

# Η δοκιμή έλξης στην αξιολόγηση της ευστάθειας βραχωδών πρανών

## The use of pull test in the stability assessment of rock slopes

ΜΑΝΩΛΟΠΟΥΛΟΥ, Σ.Β. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκ. Καθηγήτρια, Α.Π.Θ.  
ΠΑΠΑΛΙΑΓΚΑΣ Θ.Θ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής Αλεξάνδρειου Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης  
ΔΙΔΑΣΚΑΛΟΥ Γ.Γ Πολιτικός Μηχανικός, Θεσσαλονίκη  
ΜΠΟΥΜΠΟΥΝΑΣ Κ.Ι. Μηχανικός Έργων Υποδομής, Καβάλα

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ :** Η δοκιμή έλξης είναι μια απλή δοκιμή πεδίου για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντίστασης κατά μήκος ασυνχειών, σε πολύ χαμηλές ορθές τάσεις, που αντιστοιχούν στο ίδιο βάρος του δοκιμίου. Πενήντα (50) δοκίμια μήκους από 14 μέχρι 50 εκ., με επιφάνειες διαφορετικής τραχύτητας και βαθμού αποσάθρωσης από τις περιοχές δυο βραχωδών πρανών σε γρανοδιοριτική βραχώμαζα, στην περιοχή της παράκαμψης Καβάλας της Εγνατίας Οδού υποβλήθηκαν σε δοκιμές έλξης πεδίου με τη βοήθεια ενός απλού δυναμομέτρου. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αντίστοιχα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών σε δοκίμια από γεωτρήσεις της ίδιας περιοχής.

**ABSTRACT :** The pull test is a simple in-situ test that allows the estimation of the shear strength of rock joints under very low normal stress, resulting from the self weight of the sample used. Fifty (50) samples with length ranging from 14 to 50 cm, with different surface roughness and degree of weathering were obtained from the area of two road cuts in a granodioritic rockmass in the area of the Kavala bypass of Egnatia Road and subjected to pull tests using a simple dynamometer. The results are compared to those obtained from laboratory direct shear tests on rock joints from drilled cores in the same area.

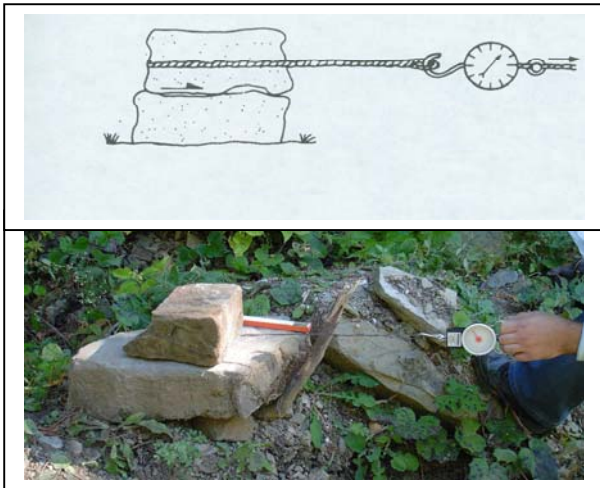
### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευστάθεια βραχωδών πρανών καθορίζεται σε πολλές περιπτώσεις από τη διατμητική αντοχή των ασυνχειών που τη διατέμνουν. Επειδή η ασκούμενη ορθή τάση για συνήθη πρανή είναι σχετικά μικρή (κατά προσέγγιση 1 MPa για πρανές ύψους 20 m), η επίδραση της τραχύτητας καθίσταται σημαντική. Η δοκιμή έλξης (pull test) αποτελεί μια απλή δοκιμή πεδίου που δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού της διατμητικής αντίστασης κατά μήκος ασυνχειών, σε πολύ χαμηλές ορθές τάσεις (<10 kPa), ενώ η υλοποίησή της είναι σχετικά εύκολη: Η επιφάνεια της ασυνέχειας οριζοντιώνεται με τη βοήθεια αφαδιού, το πάνω ήμισυ του δοκιμίου δένεται κατάλληλα με σχοινί, έλκεται κατά την οριζόντια διεύθυνση και καταγράφεται η οριζόντια διατμητική δύναμη που αντιστοιχεί στην ολίσθηση (Σχήμα 1). Από

το λόγο της διατμητικής δύναμης (T) προς το βάρος που αντιστοιχεί στο πάνω ήμισυ του δοκιμίου (W) προκύπτει η γωνία τριβής. Η δοκιμή έλξης είναι πιο αξιόπιστη από τη δοκιμή ολίσθησης (tilt test), κατά την οποία η αστοχία ενδέχεται να προκληθεί όχι από διάτμηση αλλά από περιστροφή του δοκιμίου στη βάση του, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η επιφανειακή τραχύτητα είναι μεγάλη. Σύμφωνα με τους Barton & Choubey (1976) οι δοκιμές ολίσθησης δεν είναι αξιόπιστες για δοκίμια με τιμή του συντελεστή τραχύτητας ασυνέχειας (JRC) μεγαλύτερο του 8, ενώ η δοκιμή έλξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ τραχύτερες επιφάνειες.

### 2. ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΞΗΣ ΠΕΔΙΟΥ

Πενήντα (50) δοκίμια επιλεγμένα από την περιοχή δυο βραχωδών πρανών στην περιοχή



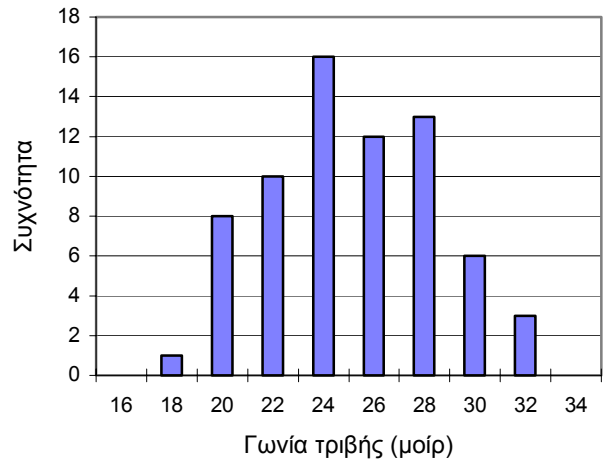
Σχήμα 1. Δοκιμές έλξης  
Figure 1. Pull test.

της παράκαμψης Καβάλας της Εγνατίας Οδού επιλέχθηκαν και υποβλήθηκαν σε δοκιμές έλξης πεδίου. Η βραχώμαζα της περιοχής αποτελείται από γνευσιωμένο γρανοδιορίτη, με έντονη παρουσία απλιτικών διεισδύσεων. Χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια διαφόρων μεγεθών, μέσου μήκος 30 εκ. (εύρος 14-50 εκ.), με επιφάνειες διαφορετικής τραχύτητας χωρίς όμως έντονες επιφανειακές εξάρσεις. Ο βαθμός αποσάθρωσης των επιφανειών σύμφωνα με την κατάταξη της Γεωλογικής Εταιρείας Λονδίνου (Αποη, 1970) κυμαίνεται από υγιής μέχρι μέτρια αποσαθρωμένος (κατηγορία αποσάθρωσης I έως III), ενώ κατά θέσεις εμφανίζεται ακόμα και έντονα αποσαθρωμένος (κατηγορία IV). Οι βασικές ιδιότητες χαρακτηρισμού του ακεραίου πετρώματος δίνονται στον Πίνακα 1.

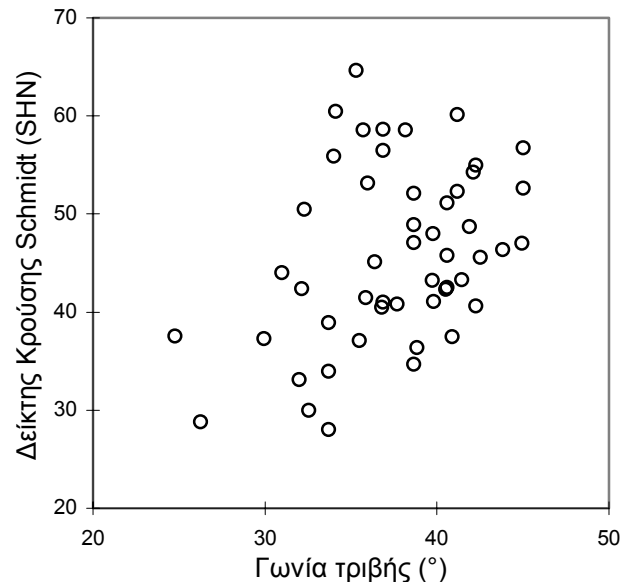
Πίνακας 1. Ιδιότητες βραχώδους υλικού  
Table 1. Properties of rock material

Ιδιότητα	Μέση τιμή	Εύρος
Πυκνότητα (ξηρή) $\rho_d$ ( $\text{g/cm}^3$ )	2,54	2,28-2,70
Πορώδες $n$ (%)	4,3	1.0-12.4
Θλιπτική αντοχή $\sigma_{c50}$ (MPa)	88	21-185
Μέτρο ελαστικότητας $E_{50}$ (GPa)	8,0	0,6-27,0

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έλξης φαίνονται στο Σχήμα 2. Η μέση τιμή των γωνιών έλξης είναι  $37,3^\circ$  με εύρος διακύμανσης από  $25^\circ$  μέχρι  $45^\circ$ , τυπική απόκλιση  $6,9^\circ$  και κατανομή τιμών που δίνεται στο Σχήμα 2. Οι μεγαλύτερες τιμές της γωνίας τριβής αντιστοιχούν σε δείγματα υγιούς πετρώματος, ενώ οι μικρότερες



Σχήμα 2. Κατανομή τιμών μέγιστης γωνίας τριβής από δοκιμές έλξης  
Figure 2. Distribution of friction angles from pull tests.



Σχήμα 3. Μεταβολή του Δείκτη Σκληρότητας Schmidt (SHN) με τη γωνία έλξης πεδίου.  
Figure 3. Variation of Schmidt Hardness Number (SHN) with the field pull angle.

σε δείγματα με εξαλλοιωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες, με επικάλυψη αμμώδους υλικού.

Παράλληλα στις επιφάνειες όλων των δοκιμών έγιναν κρουσιμετρήσεις με κρουσίμετρο Schmidt τύπου L. Στο Σχήμα 3 δίνεται η μεταβολή του Δείκτη Σκληρότητας Schmidt (SHN) συναρτήσει της γωνίας τριβής. Παρότι δεν υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των δυο παραμέτρων, είναι σαφής μια τάση αύξησης του Δείκτη Σκληρότητας Schmidt με τη γωνία τριβής. Μια ιδιαίτερη σειρά δοκιμών ολίσθησης (tilt tests) πραγματοποιήθηκε σε σειρά δοκιμών με επίπεδες επιφάνειες, τεχνητά

διαμορφωμένες με κοπή, διαστάσεων περίπου 10x10 εκ. Η μέση τιμή είναι 24,7° με εύρος διακύμανσης από 18° ως 32° και τυπική απόκλιση 3,3°(13%). Η τιμή αυτή είναι η κατά Barton «βασική γωνία τριβής» (Barton και Choubey, 1977).

### 3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έλξης πεδίου συγκρίνονται με τα αποτελέσματα μιας σειράς εργαστηριακών δοκιμών διάτμησης σε αριθμό αντιπροσωπευτικών δοκιμών από την προς εξέταση περιοχή. Η σύγκριση γίνεται με τη βοήθεια του κριτηρίου διατμητικής αντοχής Papaliangas (1996) το οποίο έχει τη γνωστή απλή μορφή

$$\tau_p = \sigma_n \tan(\varphi_m + \psi) \quad (1)$$

όπου

$\tau_p$  η μέγιστη διατμητική αντοχή

$\sigma_n$  η ορθή τάση

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

$\psi$  η γωνία διαστολής που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική αντοχή. Η τιμή της γωνίας αυτής δίνεται από τη σχέση (Papaliangas κ.α., 1995, Παπαλιάγκας, 1997) :

$$\tan \psi = \tan \psi_0 \log_{10} \frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n} / \log_{10} \frac{\sigma_{nT}}{\sigma_{no}} \quad (2)$$

όπου  $\psi_0$  είναι η μέγιστη γωνία κλίσης των επιφανειακών μικροεσοχών,  $\sigma_{nT}$  η ορθή τάση η οποία εμποδίζει πλήρως την ασυνέχεια να διασταλεί και  $\sigma_{no}$  μια μικρή τιμή της ορθής τάσης η οποία προκαλεί πρακτικά μηδενική παραμόρφωση στην επιφάνεια της ασυνέχειας. Η ορθή αυτή τάση μπορεί να ληφθεί π.χ. ίση με τη γωνία διαστολής που καταγράφεται σε μια δοκιμή διάτμησης μόνο υπό το ίδιο βάρος του δοκιμίου.

Η σειρά εργαστηριακών δοκιμών διάτμησης περιλαμβάνει δοκιμές σε ικανό αριθμό δοκιμών πρώτα σε χαμηλές ορθές τάσεις για να προσδιοριστεί η μέγιστη τιμή της γωνίας διαστολής  $\psi_0$ . Συγκεκριμένα μια σειρά δοκιμών έγινε σε δοκίμια υπό το ίδιο βάρος τους (ισοδύναμη μέση ορθή τάση περίπου 5 kPa, εύρος 2-7 kPa) και μια δεύτερη στα ίδια δοκίμια με μέση ορθή τάση 20 kPa (εύρος 10-30 kPa). Οι τιμές των γωνιών αυτών συγκρίνονται στην επόμενη παράγραφο με τις τιμές των γωνιών

έλξης.

Στη συνέχεια τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε δοκιμές άμεσης διάτμησης σε άλλες 4 ορθές τάσεις το καθένα, στο εύρος τιμών 0,05-3,00 MPa. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ειδική συσκευή διάτμησης του Εργαστηρίου Γεωμηχανικής του ΤΕΙ Θεσσαλονίκης, η οποία έχει την ικανότητα να δέχεται δοκίμια μήκους μέχρι και 1,20 m, και να ασκεί διατμητική δύναμη μέχρι 300 kN και ορθή δύναμη μέχρι 250 kN. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών υπήρχε συνεχής καταγραφή, με τη βοήθεια ηλεκτρικών μηκυσιομέτρων και κυψελών φόρτισης της διατμητικής και ορθής μετατόπισης καθώς και της διατμητικής δύναμης. Για κάθε ζεύγος τιμών διατμητικής τάσης ( $\tau$ ) και ορθής τάσης ( $\sigma$ ), προσδιορίζεται με τη βοήθεια της στιγμιαίας γωνίας διαστολής ( $\psi$ ) η διατμητική και η ορθή τάση ( $\tau_1$  και  $\sigma_1$ ) που αντιστοιχούν σε διάτμηση μιας επίπεδης επιφάνειας με φυσική υφή (όχι διαμορφωμένη τεχνητά με κοπή), δηλαδή διάτμηση χωρίς διαστολή (ή διάτμηση υπό συνθήκες σταθερού όγκου). Η μέθοδος προσδιορισμού αναλύεται από τους Hencher & Richards (1989) και βασίζεται στην εξομοίωση της διατμητικής κίνησης κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου, γωνίας κλίσης ίσης με τη στιγμιαία γωνία διαστολής (Σχήμα 4). Ανάλυση τάσεων κατά τη διεύθυνση του κεκλιμένου επιπέδου και την κάθετό της δίνει

$$\tau_1 = (\tau \cos \psi - \sigma \sin \psi) \cos \psi \quad (3.a)$$

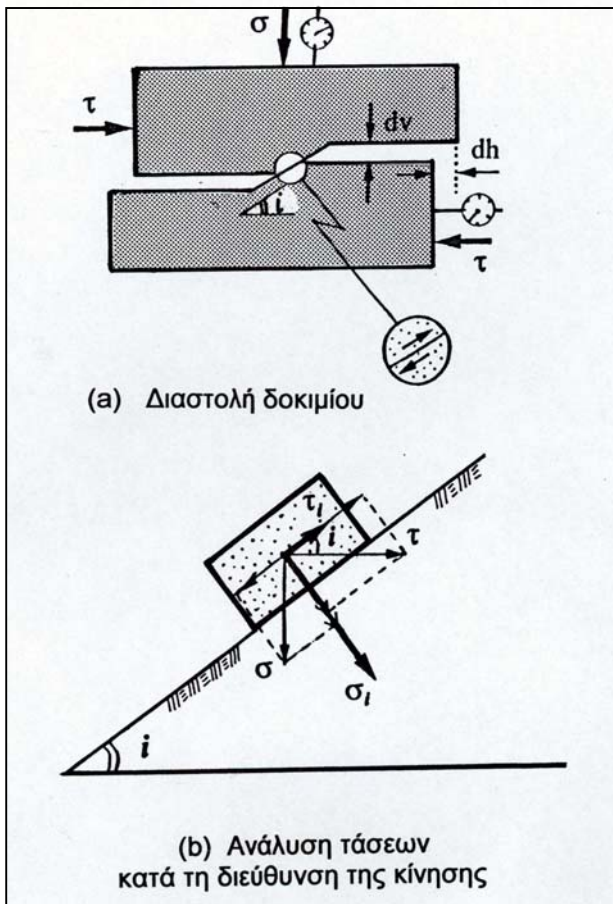
$$\sigma_1 = (\sigma \cos \psi + \tau \sin \psi) \cos \psi \quad (3.β)$$

όπου

$\psi$  είναι η στιγμιαία γωνία διαστολής

$\tau$  και  $\sigma$  οι μετρηθείσες τιμές της διατμητικής αντοχής και της ορθής τάσης αντίστοιχα και  $\tau_1$  και  $\sigma_1$  η διατμητική και η ορθή τάση κατά μήκος του κεκλιμένου επιπέδου, που ορίζεται από τη γωνία  $\psi$ .

Επισημαίνεται ότι είναι σημαντική και ιδιαίτερα χρήσιμη η λεπτομερής καταγραφή της διαστολής του δοκιμίου, όπως εξάλλου προβλέπεται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές (π.χ. ASTM D5607-02). Από το διάγραμμα  $\tau_1 - \sigma_1$  προκύπτει η τιμή της γωνίας τριβής του υλικού των τοιχωμάτων  $\varphi_m$  ως γωνία κλίσης της βέλτιστης ευθείας γραμμής που προσαρμόζεται στα πειραματικά δεδομένα, στην προκειμένη περίπτωση  $\varphi_m = 26,8^\circ$  (Σχήμα 5). Η τιμή αυτή βρίσκεται σε συμφωνία με βιβλιογραφικά στοιχεία που αναφέρονται στον ίδιο τύπο πετρώματος (π.χ. Einstein και Dowding, 1989)



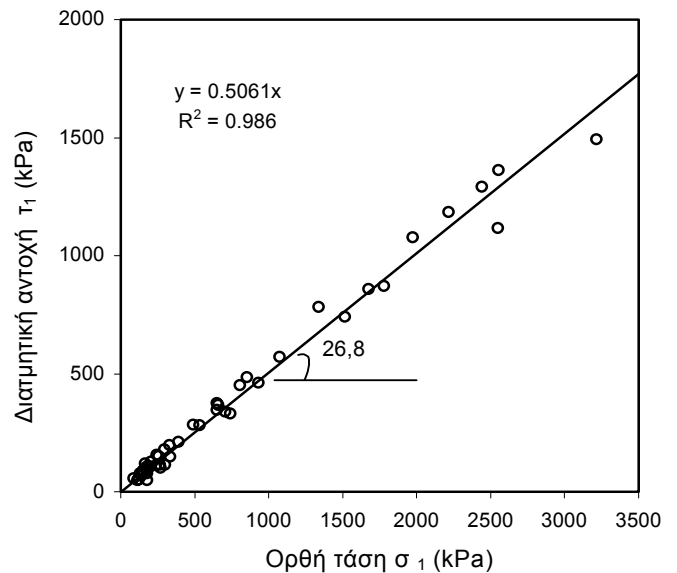
Σχήμα 4. Ανάλυση τάσεων κατά μήκος κεκλιμένου επιπέδου.

Figure 4. Analysis of stresses along an inclined plane

και είναι σαφώς μεγαλύτερη από τη «βασική γωνία τριβής» κατά Barton, η οποία όπως ήδη προεκτέθηκε είναι ίση με  $24,7^\circ$ . Το σχήμα 5 καταδεικνύει ότι αν από τη συνολική διατμητική αντοχή ( $\tau$ ) αφαιρεθεί η συνιστώσα της γωνίας διαστολής  $\psi$  η προκύπτουσα συνιστώσα  $\tau_1$  είναι ανάλογη της ορθής τάσης  $\sigma_1$ , δηλαδή είναι συνιστώσα τριβής ( $\tau_1 = \sigma_1 \tan \phi_m$ ).

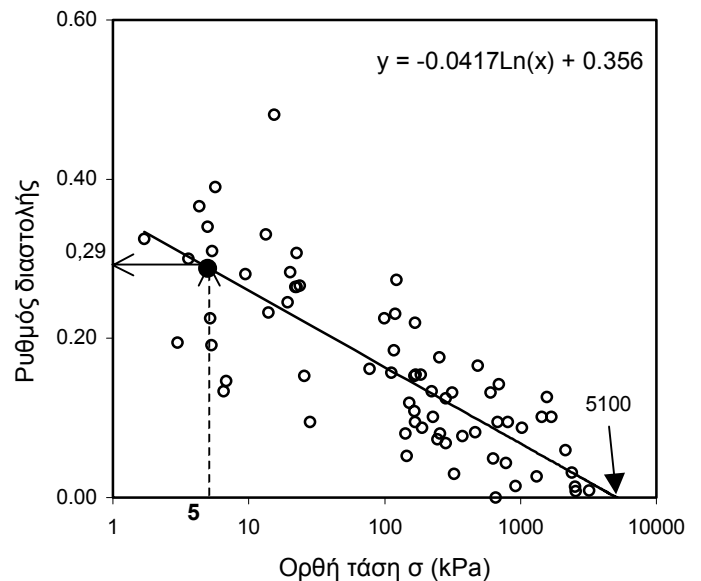
Από το διάγραμμα μεταβολής της επαπτομένης της γωνίας διαστολής που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική αντοχή και της ορθής τάσης σε ημιλογαριθμική κλίμακα ( $\tan \psi - \log \sigma_n$ ), προκύπτει η ορθή τάση  $\sigma_{nT}$  που η διαστολή μηδενίζεται. Στην προκειμένη περίπτωση προκύπτει  $\sigma_{nT} \approx 5 \text{ MPa}$  (Σχήμα 6). Η παρατηρούμενη διασπορά των τιμών αιτιολογείται από το γεγονός ότι τα σημεία αντιστοιχούν σε διαφορετικά δοκίμια με επιφάνειες διαφορετικού βαθμού τραχύτητας και αποσάθρωσης.

Η τιμή της γωνίας διαστολής  $\psi$  εξαρτάται από το βήμα της διατμητικής μετατόπισης ( $dh$ ) που



Σχήμα 5. Σχέση μεταξύ διατμητικής αντοχής και ορθής τάσης ( $\tau_1 - \sigma_1$ ).

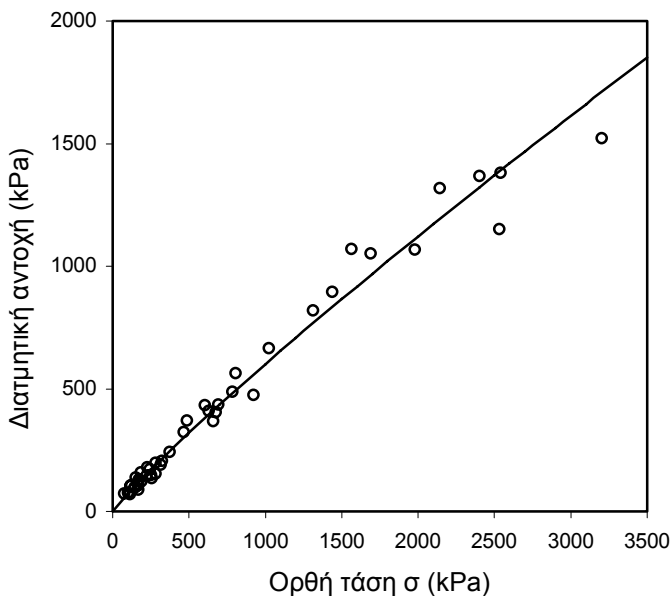
Figure 5. Relation between shear strength and normal stress ( $\tau_1 - \sigma_1$ ).



Σχήμα 6. Μεταβολή της γωνίας διαστολής με την ορθή τάση.

Figure 6. Variation of dilation angle with normal stress.

χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της. Σύμφωνα με τον Patton (1966), βήμα της τάξεως του 0,2% του μήκους της ασυνέχειας αντιστοιχεί σε γωνίες  $\psi$  που εκφράζουν την τραχύτητα δευτέρας τάξεως, ενώ 2% του μήκους στην τραχύτητα 1<sup>ης</sup> τάξεως (κυμάτωση). Ο προσδιορισμός των τιμών της γωνίας  $\psi$  για το σύνολο των εργαστηριακών δοκιμών έγινε με



Σχήμα 7. Μεταβολή μέγιστης διατμητικής αντοχής με ορθή τάση.  
Figure 7. Variation of peak shear strength with normal stress

βάση βήμα διατμητικής μετατόπισης  $0,002xL$ , όπου  $L$  μήκος του δοκιμίου. Αν χρησιμοποιηθούν οι τιμές που προέκυψαν με βάση την παραπάνω ανάλυση,  $\sigma_{nT} = 5\text{MPa}$ ,  $\sigma_{no} = 5\text{ kPa}$  και  $\psi_0 = 16,2^\circ$ , η προκύπτουσα μέγιστη διατμητική αντοχή συναρτήσει της ορθής τάσης δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_p = \sigma_n \tan(26,8^\circ + \psi) \quad (4)$$

όπου η τιμή της γωνίας  $\psi$  προκύπτει από τη σχέση :

$$\tan \psi = \frac{\tan(16,2^\circ)}{3} \log_{10} \frac{5}{\sigma_n} \quad (5)$$

Η γραφική απεικόνιση της σχέσης (4) δίνεται στο Σχήμα 7. Επισημαίνεται ότι για ορθές τάσεις μεγαλύτερες από  $\sigma_{nT} = 5\text{ MPa}$  ισχύει:

$$\tau_p = \sigma_n \tan(26,8^\circ) \quad (6)$$

#### 4. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΛΞΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Σύμφωνα με τα προηγούμενα η μέση τιμή της μέγιστης γωνίας τριβής από τις δοκιμές έλξης προέκυψε ίση με  $37,3^\circ$ . Στην τιμή αυτή περιέχεται τόσο η γωνία τριβής όσο και η γωνία διαστολής. Λαμβάνοντας ως γωνία τριβής αυτή

που προέκυψε από τις δοκιμές διάτμησης με τον τρόπο που αναπτύχθηκε παραπάνω, η τιμή της γωνίας διαστολής προκύπτει  $37,3 - 26,8 = 10,5^\circ$ . Η μέση τιμή της γωνίας διαστολής από εργαστηριακές δοκιμές διάτμησης προέκυψε ίση με  $16,2^\circ$  (βλέπε Σχήμα 6).

Για τη σύγκριση των τιμών που έχουν προκύψει από τις δοκιμές έλξης πεδίου με αυτές που προέκυψαν από εργαστηριακές δοκιμές διάτμησης, απαιτείται η αναγωγή τους στο ίδιο μέγεθος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η σχέση (Papaliangas, 1996):

$$\tan \psi_{\text{field}} = -(\log L) \tan \psi_{\text{lab}} \quad (7)$$

όπου  $L$  το μήκος του δοκιμίου σε  $m$ .

Η σχέση αυτή βασίζεται στην υποστηριζόμενη από πειραματικά δεδομένα παραδοχή ότι η επίδραση της κλίμακας μηδενίζεται για δοκίμια μεγαλύτερα του  $1\text{ μέτρου}$ , αφορά δε τη διαστολή, αφού όπως έχει τονιστεί (Σχήμα 5), η προκύπτουσα συνιστώσα μετά την αφαίρεση της διαστολής είναι συνιστώσα τριβής και επομένως ανεξάρτητη του μεγέθους. Με εφαρμογή της σχέσης (7) προκύπτει:

Για τις δοκιμές έλξης:

Μέσο μήκος  $L = 0,30\text{m}$

$\psi_{(L=30)} = \psi_{\text{pull}} = 37,3 - 26,8 = 10,5^\circ$  και

$\psi_{(L=10\text{cm})} = 19,5^\circ$ .

Η γωνία διαστολής για  $L = 0,14\text{m}$  που είναι το μέσο μήκος των εργαστηριακών δοκιμών, προκύπτει :

$\tan(\psi_{(L=14)}) = -\text{Log}(0,14) \times \tan \psi_{(L=10)} = 0,302$  και

$\psi_{(L=14)} = 16,8^\circ$ .

Η τιμή αυτή διαφέρει από τη μέση υπολογισθείσα τιμή της γωνίας διαστολής ( $16,2^\circ$ ) μόνο κατά  $0,6^\circ$ .

Συνεπώς οι τιμές που προκύπτουν από τις δυο μεθόδους είναι συγκρίσιμες καθώς η διαφορά τους είναι μόνο  $0,6^\circ$  και άρα μπορούν να θεωρηθούν ισοδύναμες. Επομένως η προκύπτουσα γωνία από τη δοκιμή έλξης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αντικατάσταση ή συμπληρωματικά με τη γωνία διαστολής που προκύπτει από τις δοκιμές διάτμησης. Στο Σχήμα 6 η παραπάνω υπολογισθείσα ανηγμένη μέση τιμή από τις δοκιμές έλξης πεδίου ( $16,8^\circ$ ) παριστάνεται με μαυρισμένο κύκλο, και όπως φαίνεται βρίσκεται σε συμφωνία με τα υπόλοιπα εργαστηριακά δεδομένα.

#### 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δοκιμή έλξης παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη διατμητική αντοχή σε πολύ χαμηλές ορθές

τάσεις. Αποτελεί ιδιαίτερα απλή και χρήσιμη δοκιμή, μπορεί δε να χρησιμοποιηθεί εύκολα σε δοκίμια μεγαλύτερων μεγεθών σε σχέση με τα αντίστοιχα εργαστηριακά. Επιπλέον οι λαμβανόμενες τιμές είναι πιο ρεαλιστικές αφού αντιστοιχούν υπόκειται σε επιφάνειες με τις φυσικές τιμές τραχύτητας, υγρασίας και κατάστασης αποσάθρωσης. Τα αποτελέσματα από τη δοκιμή έλξης εκφράζουν ένα ανώτατο όριο της μέγιστης γωνίας τριβής της ασυνέχειας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βασική παράμετρος για την περιγραφή τη διατμητικής αντοχής μιας φυσικής ασυνέχειας, σε οποιαδήποτε ορθή τάση. με βάση το κριτήριο Papaliangas.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anon (1970). The logging of rock cores for engineering purposes. Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology; V. 3; pp. 1-24.

ASTM D5607-02, "Standard test method for performing laboratory direct shear strength tests of rock specimens under constant normal force", ASTM International.

Barton N.R. and Choubey V. (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mech., Vol. 10, pp. 1-54.

Hencher S.R. & Richards L.R. (1989). Laboratory direct shear testing of rock discontinuities. Ground Engng 22, 24-31.

Einstein H.H. και Dowding C.H. (1989). Shear resistance and deformability of rock discontinuities. Κεφ. 7 βιβλίου "Physical Properties of Rocks and Minerals" (Cindas Data Series on Material Properties, Vol II-2), Hemisphere Publ. Corp., New York, Touloukian Y.S., Judd, W.R. και Roy, R.F.(eds), pp.177-219.

Μπουμπούνας Κ. (1998), "Επιτόπιες δοκιμές προσδιορισμού γωνίας τριβής ασυνεχειών γρανιτογενευσίων", Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Papaliangas T. T., Hencher S.R. & Lumsden A.C. (1995). A comprehensive peak shear strength criterion for rock joints. Proc. 8th Int. Congress ISRM, Tokyo, Vol. 1, pp. 359-366.

Papaliangas, T. T. (1996), "Shear behaviour of rock discontinuities and soil-rock interfaces", Ph.D. Thesis, University of Leeds, United Kingdom.

Παπαλιάγκας Θ. (1997). Ένα νέο κριτήριο διατμητικής αντοχής ασυνεχειών βράχων. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα. Τόμος 1, Σελ. 153-159.

