 750,0 | kPa |

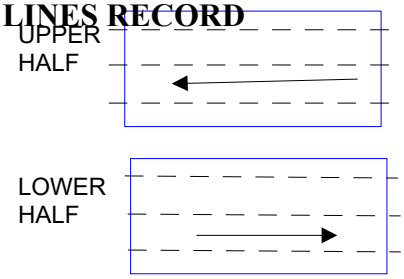
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **795,37** | 723,81 | 779,01 |
| $\tau_m$ (kPa) | 624,24 | **723,81** | 557,01 |
| $\psi$ ($^0$) | 6,91 | 11,29 | **9,49** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 39,77 | 43,98 | 36,60 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 1,169% | 8,096% | 1,006% |
| $k_S$ (MPa) | 68,02 | 8,940 | 77,449 |

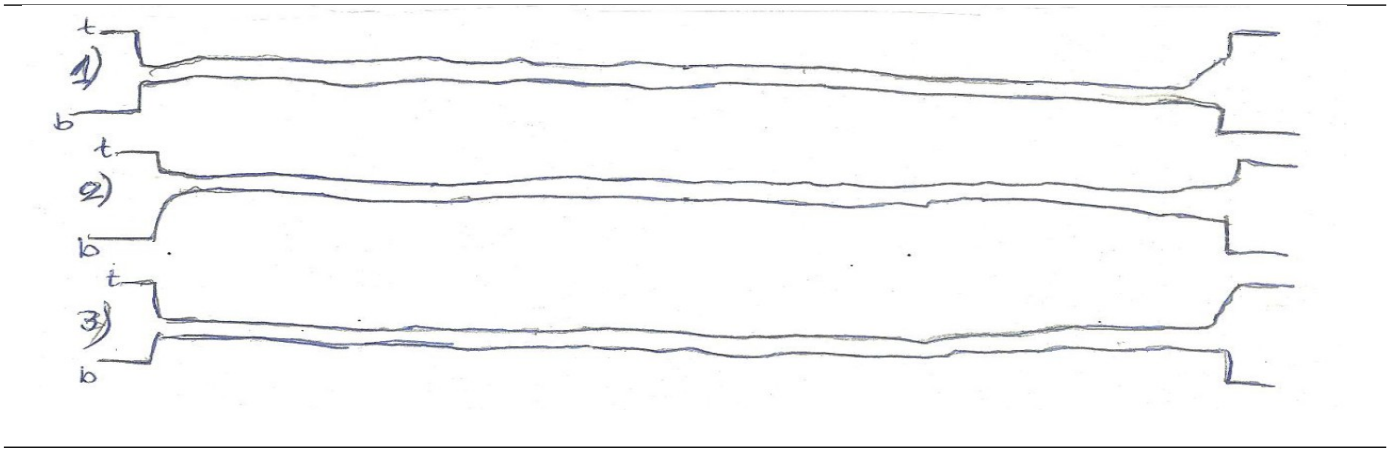



**Σχήμα 23.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

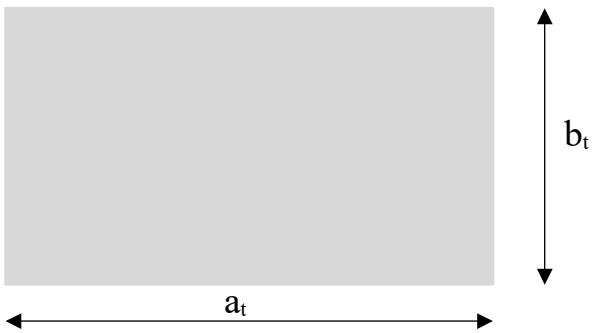
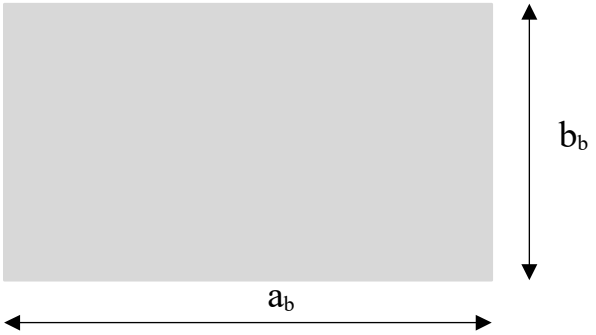
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 1000 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE:**41A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,38 kPa) είναι 32,18° . |  |

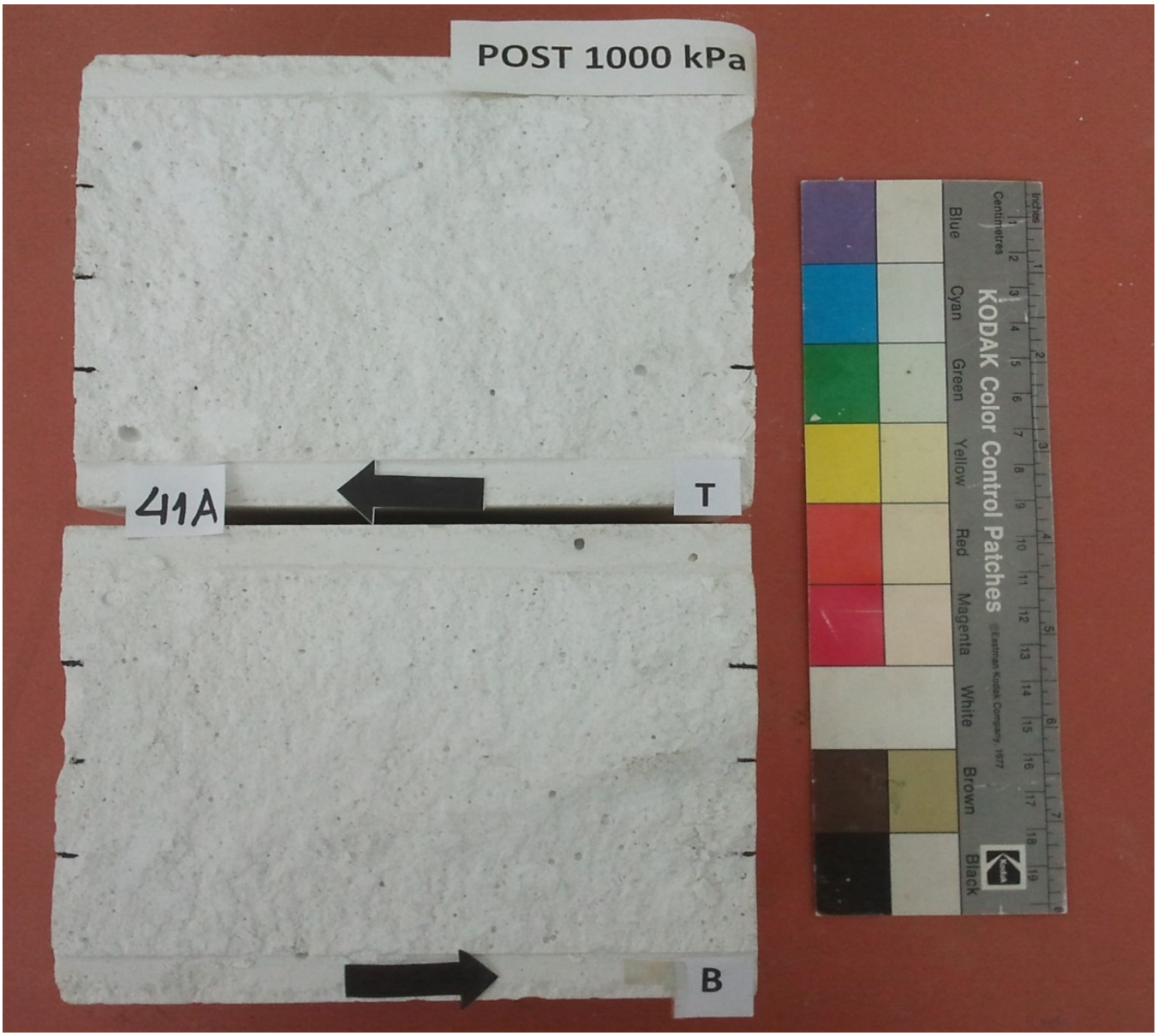



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 137,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 137,00 |

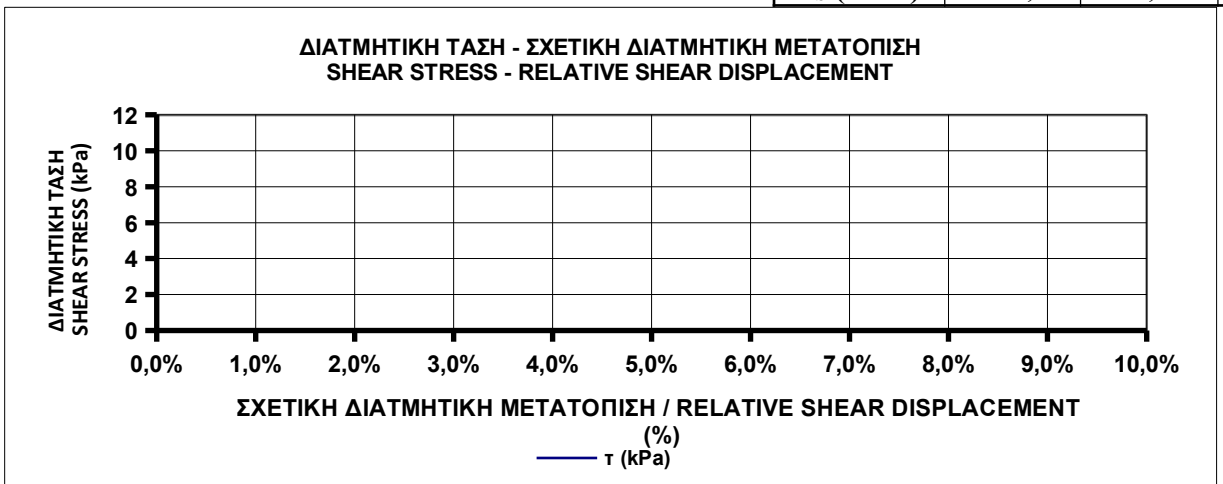
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 85,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 85,00 |
|---|---|
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2121 |

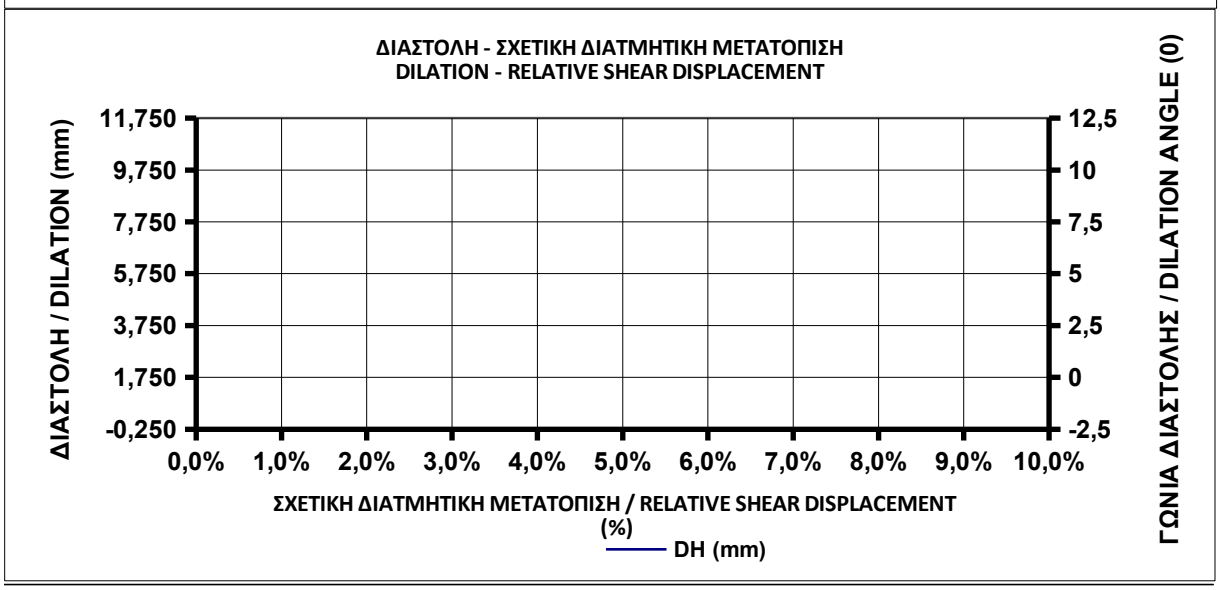



Φωτογραφία 19. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 137,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 85,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2121 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11645 | **$mm^2$** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 1000,00 | **kPa** |

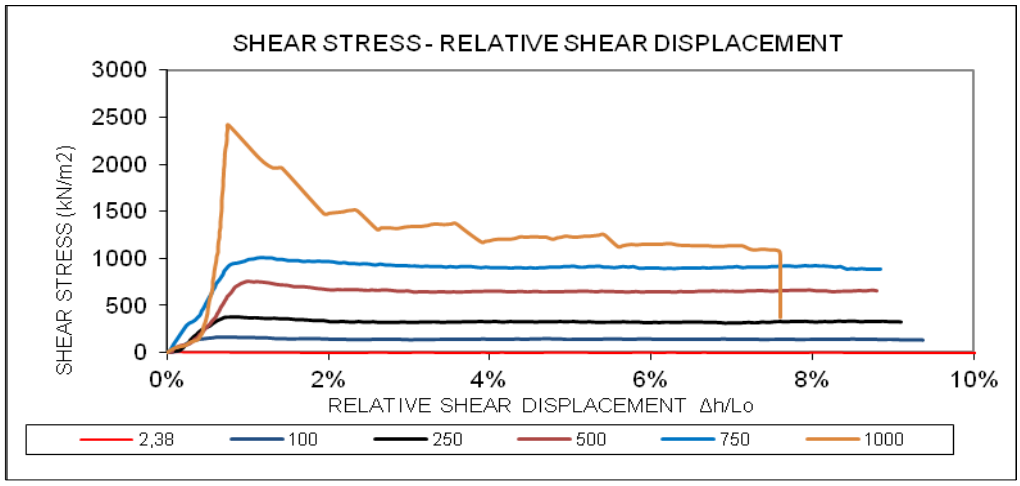
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **$\tau$ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **$\psi$ ($^0$)** |
| **$\tau$ (kPa)** | **1895,39** | 1544,74 | 1776,80 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 1133,30 | **1162,81** | 1031,63 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 13,61 | 1,96 | **14,74** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 48,58 | 49,30 | 45,89 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,756% | 1,284% | 0,739% |
| **$k_S$ (MPa)** | 250,65 | 120,312 | 240,536 |

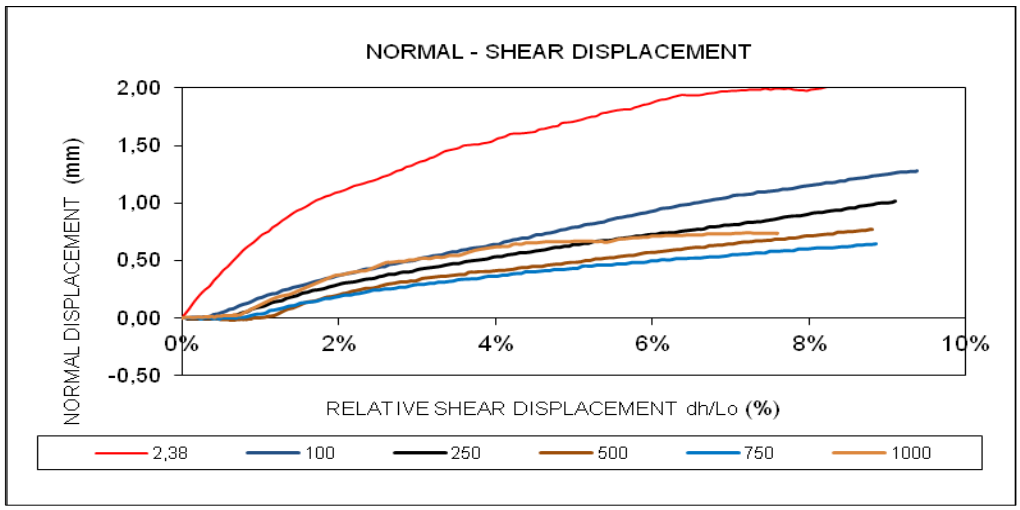


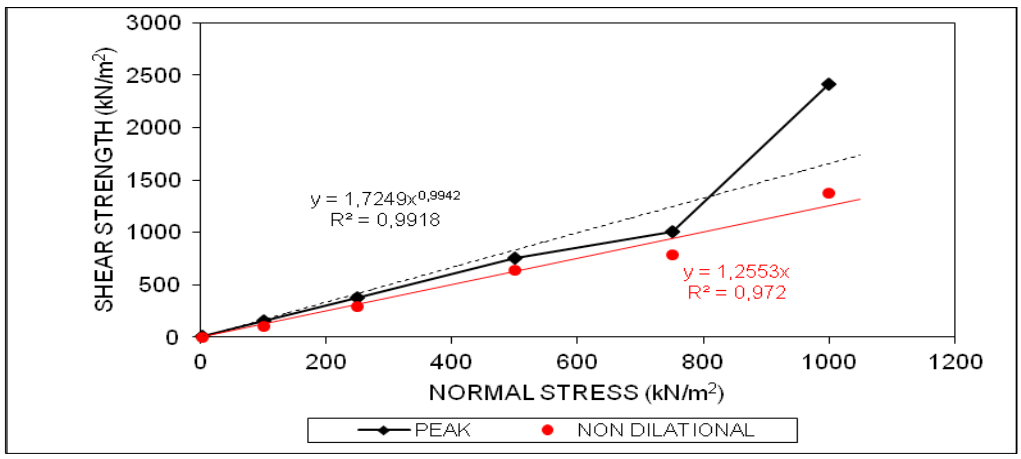



**Σχήμα 24.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 41Α



**Σχήμα 25.** Διάγραμματα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω), διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (μέσο) και διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης (κάτω).

## 4.2 ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ

Για την δοκιμή τριαξονικής θλίψης, δημιουργήθηκαν 10 κυλινδρικά δοκίμια. Το κάθε δοκίμιο υπέστη φόρτιση με διαδοχικές πλευρικές πιέσεις 5, 10, 15,18,20,22,25,30,40 και 50 MPa. Για την δοκιμή μονοαξονικής θλίψης, δημιουργήθηκε 1 κυλινδρικό δοκίμιο που υπέστη μια φόρτιση. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ξεχωριστά για κάθε στάδιο δοκιμής τριαξονικής θλίψης:

- Διαστάσεις και βάρος
- Φωτογραφίες πάνω πριν και μετά από κάθε στάδιο δοκιμής
- Διάγραμμα αξονικής τάσης-αξονικής παραμόρφωση

Τέλος παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα από όλα τα στάδια δοκιμής:

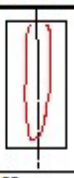
- Διάγραμμα διατμητικών τάσεων – ορθών τάσεων (Mohr)
- Διάγραμμα αξονικών τάσεων – αξονικών παραμορφώσεων
- Διάγραμμα αξονικών αντοχών – πλευρικών πιέσεων (peak)
- Διάγραμμα αξονικών αντοχών – πλευρικών πιέσεων (μέτρο ελαστικότητα)
- Διάγραμμα αξονικών αντοχών – πλευρικών πιέσεων (παραμόρφωση θραύσης)
- Διάγραμμα αξονικών αντοχών – πλευρικών πιέσεων (ULTIMATE)

**ΔΕΙΓΜΑ**
**4Β ΚΑΤΩ**

-

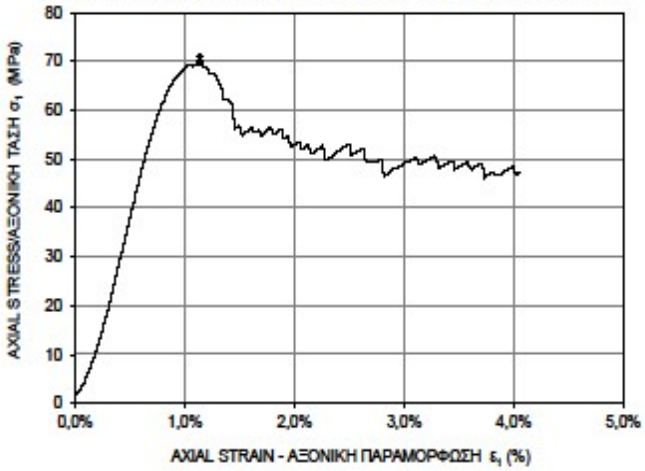
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,56 | $\sigma_3$ (MPa) = 5,0 |
| Ho (mm) = | 106,12 | $F_1$ (kN) = 163,5 |
| W(g) = | 521,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 70,0 |
| γ (kN/m³) = | 21,00 | $\varepsilon_1$ (%) = 1,1400% |
| Υγρασία: ΞΗΡΟ/~~ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ~~ | | $E_{50}$ (GPa) = 9,27 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **813**

| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | |  |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

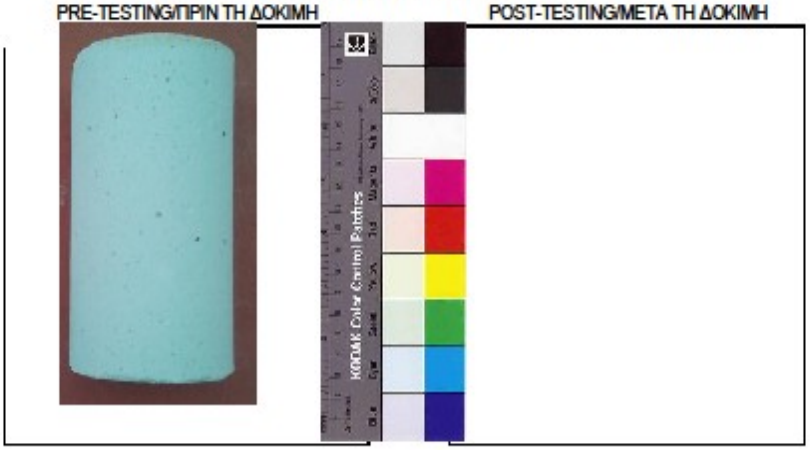
Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,09**

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**

PRE-TESTING/ΠΡΙΝ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ



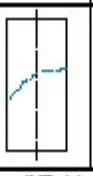
POST-TESTING/ΜΕΤΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ

**ΔΕΙΓΜΑ**
**4Β ΑΝΩ**

-

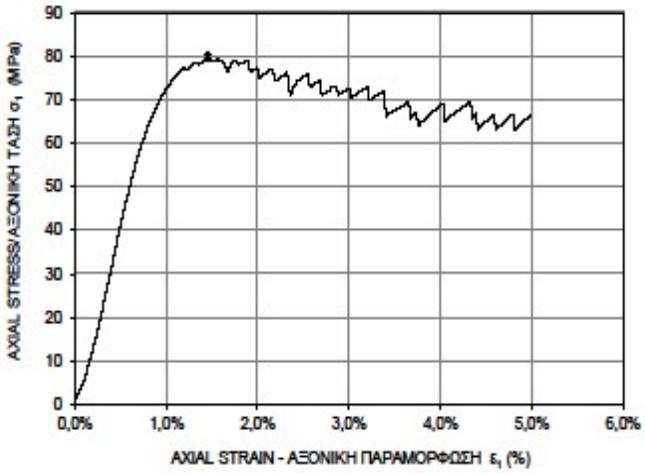
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,56 | $\sigma_3$ (MPa) = 10,0 |
| Ho (mm) = | 105,65 | $F_1$ (kN) = 185,5 |
| W(g) = | 517,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 79,4 |
| γ (kN/m³) = | 20,33 | $\varepsilon_f$ (%) = 1,4550% |
| Υγρασία: | ΞΗΡΟ/~~ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ~~ | $E_{50}$ (GPa) = 9,30 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : 998

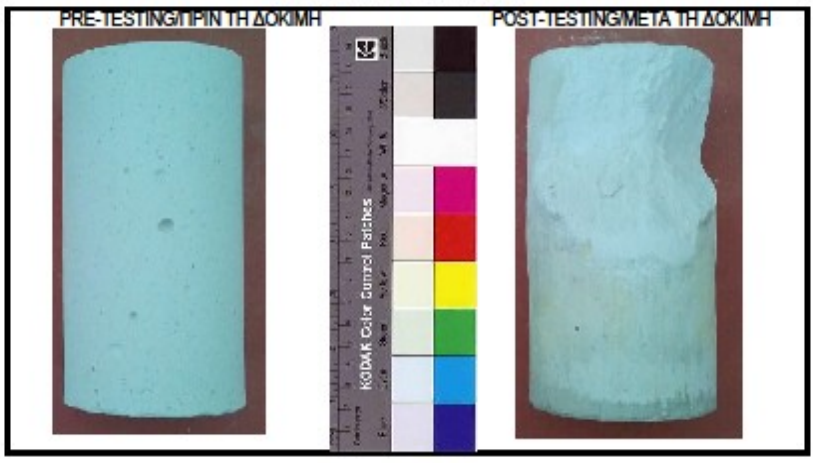
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ |  | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): 0,08

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



**ΔΕΙΓΜΑ**
**4C ΚΑΤΩ**

-

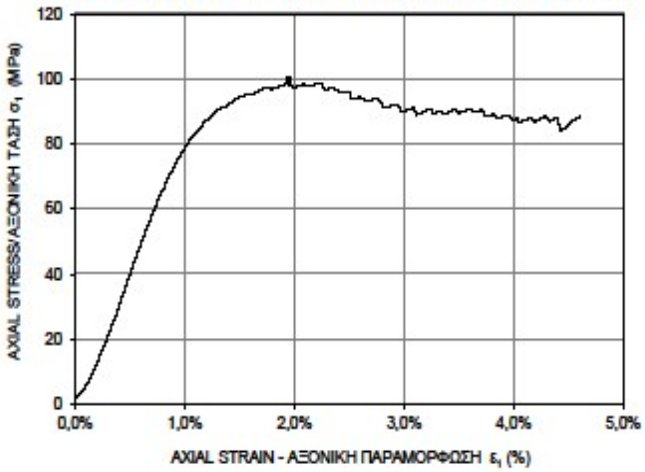
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,56 | $\sigma_3$ (MPa) = 15,0 |
| Ho (mm) = | 106,78 | $F_1$ (kN) = 230,6 |
| W(g) = | 524,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 98,7 |
| γ (kN/m³) = | 20,99 | $\varepsilon_f$ (%) = 1,9500% |
| Υγρασία: | ΞΗΡΟ/ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ | $E_{50}$ (GPa) = 8,99 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : 923

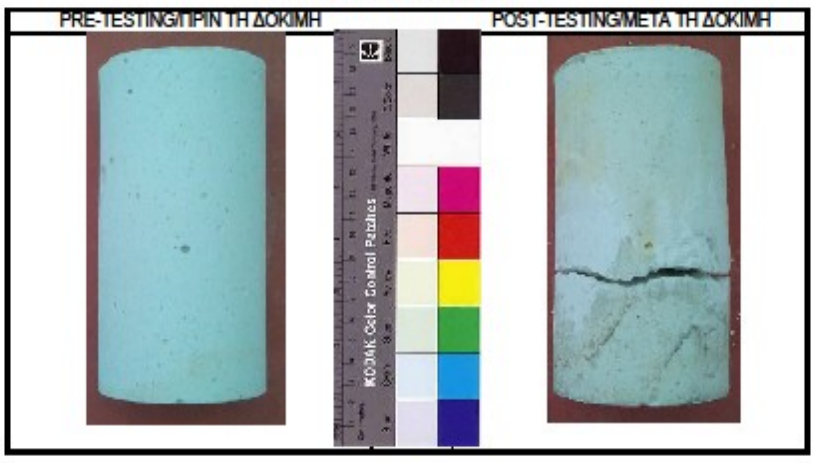
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): 0,11

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



**ΔΕΙΓΜΑ**
**4Α ΚΑΤΩ**

-

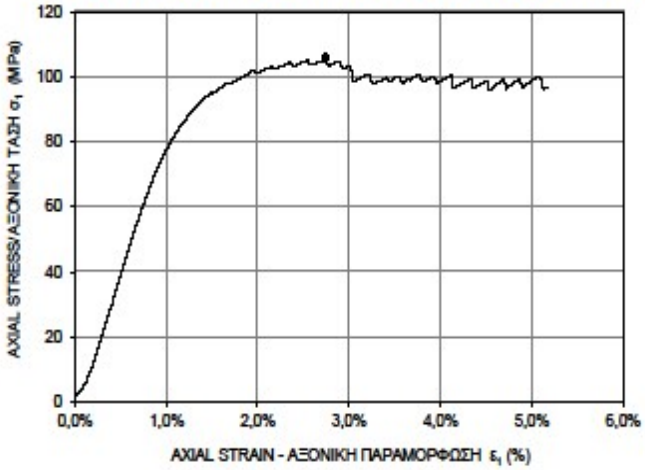
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,65 | $\sigma_3$ (MPa) = 18,0 |
| Ho (mm) = | 105,78 | $F_1$ (kN) = 246,5 |
| W(g) = | 513,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 105,1 |
| γ (kN/m³) = | 20,67 | $\varepsilon_f$ (%) = 2,7410% |
| Υγρασία: | ΞΗΡΟ/ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ | $E_{50}$ (GPa) = 8,61 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **1054**

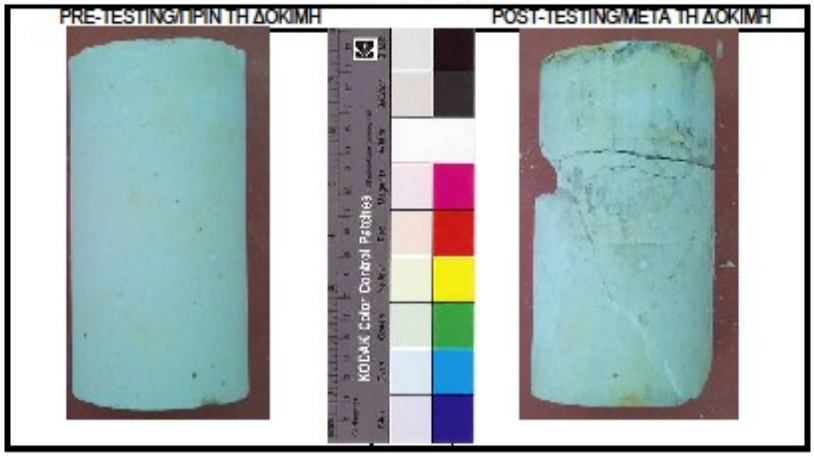
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| XA | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,10**

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



## ΔΕΙΓΜΑ
## 41B1_ΚΑΤΩ

-

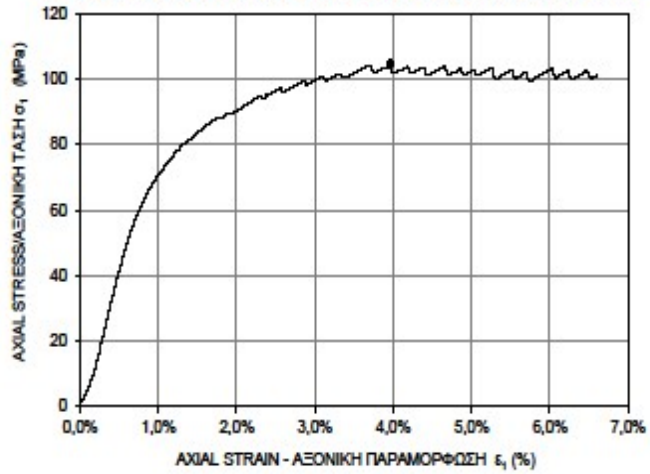
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,60 | $\sigma_3$ (MPa) = 20,0 |
| Ho (mm) = | 107,94 | $F_1$ (kN) = 244,5 |
| W(g)= | 539,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 104,3 |
| γ (kN/m³)= | 21,33 | $\varepsilon_1$ (%) = 3,9640% |
| Υγρασία: ΞΗΡΟ/ΙΚΟΡΕΣΜΕΝΟ | | $E_{50}$ (GPa)= 7,21 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : 1069

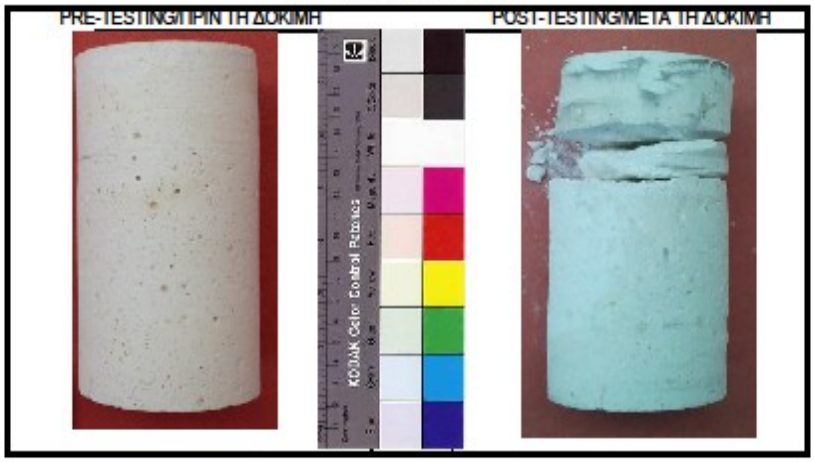
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°)= 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): 0,10

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**

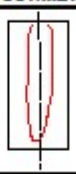


**ΔΕΙΓΜΑ**
**4Α ΑΝΩ**

-

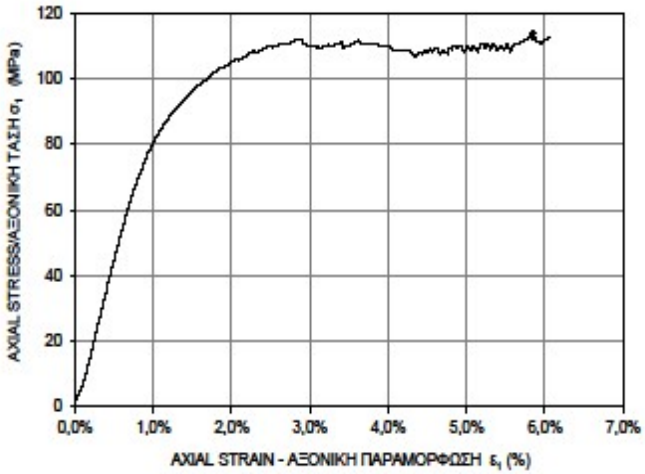
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,49 | $\sigma_3$ (MPa) = 22,0 |
| Ho (mm) = | 105,76 | $F_1$ (kN) = 263,0 |
| W(g) = | 516,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 112,8 |
| γ (kN/m³) = | 20,32 | $\varepsilon_1$ (%) = 5,8500% |
| Υγρασία: | ΞΗΡΟ/ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ | $E_{50}$ (GPa) = 8,44 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : 1212

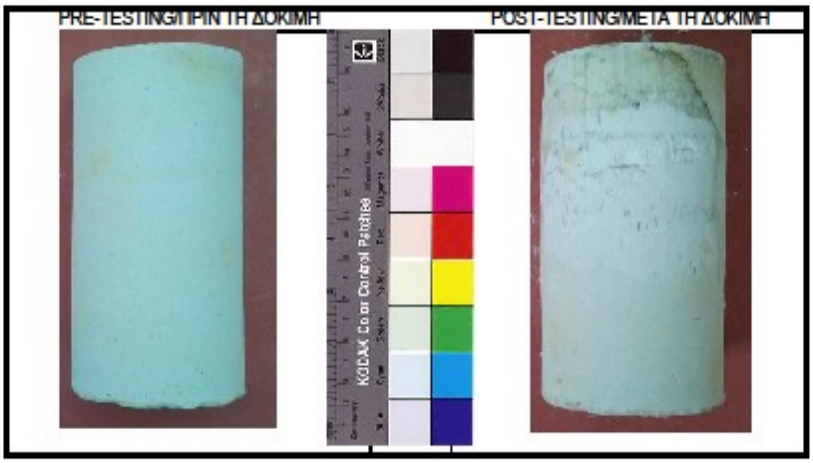
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | |  |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): 0,09

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



**ΔΕΙΓΜΑ**
**4C ΑΝΩ**

-

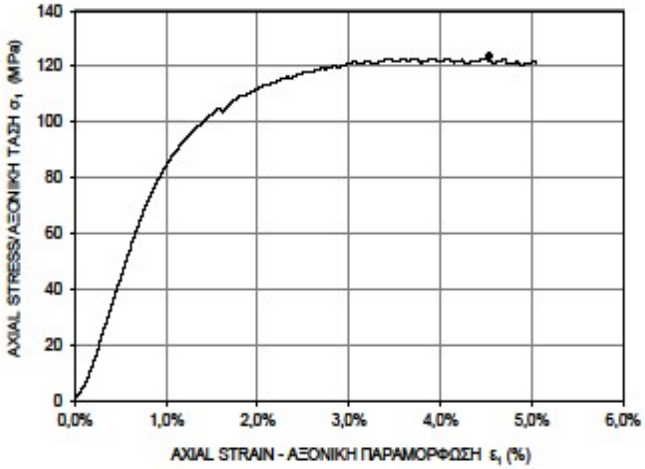
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,52 | $\sigma_3$ (MPa) = 25,0 |
| Ho (mm) = | 106,43 | $F_1$ (kN) = 287,4 |
| W(g) = | 520,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 123,1 |
| γ (kN/m³) = | 20,93 | $\varepsilon_f$ (%) = 4,5310% |
| Υγρασία: ΞΗΡΟ/~~ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ~~ | | $E_{50}$ (GPa) = 8,88 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **1011**

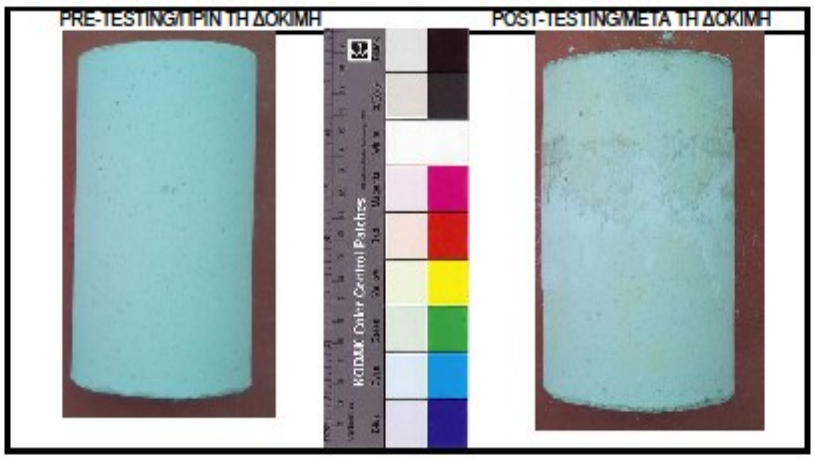
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,12**

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**

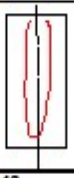


**ΔΕΙΓΜΑ**
**41Β2 ΠΑΝΩ**

-

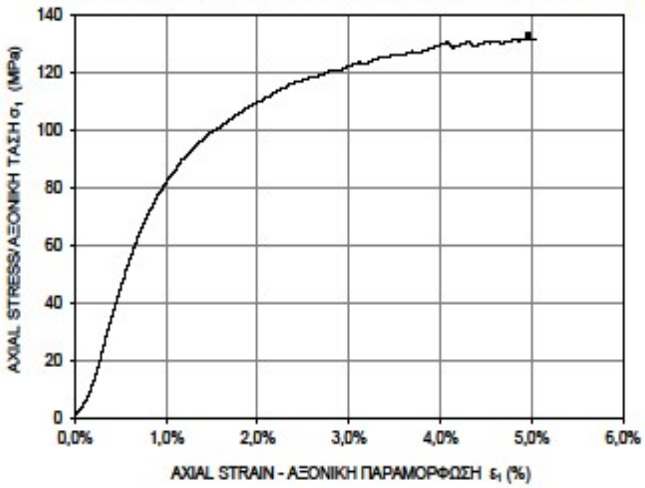
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,62 | $\sigma_3$ (MPa) = 30,0 |
| Ho (mm) = | 109,84 | $F_1$ (kN) = 310,1 |
| W(g)= | 547,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 132,3 |
| γ (kN/m$^3$)= | 21,25 | $\varepsilon_f$ (%) = 4,3600% |
| Υγρασία: ΞΗΡΟΦΟΡΕΣΜΕΝΟ | | $E_{50}$ (GPa)= 7,47 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **1028**

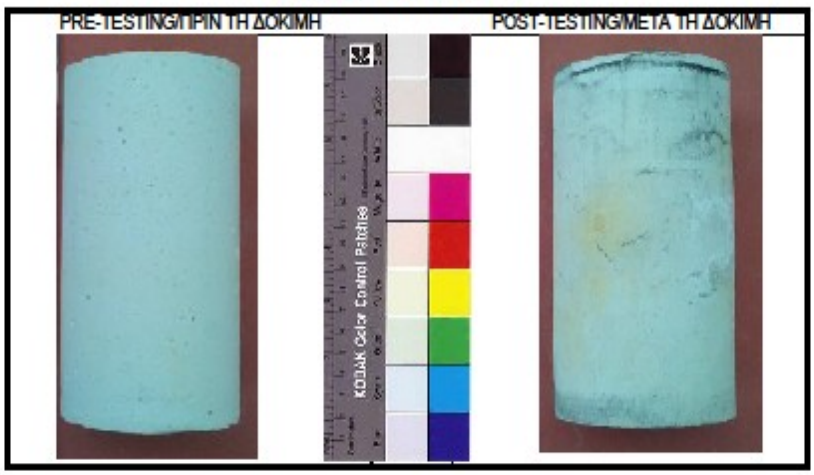
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | |  |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°)= 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,13**

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



**ΔΕΙΓΜΑ**
**41Α ΚΑΤΩ**

-

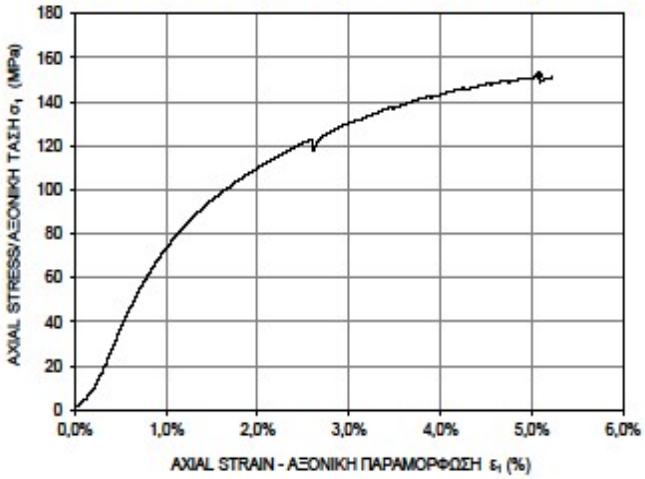
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,75 | $\sigma_3$ (MPa) = 40,0 |
| Ho (mm) = | 98,05 | $F_1$ (kN) = 356,6 |
| W(g) = | 480,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 151,5 |
| γ (kN/m$^3$) = | 20,79 | $\varepsilon_f$ (%) = 5,0830% |
| Υγρασία: | ΞΗΡΟ/ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ | $E_{50}$ (GPa) = 5,31 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **1068**

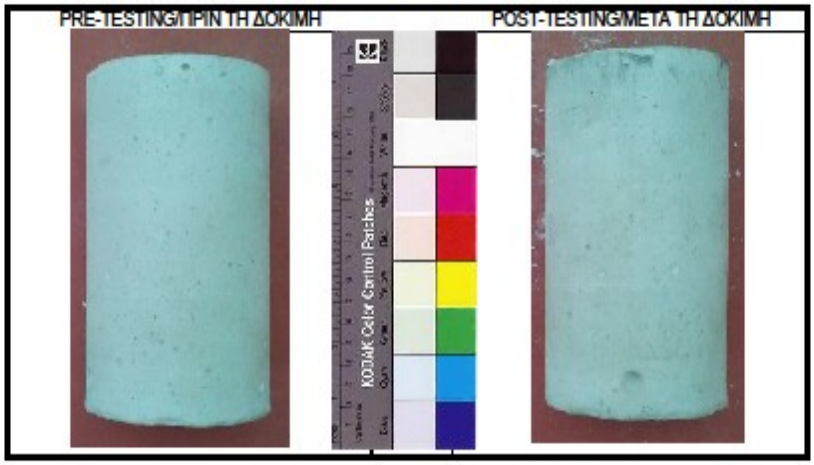
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,14**

**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**




**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**



**ΔΕΙΓΜΑ**
**41Α1 ΚΑΤΩ**

-

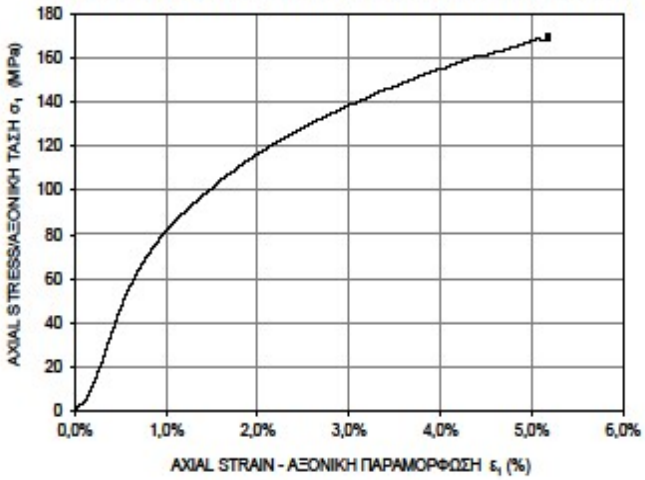
| SAMPLE DATA<br>ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | RESULTS<br>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ |
|---|---|---|
| Do (mm) = | 54,56 | $\sigma_3$ (MPa) = 50,0 |
| Ho (mm) = | 106,27 | $F_1$ (kN) = 394,1 |
| W(g) = | 525,00 | $\sigma_1$ (MPa) = 168,6 |
| γ (kN/m³) = | 21,13 | $\varepsilon_1$ (%) = 5,1820% |
| Υγρασία: ~~ΞΗΡΟ~~/~~ΚΟΡΕΣΜΕΝΟ~~ | | $E_{50}$ (GPa) = 4,54 |

Test duration/Διάρκεια δοκιμής (s) : **789**

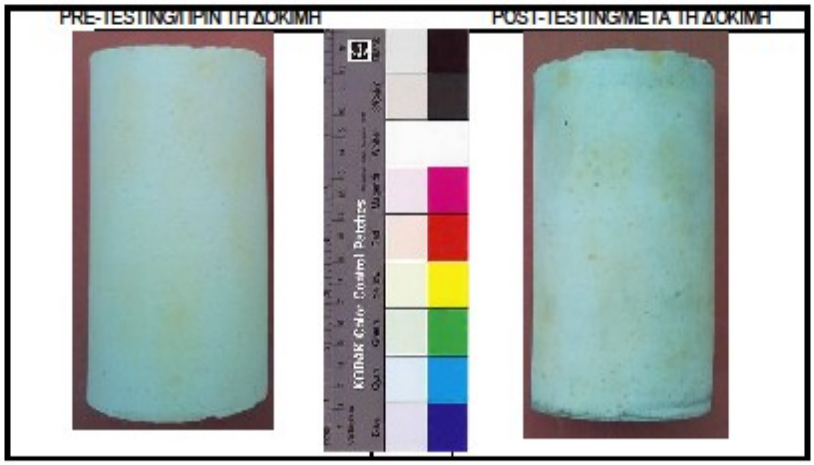
| SAMPLE INTEGRITY<br>ΑΚΕΡΑΙΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ | | SKETCH/ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ<br>PRE/ΠΡΙΝ | POST/ΜΕΤΑ |
|---|---|---|---|
| INTACT/ΑΡΡΗΚΤΟ | ΝΑΙ | | |
| WITH DISCONTINUITIES /ΜΕ ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ | ΟΧΙ | | |
| FAILURE TYPE / ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ | | | |
| ΧΑ | θ (°) = 35 | | |

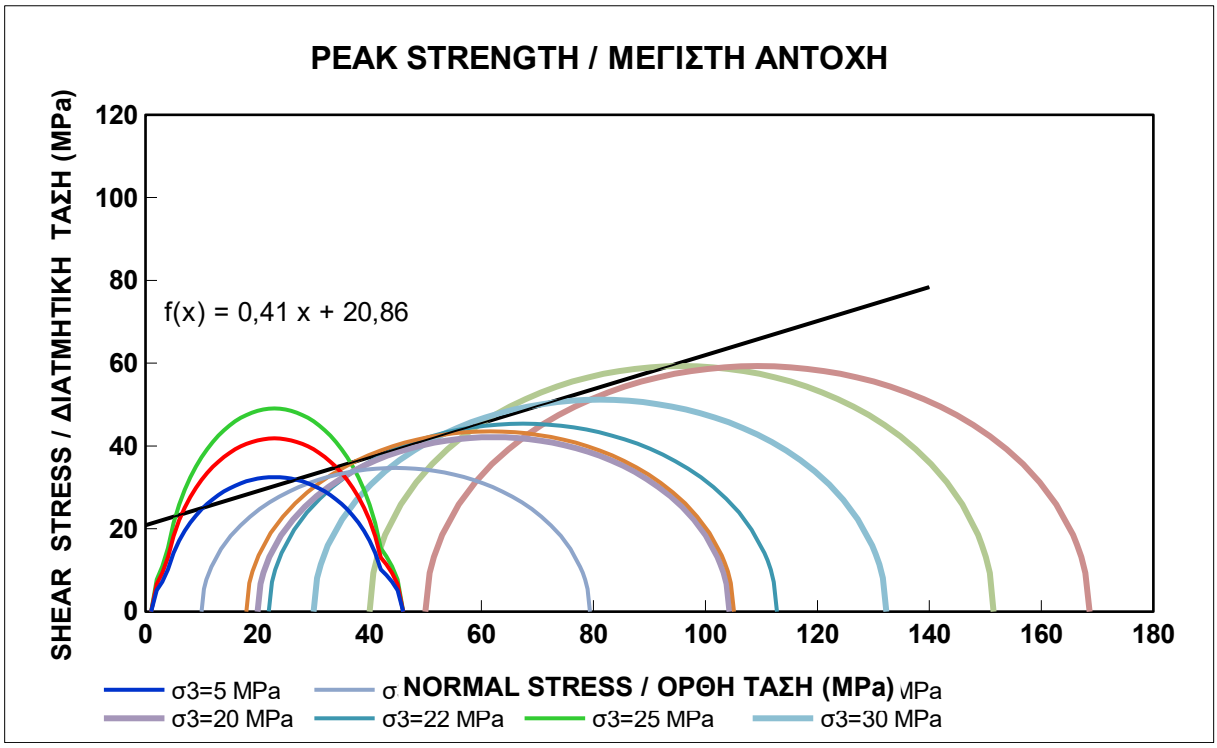
Loading Rate/Ρυθμός φόρτισης (MPa/s): **0,21**

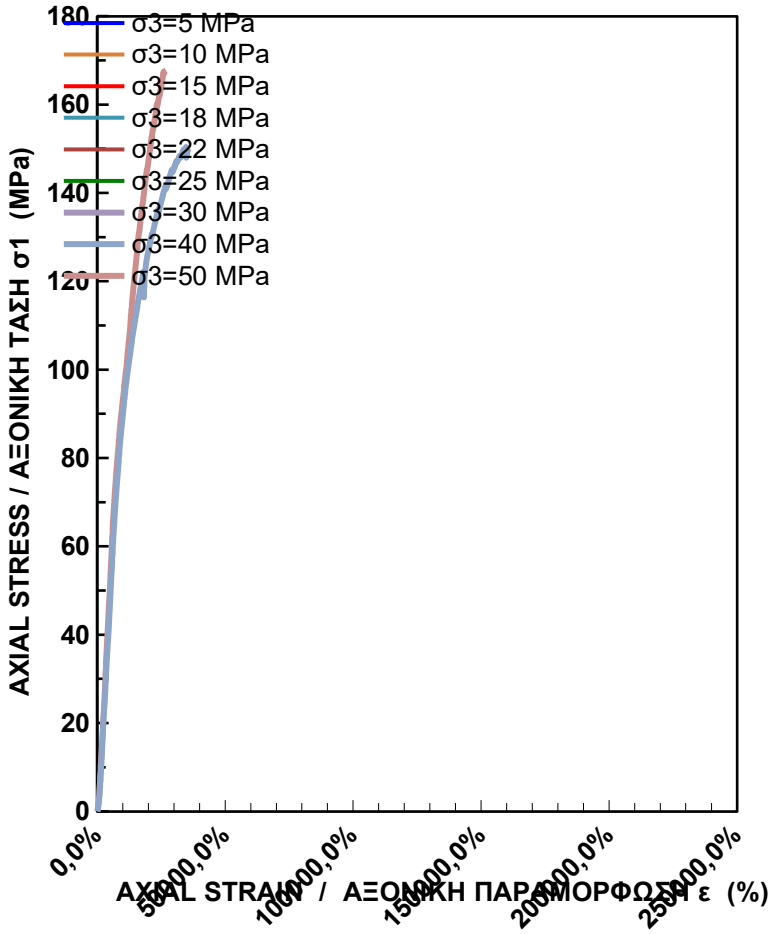
**AXIAL STRESS - AXIAL STRAIN DIAGRAM**
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

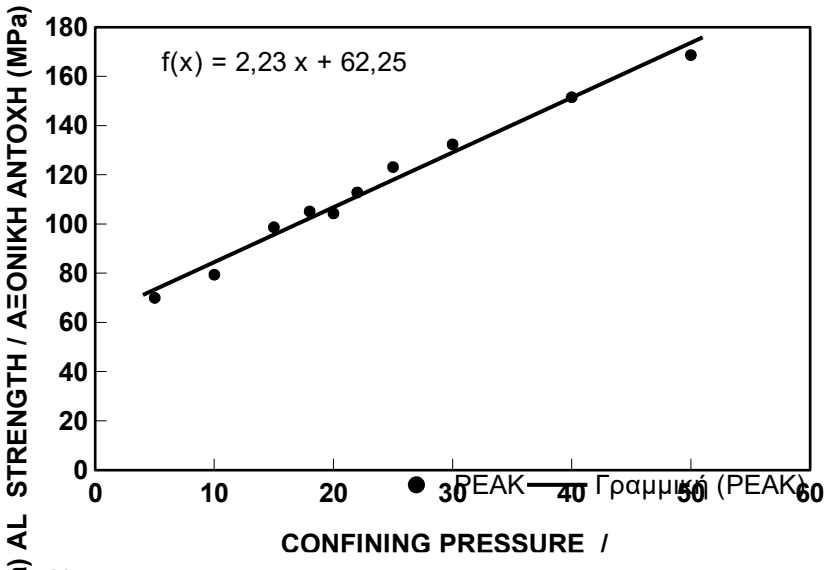


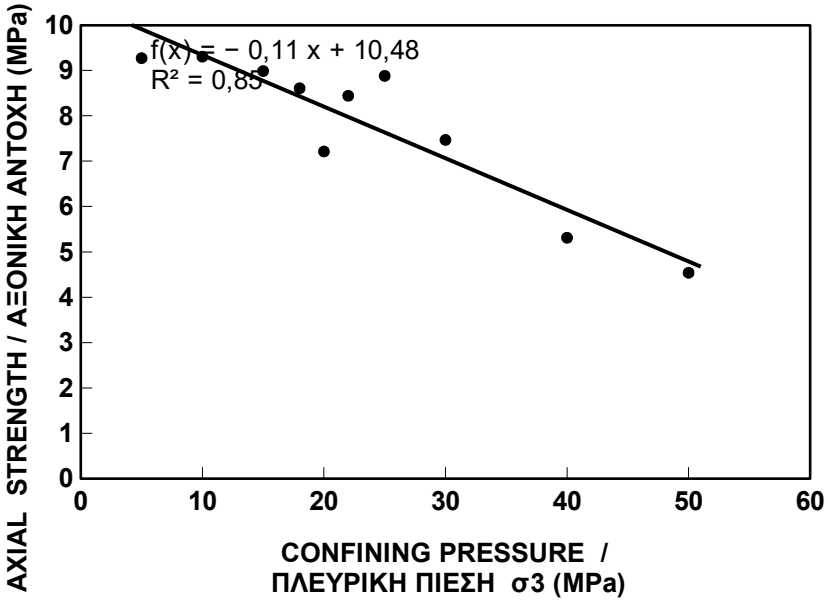

**PHOTOS/ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**

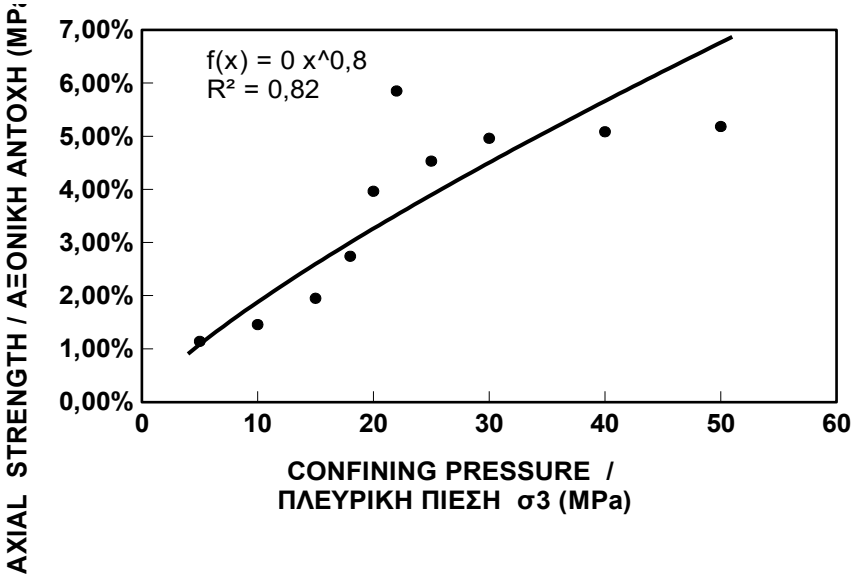


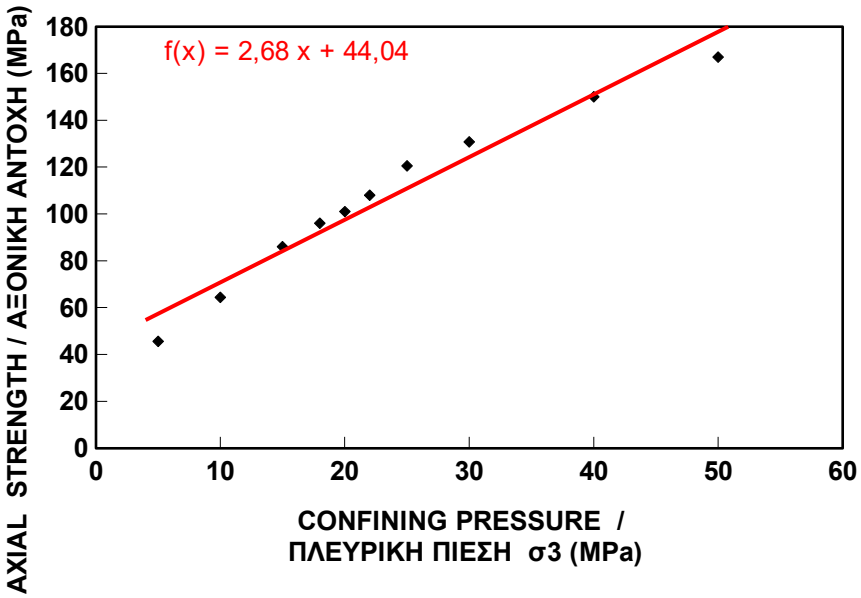

PEAK STRENGTH / ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΝΤΟΧΗ
SHEAR STRESS / ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (MPa)
f(x) = 0,41 x + 20,86
σ NORMAL STRESS / ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ (MPa) MPa
σ3=5 MPa
σ3=20 MPa
σ3=22 MPa
σ3=25 MPa
σ3=30 MPa


σ3=5 MPa
σ3=10 MPa
σ3=15 MPa
σ3=18 MPa
σ3=22 MPa
σ3=25 MPa
σ3=30 MPa
σ3=40 MPa
σ3=50 MPa
AXIAL STRESS / ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΑΣΗ σ1 (MPa)
AXIAL STRAIN / ΑΞΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ε (%)


f(x) = 2,23 x + 62,25
PEAK
Γραμμική (PEAK)
AXIAL STRENGTH / ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)
CONFINING PRESSURE /


f(x) = − 0,11 x + 10,48
R² = 0,85
AXIAL STRENGTH / ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)
CONFINING PRESSURE /
ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ σ3 (MPa)


f(x) = 0 x^0,8
R² = 0,82
AXIAL STRENGTH / ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (MP
CONFINING PRESSURE /
ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ σ3 (MPa)


f(x) = 2,68 x + 44,04
AXIAL STRENGTH / ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ (MPa)
CONFINING PRESSURE /
ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ σ3 (MPa)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
0
10
20
30
40
50
60

## 4.3 ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Για τη δοκιμή της σημειακής φόρτισης χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια. Στο κάθε δοκίμιο εκτελέστηκαν 3 δοκιμές.

- Διαστάσεις
- Φωτογραφίες πάνω πριν και μετά από κάθε στάδιο δοκιμής

| POINT LOAD TEST (ISRM,1985, IJRMMS, V.22,No 3) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A/A No | Δοκίμιο | Διάμετρος D Diameter D | Πλάτος W Width W | Εμβαδό διατομής A Cross-section area A | Φορτίο θραύσης Failure load | Ισοδύναμη διάμετρος/ Equivalentdiameter De | Σημειακή αντοχή Is Point load strength Is | Σημειακή αντοχή Is(50) Point load strength Is(50) | Μέση τιμή / Average Is(50) |
| | | mm | mm | mm | kN | mm | MPa | MPa | MPa |
| 1 | 1 | 54,41 | 89,52 | 4870,78 | 11,25 | 78,75 | 1,81 | 2,22 | |
| 2 | 1A | 43,02 | 54,40 | 2340,29 | 10,08 | 54,59 | 3,38 | 3,52 | |
| 3 | 1B | 54,50 | 55,04 | 2999,68 | 8,32 | 61,80 | 2,18 | 2,40 | |
| 4 | 2 | 72,18 | 85,70 | 6185,83 | 12,65 | 88,75 | 1,61 | 2,08 | |
| 5 | 2A | 45,15 | 72,38 | 3267,96 | 10,88 | 64,50 | 2,61 | 2,93 | |
| 6 | 2B | 47,55 | 72,11 | 3428,83 | 6,84 | 66,07 | 1,57 | 1,77 | |
| 7 | 3 | 68,91 | 83,02 | 5720,91 | 14,96 | 85,35 | 2,05 | 2,61 | |
| 8 | 3A | 42,84 | 68,49 | 2934,11 | 6,20 | 61,12 | 1,66 | 1,82 | 2,52 |
| 9 | 3B | 48,60 | 68,57 | 3332,50 | 9,87 | 65,14 | 2,33 | 2,62 | |
| 4 | 5 | 54,50 | 1,04 | | 8,99 | | 3,03 | 3,15 | |
| 5 | 5A | 54,46 | 1,04 | | 6,64 | | 2,24 | 2,33 | |
| 9 | 5B | 54,50 | 1,04 | | 6,32 | | 2,13 | 2,21 | |
| 10 | 4 | 54,60 | 1,04 | | 8,48 | | 2,84 | 2,96 | |
| 11 | 4A | 54,27 | 1,04 | | 8,53 | | 2,89 | 3,00 | |
| 12 | 4B | 54,40 | 1,04 | | 6,25 | | 2,11 | 2,19 | |

**ΠΡΙΝ**

**ΜΕΤΑ**

## 4.4 ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΉ ΘΛΙΨΗ (ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΗ ΔΟΚΙΜΗ)

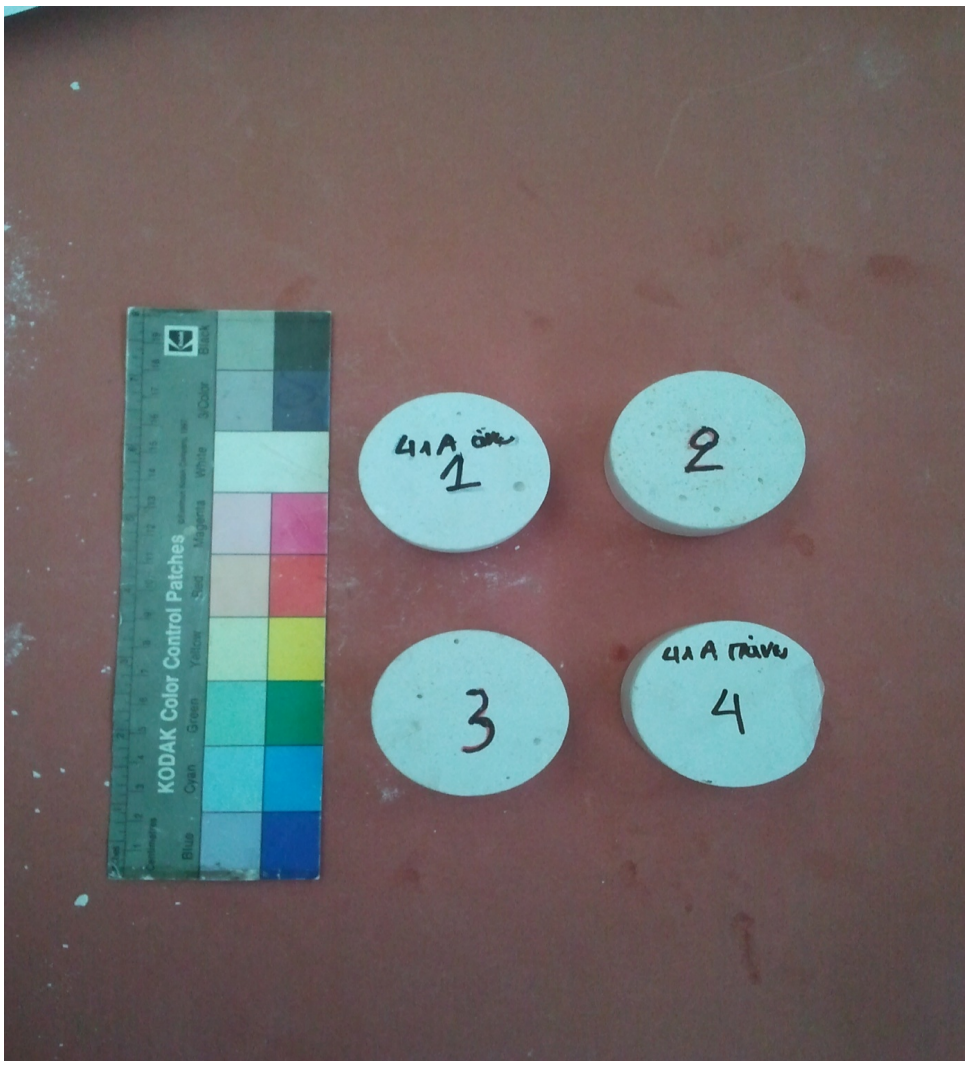
Για τη δοκιμή της αντιδιαμετρικής θλίψης χρησιμοποιήθηκαν 4 κυλινδρικά δοκίμια. Στα οποία εκτελέστηκε από 1 δοκιμή.

- Διαστάσεις και βάρος
- Φωτογραφίες πάνω πριν και μετά από κάθε στάδιο δοκιμής
-

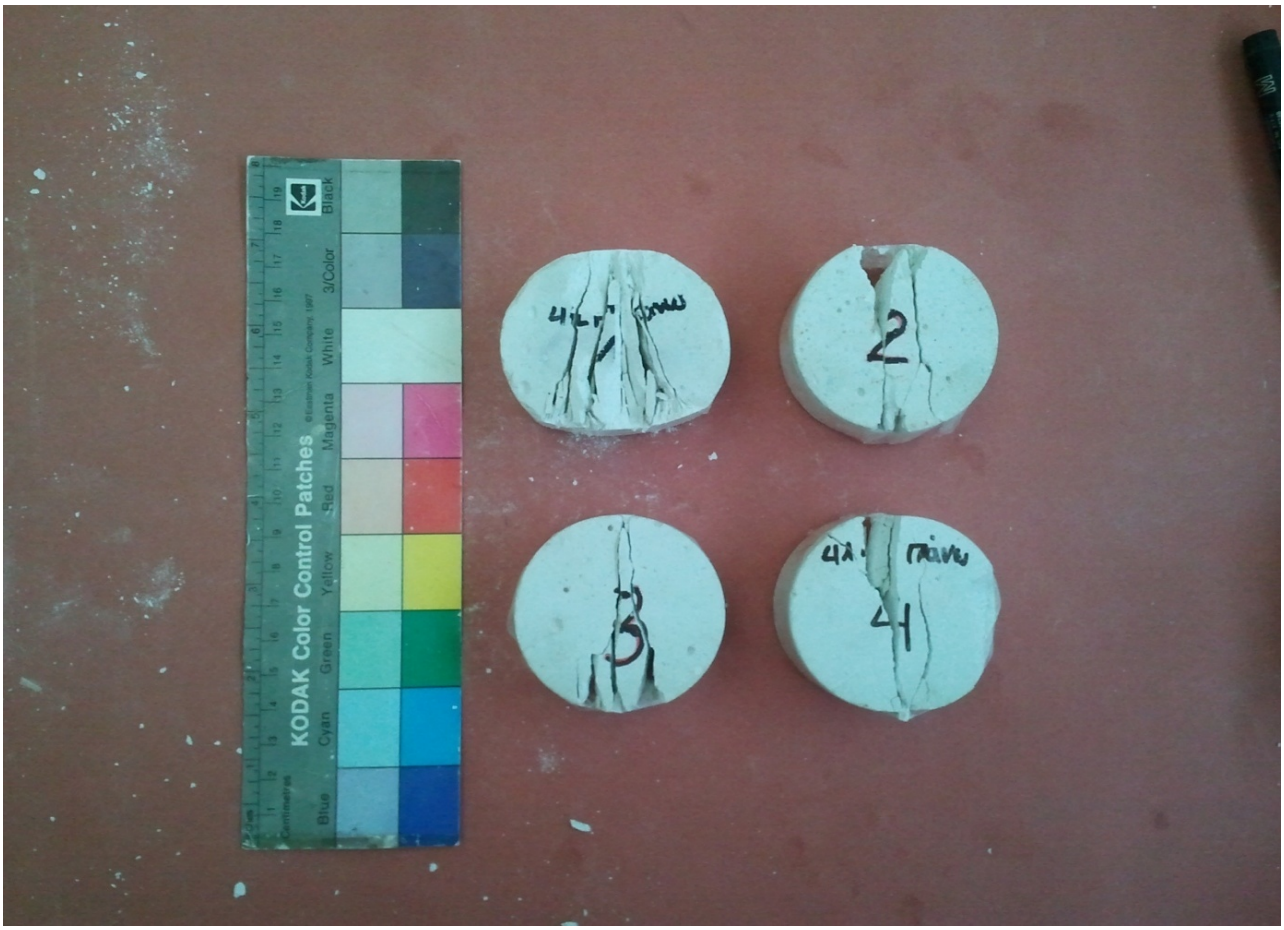
| ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΔΟΚΙΜΙΟ | D1 | D2 | D | L | ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ | σt | | ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ |
| | mm | mm | mm | mm | kN | Μρα | | Μρα |
| 1 | 54,52 | 54,56 | 54,54 | 28,51 | 10,00 | 4,09 | | 4,42 |
| 2 | 54,65 | 54,71 | 54,68 | 27,74 | 10,26 | 4,30 | | |
| 3 | 54,55 | 54,65 | 54,60 | 27,23 | 11,30 | 4,83 | | |
| 4 | 54,50 | 54,48 | 54,49 | 27,89 | 10,64 | 4,45 | | |

| ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ΔΟΚΙΜΙΟ | D1 | D2 | D | L | E | ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ | σt | | ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ |
| | mm | mm | mm | mm | | kN | Μρα | | Μρα |
| 1 | 54,52 | 54,56 | 54,54 | 28,51 | 1554,94 | 10,00 | 4,09 | 0,31 | 4,42 |
| 2 | 54,65 | 54,71 | 54,68 | 27,74 | 1516,82 | 10,26 | 4,30 | | |
| 3 | 54,55 | 54,65 | 54,60 | 27,23 | 1486,76 | 11,30 | 4,83 | | |
| 4 | 54,50 | 54,48 | 54,49 | 27,89 | 1519,73 | 10,64 | 4,45 | | |

**ΠΡΙΝ**



# META


KODAK Color Control Patches
Blue
Cyan
Green
Yellow
Red
Magenta
White
3/Color
Black
2
3
4

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης ασυνεχειών, τριαξονικής θλίψης, μονοαξονικής θλίψης, σημειακής φόρτισης και αντιδιαμετρικής θλίψης σε υλικό προσομοίωσης από τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη. Οι αναλογίες βάρους των συστατικών του υλικού προσομοίωσης ήταν μαρμαρόσκονη/λευκό τσιμέντο/νερό : 2/1/0,5.

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διάτμησης 6 σταδίων αυξανόμενης ορθής τάσης (από 0-1000 kPa) σε 6 δοκίμια ορθογωνικής διατομής με μέσες διαστάσεις 137x85 mm, που είχαν προκύψει από θραύση πρισματικών δοκών με διάρρηξη με εφελκυσμό (συνολικά 36 δοκιμές).

Από κάθε τμήμα των δοκιμίων διάτμησης απολήφθηκε με εργαστηριακή μηχανή πυρηνοληψίας ένας πυρήνας που διαμορφώθηκε σε κυλινδρικό δοκίμιο διαμέτρου 54 mm και μήκους 108 mm. Δέκα από αυτούς τους πυρήνες υποβλήθηκαν σε τριαξονική καταπόνηση με διαφορετική πλευρική πίεση στο εύρος 0-50 MPa.

Από τις δοκιμές διάτμησης ασυνεχειών προσδιορίστηκε η γωνία τριβής που αντιστοιχεί σε διάτμηση χωρίς διαστολή, ως διαφορά της συνολικής γωνίας τριβής και της διαστολής. Η τιμή που προέκυψε με αυτή τη μέθοδο ήταν 41.1°.

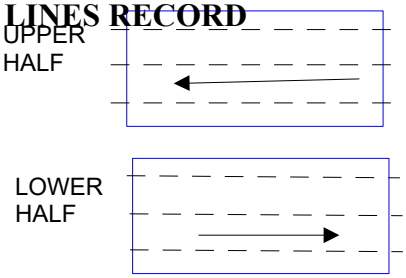
Από τις δοκιμές τριαξονικής θλίψης, προσδιορίστηκε η πλευρική πίεση η οποία αντιστοιχεί στη μετάβαση από ψαθυρή σε όλκιμη συμπεριφορά. Στην περίπτωσή μας η πίεση αυτή προσδιορίστηκε ίση με $\sigma_3$=22 MPa. **Η γωνία τριβής του άρρηκτου υλικού προσδιορίστηκε σύμφωνα με την υπόθεση Orowan από την πλευρική αυτή πίεση και την αντίστοιχη μέγιστη κύρια τάση** ($\sigma_1$) και βρέθηκε ίση με 42.2°.

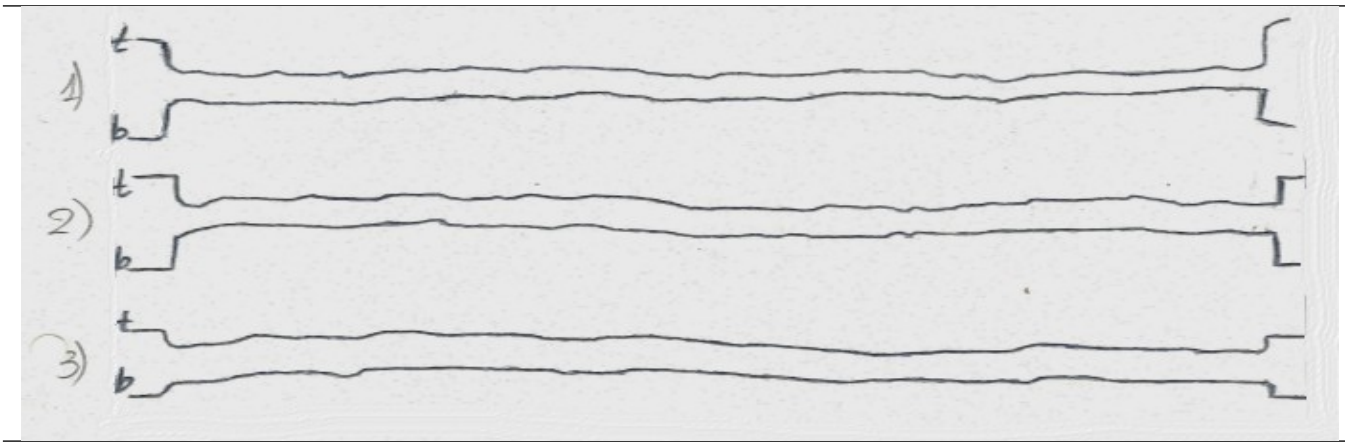
Οι πρακτικά ίδιες τιμές που προσδιορίστηκαν με τους δυο τύπους εργαστηριακών δοκιμών (διάτμηση σε ασυνέχειες και τριαξονική θλίψη σε άρρηκτο υλικό) επαληθεύουν τη θεωρία στην οποία βασίζεται το κριτήριο διατμητικής αντοχής Papaliangas, ότι δηλαδή η διατμητική αντοχή ασυνεχειών προκύπτει από τη διατμητική αντοχή των κόμβων επαφής, που βρίσκονται σε συνθήκες πολύ υψηλής ορθής τάσης.

## 6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

### 1. ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 2,83 kPa

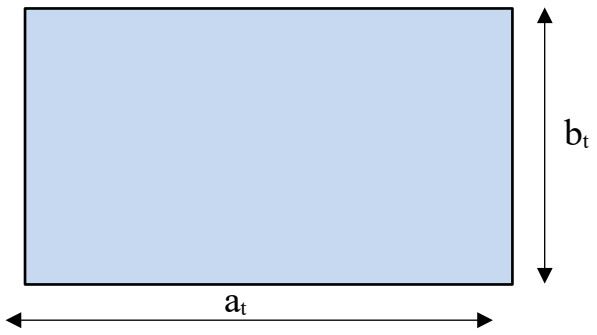
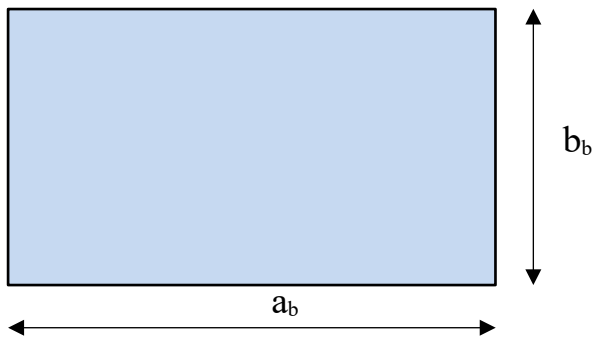
ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE: **4A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**

**ANNOTATED DIAGRAMS:**

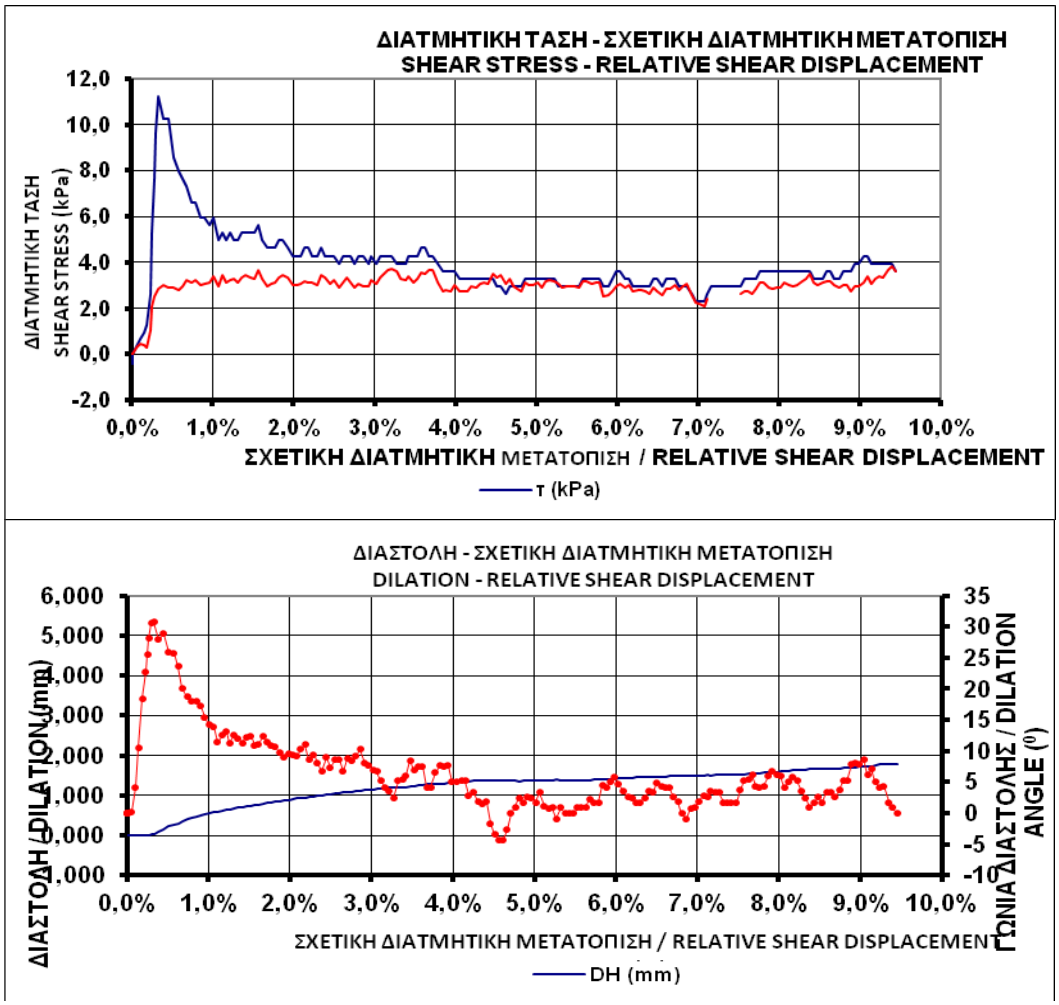
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : Ορθογωνική | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

| | |
|---|---|
| | (g) :2913 |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 2,83 | **kPa** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **11,24** | 3,93 | 11,24 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 2,84 | **3,81** | 2,84 |
| **ψ ($^0$)** | 30,72 | 15,64 | **30,72** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 45,14 | 53,38 | 45,14 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,331% | 9,393% | 0,331% |
| **$k_S$ (MPa)** | - | 0,042 | - |

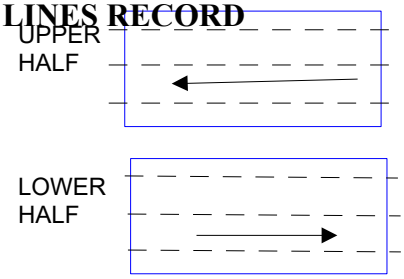


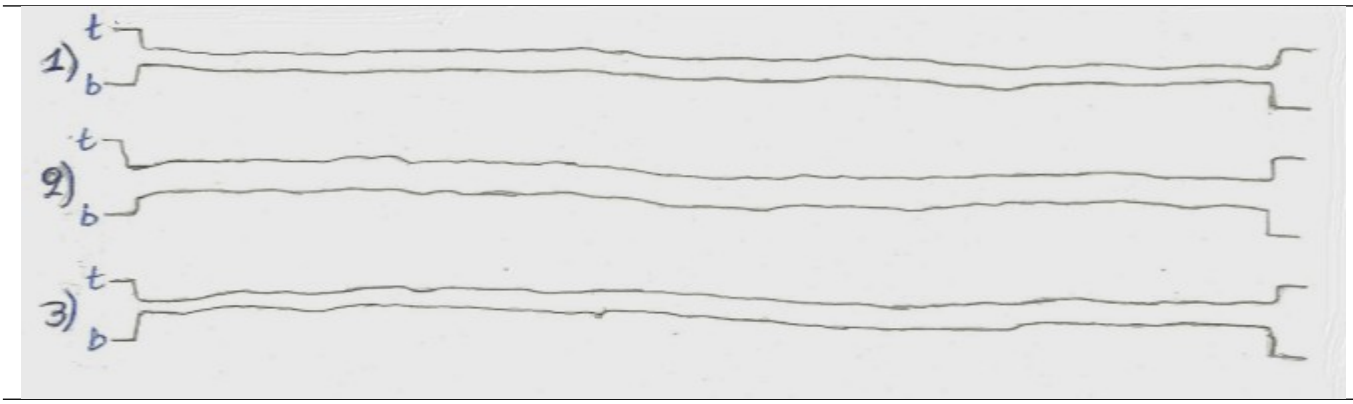

**Σχήμα 26.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης

(πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

## 2. ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 100 kPa

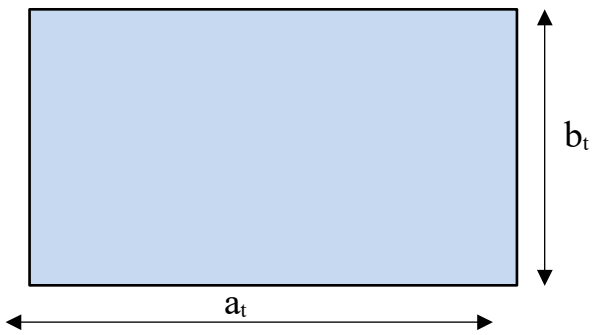
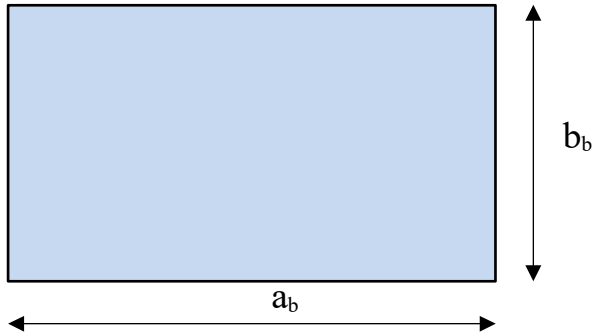
ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**

**ANNOTATED DIAGRAMS:**

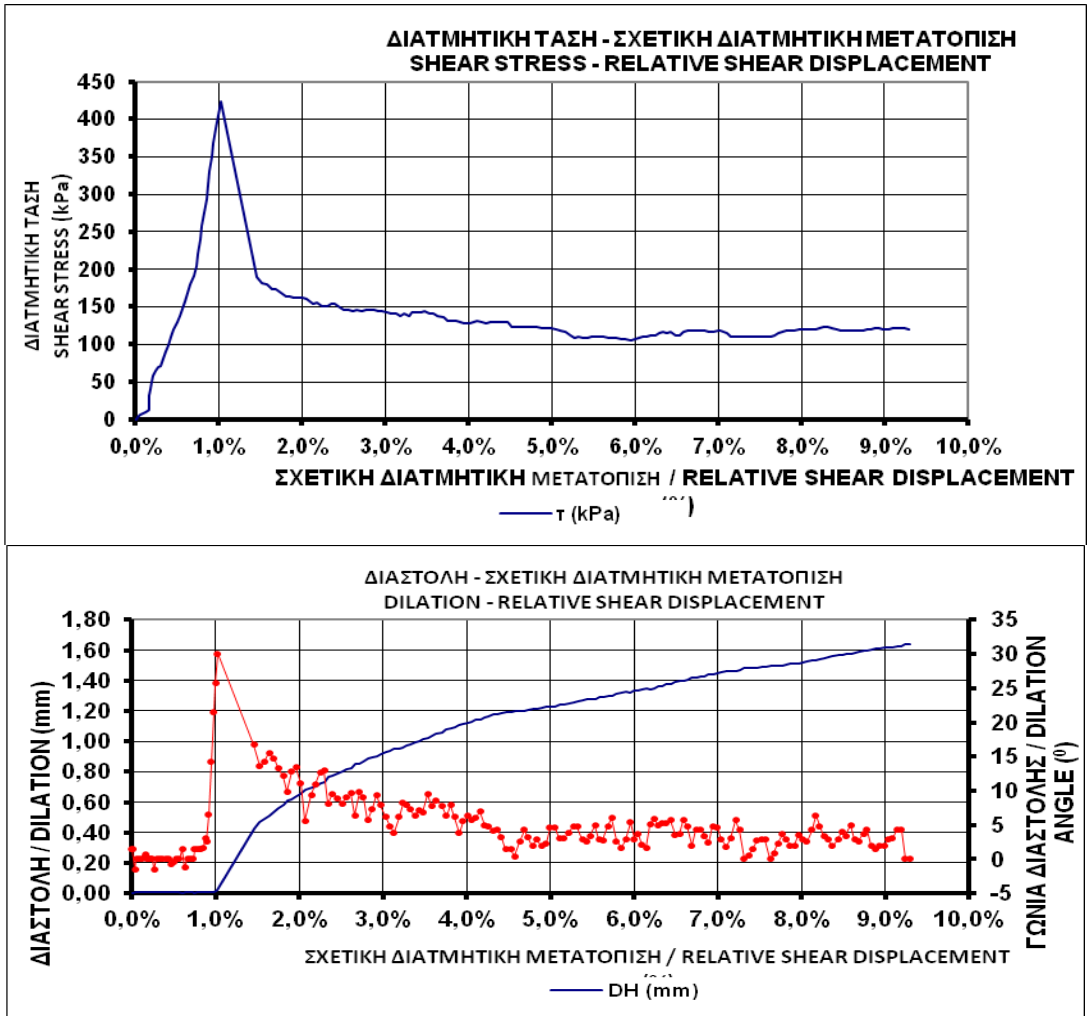
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |

| | |
|---|---|
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2913 |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **$mm^2$** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 100,00 | **kPa** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **423,11** | 331,35 | 423,11 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 105,85 | **283,68** | 105,85 |
| **ψ ($^0$)** | 30,07 | 1,66 | **30,07** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 46,63 | 70,58 | 46,63 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 1,021 % | 0,894% | 1,021 % |
| **$k_S$ (MPa)** | 41,45 | 37,069 | 41,446 |

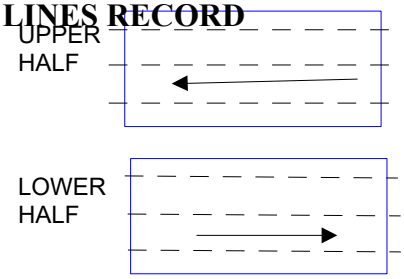


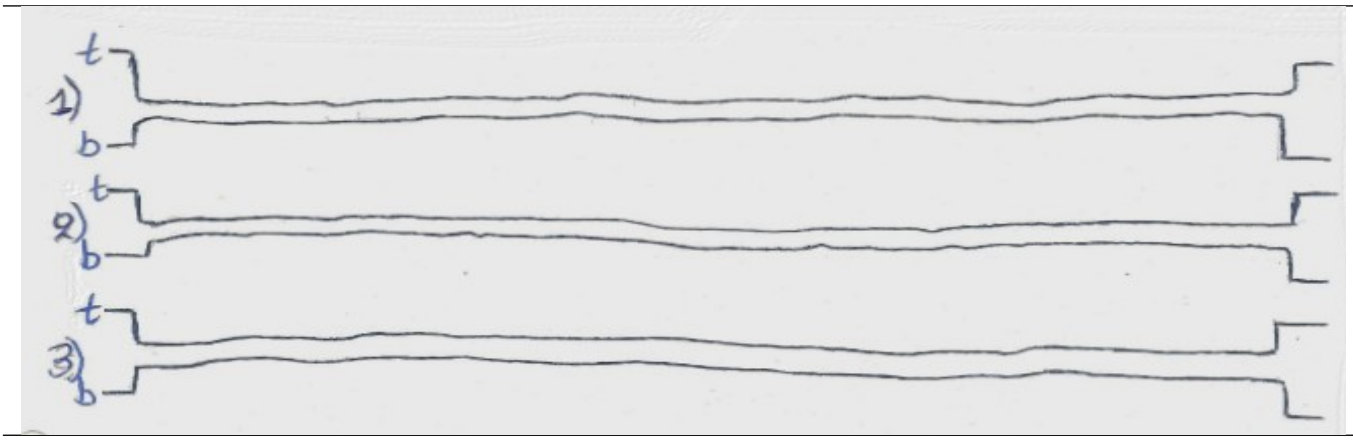

**Σχήμα 27.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης

(πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

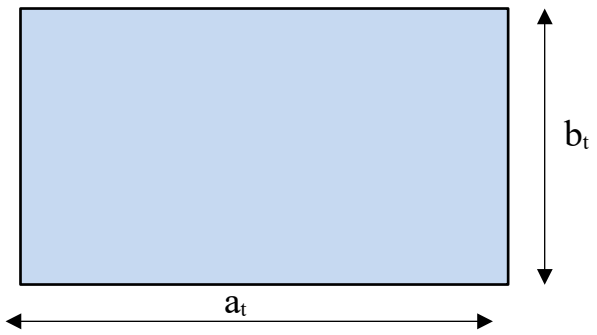
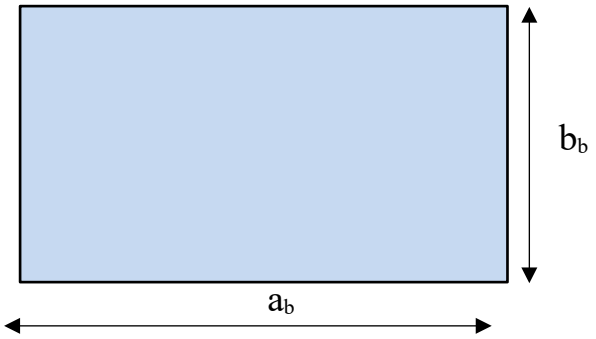
### 3. ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 250 kPa

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |



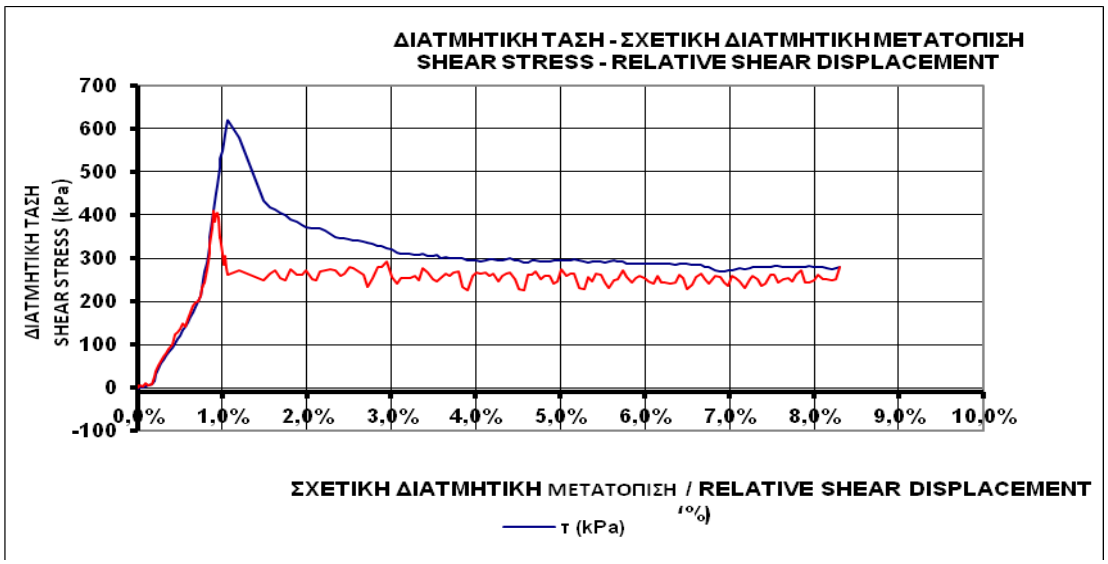

**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES ANNOTATED DIAGRAMS:**

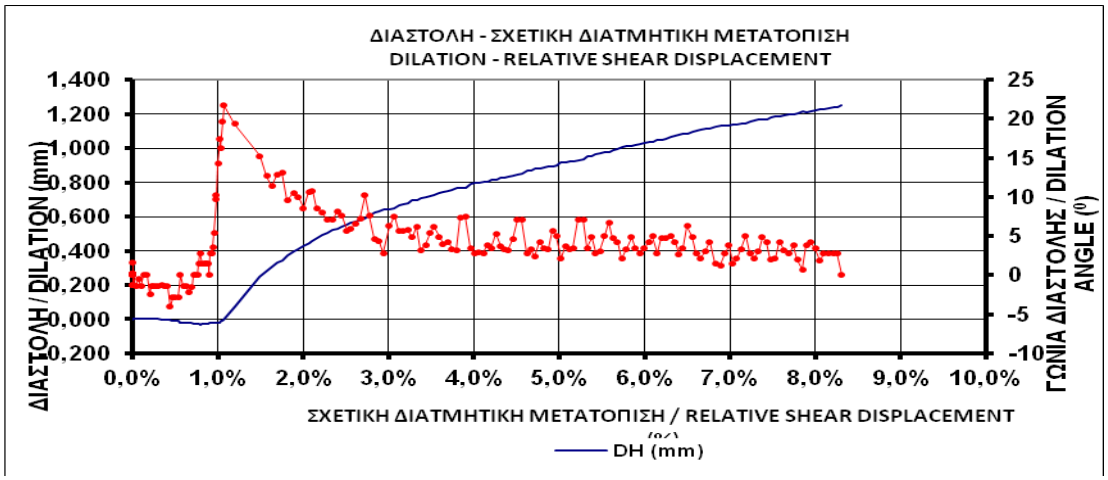
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2913 |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **$mm^2$** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 250,00 | **kPa** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **621,10** | 409,55 | 621,10 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 262,27 | **409,55** | 262,27 |
| **ψ ($^0$)** | 21,70 | 1,66 | **21,70** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 46,37 | 58,60 | 46,37 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 1,071% | 0,898% | 1,071% |
| **$k_S$ (MPa)** | 57,98 | 45,599 | 57,984 |



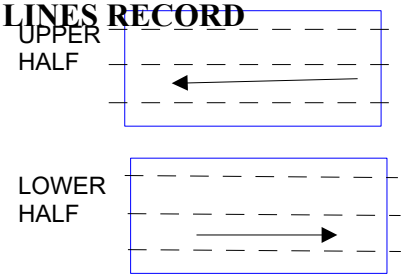



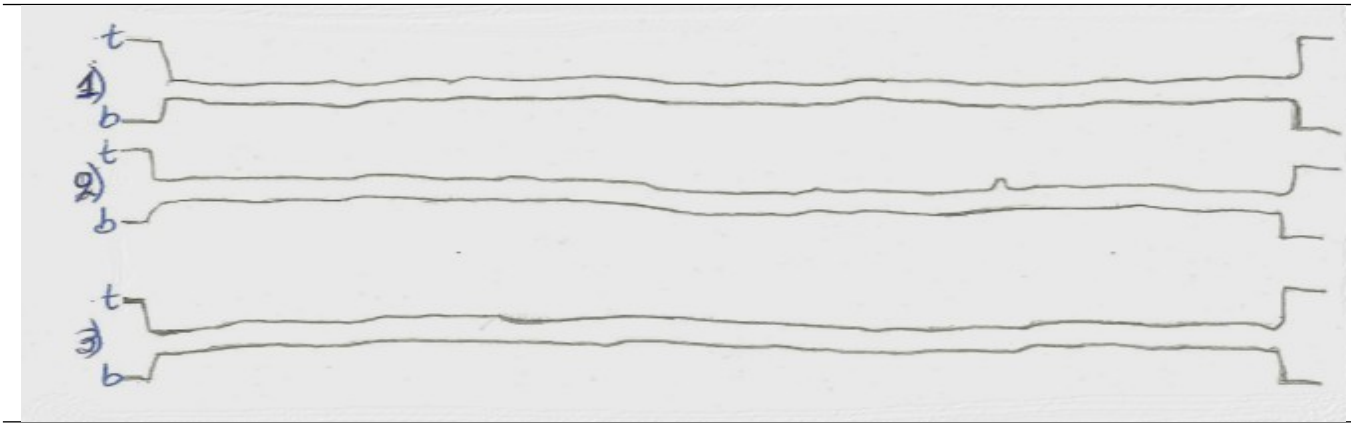

**Σχήμα 28.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης

(πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

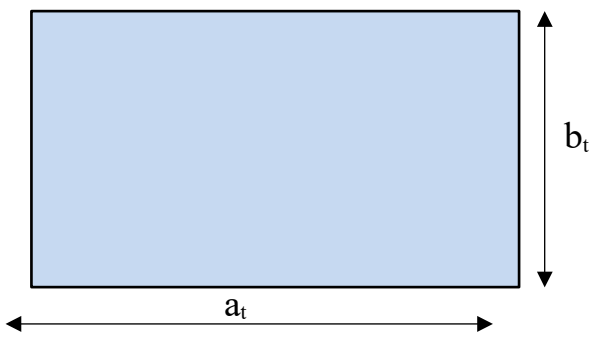
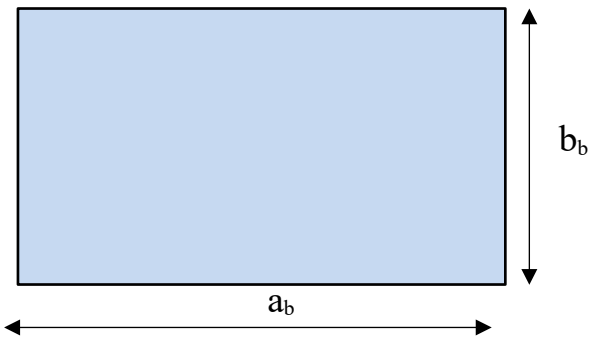
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ =500 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

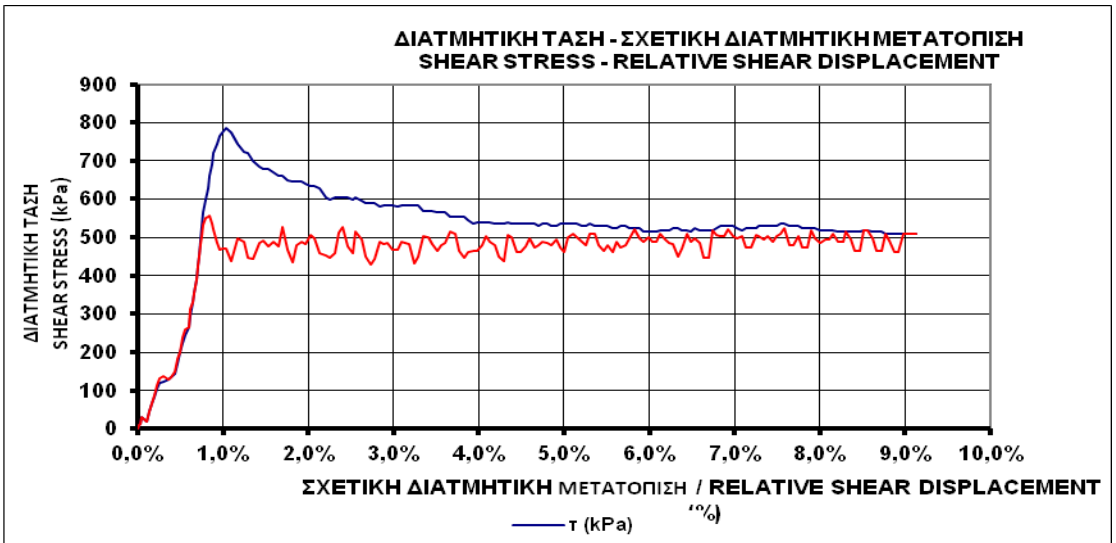
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

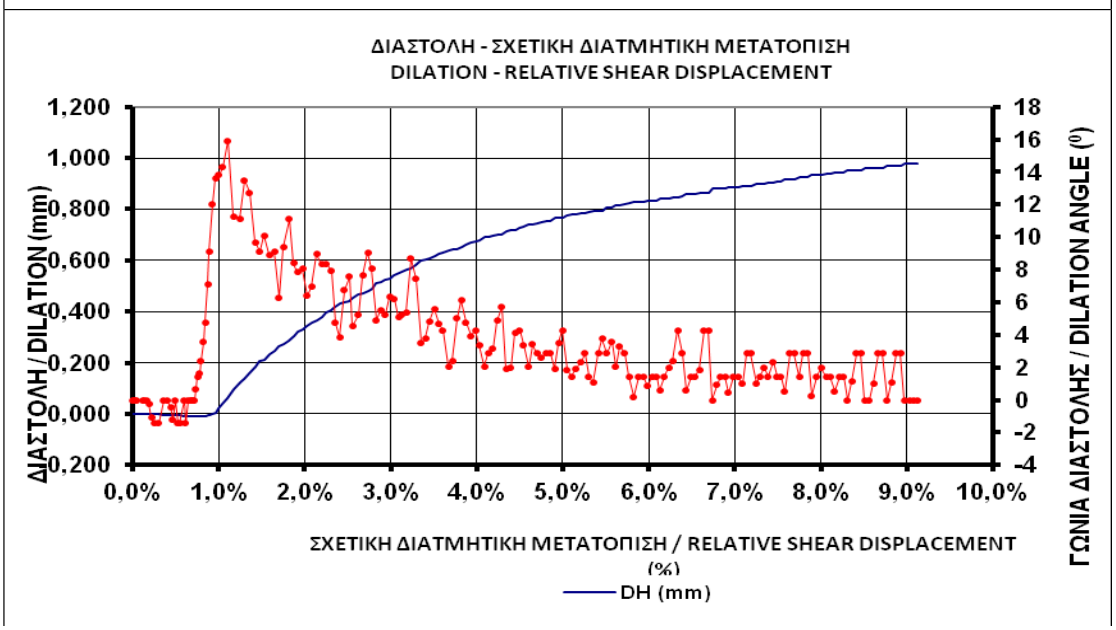
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |

| | |
|---|---|
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2913 |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **$mm^2$** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 500,00 | **kPa** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **$\tau$ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **$\psi$ ($^0$)** |
| **$\tau$ (kPa)** | **785,01** | 659,41 | 774,14 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 469,49 | **556,42** | 438,05 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 14,31 | 1,57 | **15,92** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 43,20 | 48,06 | 41,22 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 1,043% | 0,843% | 1,104% |
| **$k_S$ (MPa)** | 75,27 | 78,227 | 70,142 |

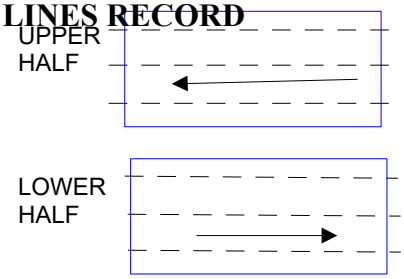


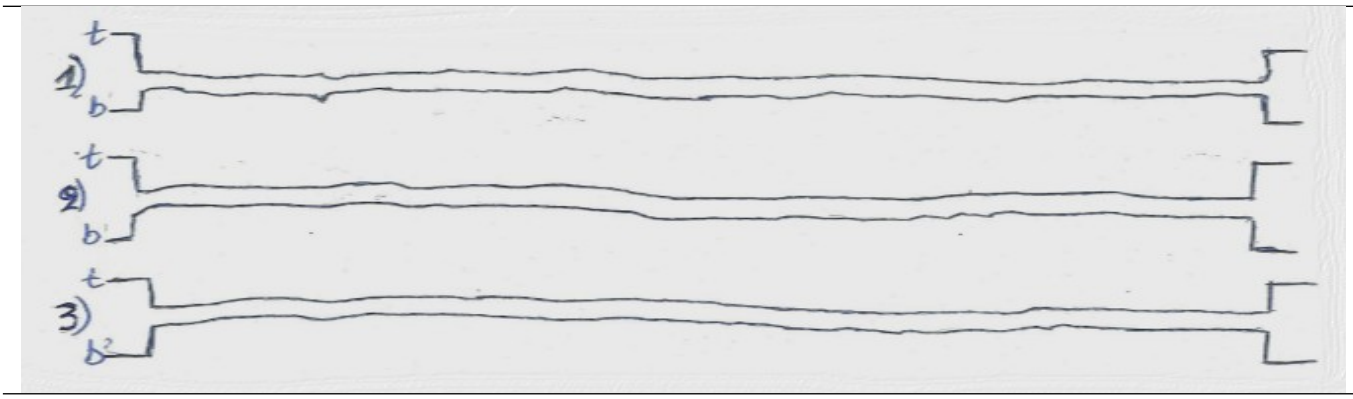



**Σχήμα 29.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 750 kPa**

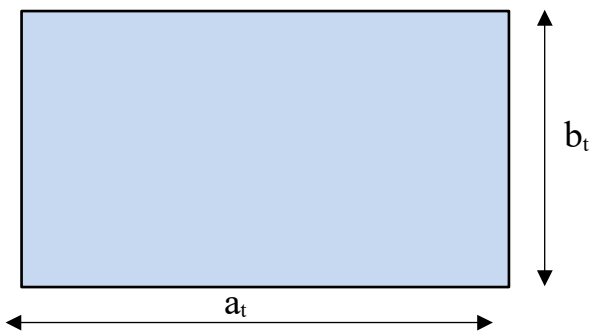
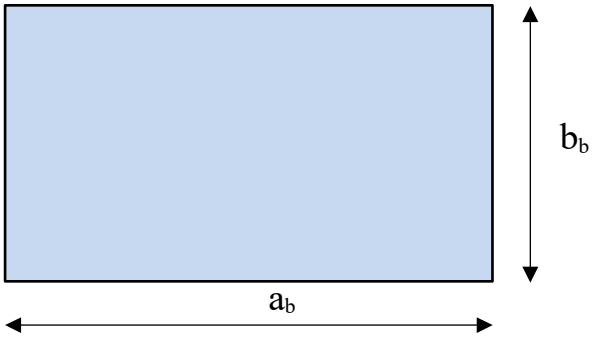
ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4A**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**

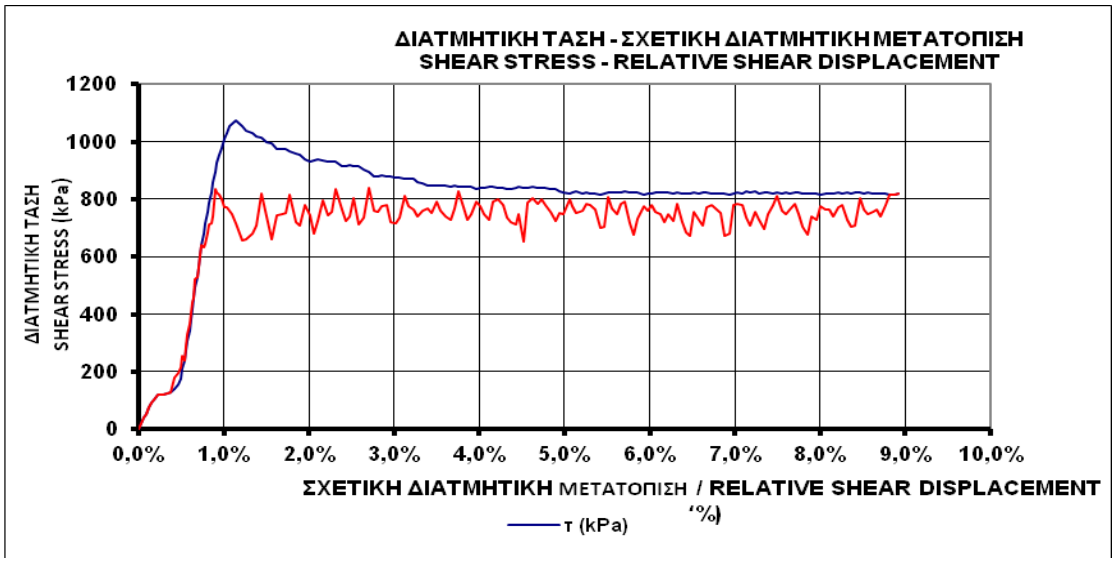
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

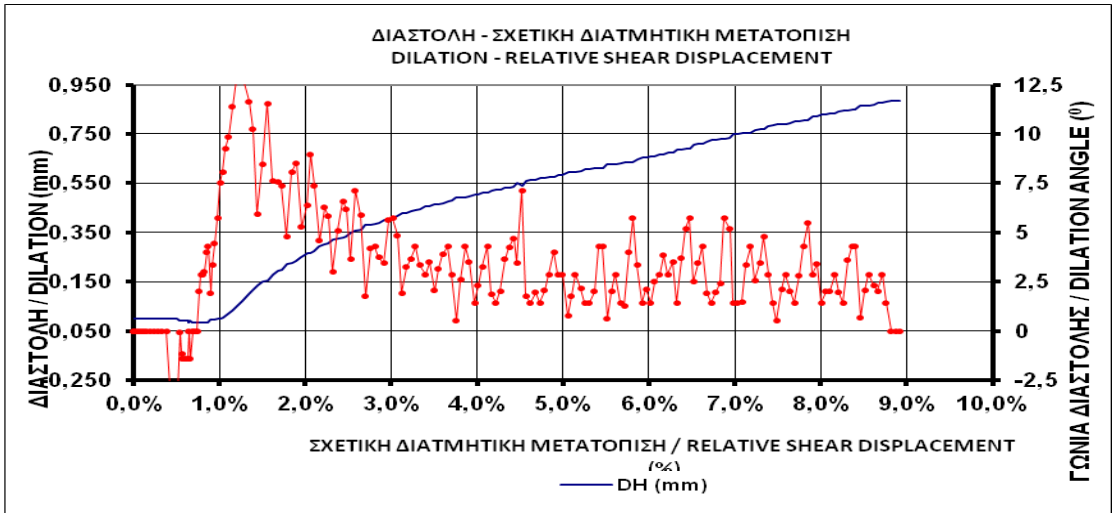
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2913 |

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 750,00 | **kPa** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **1074,86** | 894,91 | 1054,33 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 717,08 | **841,26** | 658,60 |
| **ψ ($^0$)** | 11,38 | 4,60 | **13,29** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 43,71 | 48,28 | 41,29 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 1,147% | 2,699 % | 1,213% |
| **$k_S$ (MPa)** | 93,69 | 33,160 | 86,927 |

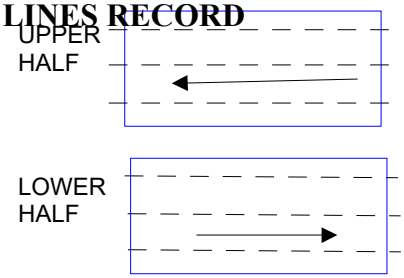


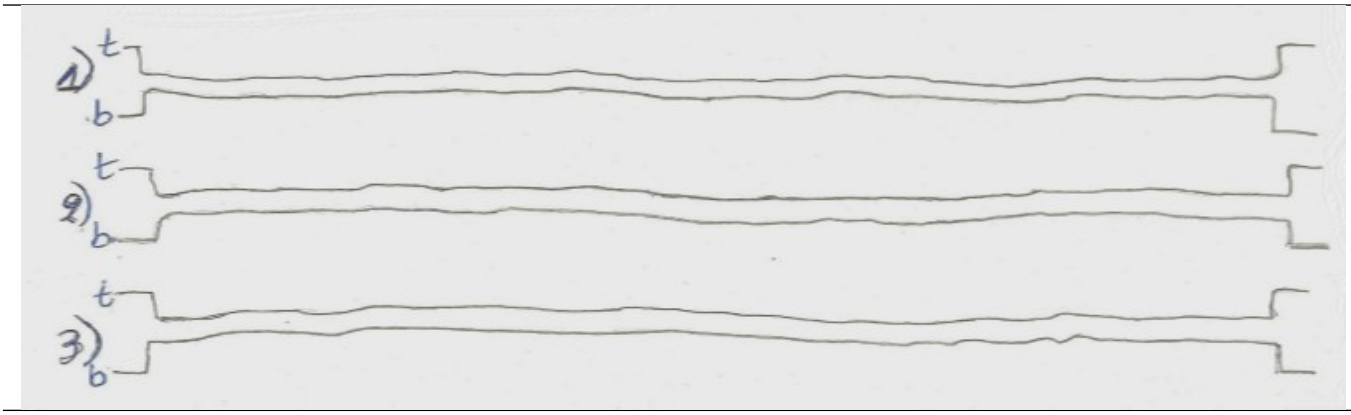



**Σχήμα 30.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

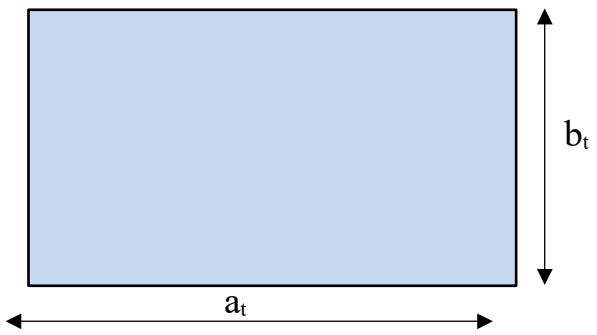
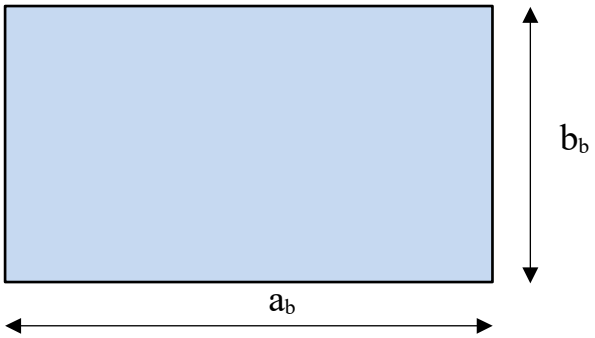
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 1000 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4A**

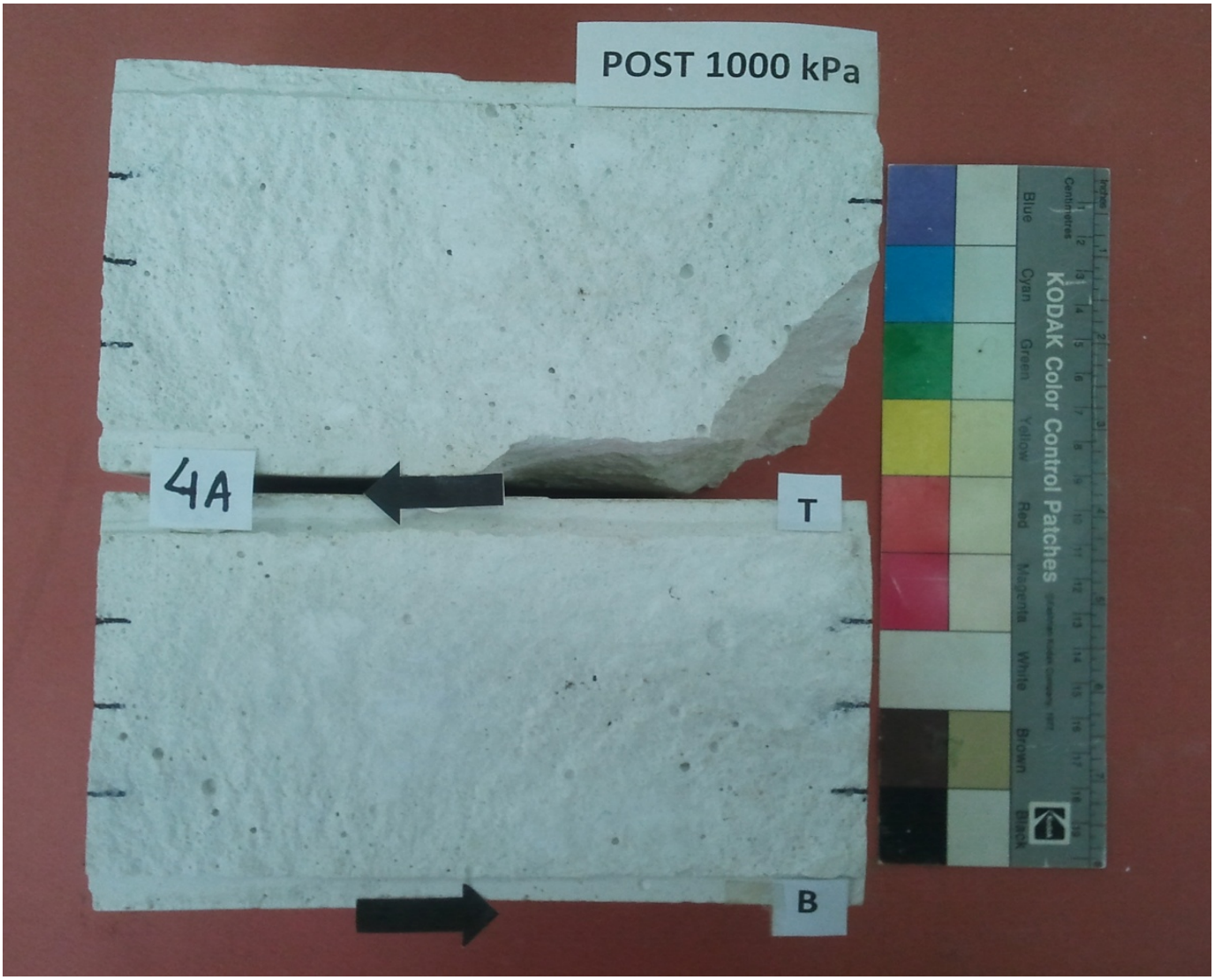
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,83 kPa) είναι 30,72° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|   |   |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 163,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):162,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 77,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 77,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2913 |



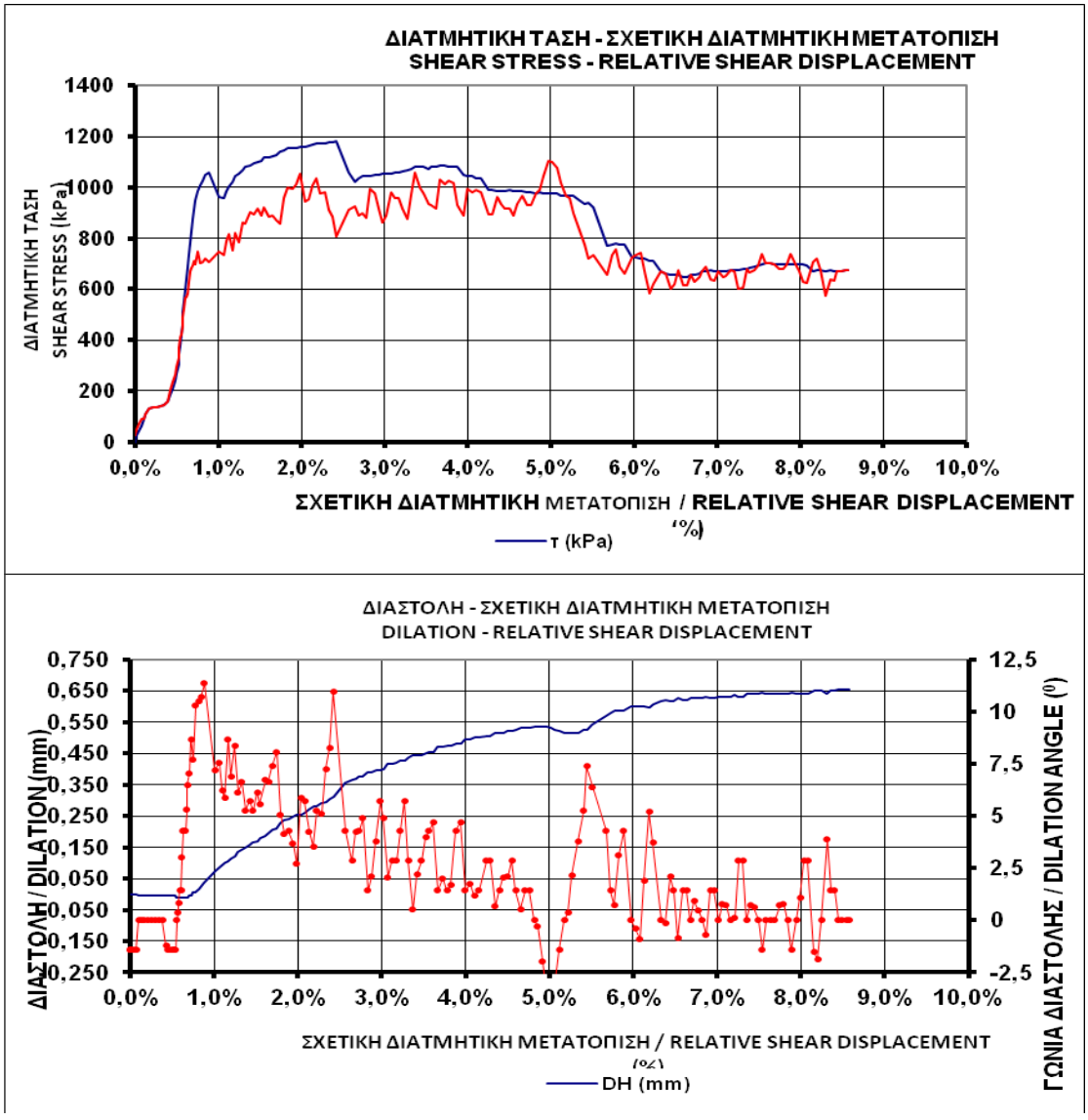

Φωτογραφία 1. Φωτογραφία δείγματος 4Α μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | |
|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 163,0 **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 77,0 **mm** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
| **τ (kPa)** | **1183,55** | 974,62 | 1059,16 |

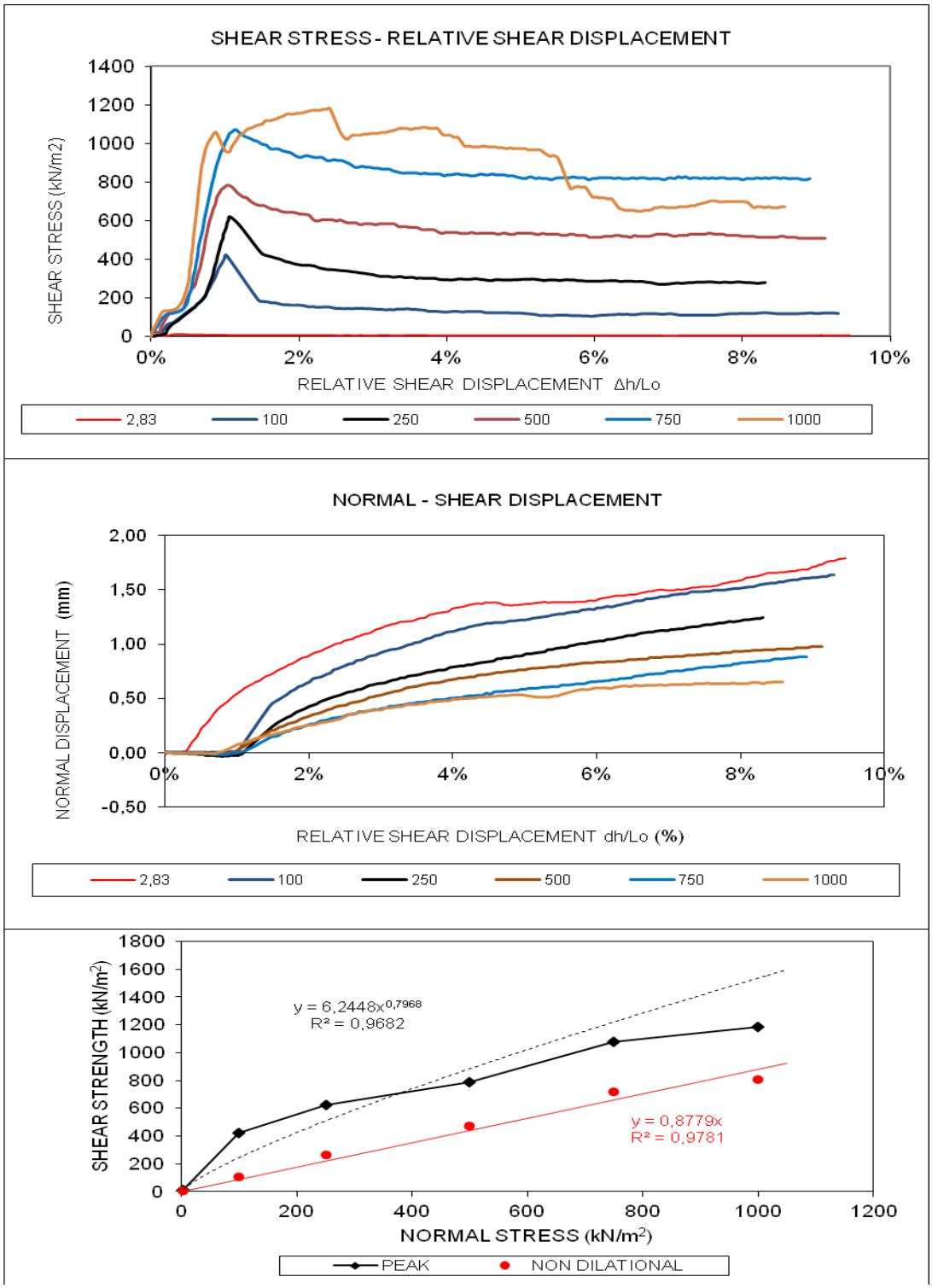
| | | |
|---|---|---|
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2913 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 12551 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 1000,00 | **kPa** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **$\tau_m$ (kPa)** | 806,15 | **1106,24** | 708,21 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 10,93 | 8,30 | **11,34** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 38,87 | 47,89 | 35,31 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 2,423% | 4,971% | 0,885% |
| **$k_S$ (MPa)** | 48,84 | 19,605 | 119,642 |




**Σχήμα 31.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

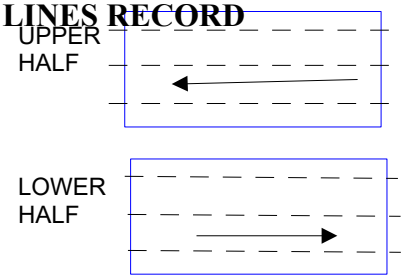
## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 4Α

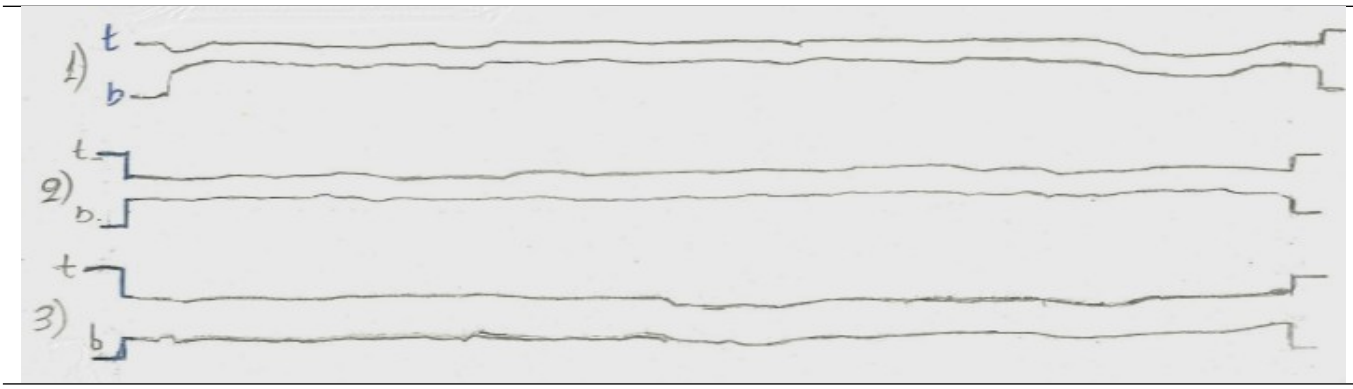



**Σχήμα 32.** Διάγραμματα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω), διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (μέσο) και διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης (κάτω).

**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 2,49 kPa**

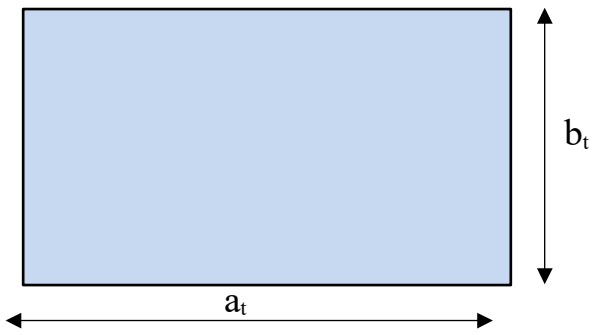
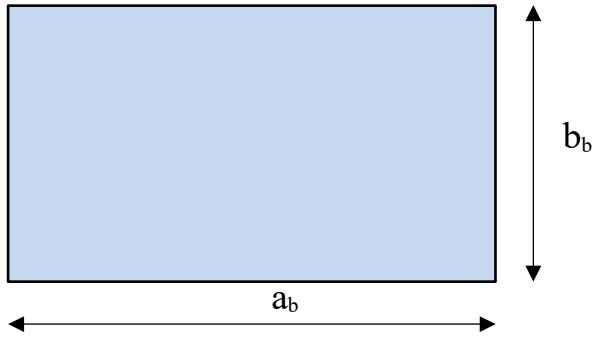
ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |

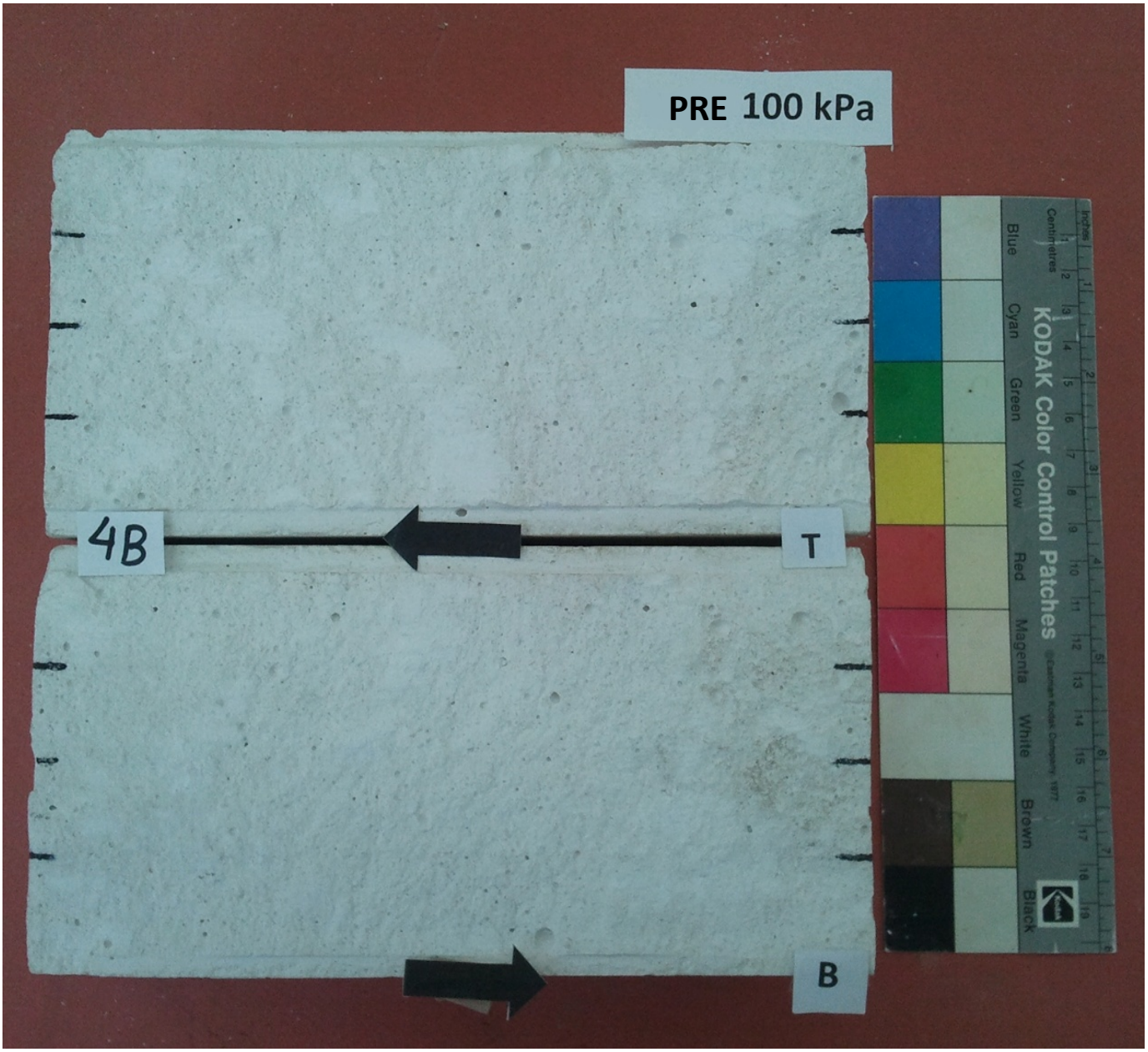



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**

**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

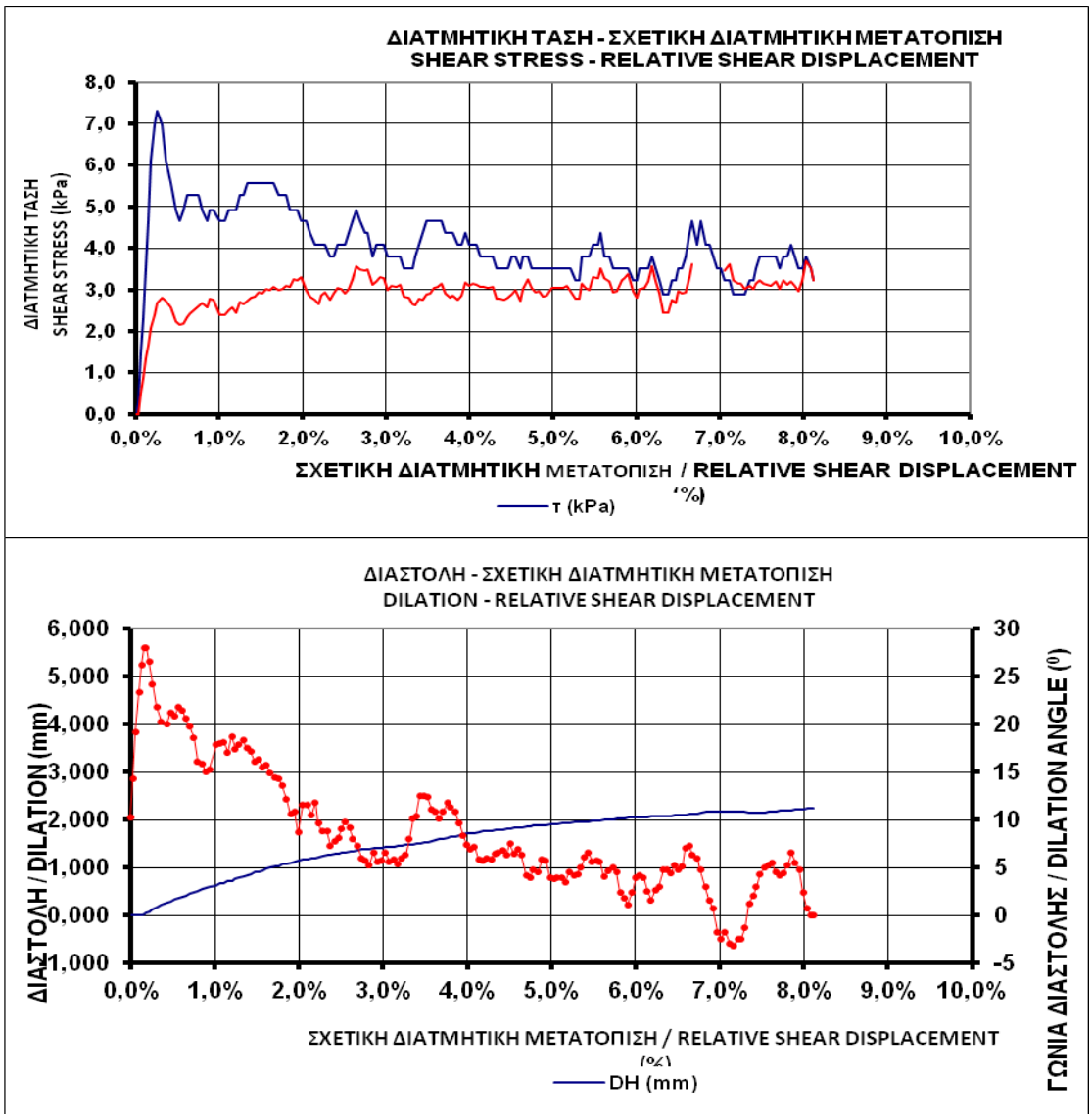
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2927 |




Φωτογραφία 2. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 2,49 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 179,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 80,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2927 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 14320 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 2,49 | kPa |

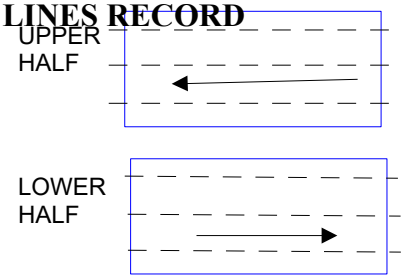
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **7,32** | 3,80 | 6,12 |
| $\tau_m$ (kPa) | 2,67 | **3,69** | 2,07 |
| $\psi$ ($^0$) | 24,25 | 14,74 | **28,06** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 46,96 | 55,96 | 39,80 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,260 % | 8,037 % | 0,186 % |
| $k_S$ (MPa) | - | 0,047 | - |

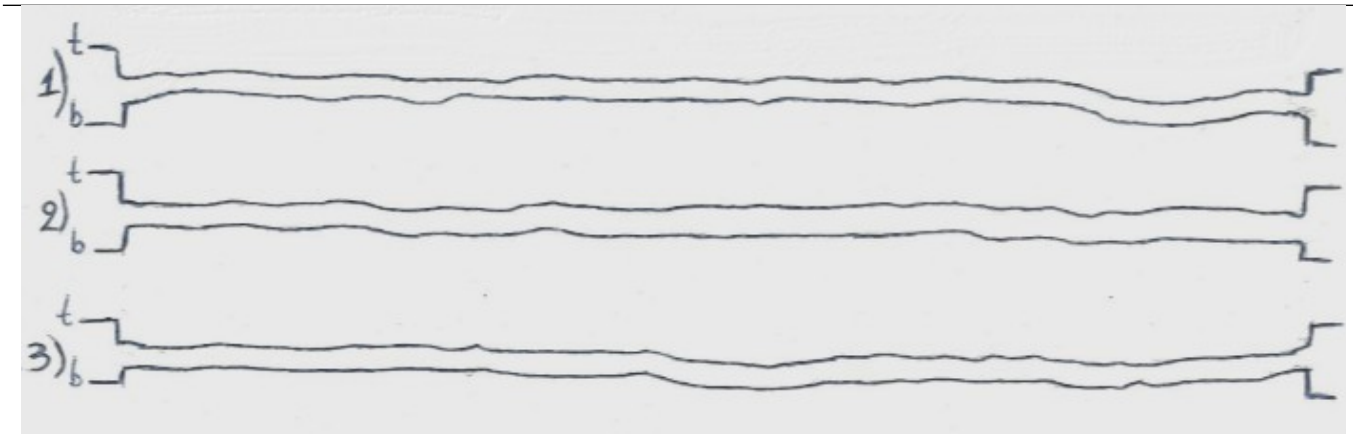



**Σχήμα 33.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

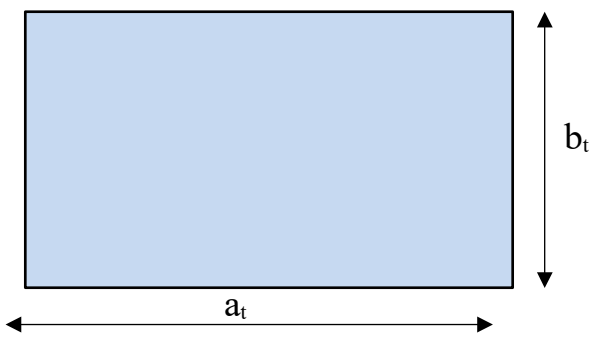
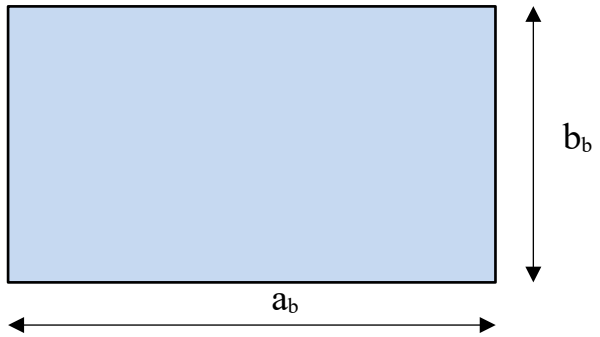
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 100 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |

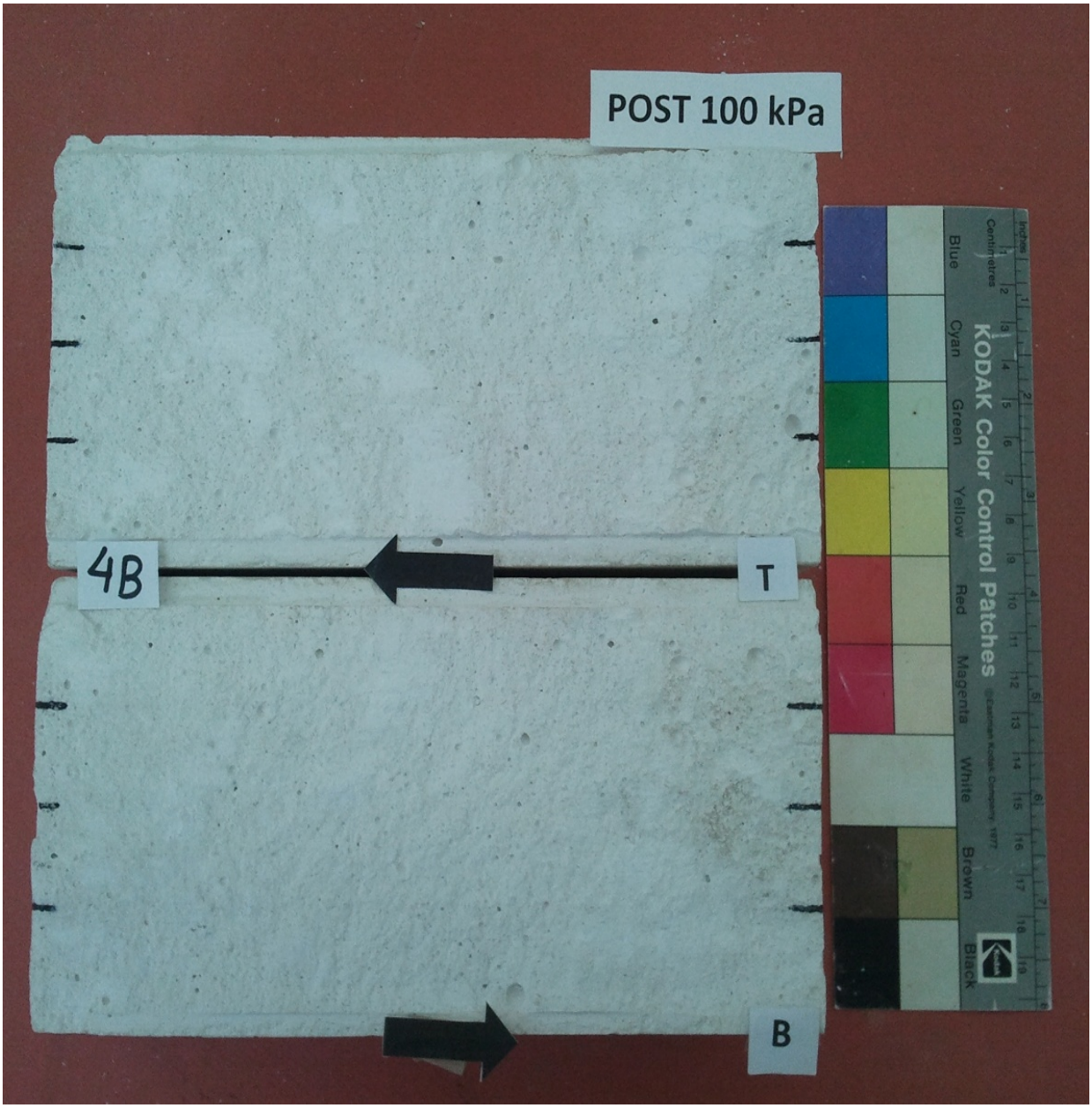



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

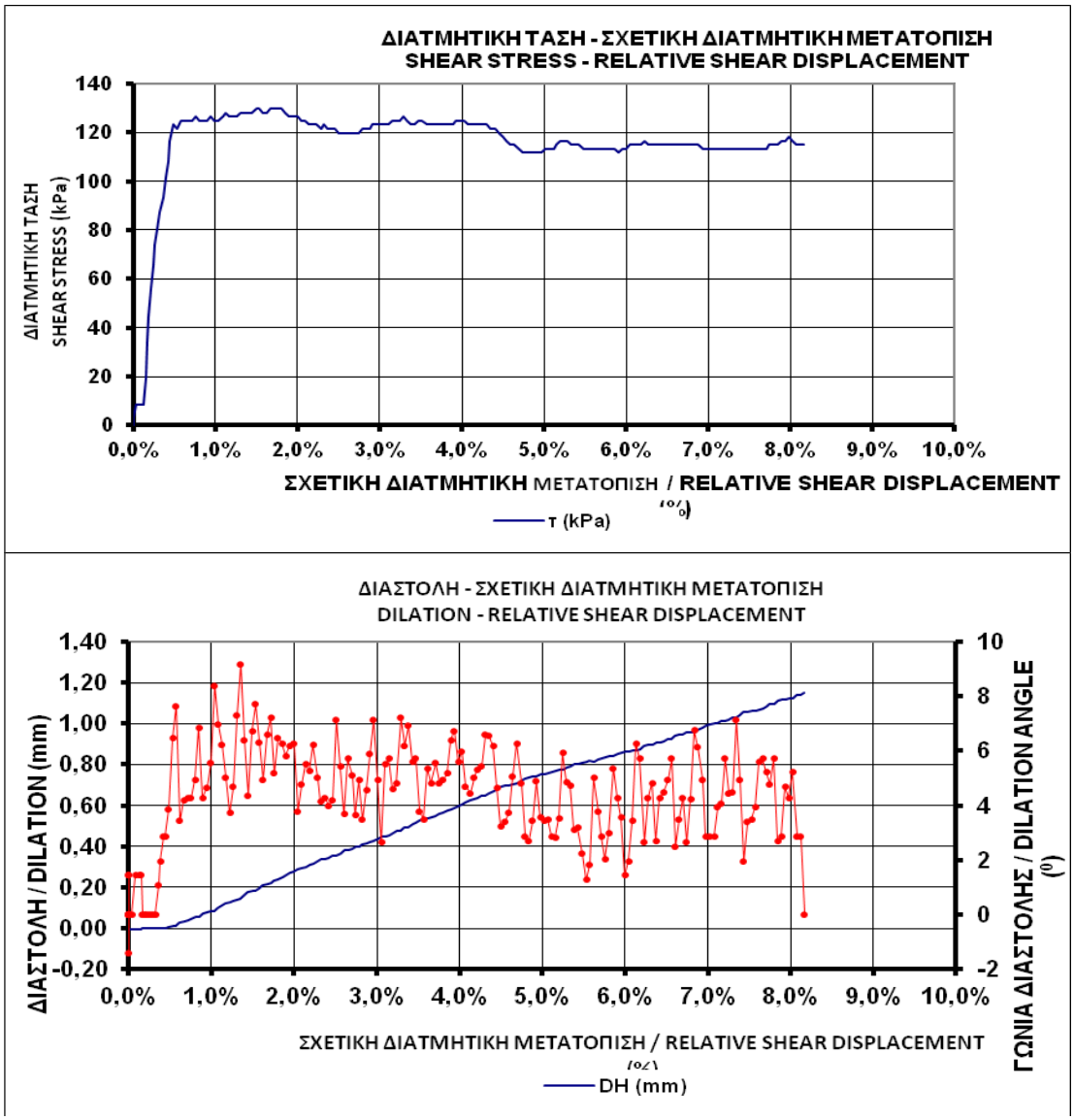
| | |
|---|---|
| | (g) :2927 |




Φωτογραφία 3. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 100 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 179,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 80,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2927 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 14320 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 100,00 | kPa |

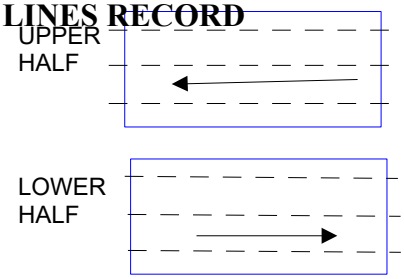
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **129,56** | 114,90 | 127,97 |
| $\tau_m$ (kPa) | 102,12 | **114,90** | 92,65 |
| $\psi$ ($^0$) | 6,74 | 14,82 | **9,18** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 45,60 | 48,97 | 42,81 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 1,493 % | 8,168 % | 1,356 % |
| $k_S$ (MPa) | 8,68 | 1,407 | 9,438 |

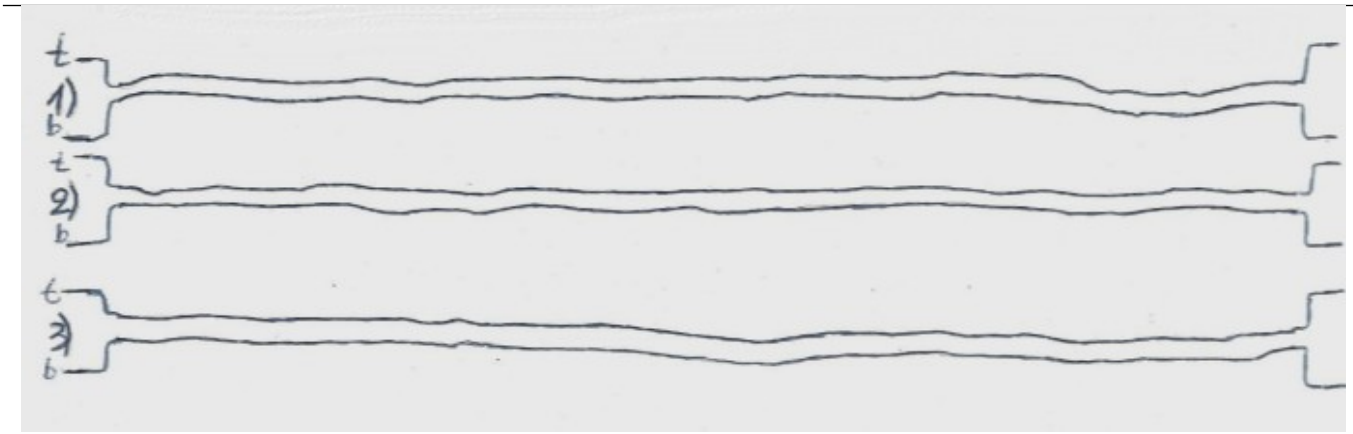



**Σχήμα 34.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

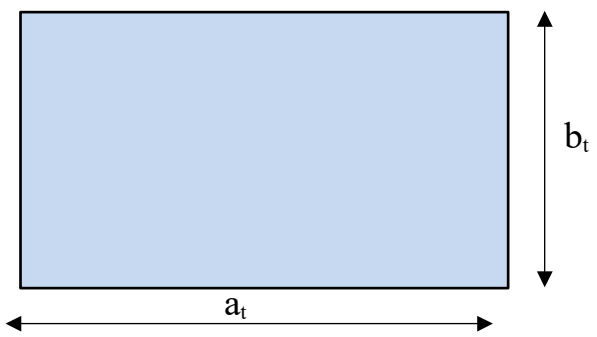
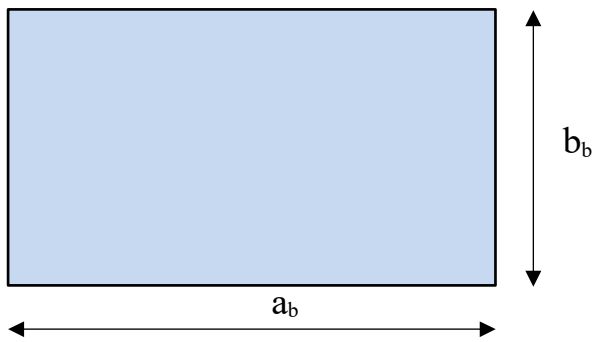
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 250 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |

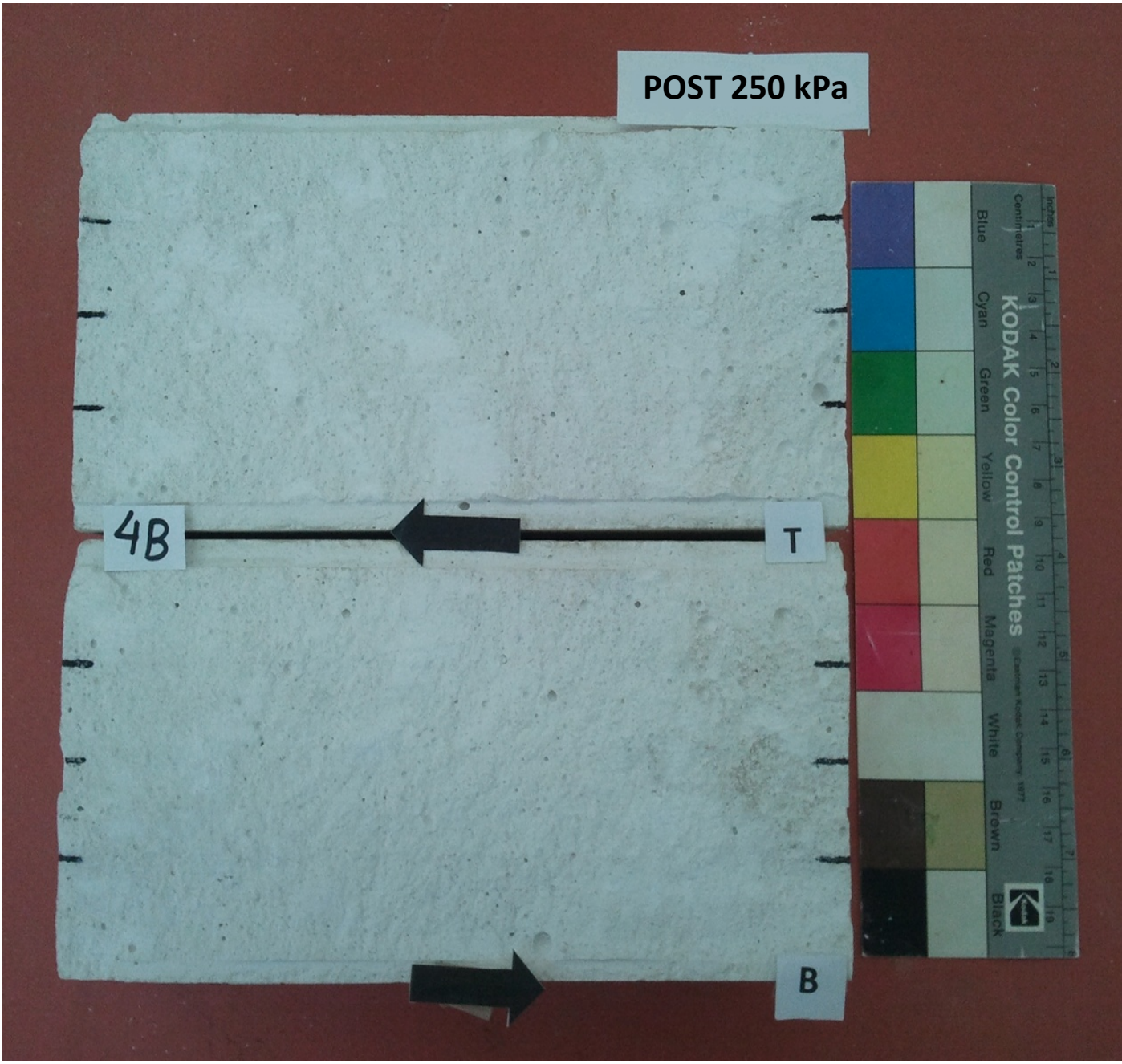



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |

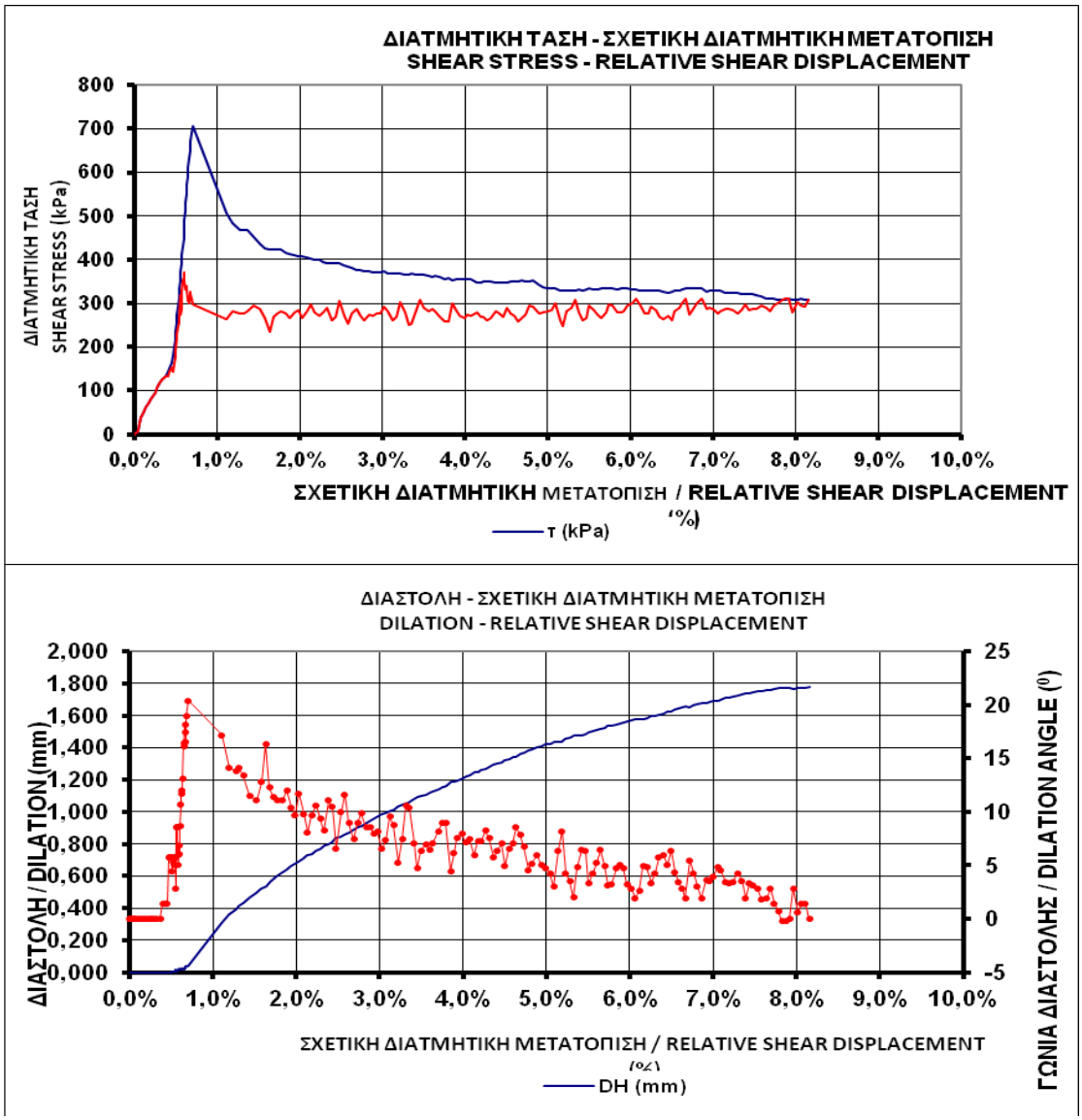
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2927 |
|---|---|




Φωτογραφία 4. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 250 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 178,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 80,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2927 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 14320 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 250,00 | **kPa** |

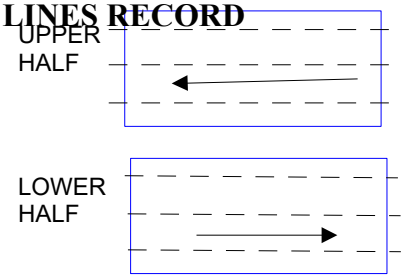
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **$\tau$ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **$\psi$ ($^0$)** |
| **$\tau$ (kPa)** | **705,61** | 471,73 | 705,61 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 298,89 | **370,54** | 298,89 |
| **$\psi$ ($^0$)** | 20,40 | 1,27 | **20,40** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 50,09 | 55,99 | 50,09 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,702 % | 0,599 % | 0,702% |
| **$k_S$ (MPa)** | 100,56 | 78,770 | 100,559 |

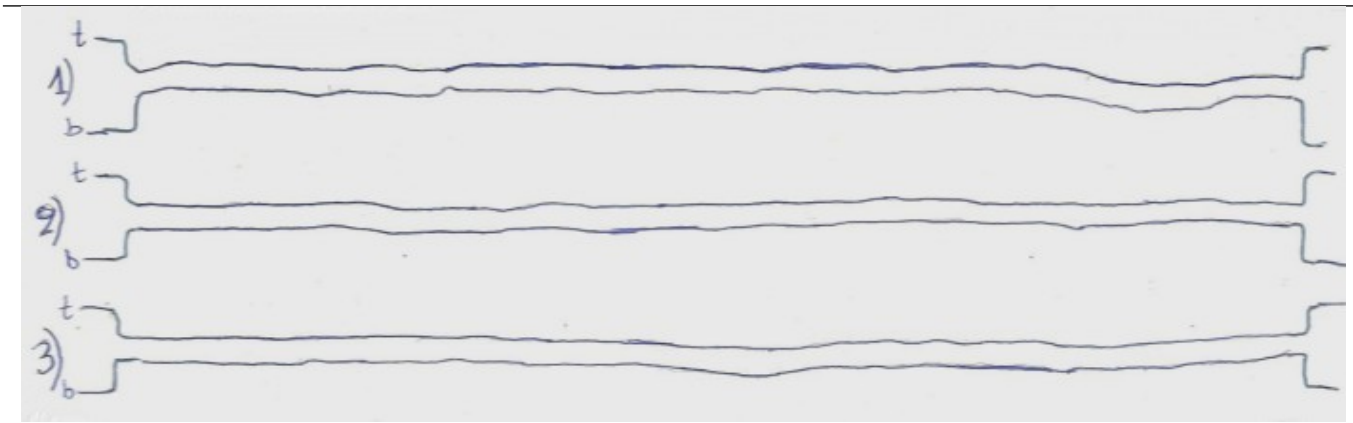



**Σχήμα 35.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

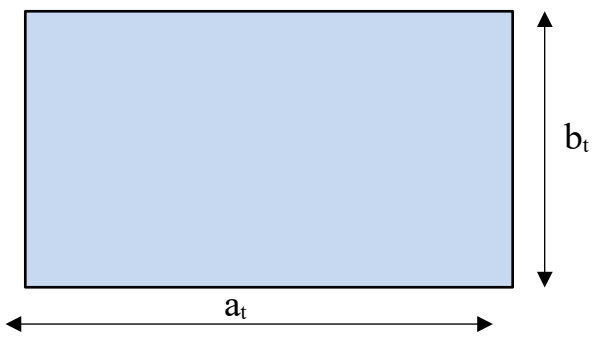
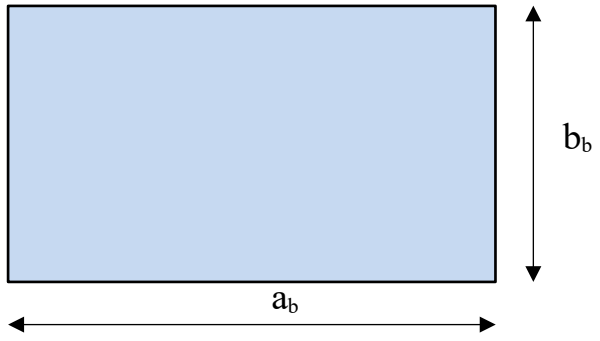
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 500 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |

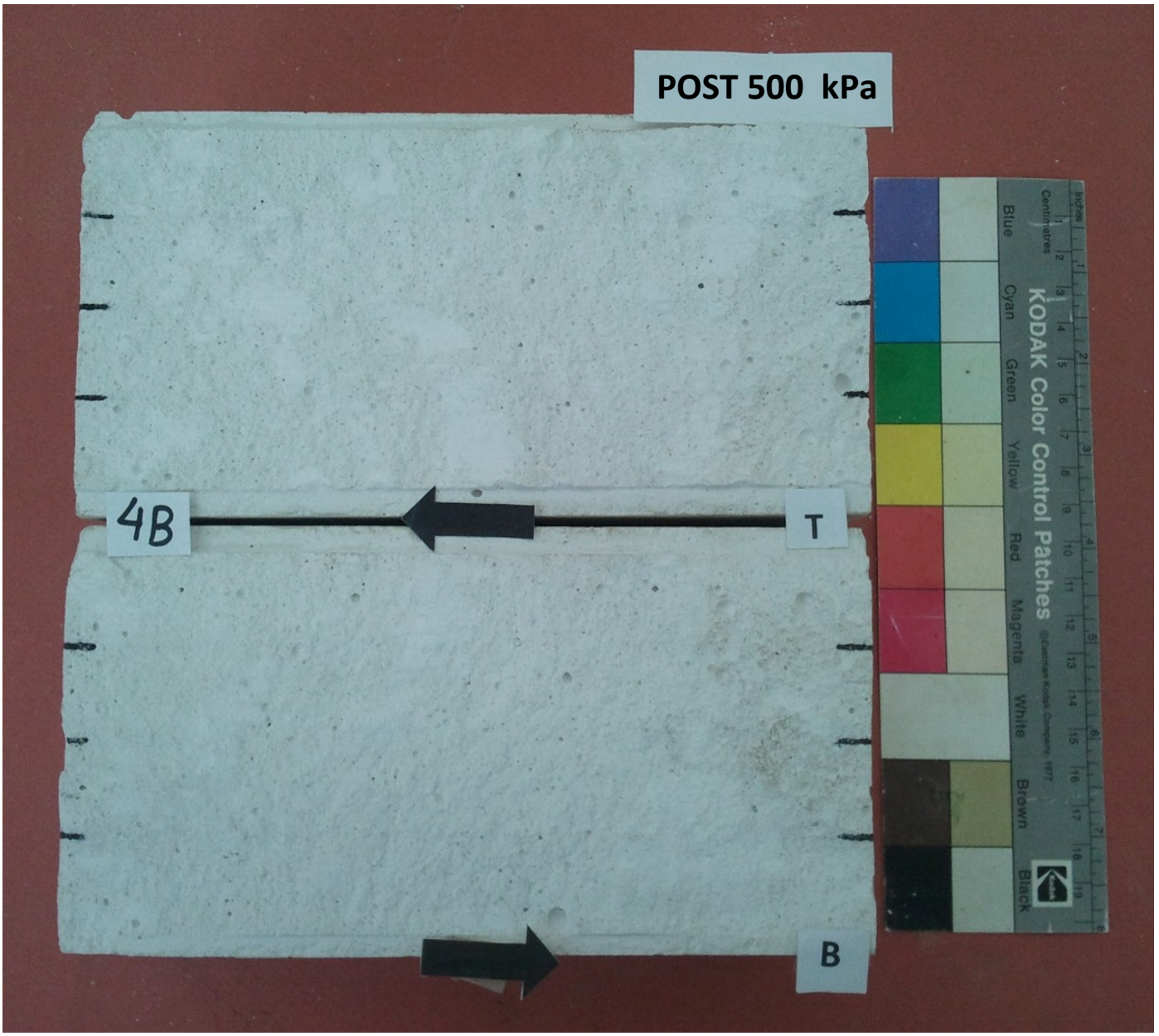



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |

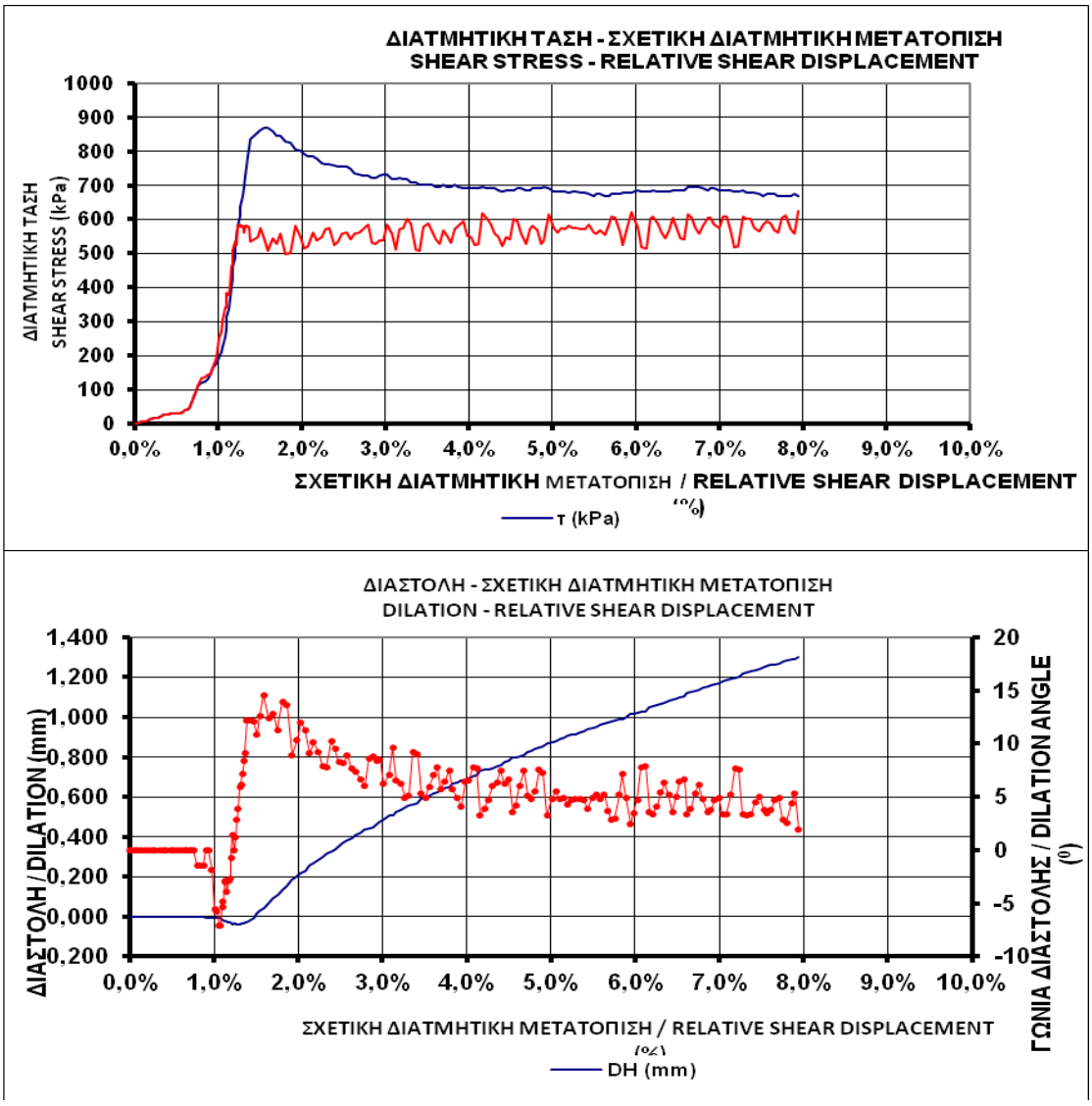
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2927 |
|---|---|




Φωτογραφία 5. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 500 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 178,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 80,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2927 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 14320 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 500,00 | kPa |

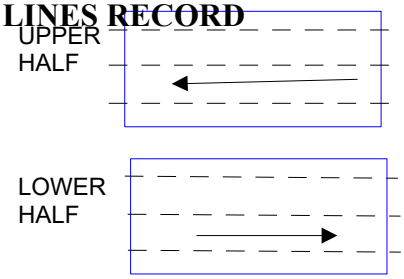
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **867,54** | 669,55 | 867,54 |
| $\tau_m$ (kPa) | 544,43 | **624,22** | 508,25 |
| $\psi$ ($^0$) | 12,61 | 14,33 | **14,57** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 47,44 | 51,31 | 45,47 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 1,548 % | 7,939 % | 1,593 % |
| $k_S$ (MPa) | 56,05 | 8,434 | 54,470 |

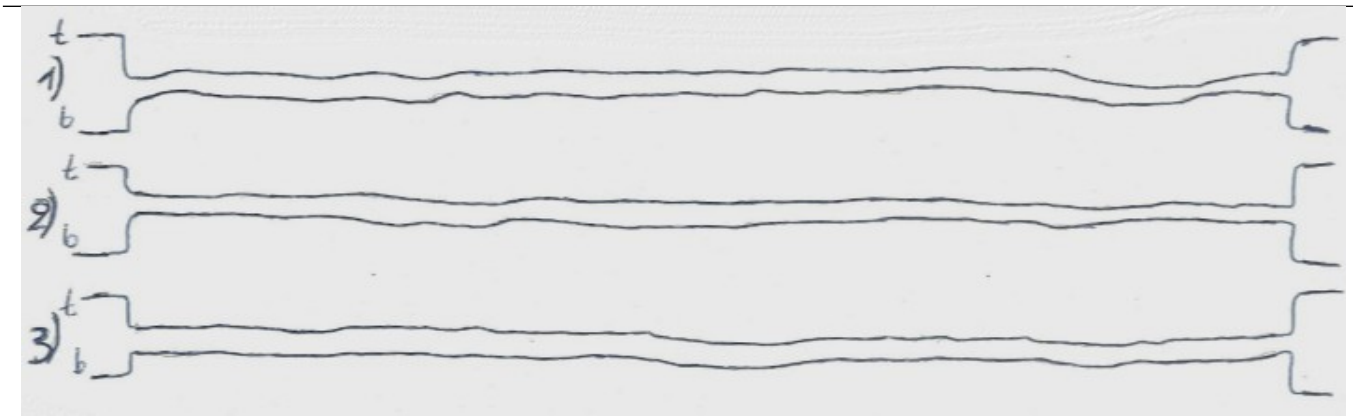


**Σχήμα 36.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

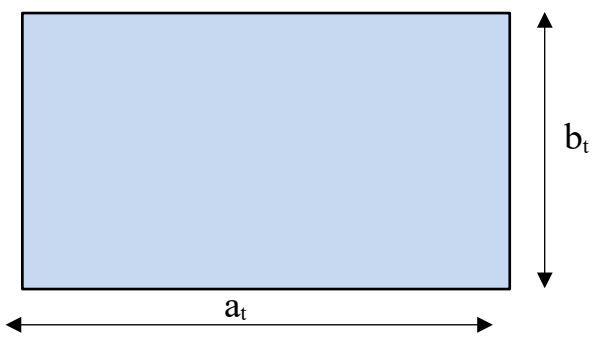
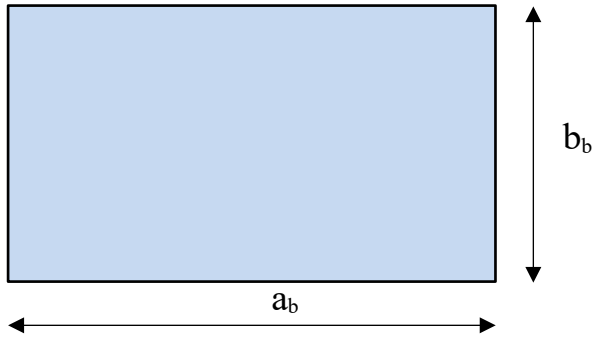
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 750 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

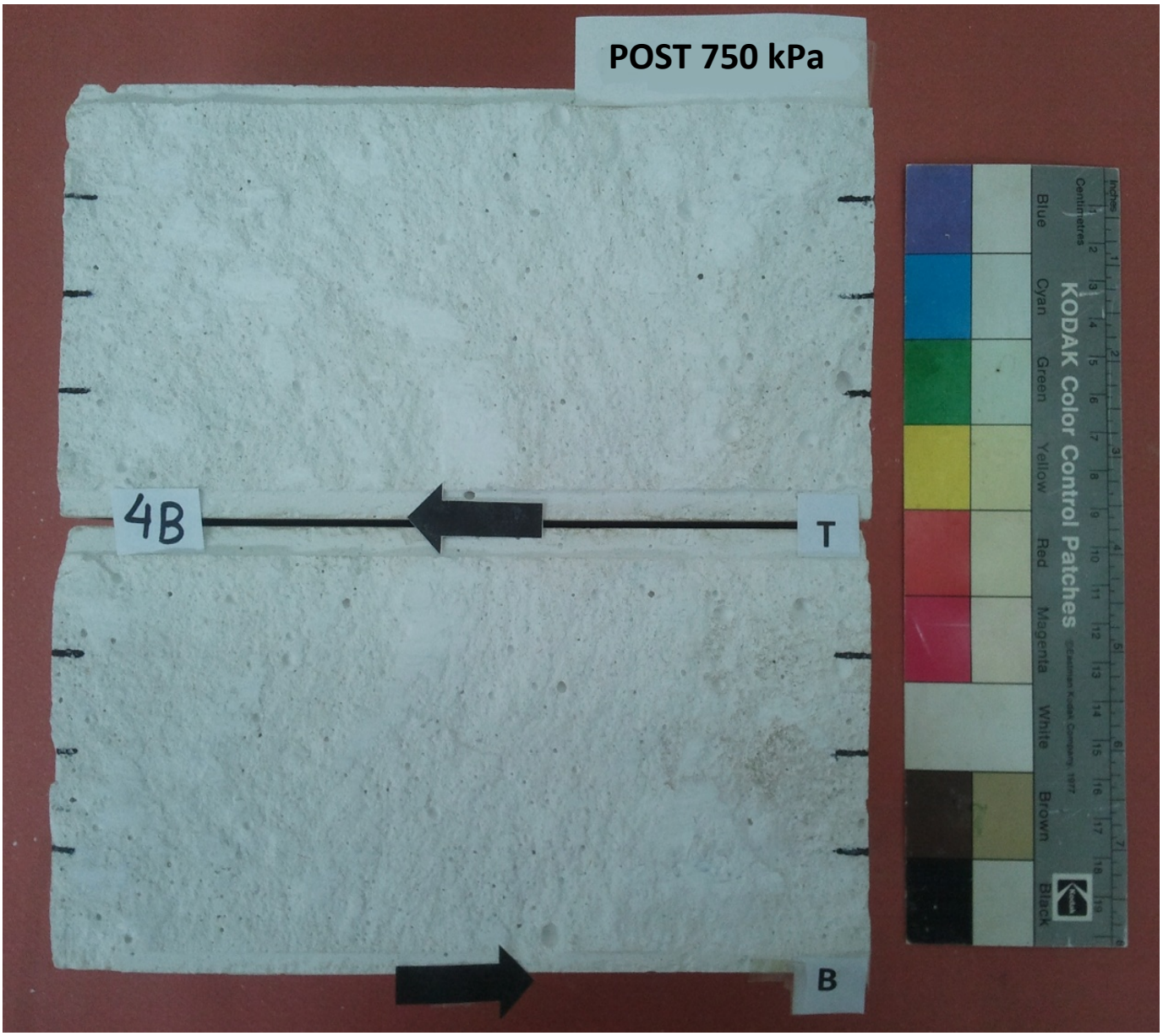
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

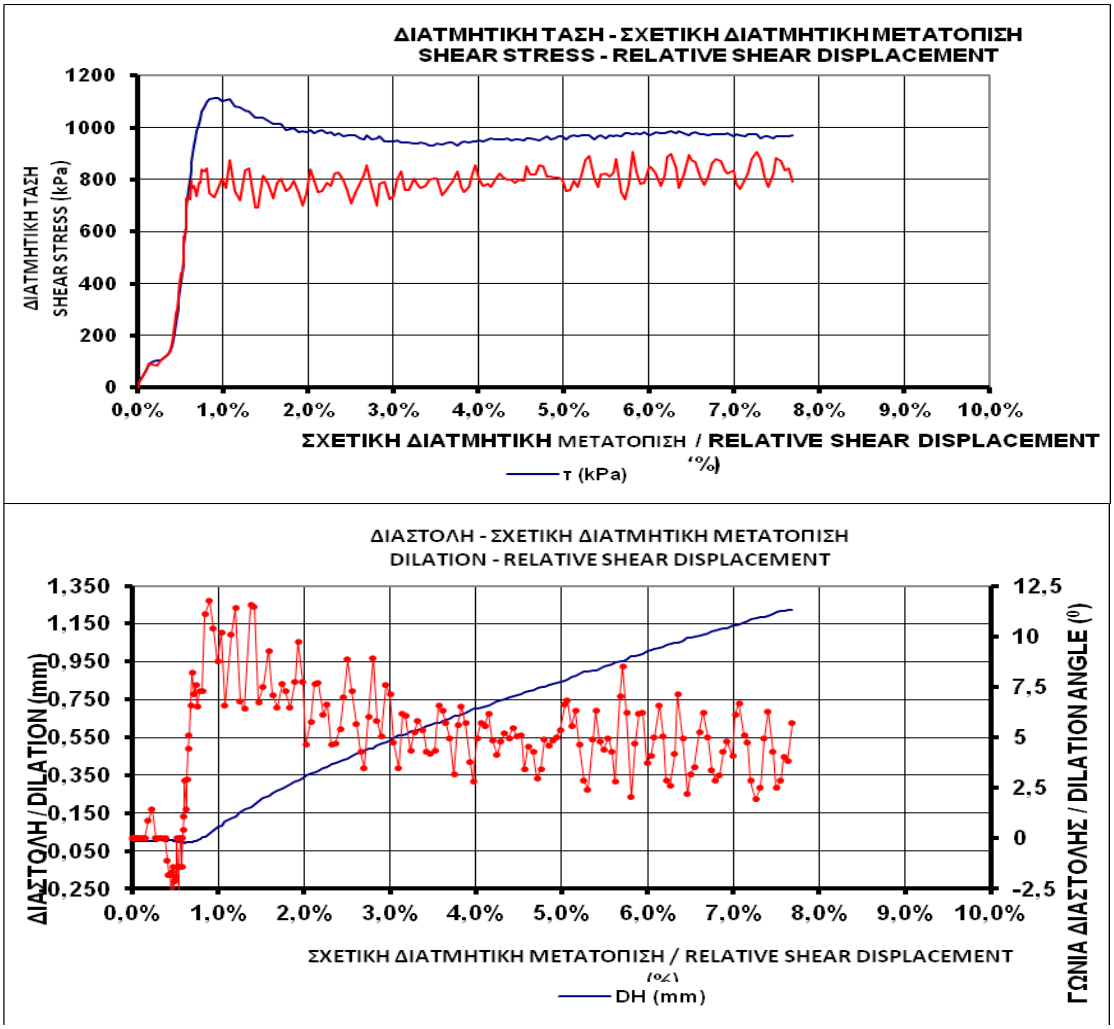
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2927 |




Φωτογραφία 6. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 750 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 178,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 80,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2927 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 14320 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 750,00 | kPa |

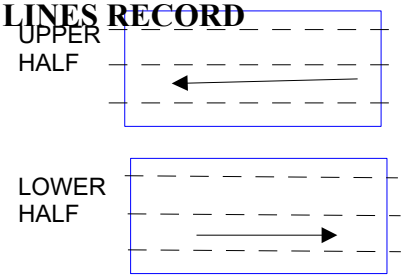
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | τ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | ψ ($^0$) |
| τ (kPa) | **1114,49** | 973,98 | 1114,49 |
| $\tau_m$ (kPa) | 731,99 | **908,58** | 731,99 |
| ψ ($^0$) | 11,76 | 13,13 | **11,76** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 44,30 | 50,46 | 44,30 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,895% | 7,261 % | 0,895% |
| $k_S$ (MPa) | 124,53 | 13,413 | 124,532 |

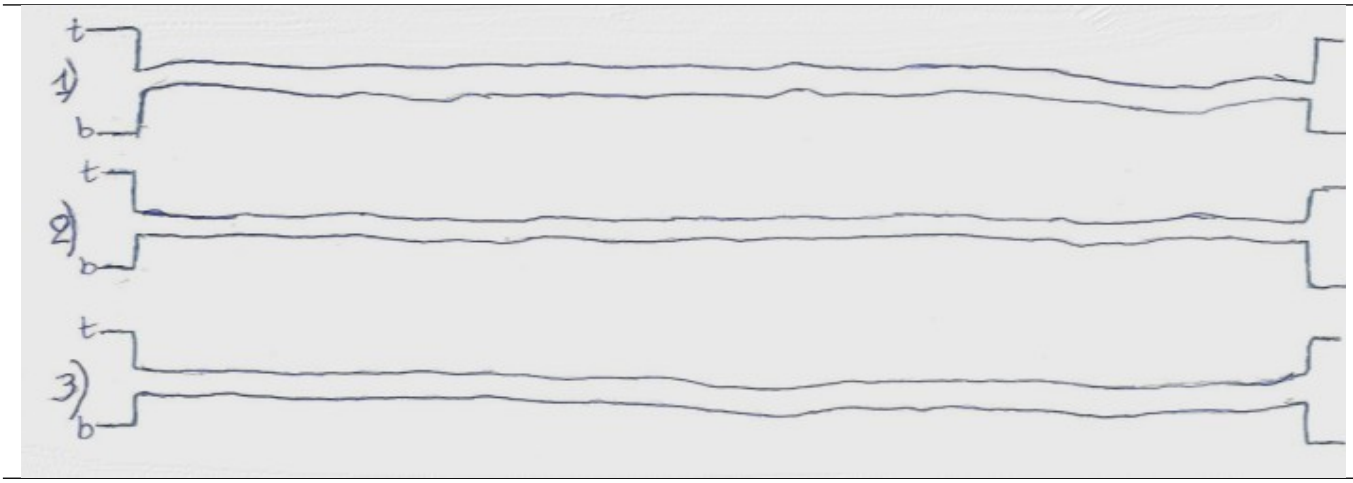


**Σχήμα 37.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

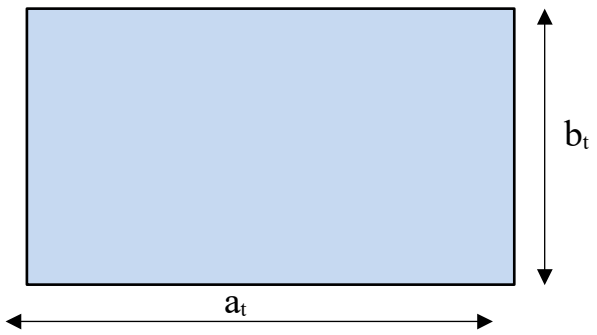
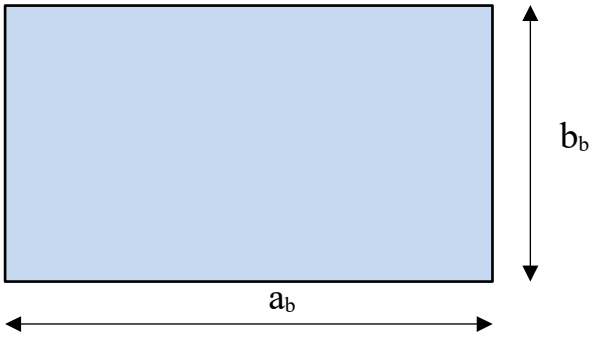
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 1000 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,49 kPa) είναι 26,15° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

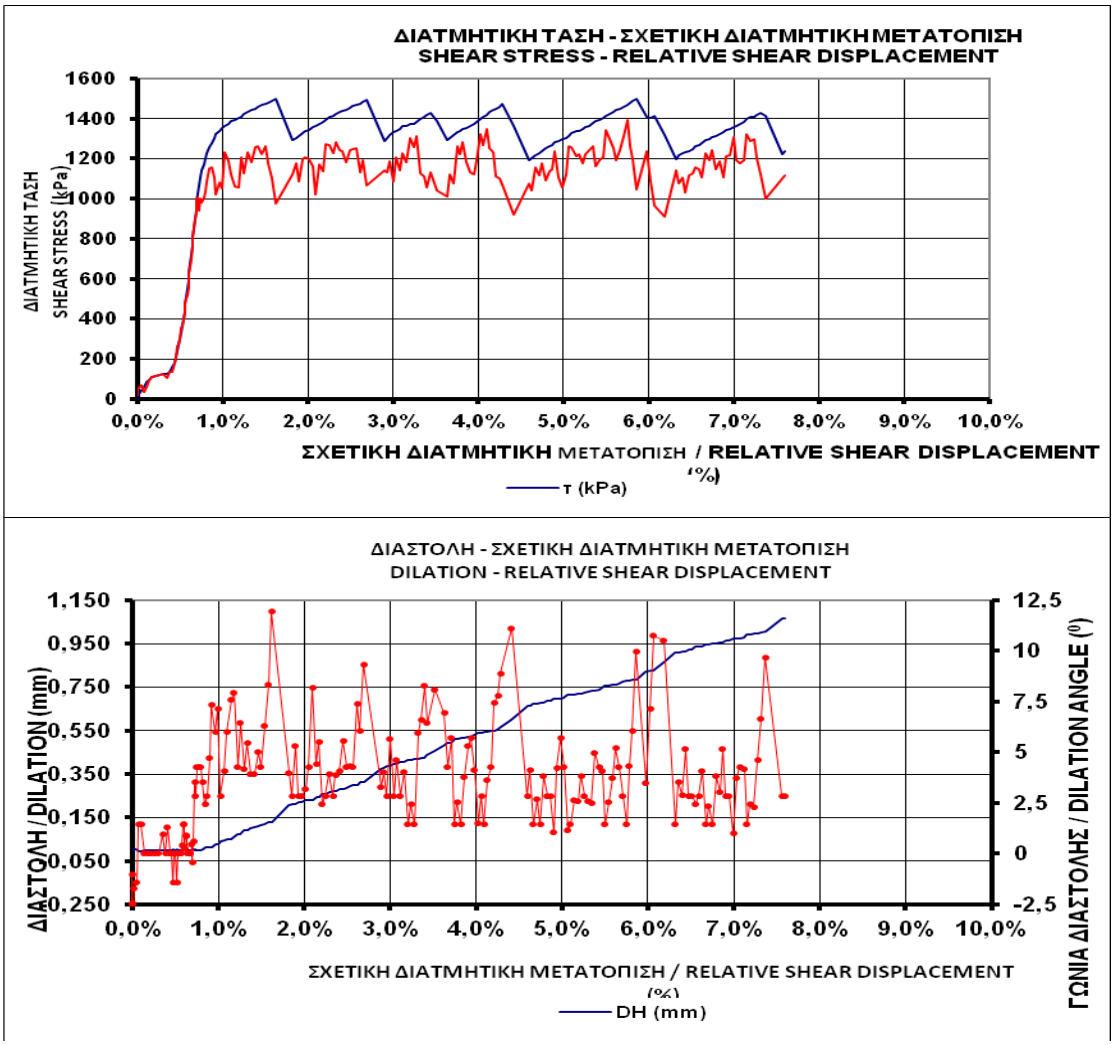
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 179,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm):178,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 80,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 80,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2927 |

Φωτογραφία 7. Φωτογραφία δείγματος 4Β μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES |
|---|---|

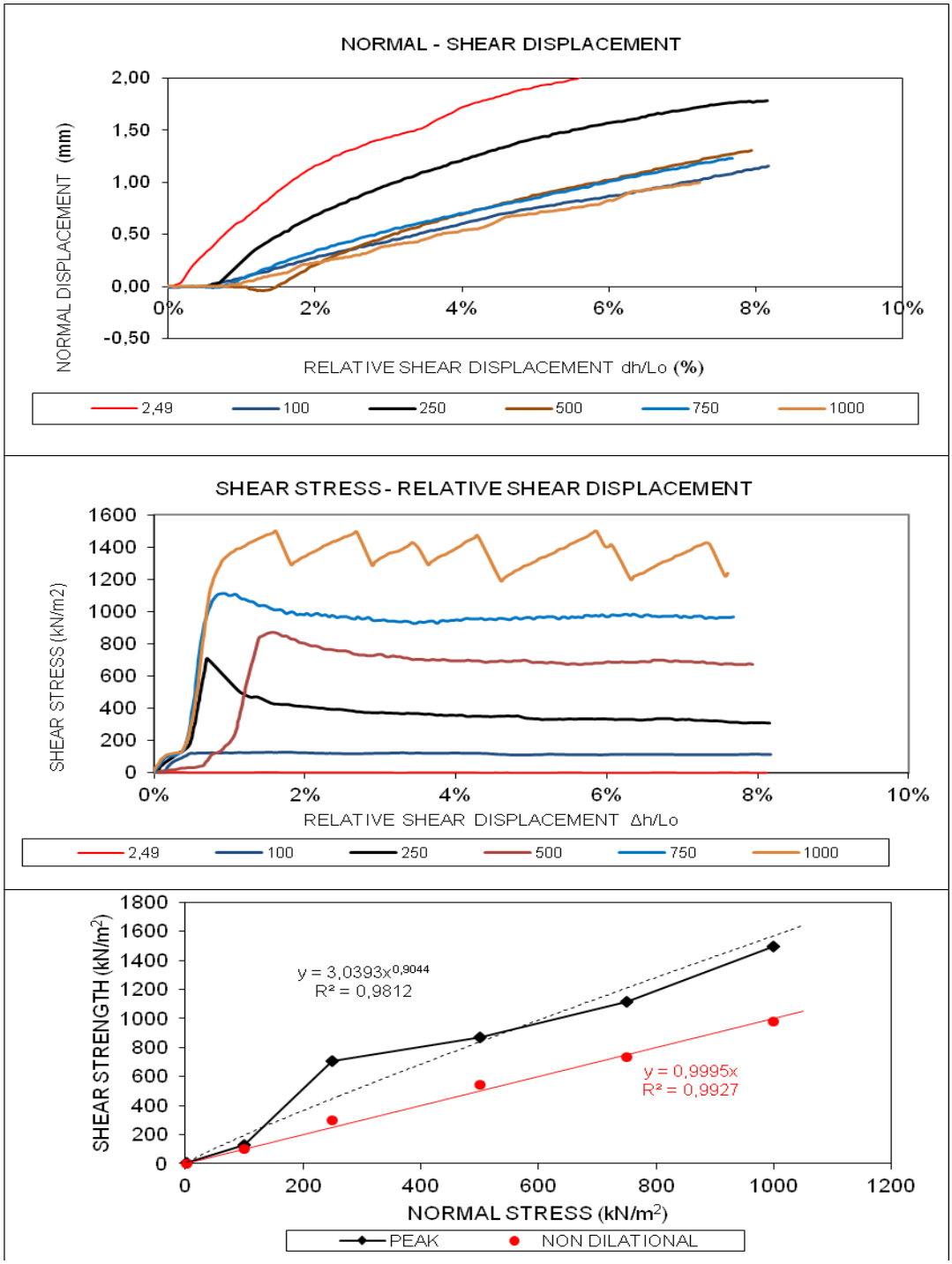
| | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 178,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 80,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2927 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 14320 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 1000,00 | **kPa** |

| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |
|---|---|---|---|
| **τ (kPa)** | **1498,76** | 1467,89 | 1498,76 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 977,86 | **1391,82** | 977,86 |
| **ψ ($^0$)** | 11,93 | 10,43 | **11,93** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 44,36 | 54,30 | 44,36 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 1,619% | 5,748% | 1,619% |
| **$k_S$ (MPa)** | 92,57 | 25,539 | 92,567 |




**Σχήμα 38.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

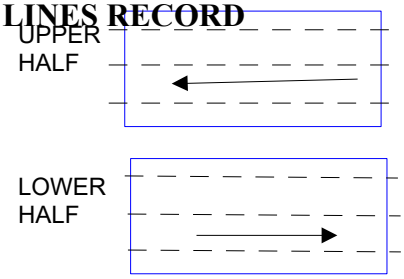
## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 4Β

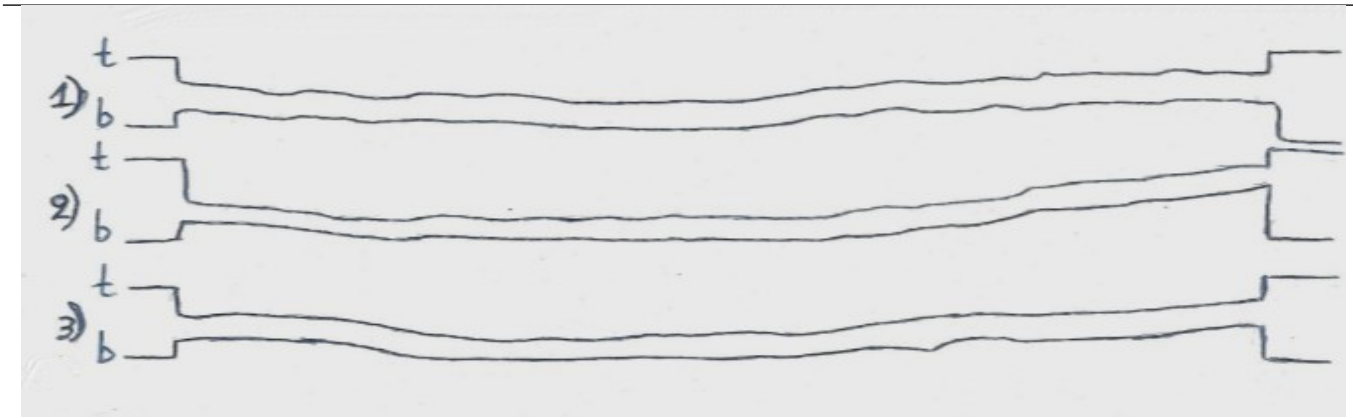



**Σχήμα 39.** Διαγράμματα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω), διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης ( μέσο ) και διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης (κάτω).

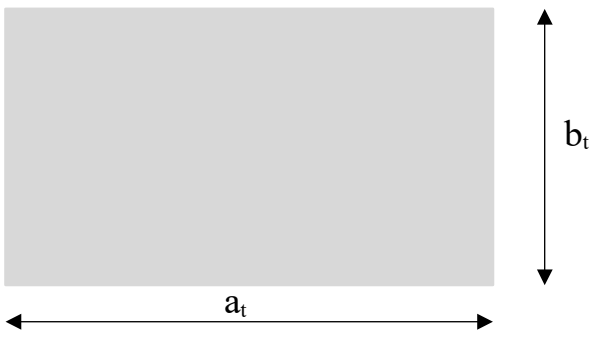
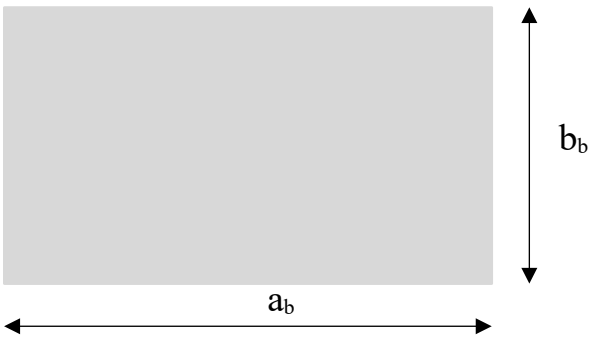
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 2,59 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |

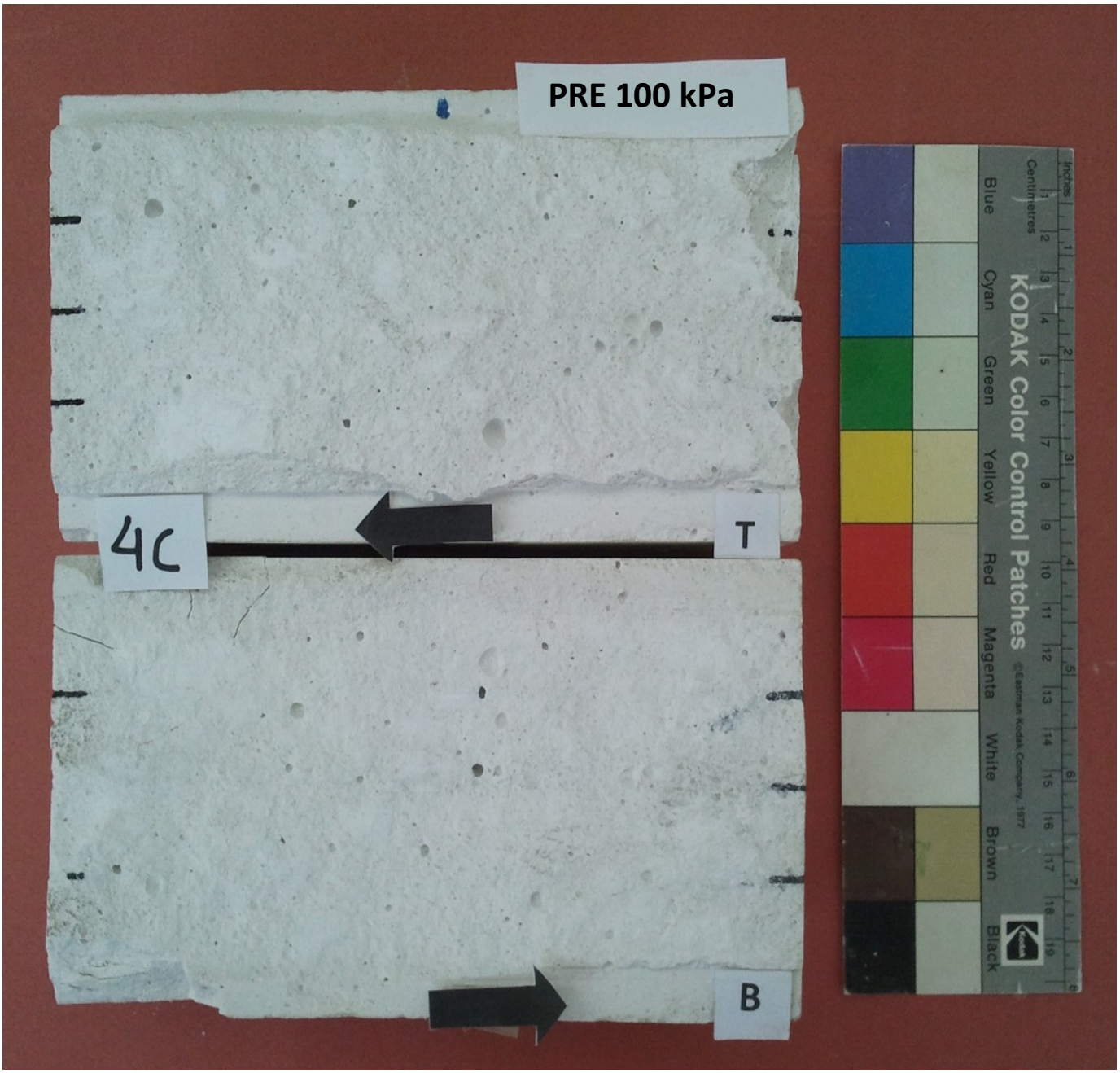



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

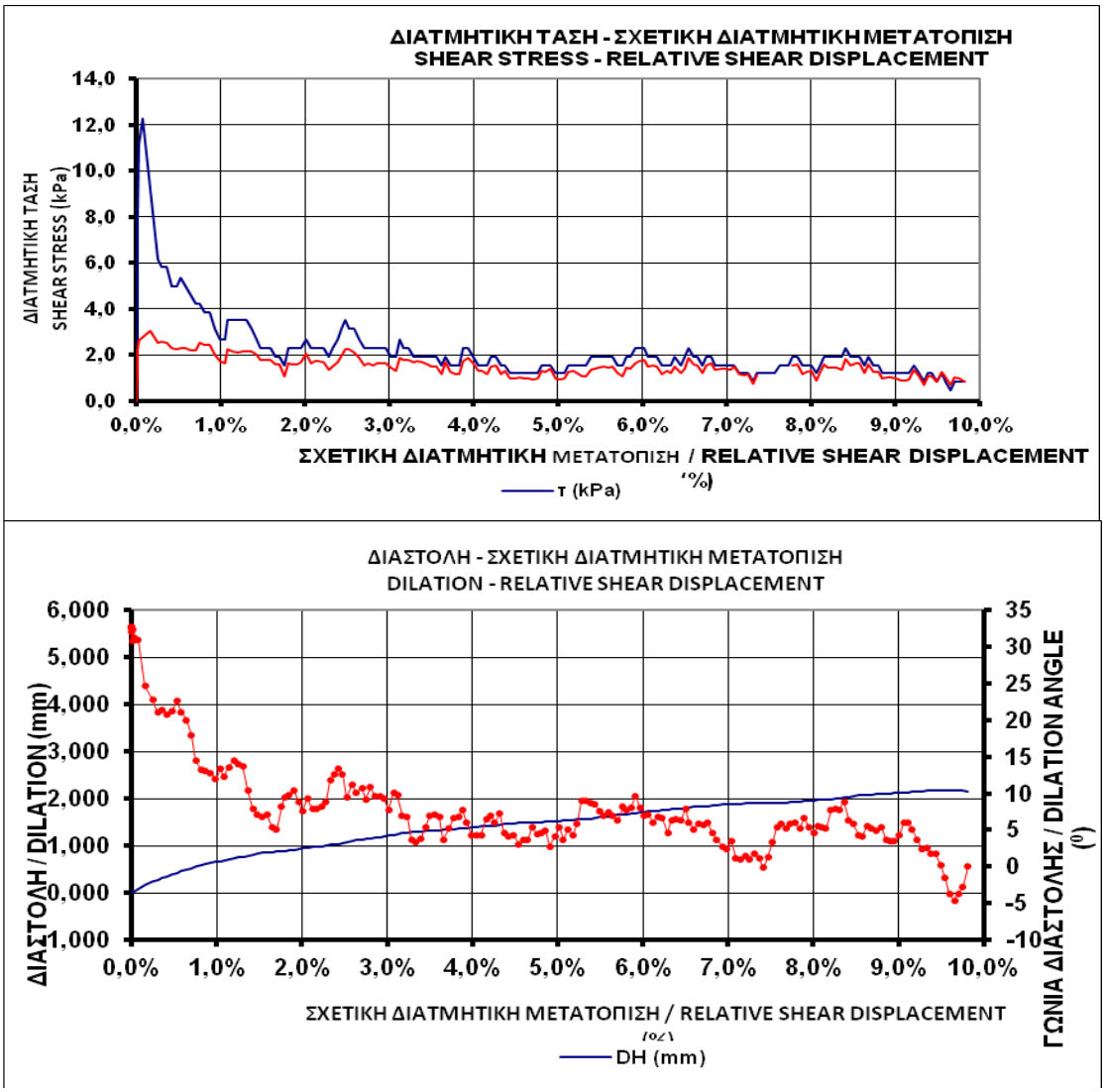
| | |
|---|---|
| | (g) :2177 |




Φωτογραφία 8. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 2,59 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 156,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 70,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2177 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 10920 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 2,59 | kPa |

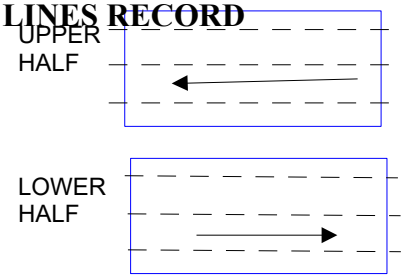
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **12,27** | 9,23 | 0,00 |
| $\tau_m$ (kPa) | 2,79 | **3,05** | 0,00 |
| $\psi$ ($^0$) | 30,92 | 0,56 | **32,71** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 47,16 | 49,69 | 0,00 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,081 % | 0,160 % | 0,000 % |
| $k_S$ (MPa) | - | 5,756 | - |

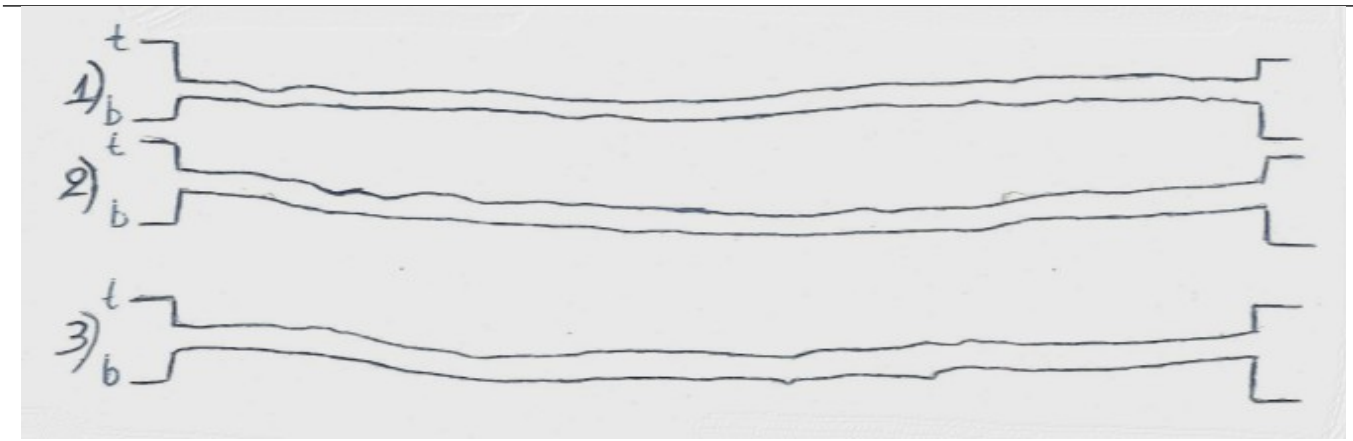



**Σχήμα 40.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

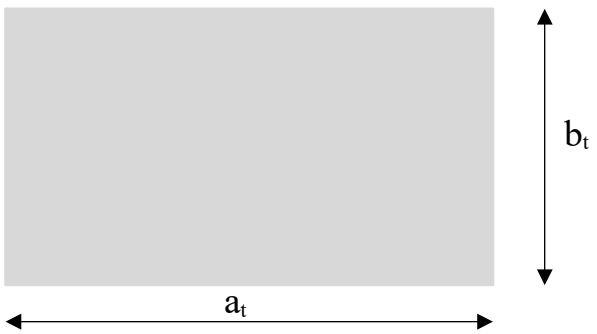
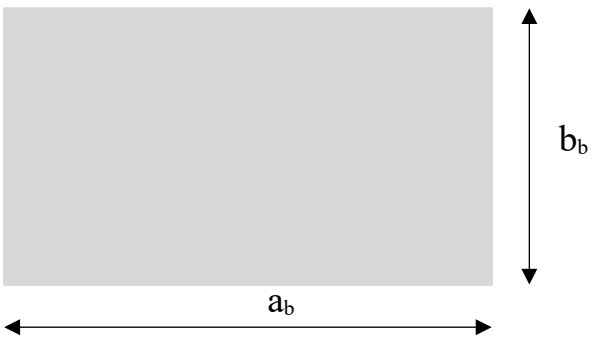
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 100 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |

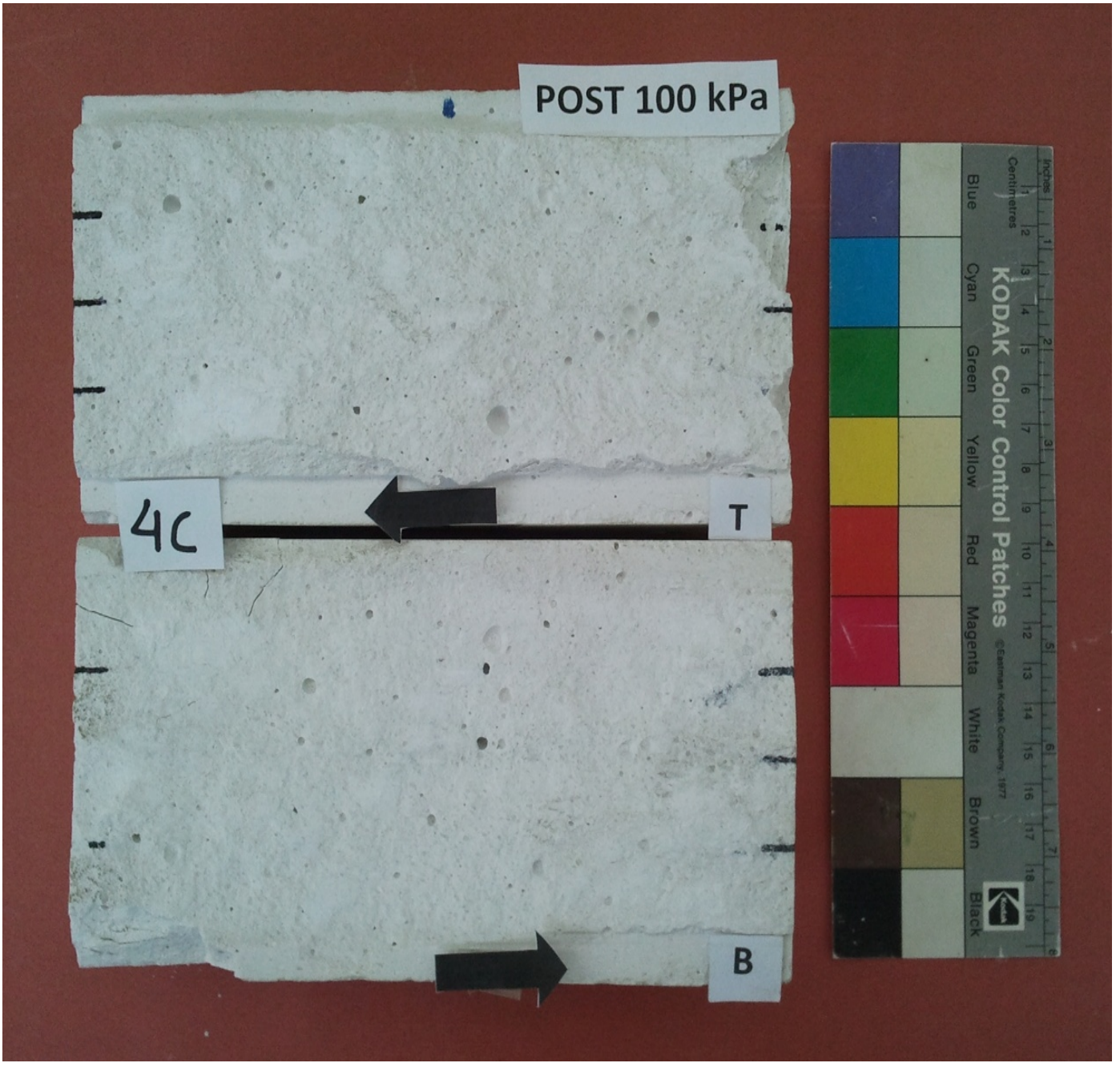



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |

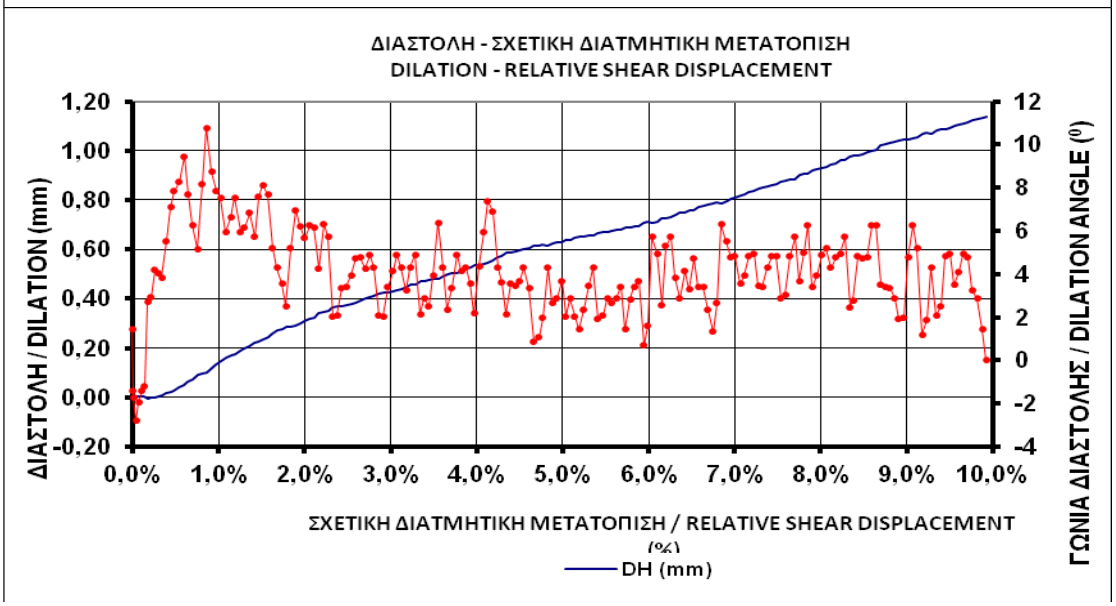
| | |
|---|---|
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2177 |




Φωτογραφία 9. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 100 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 156,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 70,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2177 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 10920 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 100,00 | kPa |

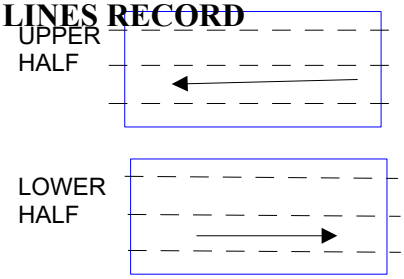
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **128,85** | 118,46 | 128,85 |
| $\tau_m$ (kPa) | 97,71 | **118,46** | 88,16 |
| $\psi$ ($^0$) | 7,85 | 15,68 | **10,78** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 44,34 | 49,83 | 41,40 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,482 % | 9,924 % | 0,860 % |
| $k_S$ (MPa) | 26,73 | 1,194 | 14,978 |

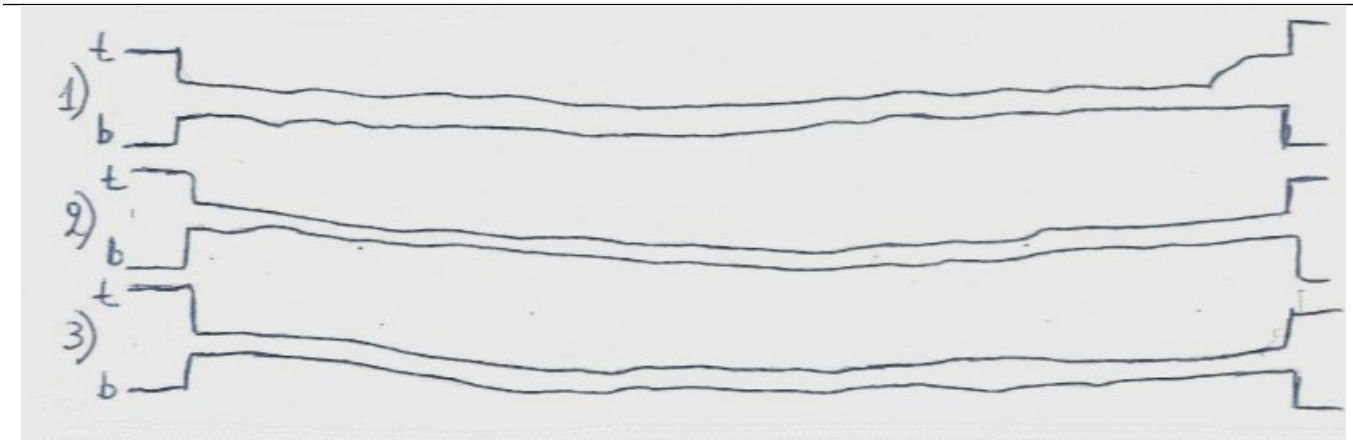


**Σχήμα 41.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

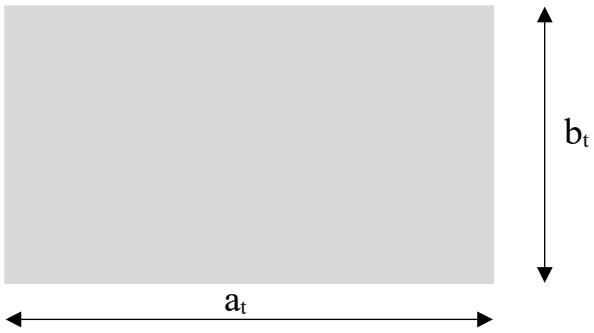
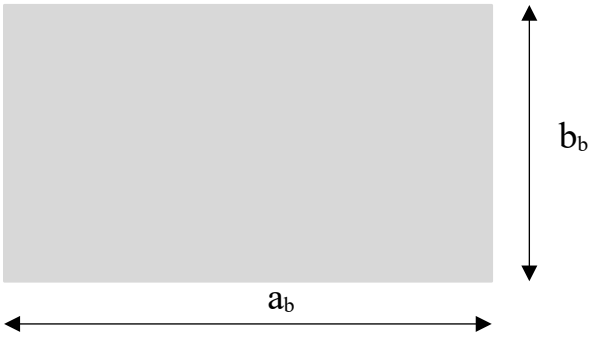
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 250 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

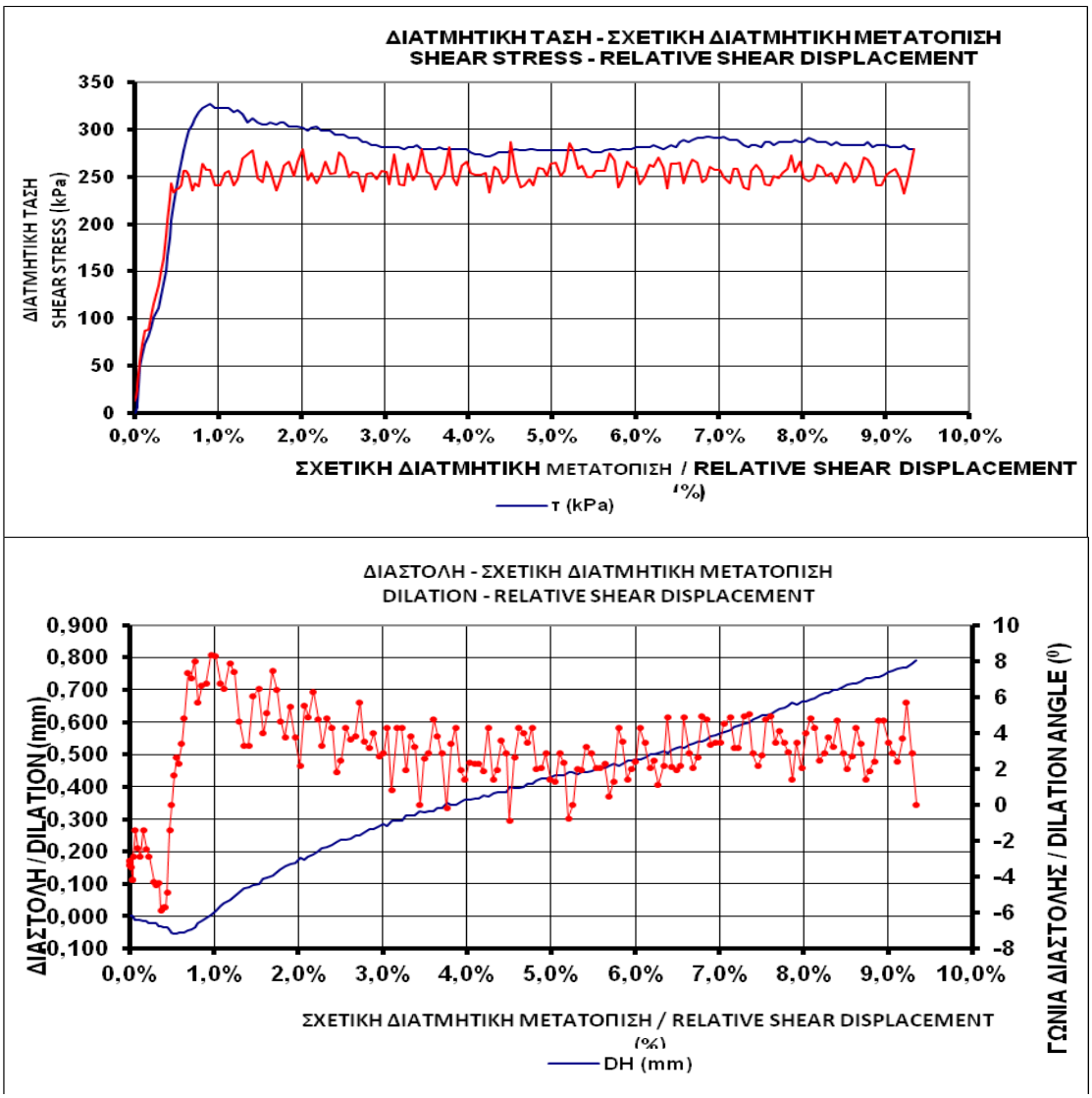
| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2177 |

Φωτογραφία 10. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 250 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 156,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 70,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2177 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 10920 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 250,00 | kPa |

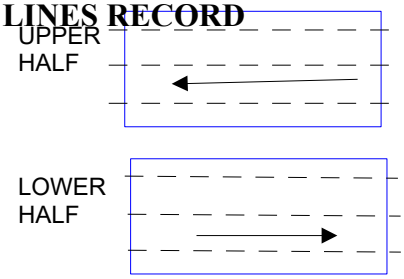
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **326,80** | 277,44 | 322,64 |
| $\tau_m$ (kPa) | 257,40 | **286,31** | 240,57 |
| $\psi$ ($^0$) | 6,75 | 7,24 | **8,33** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 45,84 | 48,87 | 43,90 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,904 % | 4,510 % | 0,967 % |
| $k_S$ (MPa) | 36,13 | 6,151 | 33,355 |

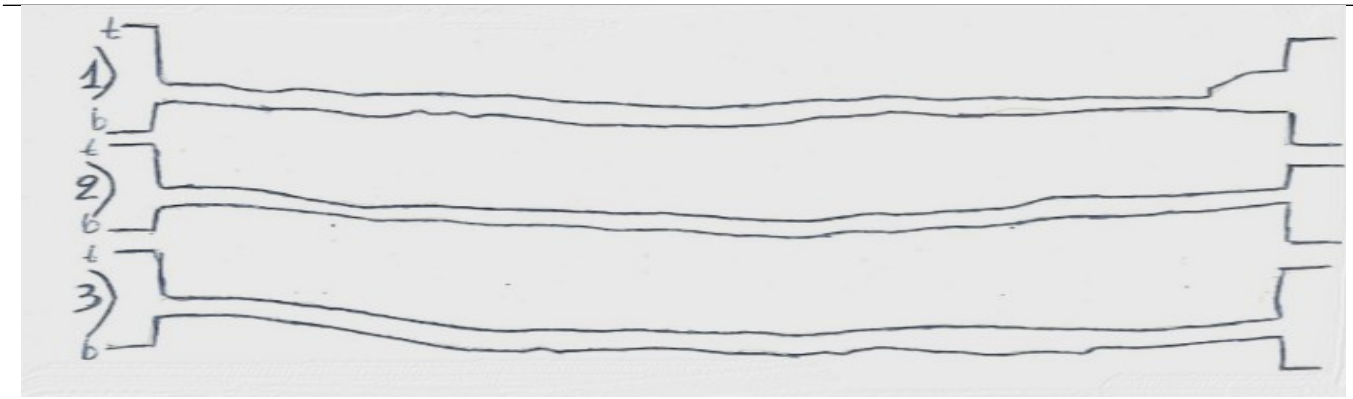



**Σχήμα 42.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

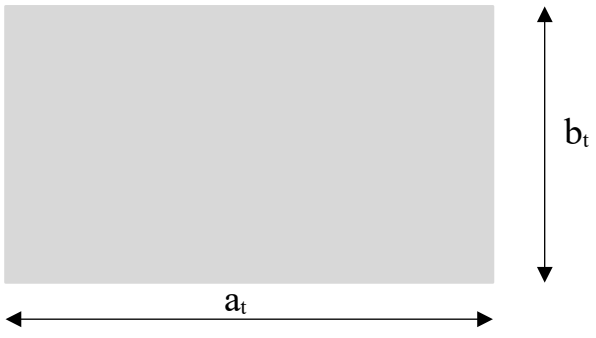
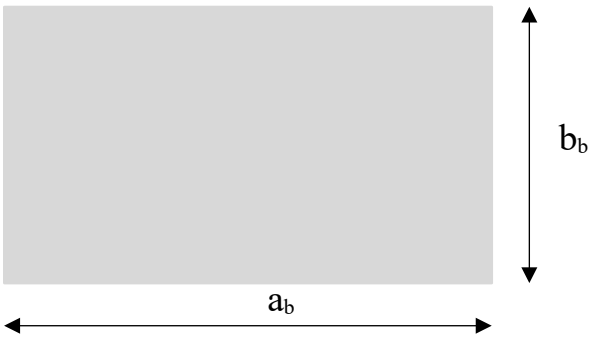
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 500kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

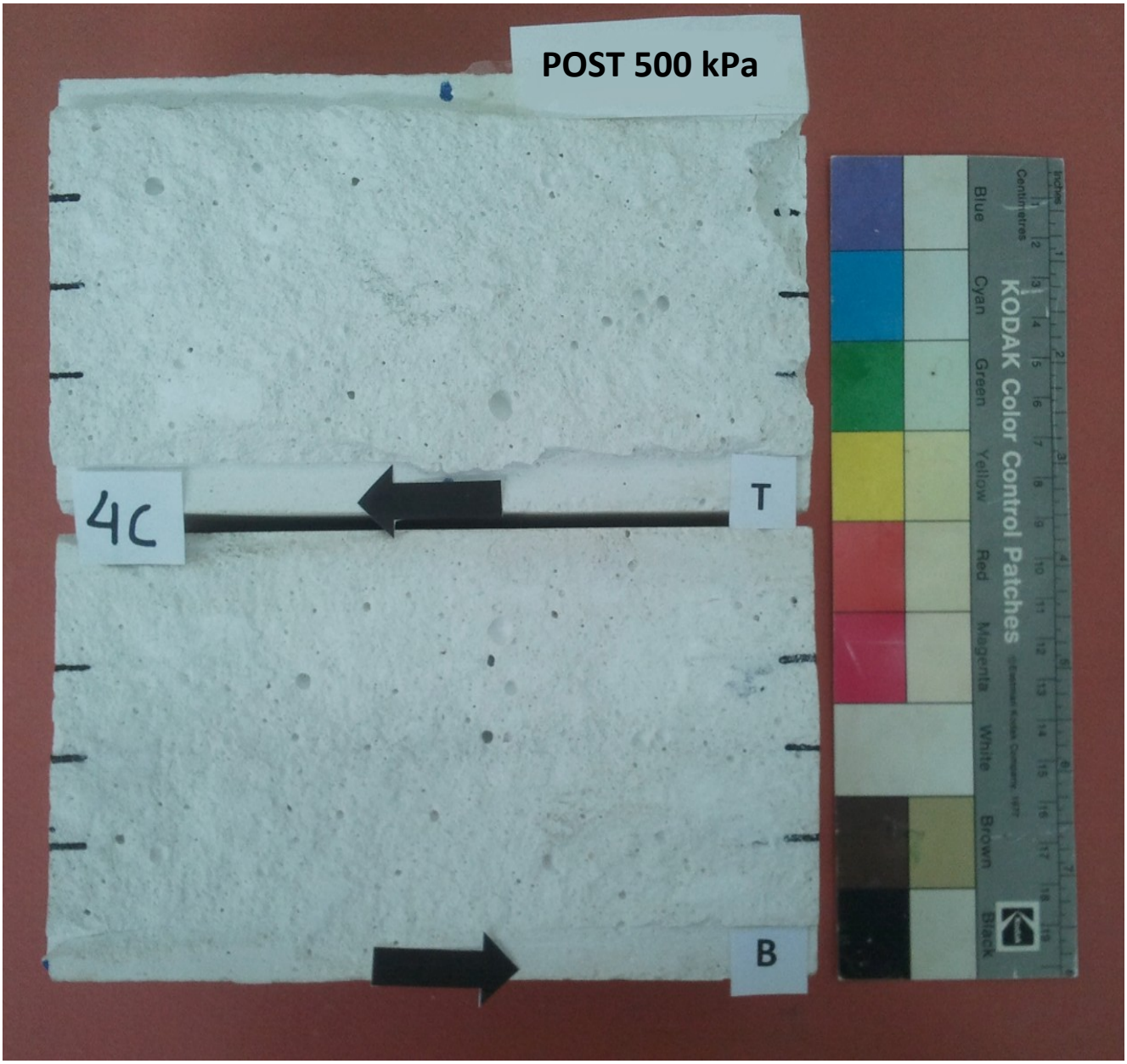
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

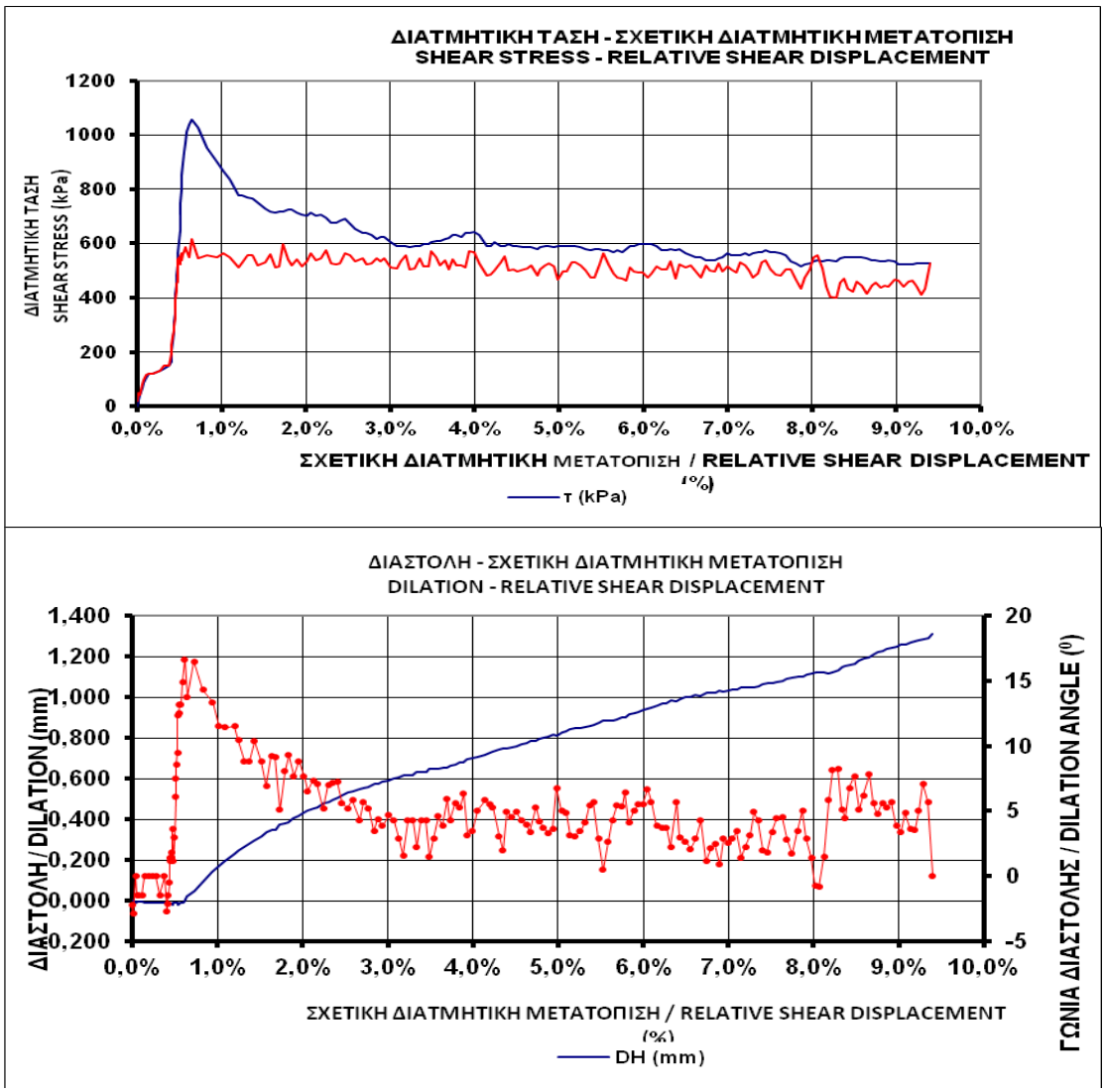
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2177 |




Φωτογραφία 11. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 500 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 156,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 70,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2177 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 10920 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 500,00 | kPa |

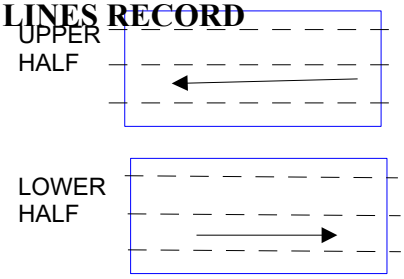
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | τ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | ψ ($^0$) |
| τ (kPa) | **1057,72** | 1057,72 | 1039,68 |
| $\tau_m$ (kPa) | 615,47 | **615,47** | 549,13 |
| ψ ($^0$) | 13,79 | 1,21 | **16,64** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 50,91 | 50,91 | 47,68 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,646% | 0,646% | 0,616% |
| $k_S$ (MPa) | 163,70 | 163,695 | 168,772 |

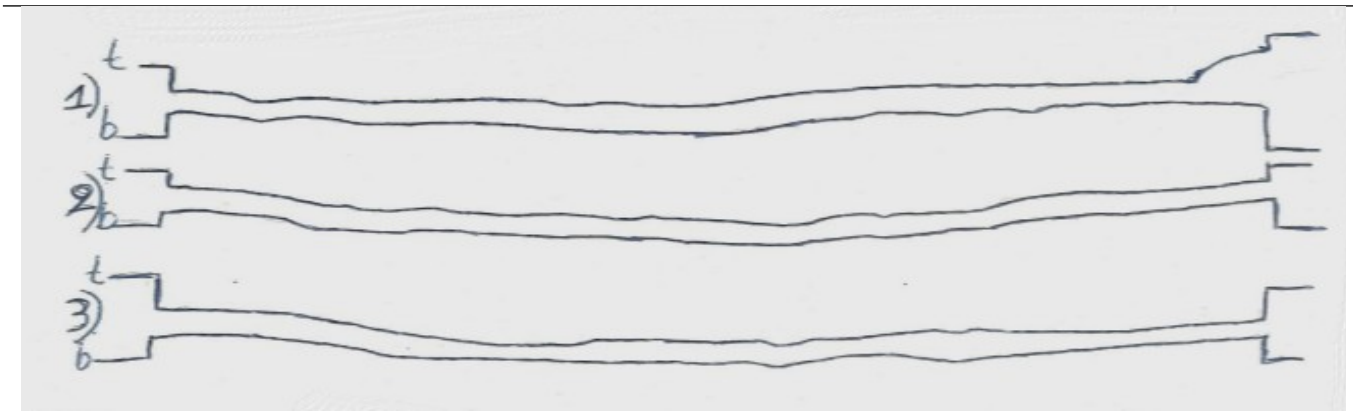



**Σχήμα 43.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

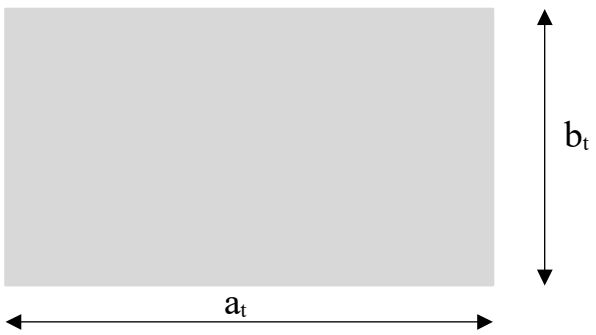
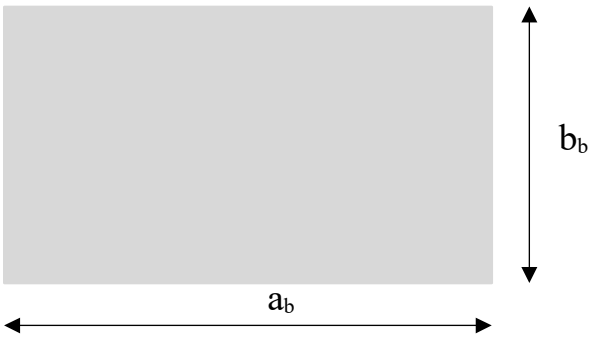
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 750kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |

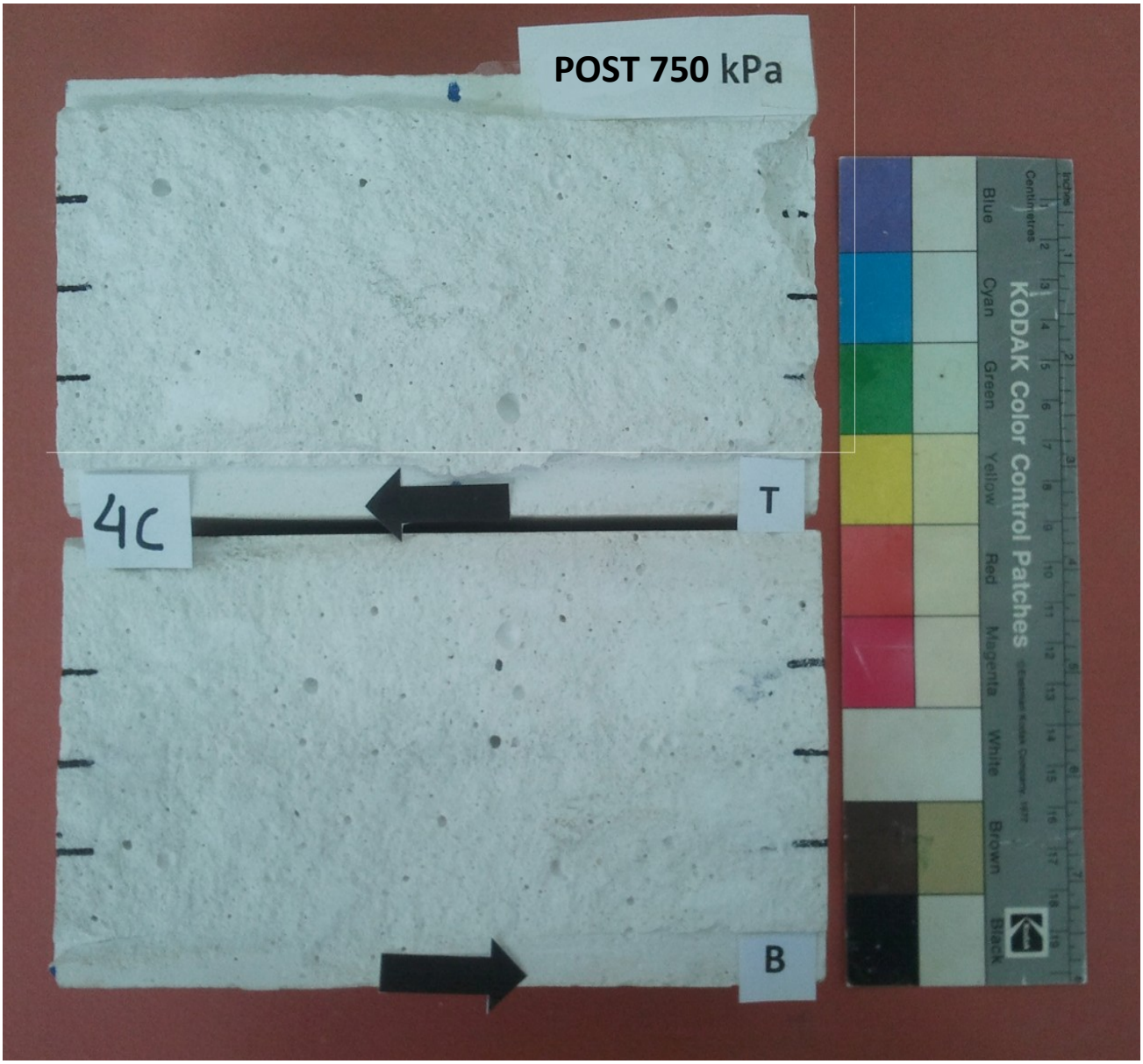



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |

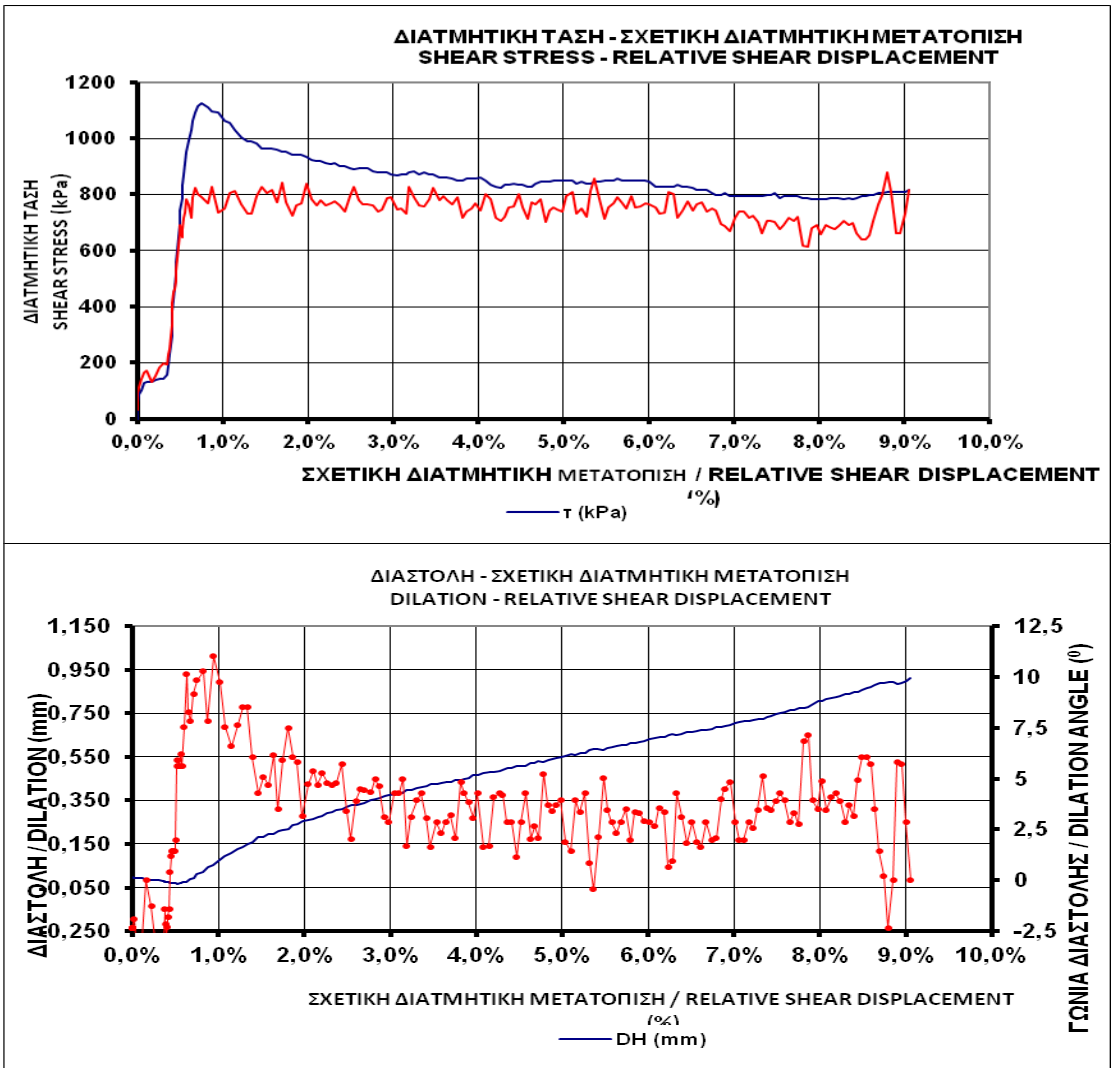
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2177 |
|---|---|




Φωτογραφία 12. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 750 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 156,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 70,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2913 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 10920 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 750,00 | kPa |

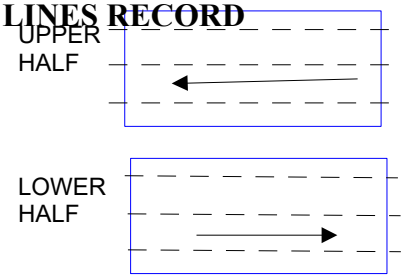
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | τ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | ψ ($^0$) |
| τ (kPa) | **1125,74** | 809,26 | 1091,04 |
| $\tau_m$ (kPa) | 789,76 | **878,22** | 736,38 |
| ψ ($^0$) | 9,85 | 13,92 | **11,02** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 46,48 | 49,50 | 44,47 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,749% | 8,793 % | 0,945% |
| $k_S$ (MPa) | 150,23 | 9,203 | 115,469 |

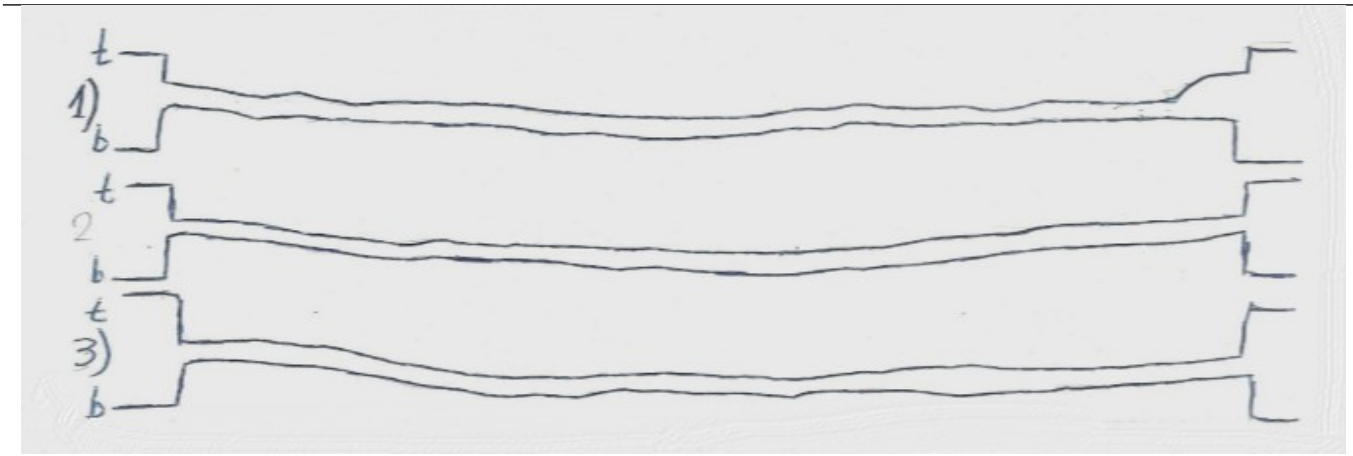


**Σχήμα 44.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

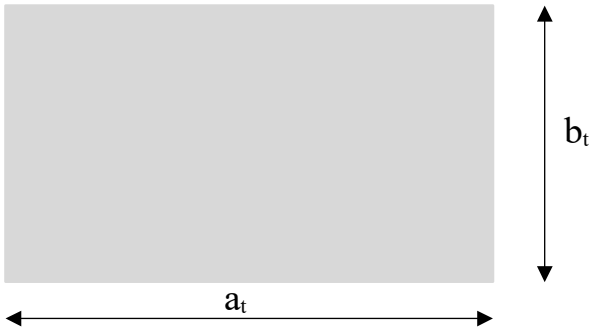
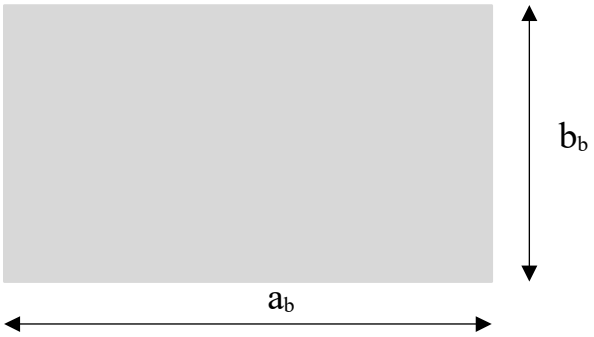
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 1000 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**: 4C**

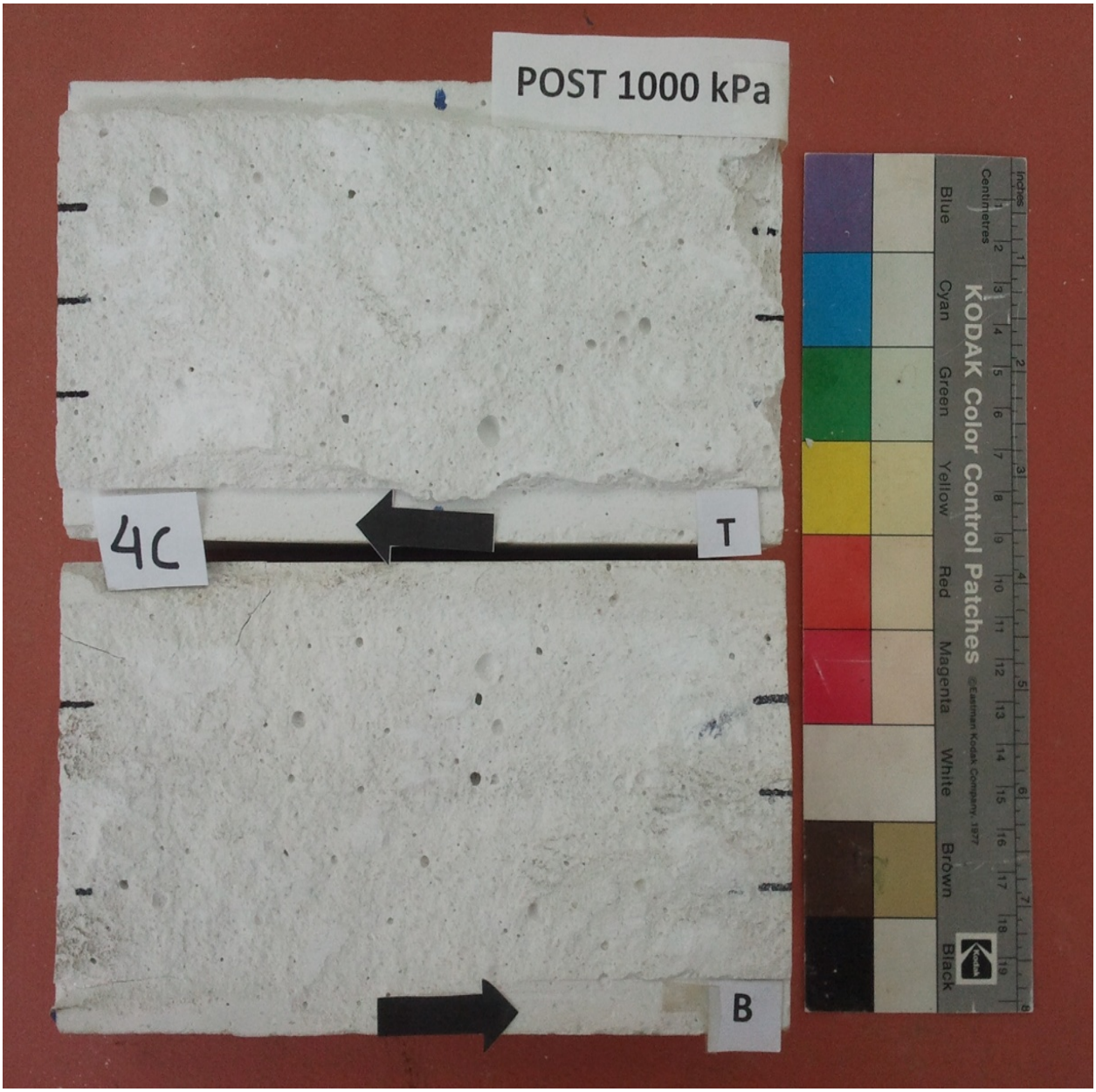
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,59 kPa) είναι 31,82° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|   |   |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 156,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 157,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 70,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 70,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2177 |

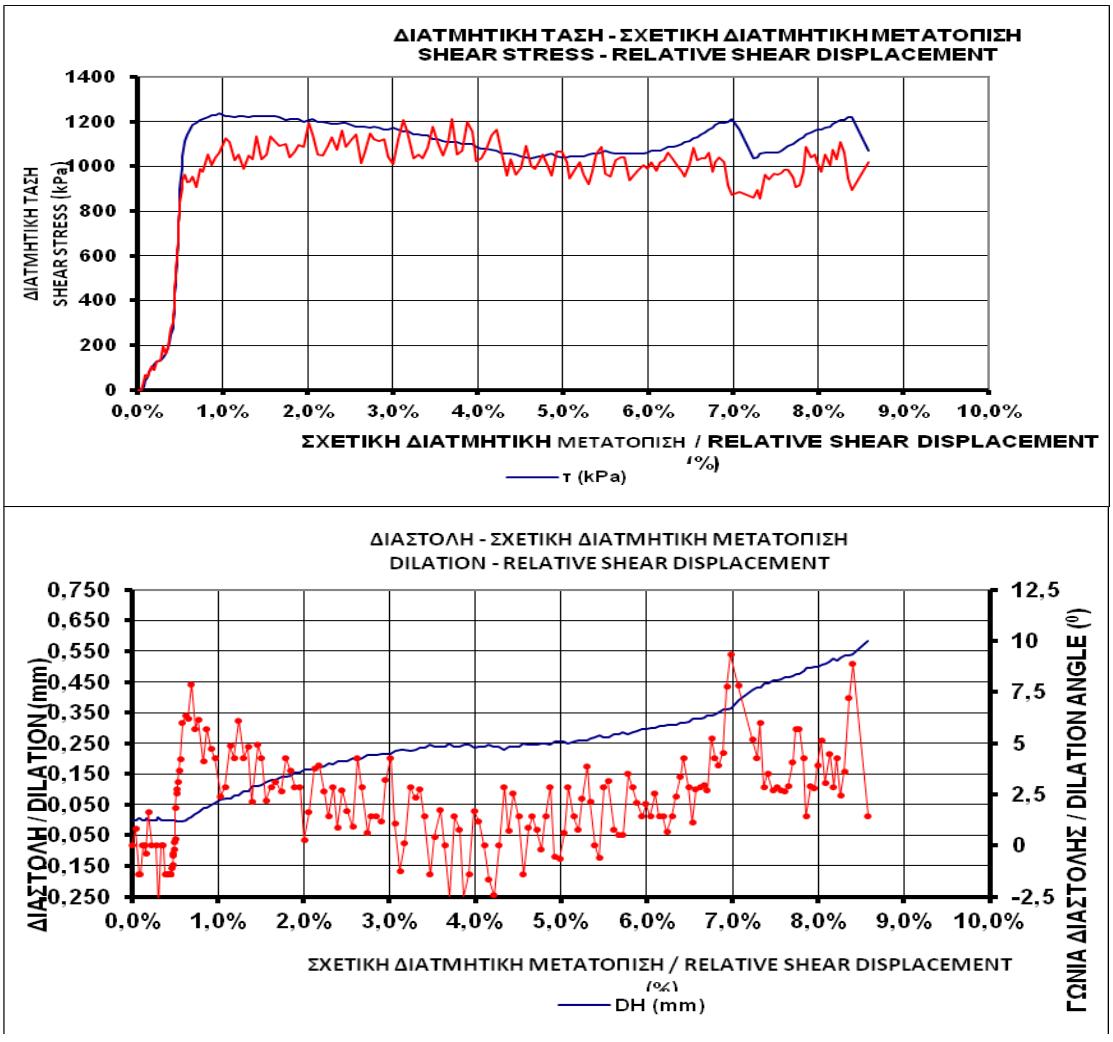



Φωτογραφία 13. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES |
|---|---|

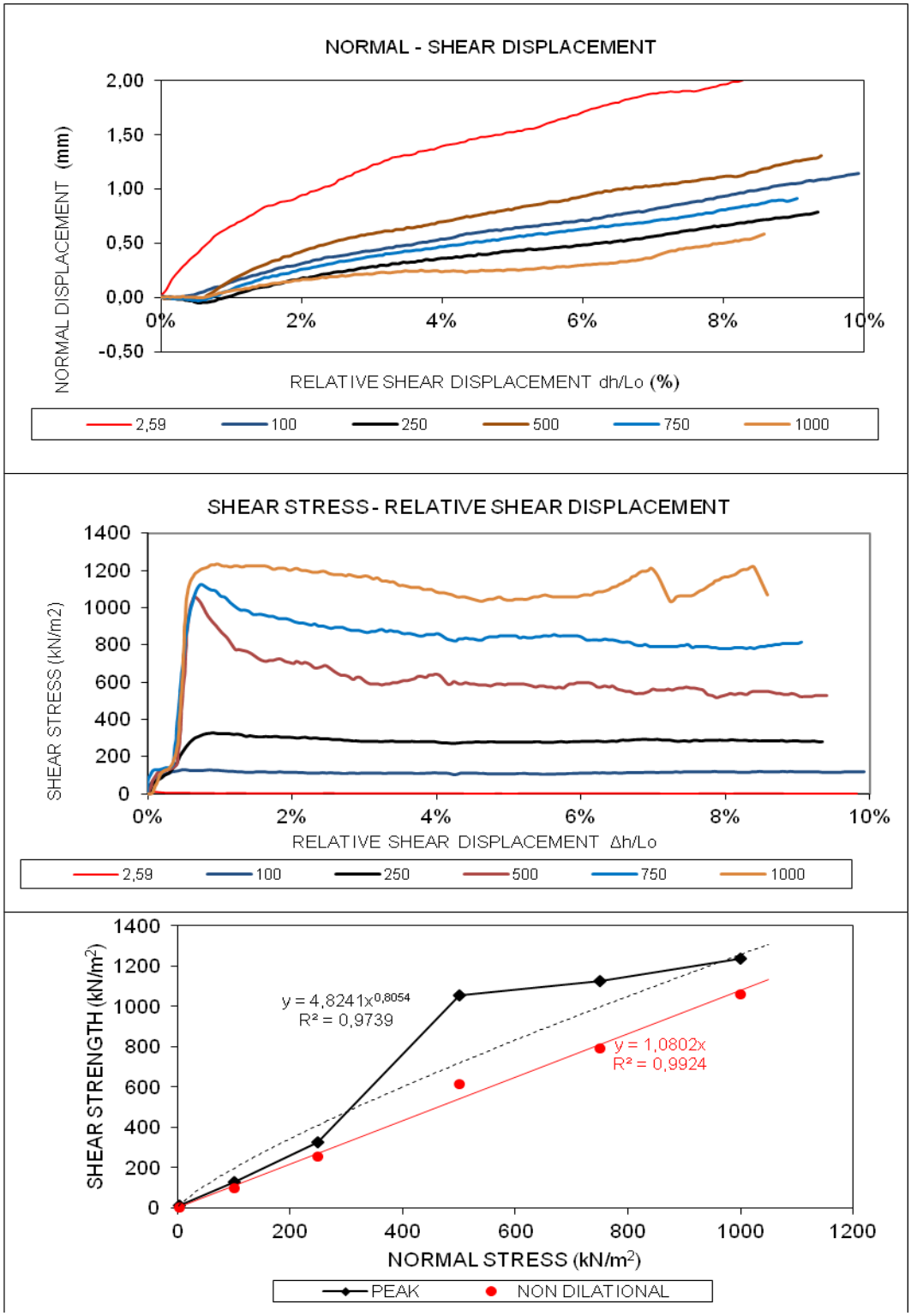
| | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 156,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 70,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2177 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 10920 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 1000,00 | **kPa** |

| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ (⁰)** |
|---|---|---|---|
| **τ (kPa)** | **1235,40** | 1109,08 | 1211,80 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 1062,00 | **1211,96** | 873,89 |
| **ψ (⁰)** | 4,29 | 5,97 | **9,32** |
| **$\varphi_m$ (⁰)** | 46,72 | 50,47 | 41,15 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,962% | 3,699% | 6,979% |
| **$k_S$ (MPa)** | 128,48 | 29,980 | 17,364 |




**Σχήμα 45.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

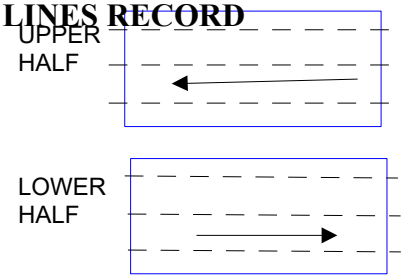
## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 4C

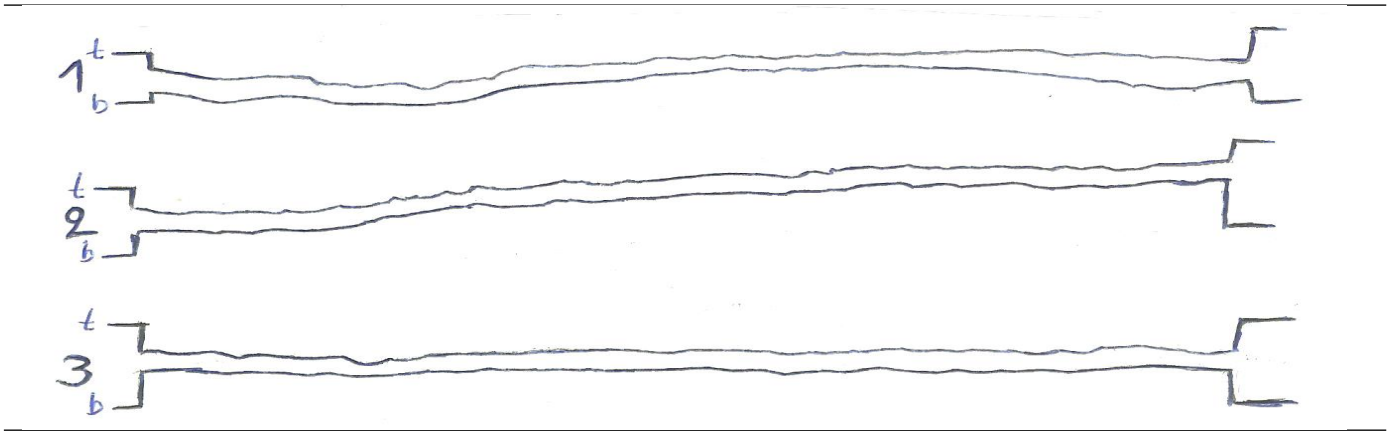



**Σχήμα 46.** Διάγραμματα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω), διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης ( μέσο ) και διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης (κάτω).

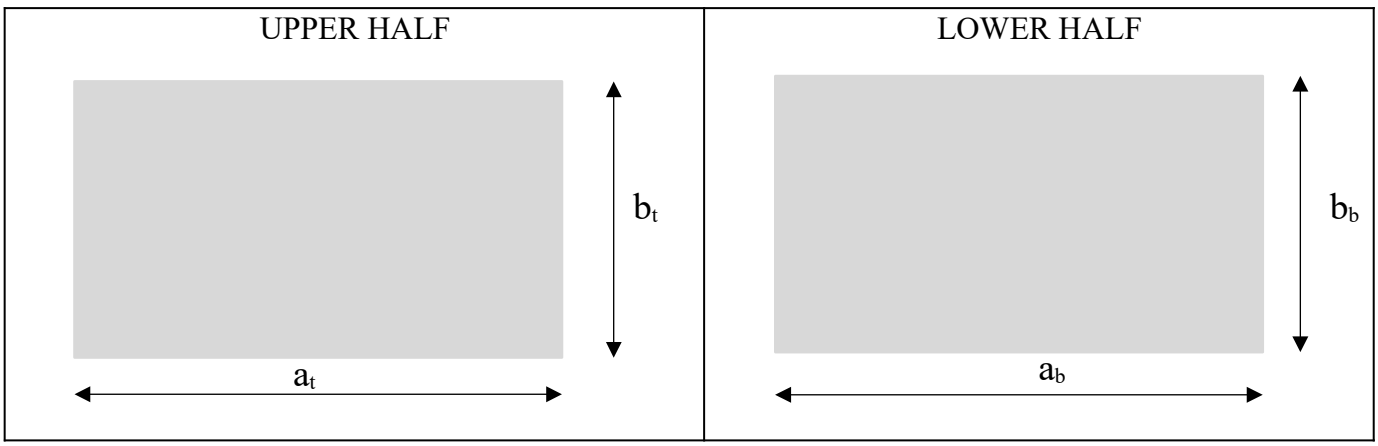
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 2,45 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41Β**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |

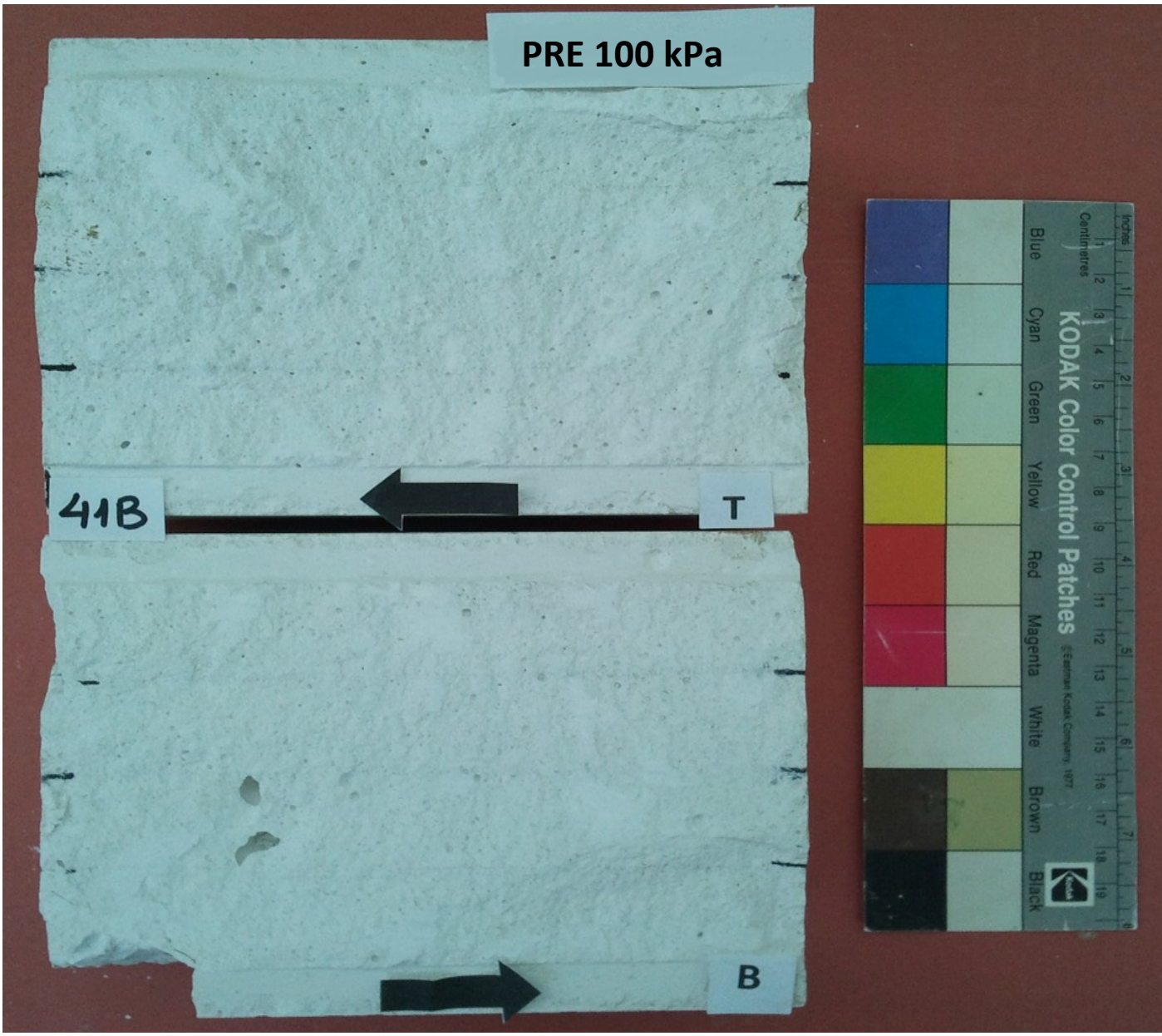



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**




| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half |

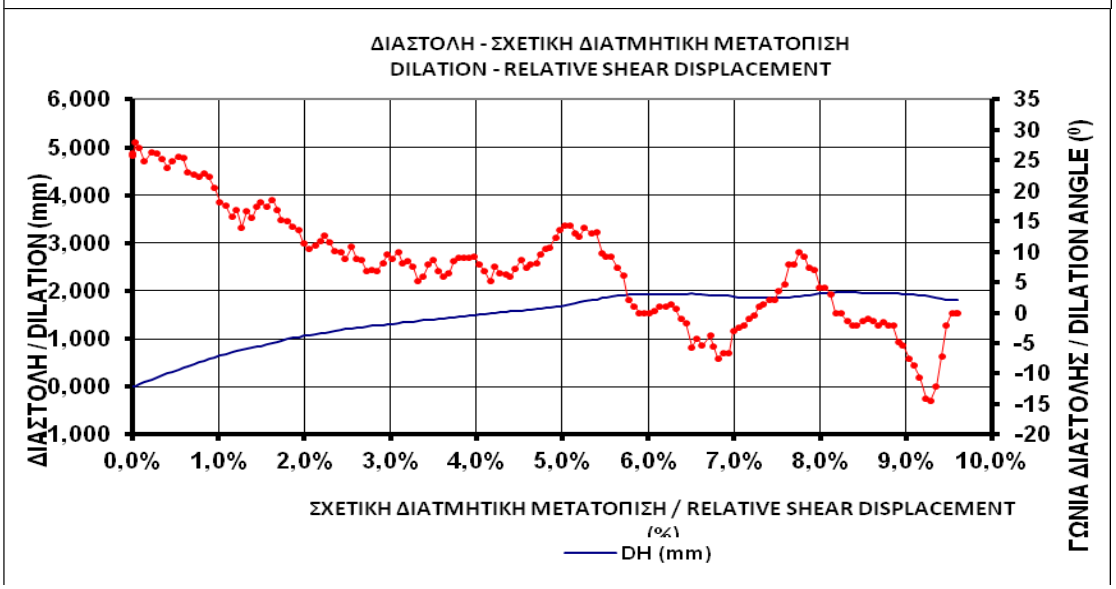
| | |
|---|---|
| | (g) :2279 |




Φωτογραφία 20. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 2,45 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 139,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 86,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2279 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11954 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 2,45 | kPa |

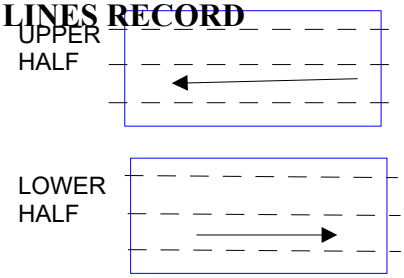
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **5,56** | 5,56 | 4,13 |
| $\tau_m$ (kPa) | 2,00 | **2,00** | 1,49 |
| $\psi$ ($^0$) | 27,03 | 0,38 | **27,99** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 39,20 | 39,20 | 31,33 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,075 % | 0,075 % | 0,037 % |
| $k_S$ (MPa) | - | 7,434 | - |

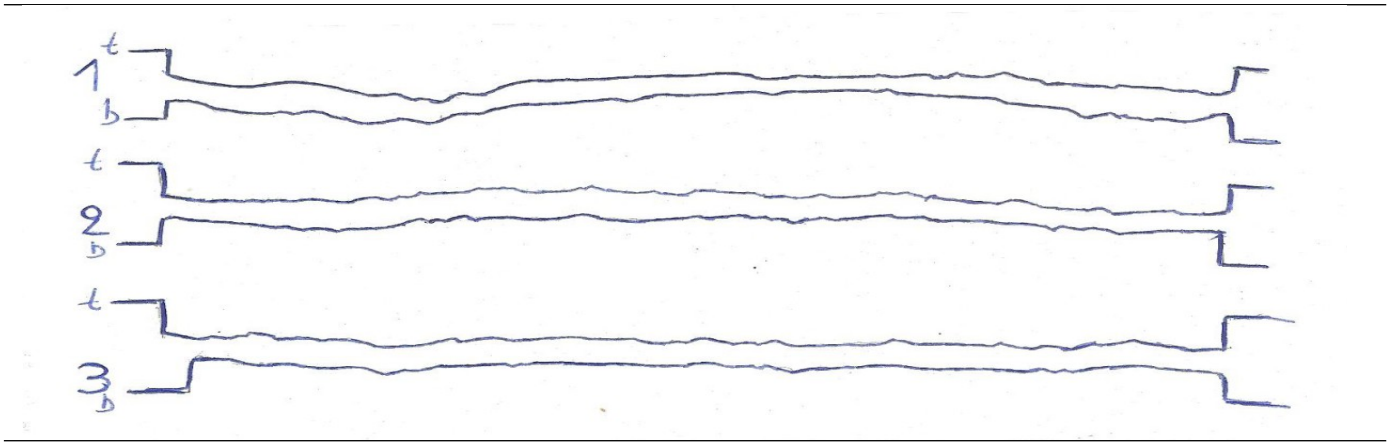


**Σχήμα 47.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

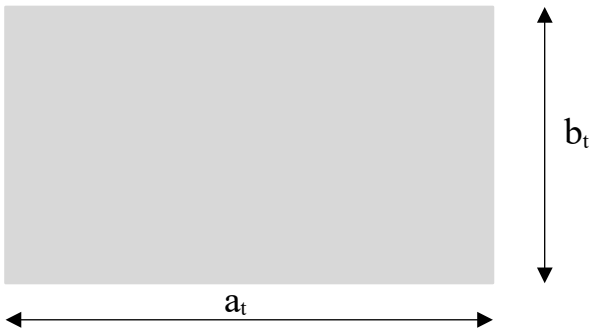
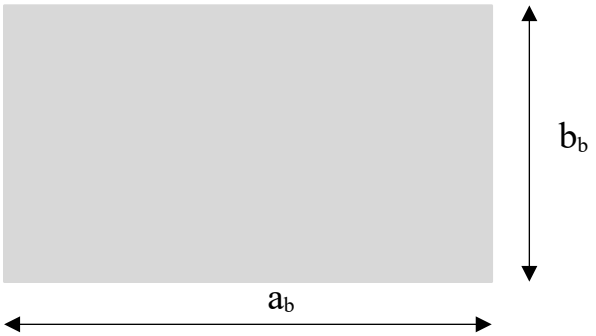
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 100kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|  |  |

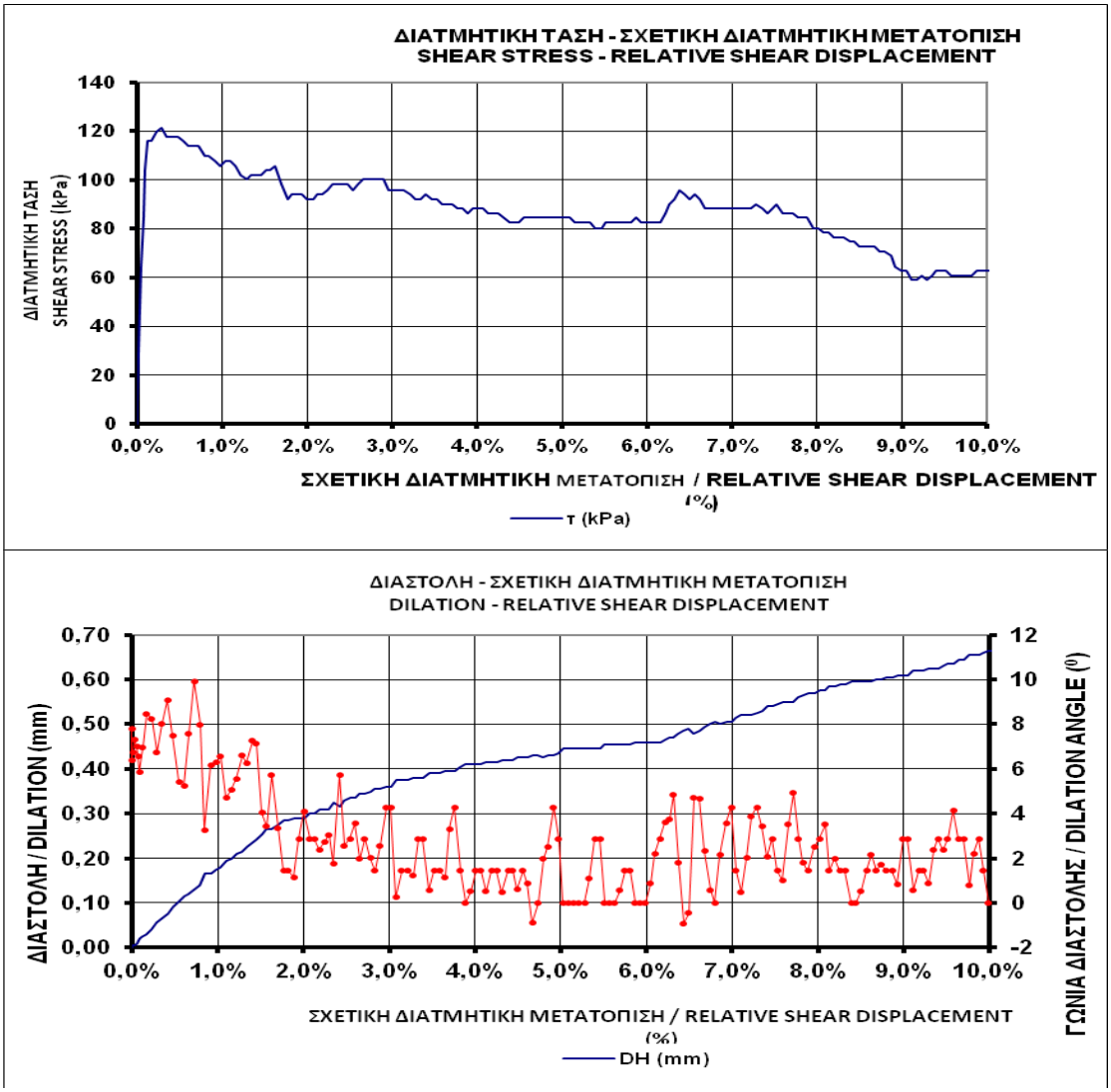
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |

| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
|---|---|
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2279 |

Φωτογραφία 21. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 100 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 139,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 86,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2279 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11954 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 100,0 | kPa |

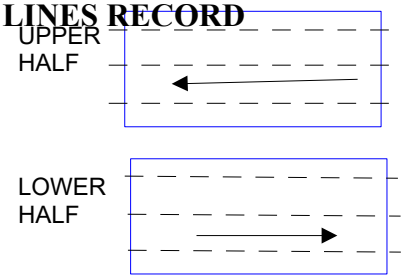
| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **121,50** | 109,64 | 113,91 |
| $\tau_m$ (kPa) | 95,88 | **97,78** | 80,38 |
| $\psi$ ($^0$) | 6,75 | 1,38 | **9,93** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 43,80 | 44,36 | 38,79 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 0,283 % | 0,848 % | 0,727 % |
| $k_S$ (MPa) | 42,86 | 12,926 | 15,676 |

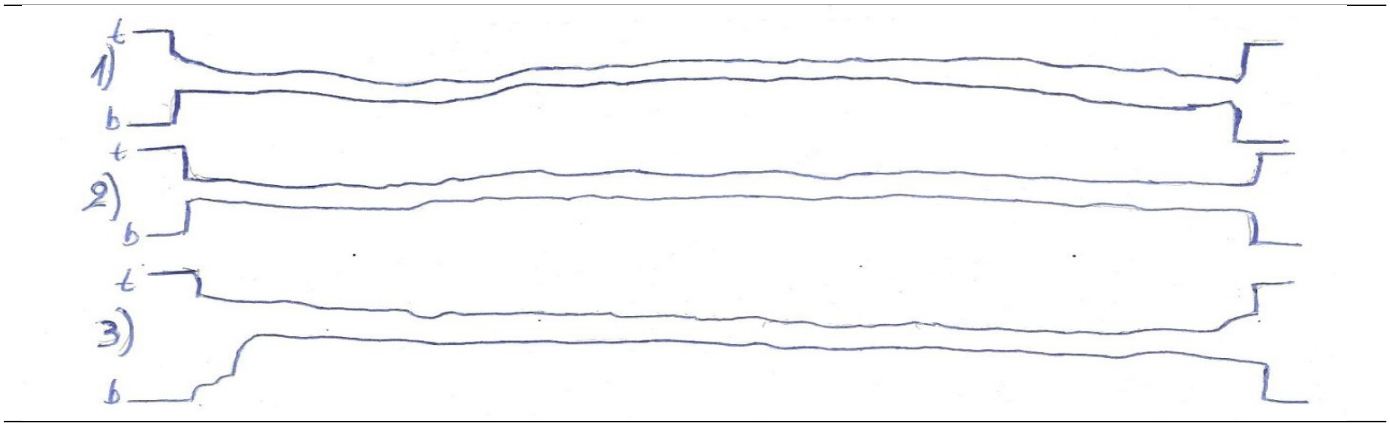


**Σχήμα 48.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

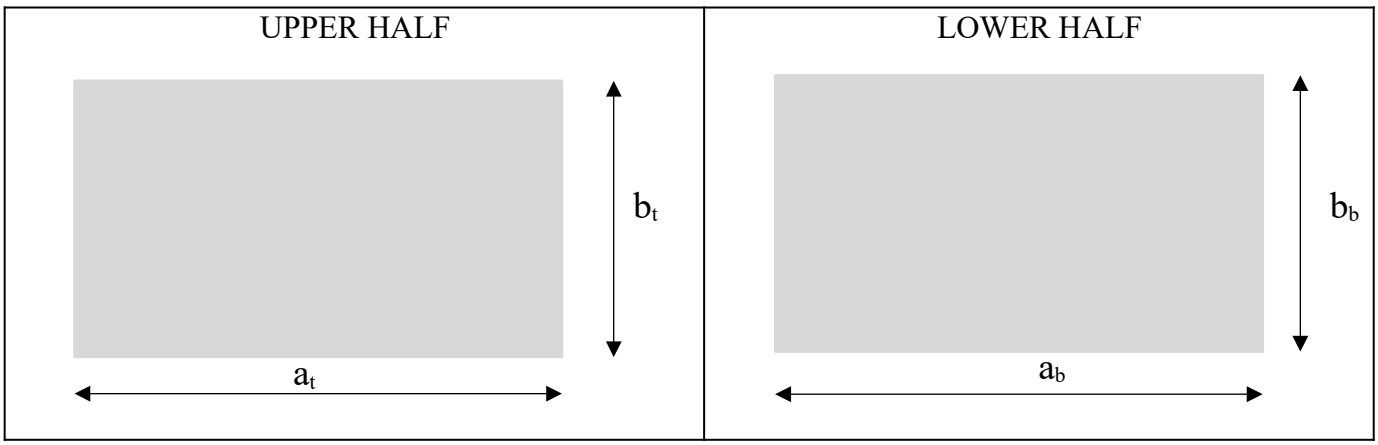
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 250 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41B**

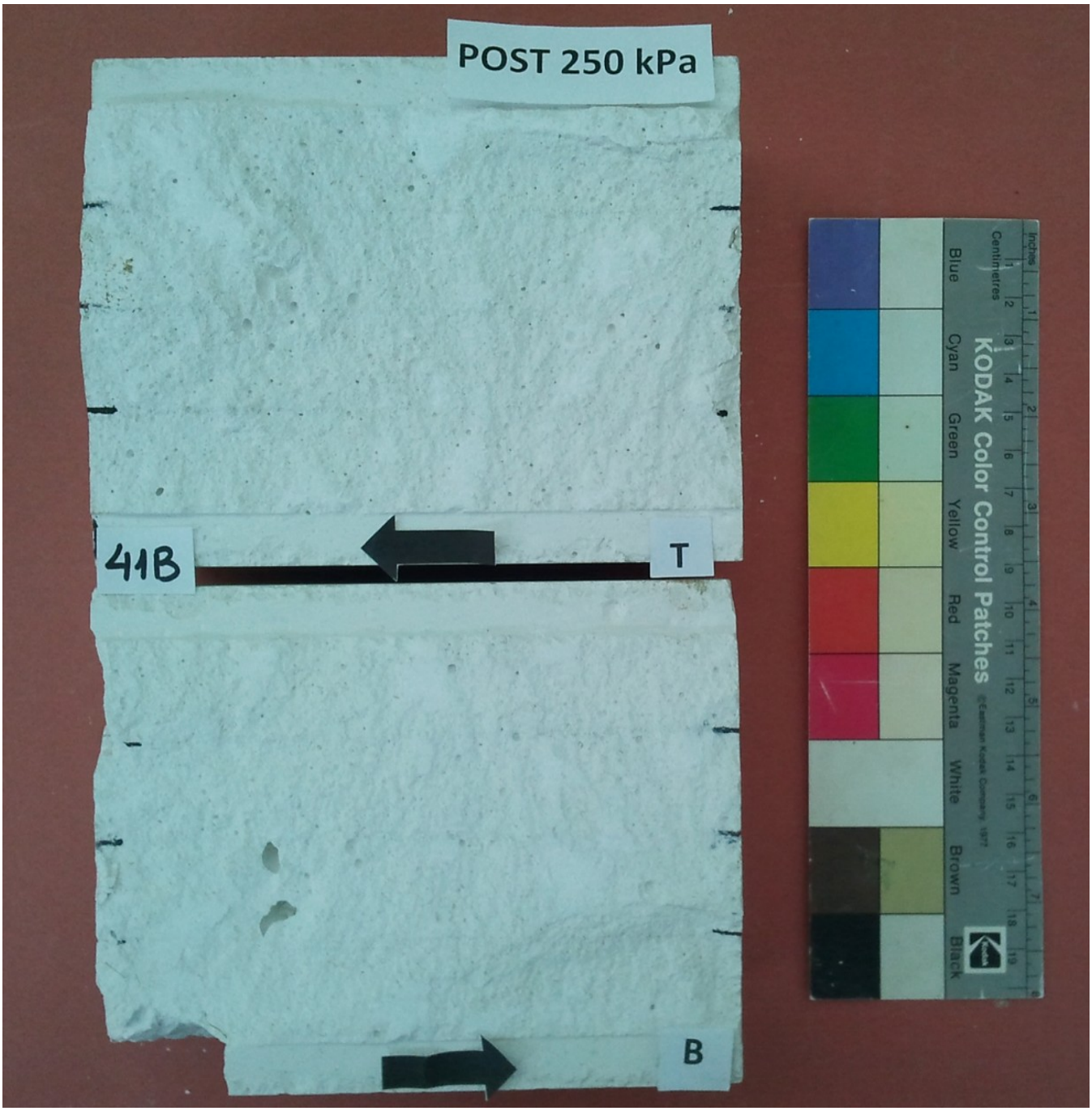
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES ANNOTATED DIAGRAMS:**



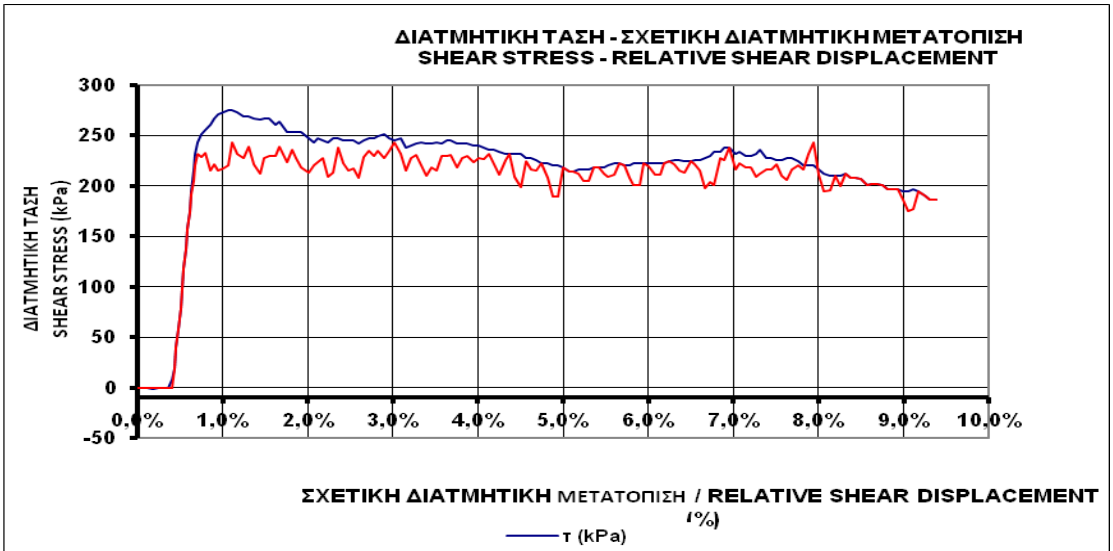
| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2279 |

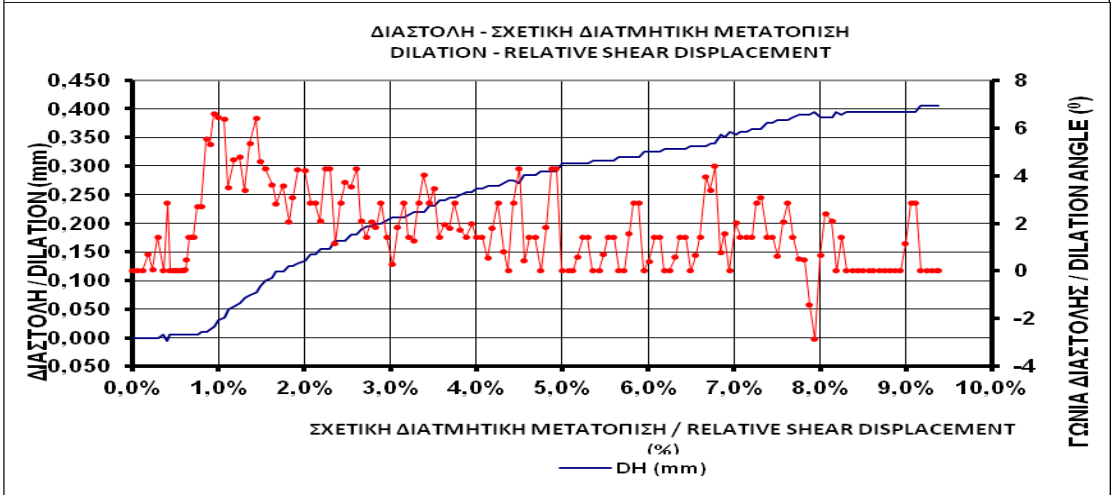



Φωτογραφία 22. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 139,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 86,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2279 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11954 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 250,00 | kPa |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **274,80** | 220,22 | 271,01 |
| $\tau_m$ (kPa) | 219,86 | **243,44** | 215,10 |
| $\psi$ ($^0$) | 6,38 | 11,24 | **6,60** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 41,33 | 44,24 | 40,71 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 1,065 % | 7,940 % | 0,949 % |
| $k_S$ (MPa) | 25,79 | 2,774 | 28,559 |

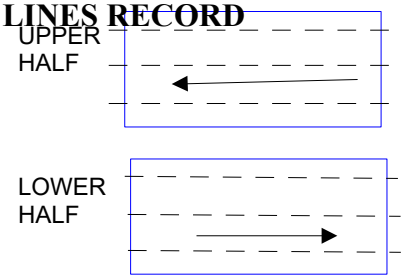


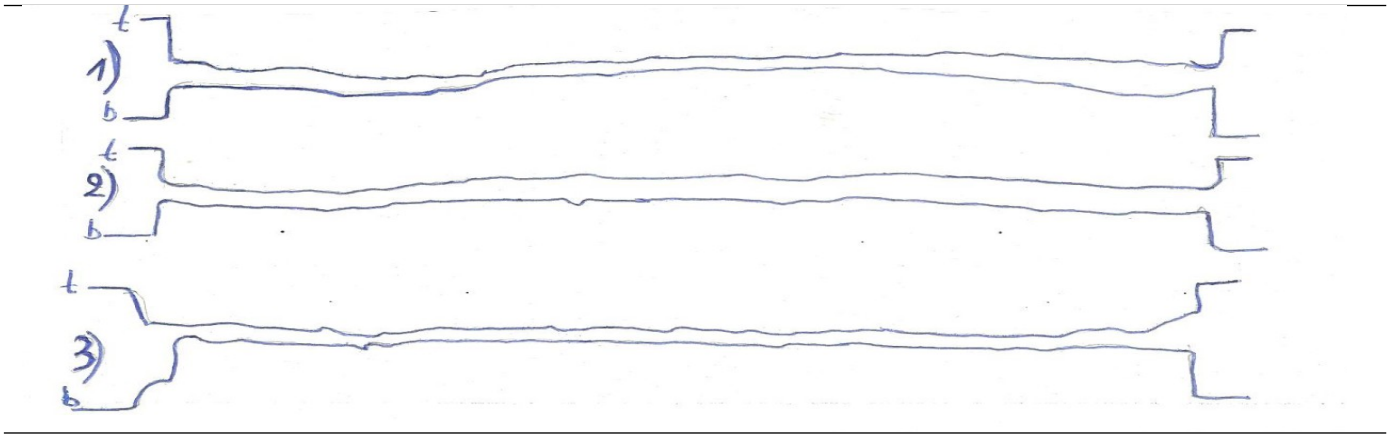



**Σχήμα 49.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

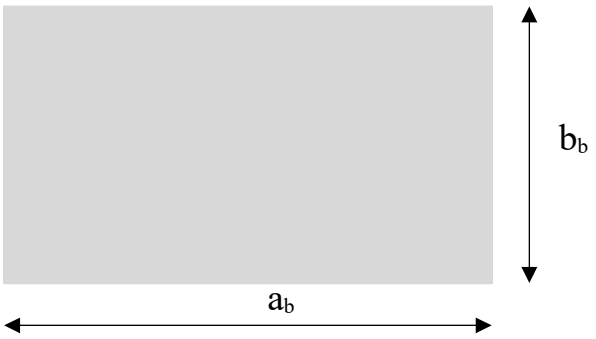
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 500kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41B**

| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |

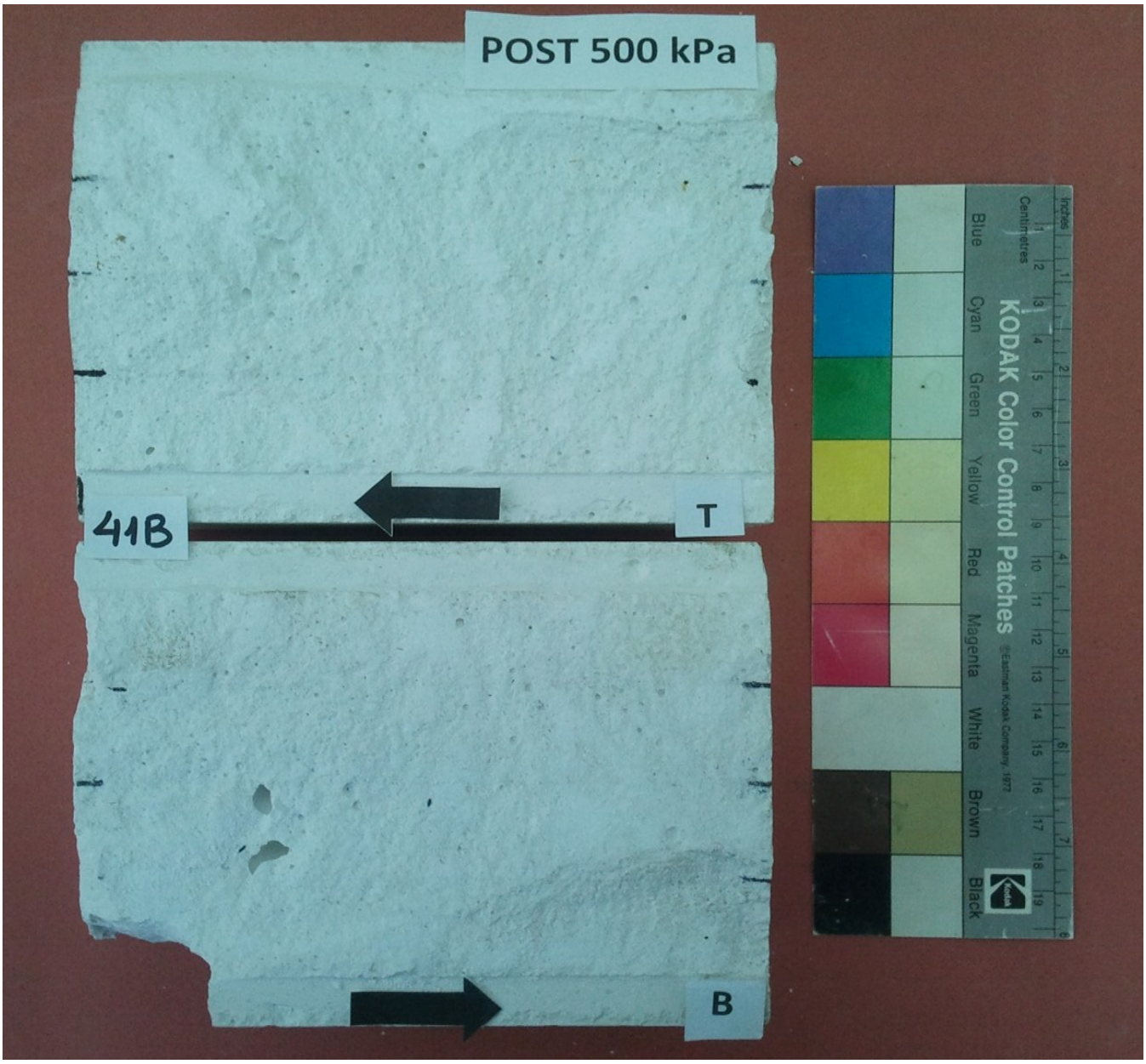



**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
| |  |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |

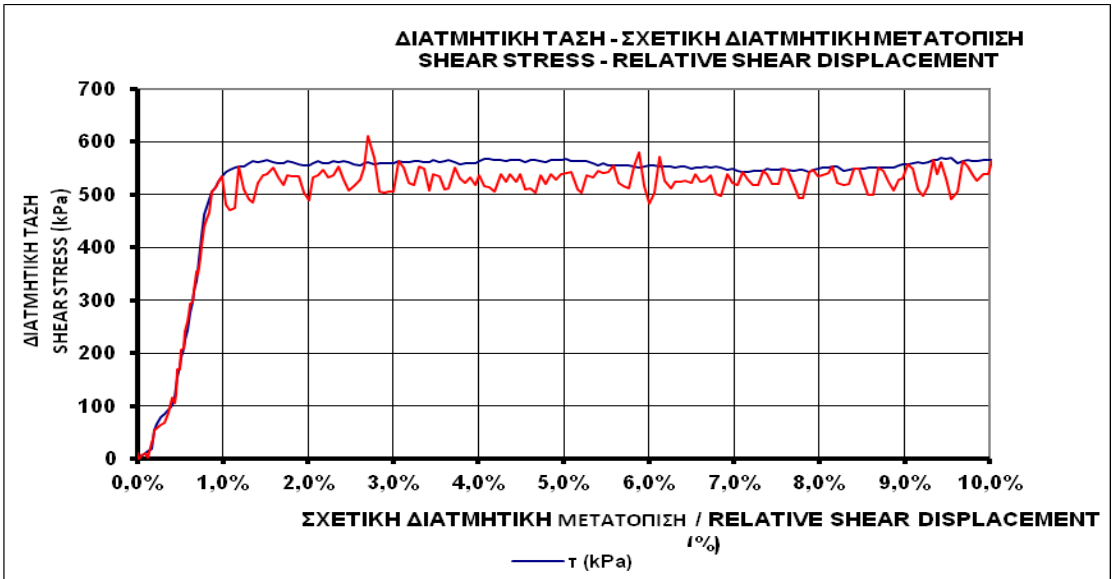
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
|---|---|
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2279 |

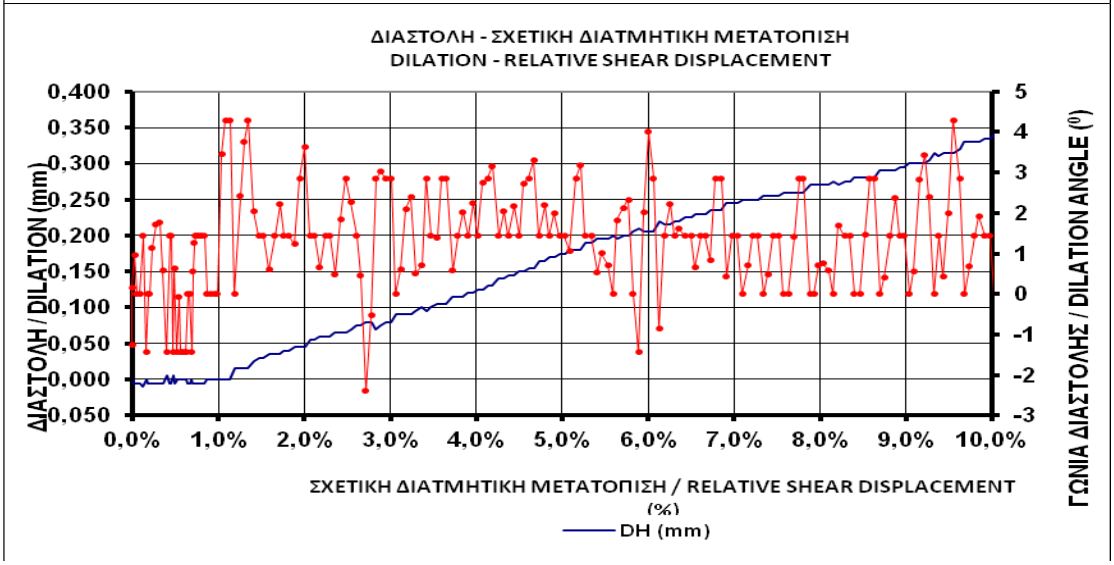



Φωτογραφία 23. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 500 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | | |
|---|---|---|
| ΜΗΚΟΣ / LENGTH | 139,0 | mm |
| ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH | 86,0 | mm |
| ΥΨΟΣ / HEIGTH | - | mm |
| ΒΑΡΟΣ / WEIGTH | 2279 | gr |
| ΕΜΒΑΔΟ / AREA | 11954 | $mm^2$ |
| ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS | 500,00 | kPa |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| MAX | $\tau$ (kPa) | $\tau_m$ (kPa) | $\psi$ ($^0$) |
| $\tau$ (kPa) | **567,64** | 561,94 | 563,84 |
| $\tau_m$ (kPa) | 515,55 | **611,67** | 485,30 |
| $\psi$ ($^0$) | 2,75 | 3,97 | **4,29** |
| $\varphi_m$ ($^0$) | 45,88 | 50,74 | 44,15 |
| $\Delta H/L_0$ (%) | 4,075 % | 2,709 % | 1,347 % |
| $k_S$ (MPa) | 13,93 | 20,741 | 41,867 |

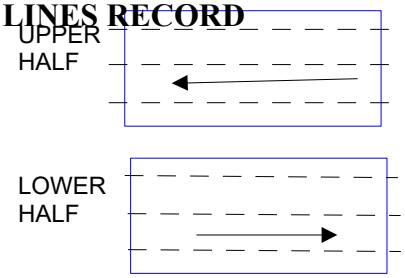


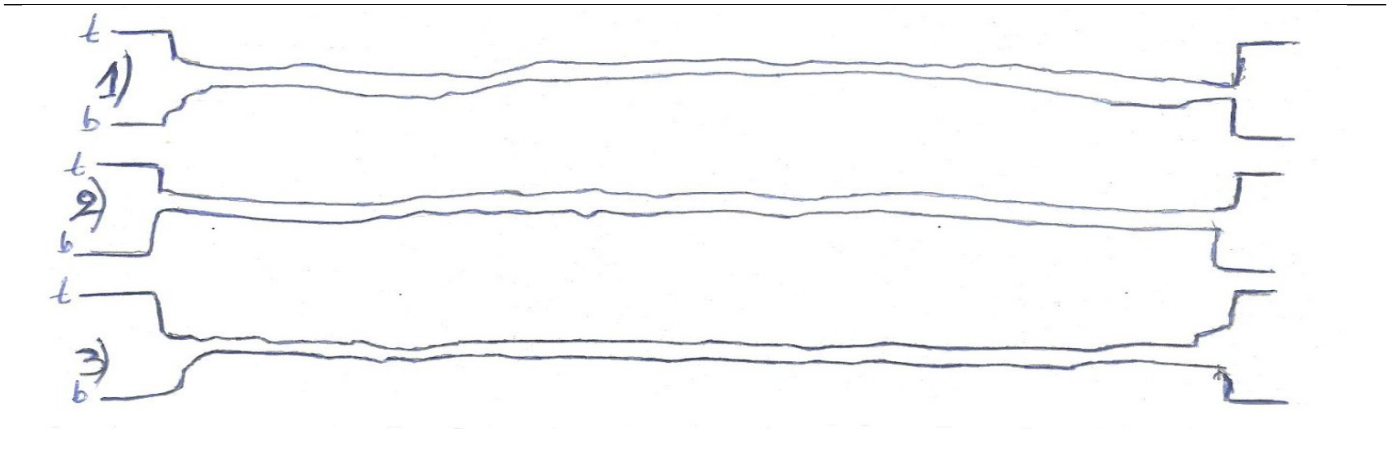



**Σχήμα 50.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

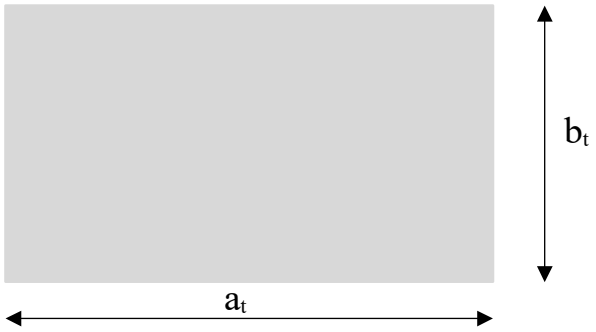
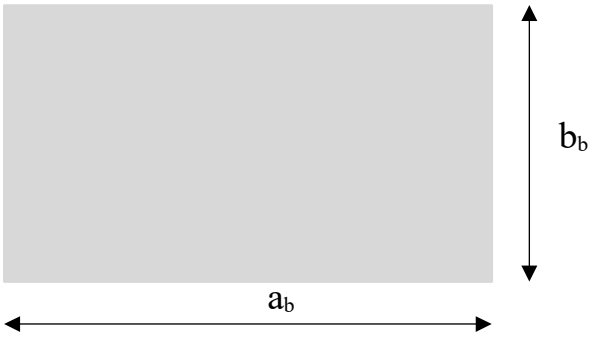
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 750 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41Β**

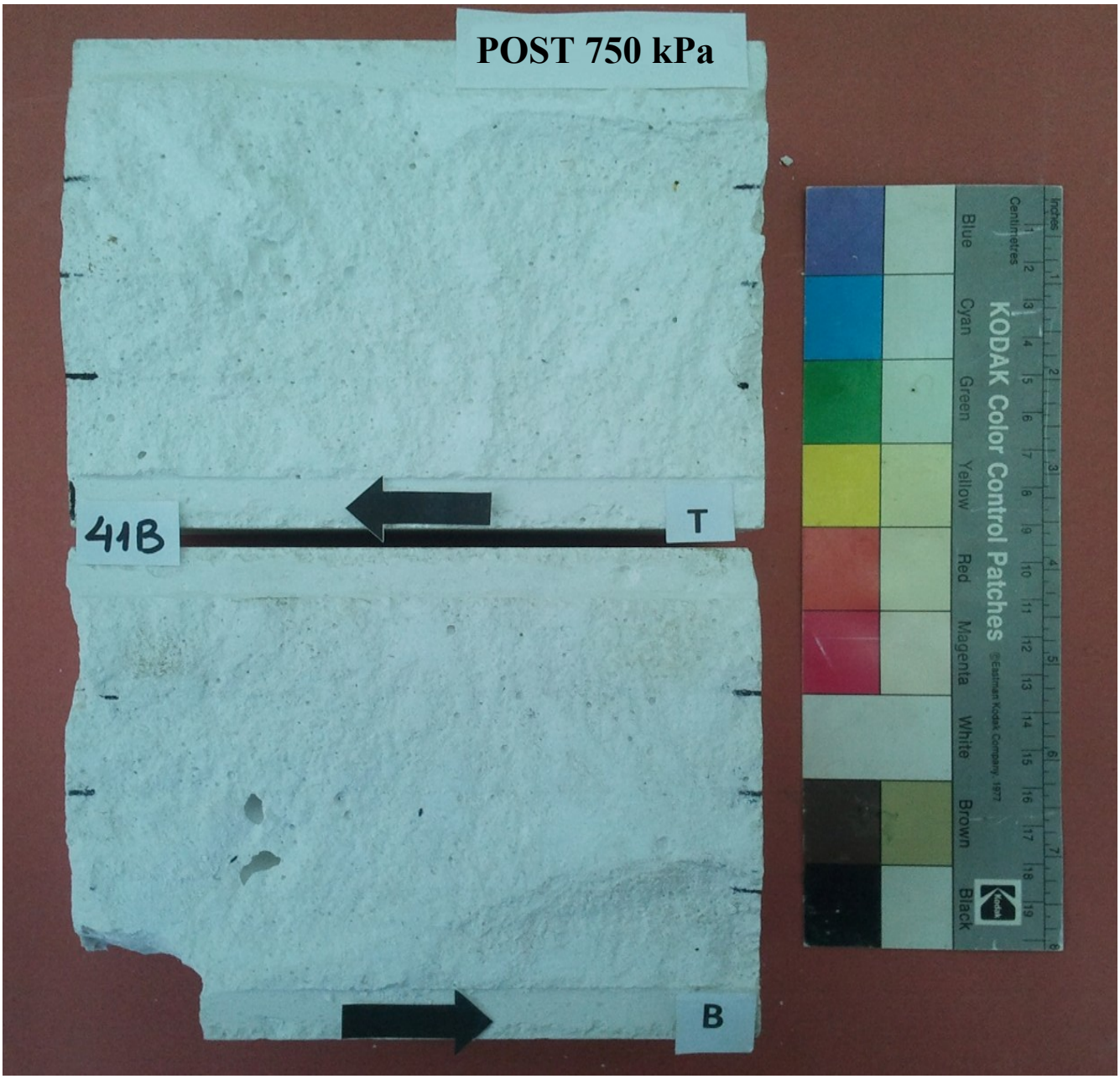
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**

| UPPER HALF | LOWER HALF |
|---|---|
|   |   |

| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2279 |



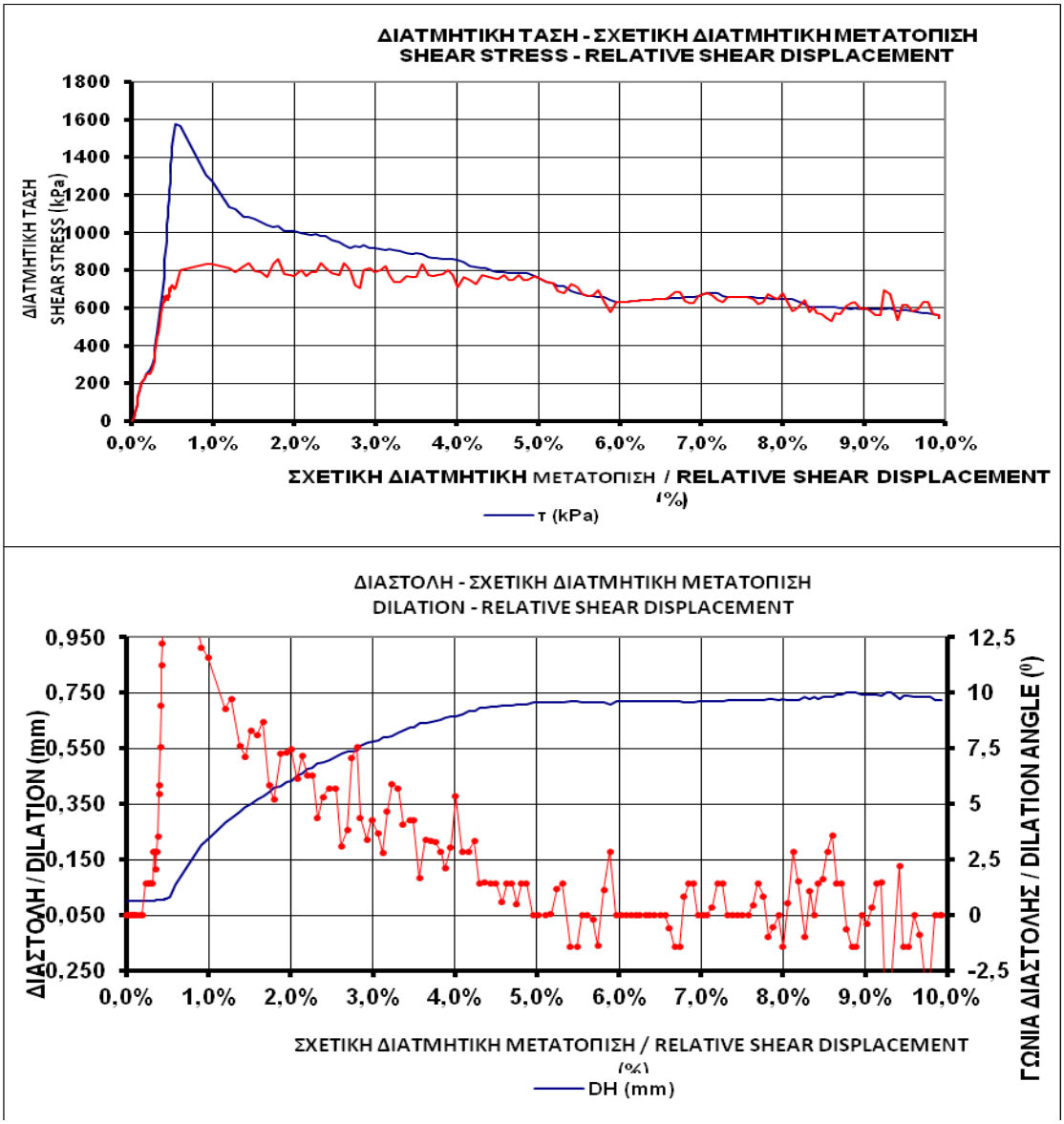

Φωτογραφία 24. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 750 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | |
|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 139,0 **mm** |

| ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES | | | |
|---|---|---|---|
| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ ($^0$)** |

| | | |
|---|---|---|
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 86,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2279 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11954 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 750,00 | **kPa** |

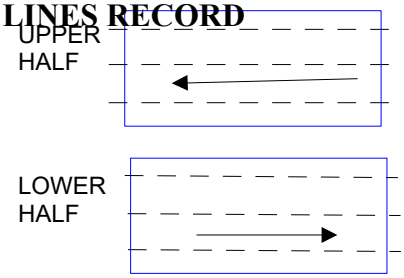
| | | | |
|---|---|---|---|
| **τ (kPa)** | **1574,88** | 1033,44 | 1574,88 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 703,55 | **857,93** | 703,55 |
| **ψ ($^0$)** | 21,37 | 2,70 | **21,37** |
| **$\varphi_m$ ($^0$)** | 43,17 | 48,84 | 43,17 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 0,538% | 1,795% | 0,538% |
| **$k_S$ (MPa)** | 292,66 | 57,574 | 292,658 |

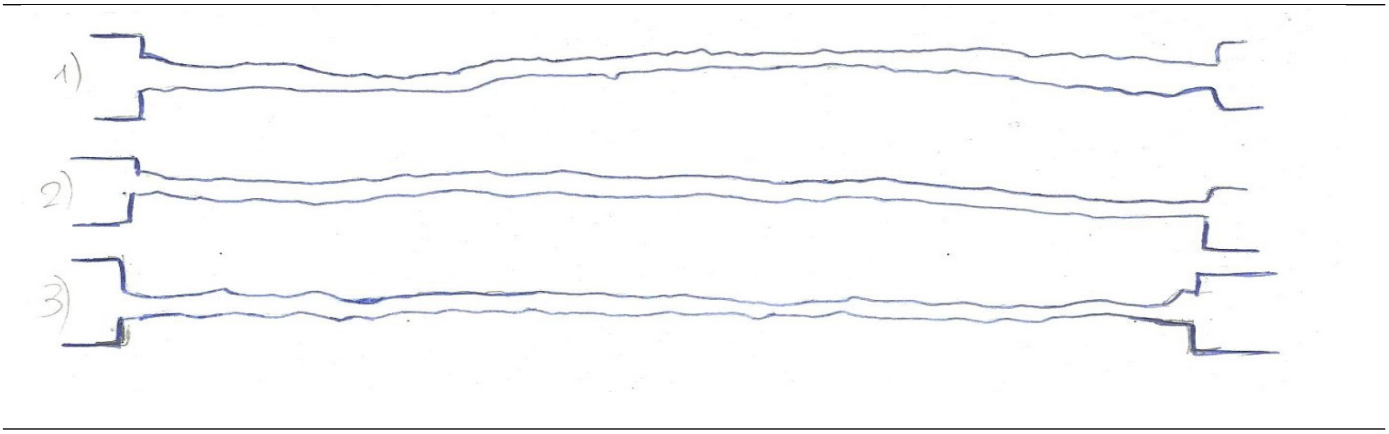



**Σχήμα 51.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

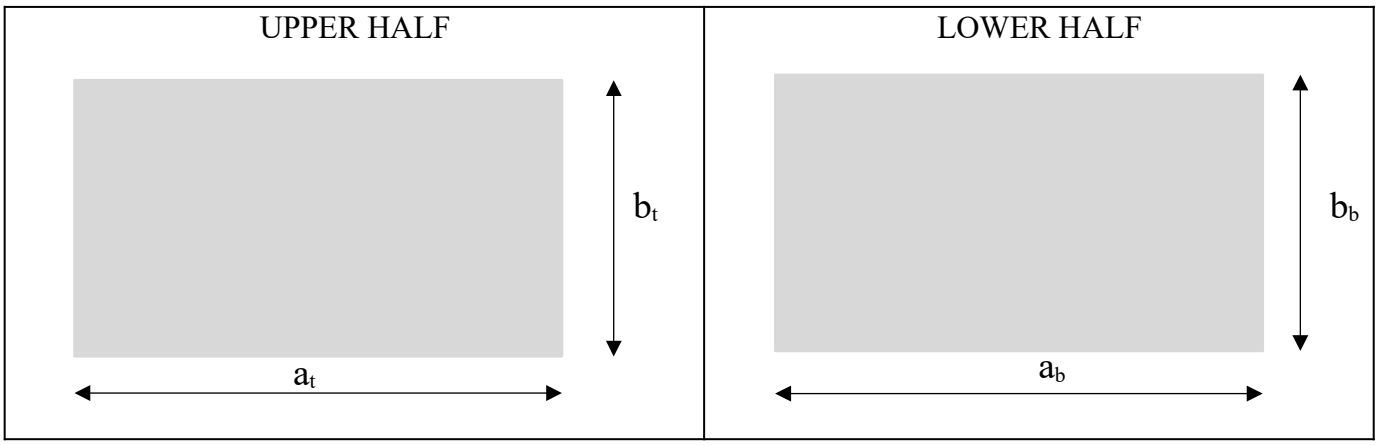
**ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ = 1000 kPa**

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE**:41Β**

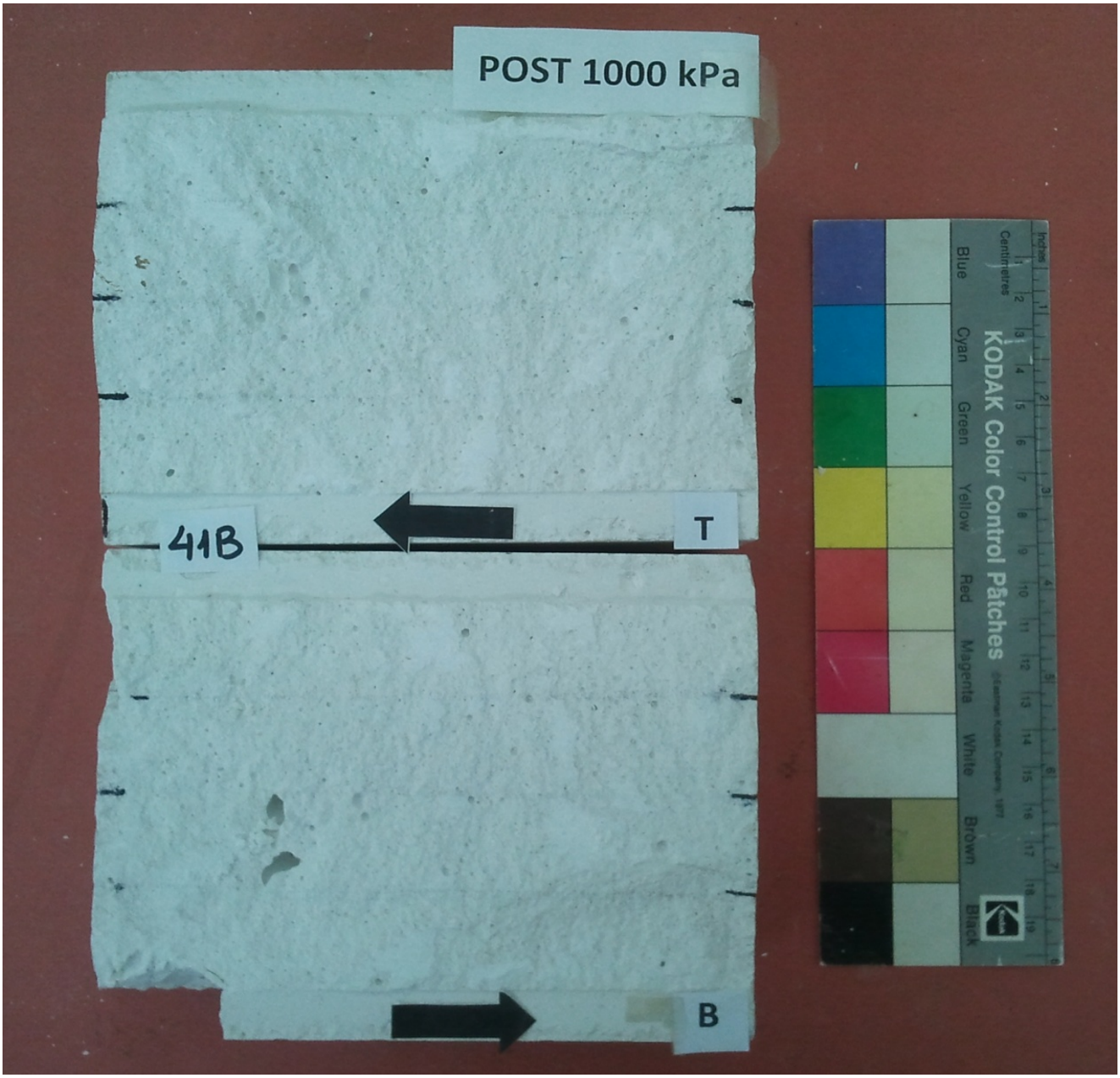
| **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ/ DESCRIPTION** | **ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ / ROUGHNESS LINES RECORD** |
|---|---|
| 1. ΑΡΡΗΚΤΟ ΥΛΙΚΟ<br>Τσιμεντοκονίαμα λευκού τσιμέντου με μαρμαρόσκονη<br><br>2. ΑΣΥΝΕΧΕΙΑ/DISCONTINUITY<br>Επίπεδη, τραχειά, τεχνητή ασυνέχεια, με τοιχώματα μέτριας έως υψηλής αντοχής και εξαιρετικά καλής εμπλοκής.<br>Η μέγιστη γωνία διαστολής κατά τη φορά της διάτμησης υπό το ίδιο βάρος (ορθή τάση=2,45 kPa) είναι 27,51° . |  |




**ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ/ROUGHNESS PROFILES**
**ANNOTATED DIAGRAMS:**




| | |
|---|---|
| Μήκος/Length $a_t$ (mm): 139,00 | Μήκος/Length $a_b$ (mm): 138,00 |
| Πλάτος/Width $b_t$ (mm) : 86,00 | Πλάτος/Width $b_b$ (mm) : 86,00 |
| Μορφή/Shape : | Βάρος πάνω μισού/Weight of upper half (g) :2279 |

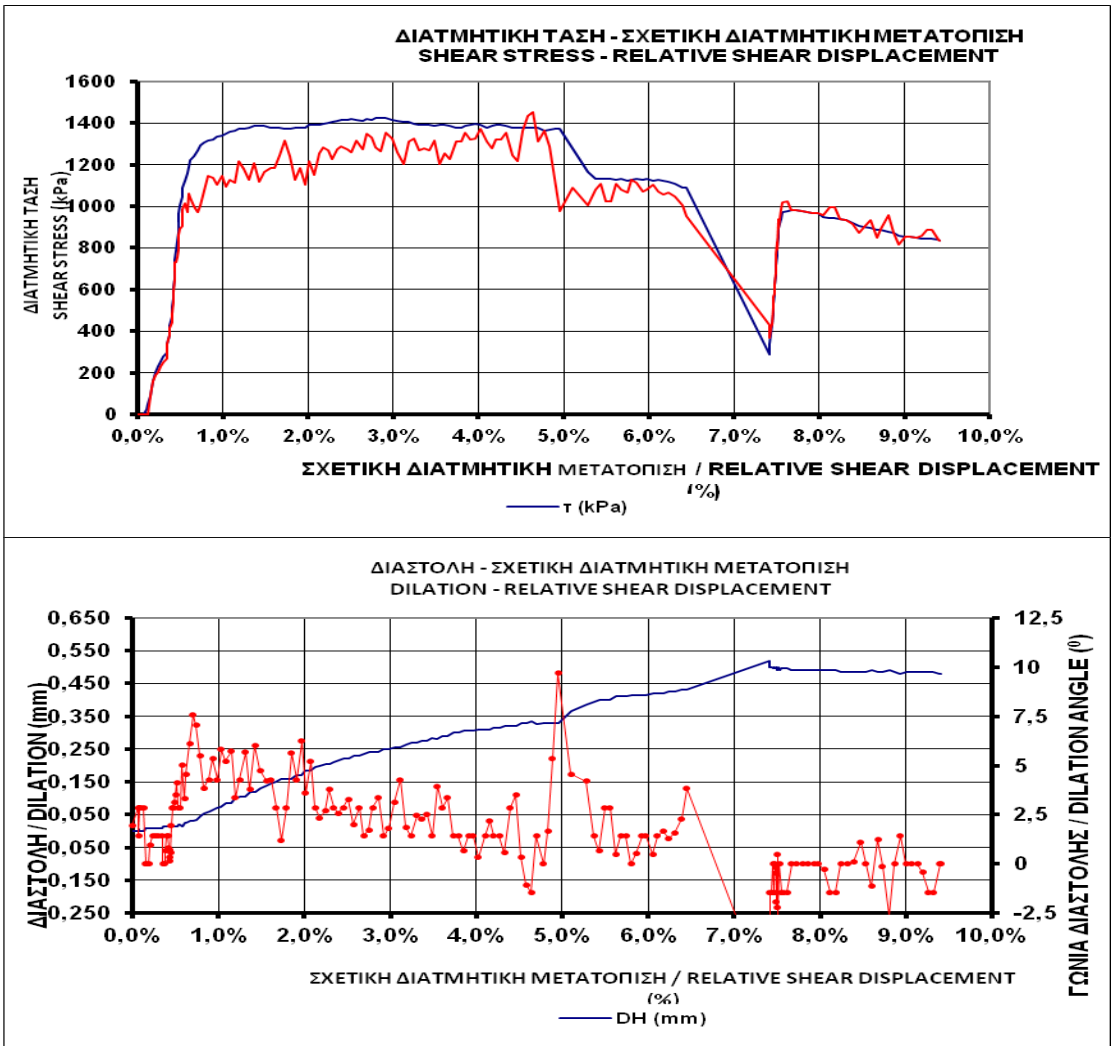



Φωτογραφία 25. Φωτογραφία δείγματος 4C μετά τη δοκιμή διάτμησης σε ορθή τάση 1000 kPa.

| ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS | ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES |
|---|---|

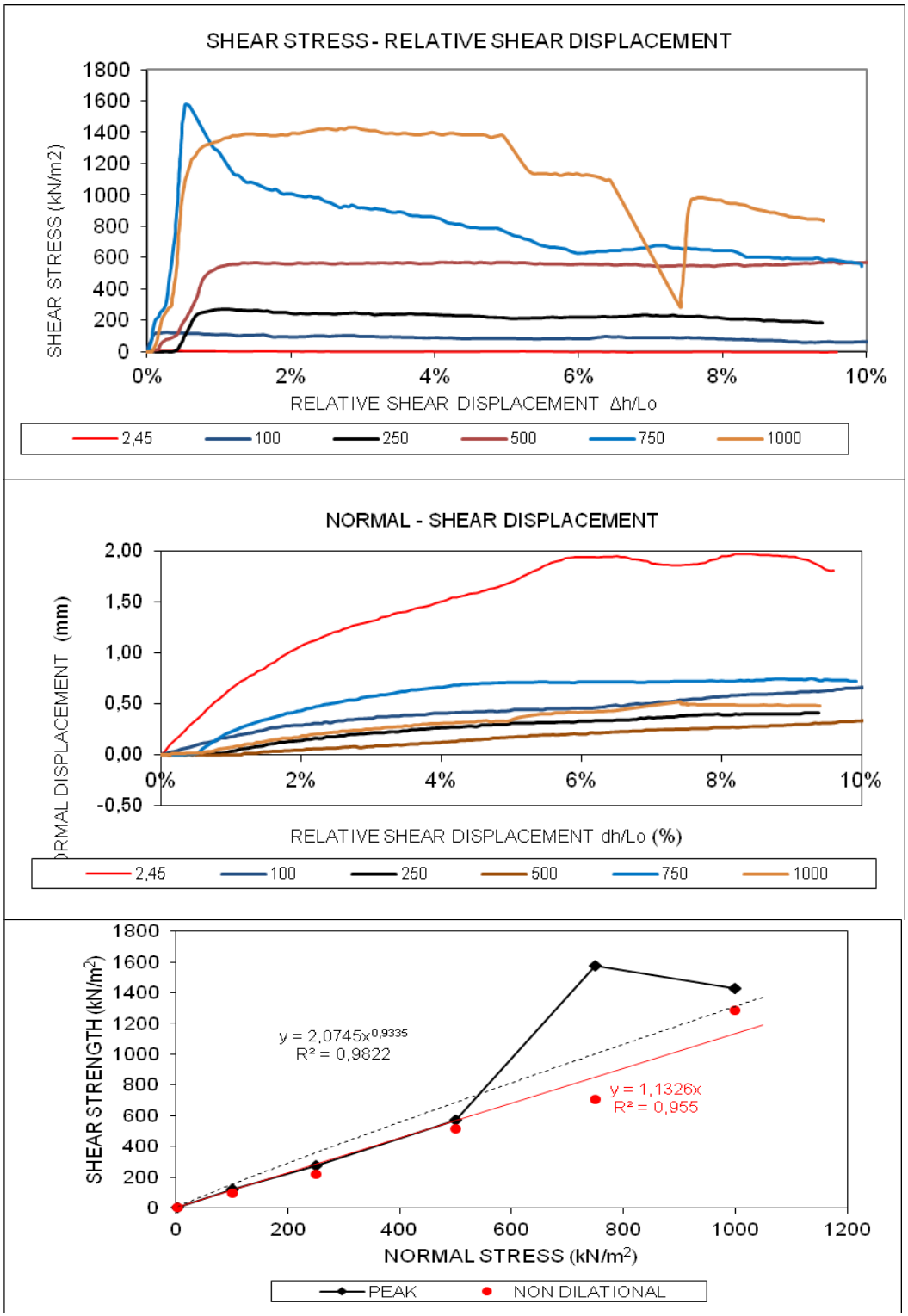
| | | |
|---|---|---|
| **ΜΗΚΟΣ / LENGTH** | 139,0 | **mm** |
| **ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH** | 86,0 | **mm** |
| **ΥΨΟΣ / HEIGTH** | - | **mm** |
| **ΒΑΡΟΣ / WEIGTH** | 2279 | **gr** |
| **ΕΜΒΑΔΟ / AREA** | 11954 | **mm²** |
| **ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS** | 1000,0 | **kPa** |

| **MAX** | **τ (kPa)** | **$\tau_m$ (kPa)** | **ψ (⁰)** |
|---|---|---|---|
| **τ (kPa)** | **1426,52** | 1379,61 | 1374,53 |
| **$\tau_m$ (kPa)** | 1284,88 | **1454,78** | 974,99 |
| **ψ (⁰)** | 2,86 | 6,65 | **9,69** |
| **$\varphi_m$ (⁰)** | 52,11 | 55,50 | 44,27 |
| **$\Delta H/L_0$ (%)** | 2,795% | 4,642% | 4,954% |
| **$k_S$ (MPa)** | 51,04 | 29,722 | 27,746 |




**Σχήμα 52.** Διάγραμμα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω) και διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (κάτω).

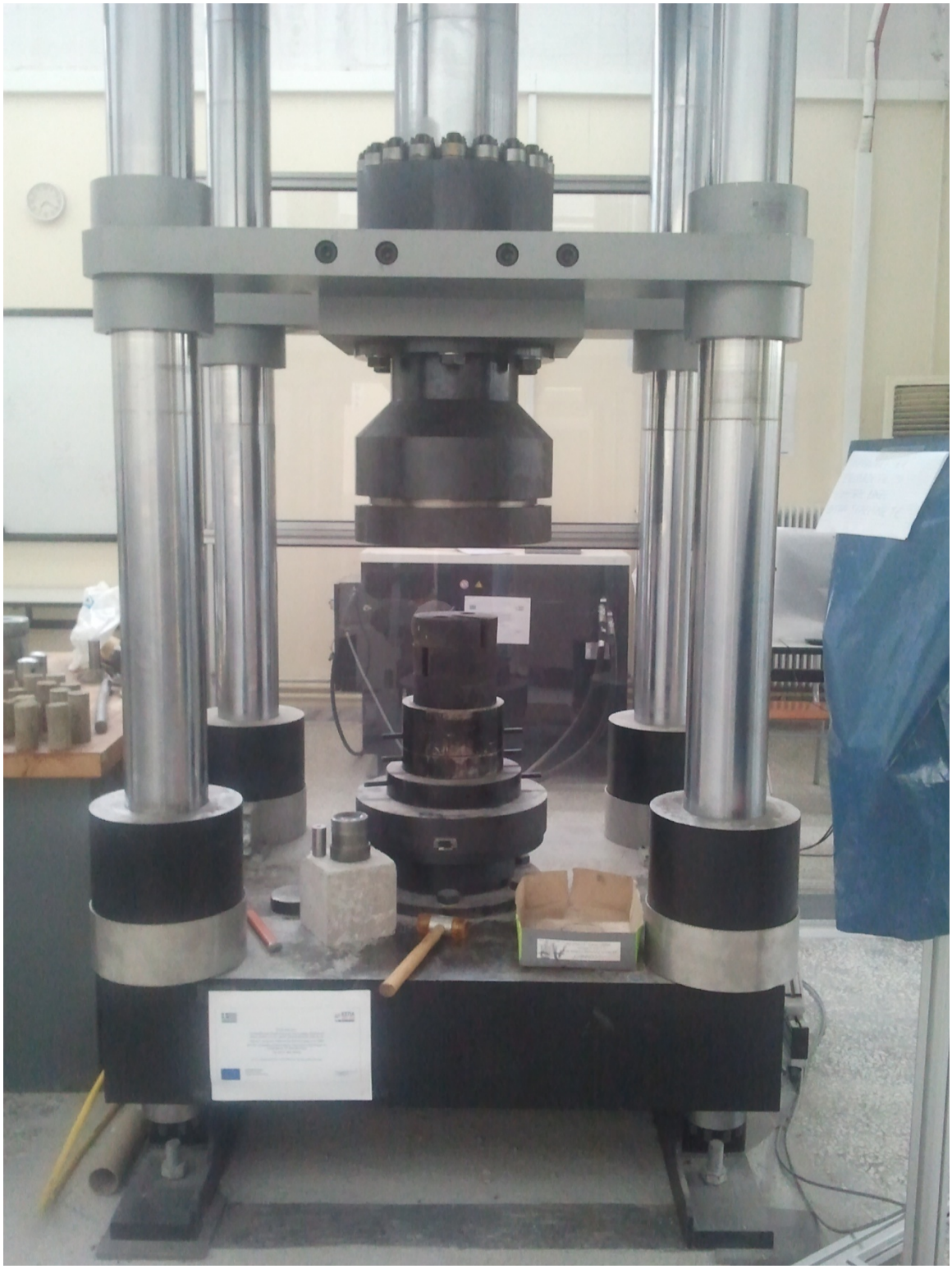
## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΕΙΓΜΑ 41Β

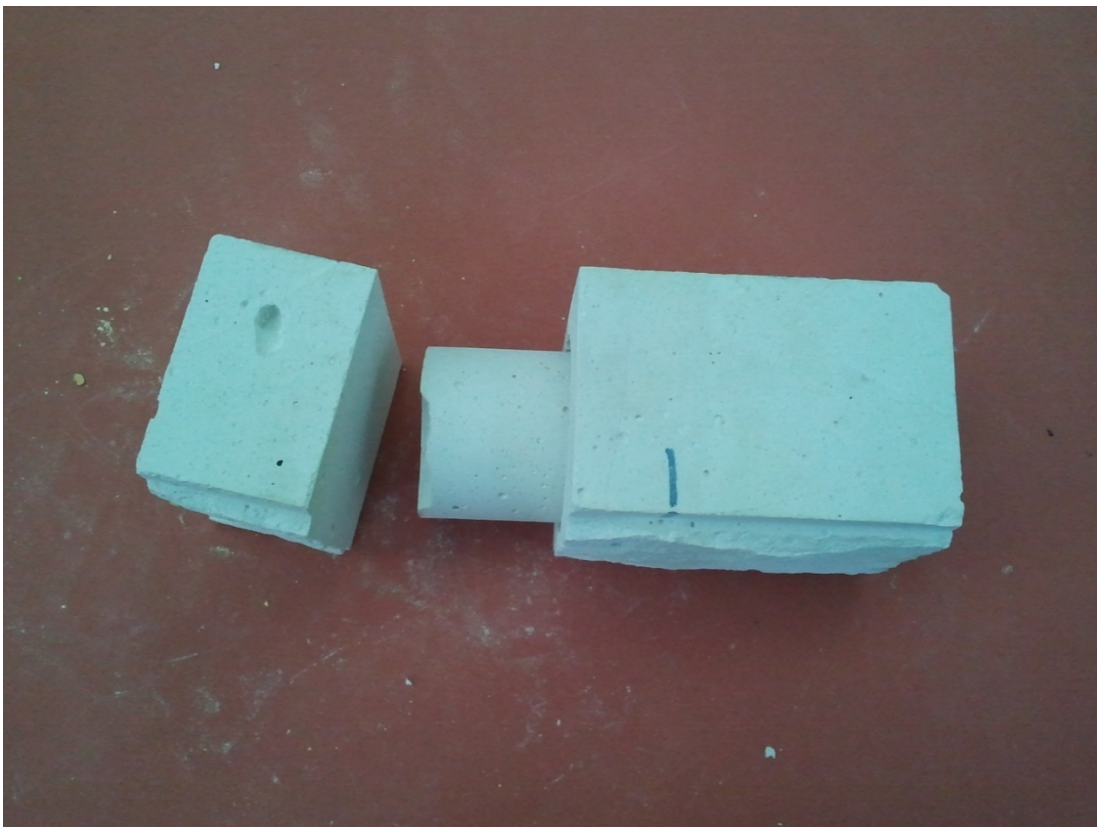



**Σχήμα 53.** Διάγραμματα διατμητικής τάσης – σχετικής διατμητικής μετατόπισης (πάνω), διαστολής – σχετικής διατμητικής μετατόπισης ( μέσο ) και διατμητικής αντοχής – ορθής τάσης (κάτω).

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β ΕΙΚΟΝΕΣ

3





## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ


- Θεοδόσιος Θ. Παπαλιάγκας (1997). «Κριτήριο διατμητικής αντοχής ασυνεχειών βράχων». Πρακτικά 5ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα.

- Γεώργιος Χρ. Κούκης και Νικόλαος Σπ. Σαμπατακάκης (2002). Μηχανική περιγραφή ασυνεχειών βραχωδών σχηματισμών. Τεχνική Γεωλογία

- Θεοδόσιος Θ. Παπαλιάγκας (2003). Σημειώσεις από το μάθημα Μηχανική Πετρωμάτων-Σήραγγες, «Τριαξονική - μονοαξονική θλίψη και Σημειακή φόρτιση» -

- Προδιαγραφές επί τόπου δοκιμών και βραχομηχανικής (Ε 102-84) και εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής (Ε 103-84), Φ.Ε.Κ. Β΄ 70/8-21985,Αθήνα 1985

- http://index.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/7217/Desli_Geogia.pdf?sequence=3. Προσπελάστηκε 10-03-2016.

- http://www.tunnelling.metal.ntua.gr/uploads/4/15/A02_Laboratory.pdf Προσπελάστηκε 10-03-2016.

- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8D%CE%BB%CE%B7:%CE%9A%CF%8D%CF%81%CE%B9%CE%B1 Προσπελάστηκε 10-03-2016.