

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας – Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας
54124 Θεσσαλονίκη, e-mail: christar@geo.auth.gr

Συνοπτική περιγραφή των συνηθέστερων εργαστηριακών δοκιμών Βραχομηχανικής – Εδαφομηχανικής

Βασίλης Χρηστάρας
Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας
e-mail: christar@geo.auth.gr

Εργαστηριακές Δοκιμές Βραχομηχανικής

Οι εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής εκτελούνται σύμφωνα με τις ισχύουσες ελληνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε103-84) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.Σ.Τ.Μ. (American Society for testing and Materials), της Ι.Σ.Ρ.Μ. (Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής) και της Β.Σ. (Βρετανικά Πρότυπα).

1. Προσδιορισμός **φυσικής υγρασίας** (water content) σύμφωνα με την προδιαγραφή ΒΡΑΧ. Ε 103-84, παρ. 1 του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D2216-80 και την ISRM, 1981. Είναι η ποσότητα του νερού που περιέχει ένα πέτρωμα στο φυσικό του περιβάλλον. Μετριέται σε %.
2. Προσδιορισμός **πορώδους και πυκνότητας** σύμφωνα με την προδιαγραφή ΒΡΑΧ. Ε 103-84, παρ. 2 του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D4404-84 και την ISRM, 1981. Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους:
$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)},$$
 όπου W το συνολικό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι με το περιεχόμενό τους (αέρας + νερό) και V ο συνολικός όγκος του δείγματος. Πορώδες (porosity) ονομάζεται ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός δείγματος δια του συνολικού του όγκου V : $n = \frac{V_v}{V} \cdot 100$ (%). Οι υπολογισμοί των παραπάνω φυσικών παραμέτρων φαίνονται στο αντίστοιχο έντυπο των αποτελεσμάτων της δοκιμής.
3. **Ξηρό φαινόμενο βάρος** (dry bulk gravity, γ , ASTM C97-47). Υπολογίζεται, ως ο λόγος του βάρους προς τον ολικό όγκο του δοκιμίου, μετά από ξήρανση 24 ωρών στους 110° C.
4. **Φυσική υγρασία Απορροφητικότητα** (absorption, ΕΛΟΤ 447, ASTM C 97-47). Υπολογίζεται ως ποσοστό του ξηρού φαινόμενου βάρους, μετά από 24ωρο εμποτισμό σε νερό, σε συνθήκες κενού. Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 583, η μέγιστη επιτρεπόμενη απορροφητικότητα για υλικά εξωτερικών επενδύσεων είναι 0.5 %. Ο λόγος του όγκου των πόρων που είναι γεμάτοι με νερό προς τον ολικό όγκο των πόρων ονομάζεται βαθμός υδατοκορεσμού (**degree of saturation**).
5. **Αντοχή σε επίδραση θεικών αλάτων (Na₂SO₄) – Δοκιμή υγείας (soundness test, DIN 2111)**. Η δοκιμή αυτή γίνεται με προσβολή θεικών αλάτων επί των δοκιμίων (διάλυμα 670 gr Na₂SO₄·10H₂O gr Na₂SO₄ σε 1 lt νερό).
6. **Αντοχή πετρώματος (strength of rock)**. Αναφέρεται στην **αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη** (UCS, ΒΡΑΧ. Ε103-84, παρ. 4 του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D2938-95 και την ISRM, 1981). Υπολογίζεται σε κυλινδρικά δοκίμια πυρήνων με διάμετρο 2 in και ύψος διπλάσιο της διαμέτρου ή σε κυβικά δοκίμια διαστάσεων 5x5x5 cm (ή τουλάχιστον 4 cm) με καλά μορφοποιημένες παράλληλες έδρες. Η αντοχή υπολογίζεται ως ο λόγος της εφαρμοζόμενης δύναμης θραύσης προς την επιφάνεια εφαρμογής της δύναμης. Επίσης προσδιορίζεται η μονοαξονική θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων, **με παράλληλη μέτρηση του μέτρου ελαστικότητας E και του λόγου Poisson ν**, σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΒΡΑΧ. Ε103-84, παρ. 4 του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D3148-93 και την ISRM, 1981. Στα αντίστοιχα έντυπα αναφέρονται τα στοιχεία και τα αποτελέσματα της δοκιμής και δίνονται τα διαγράμματα των αξονικών και διαμετρικών παραμορφώσεων.
7. **Αντοχή σε σημειακή φόρτιση (point load test)** κυλινδρικών δοκιμίων σύμφωνα με τις προδιαγραφές ΒΡΑΧ. Ε103-84, παρ. 5 του ΥΠΕΧΩΔΕ, ASTM D 5731-95 και ISRM (1972, 1985). Πρόκειται για μια απλή μέθοδο εφελκυσμού, όπου η απαιτούμενη θλιπτική δύναμη εφαρμόζεται σημειακά, σε αντιδιαμετρικά σημεία, επί της κυλινδρικής

επιφάνειας των δοκιμίων. Δεν απαιτεί κατάλληλα διαμορφωμένα δοκίμια και για το λόγο αυτό η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της αντοχής σε θλίψη, δοκιμίων που για διαφόρους λόγους δε μπορούσαν να μορφοποιηθούν κατάλληλα. Με τη μέθοδο αυτή υπολογίζεται ο συντελεστής $I_s = P/d^2$, όπου P είναι το φορτίο και d είναι η διάμετρος το δοκιμίου μετρούμενη ως απόσταση μεταξύ των δύο αντιδιαμετρικών σημείων εφαρμογής της δύναμης και κατόπιν ο δείκτης σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ και η μονοαξονική αντοχή, λαμβάνοντας υπόψη την προβλεπόμενη (κατά ISRM) διόρθωση (f) της διαμέτρου των δοκιμίων, σύμφωνα με τη σχέση $f = (D_e/50)^{0.45}$. Έτσι, $I_{s(50)} = f \cdot I_s$ και $\sigma_c = 22 I_{s(50)}$ (κατά ISRM, 1985). Επίσης εκτιμάται το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας βάσει της σχέσης $E_t = (0.588 I_s + 0.084) \cdot 10^4$, (Irfan & Dearman, 1978). Τα αποτελέσματα της δοκιμής προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης φαίνονται στα αντίστοιχα έντυπα ανάλογα με τον τύπο της δοκιμής.

8. **Αντοχή σε εφελκυσμό [Tensile strength, Brazilian Test - Συνοχή (cohesion, c) και γωνία εσωτερικής τριβής (angle of internal friction, ϕ)].** Υπολογίζονται με τη μέθοδο "Brazilian" (ASTM D3967-86 και ISRM, 1981). Η μέθοδος αναφέρεται στη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου κατά τη γενέτειρα. Επομένως, η εφελκυστική αντοχή του δοκιμίου υπολογίζεται από τη σχέση $\sigma_t = 2P/\pi LD$, όπου P είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη θραύσης, D είναι το πάχος του δοκιμίου και L είναι του μήκος του. Έτσι με την κατασκευή των κύκλων του Mohr υπολογίζονται τα c (Mpa) και ϕ ($^\circ$).
9. **Ταχύτητα υπερήχων (Vp, ASTM 597, ASTM D 2845-83).** Πρόκειται για αξιόπιστη μέθοδο υπολογισμού τόσο των δυναμικών παραμέτρων ελαστικότητας, όσο και του βαθμού αποσάθρωσης των υλικών. Στις δοκιμές υπολογίζεται ο χρόνος διέλευσης ενός υπερηχητικού παλμού συχνότητας 54 kHz μέσω των δοκιμίων, με τοποθέτηση ειδικών ακροδεκτών (transducers) επί των εκατέρωθεν παράλληλων εδρών των δοκιμίων. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατός ο υπολογισμός τόσο των ελαστικών παραμέτρων (Young modulus, Poisson's ratio, shear modulus) όσο και του βάθους αποσάθρωσης επί της επιφάνειας ενός βραχώδους υλικού.
10. **Ανισοτροπία (Anisotropy).** Χαρακτηριστικό των ορυκτών είναι η ανισοτροπία πολλών ανυσματικών ιδιοτήτων. Η ανισοτροπία μπορεί να είναι ασυνεχής, όπως είναι ο σχισμός, ή συνεχής όπως είναι ο δείκτης διαθλάσεως. Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ορυκτών και των πετρωμάτων επηρεάζονται άμεσα από την ανισοτροπία του υλικού και επομένως εμφανίζουν διαφορετικές τιμές στις διάφορες διευθύνσεις. Η αναπαράσταση του τριαξονικού ελλειψοειδούς της ανισοτροπίας ενός υλικού μπορεί να δώσει πληροφορίες για τη μεταβολή της μηχανικής συμπεριφοράς του στις διάφορες διευθύνσεις. Το μέτρο ελαστικότητας των υλικών μπορεί να θεωρηθεί παράμετρος μεταβολής της μηχανικής συμπεριφοράς στα ανισότροπα στερεά υλικά. Η παράμετρος αυτή συνδέεται άμεσα με κοινώς αποδεκτή εμπειρική σχέση με την ταχύτητα των διαμήκων (P) και εγκαρσίων (S) υπερηχητικών κυμάτων, η οποία εύκολα μπορεί να μετρηθεί, κατά μήκος διαφόρων διευθύνσεων. Έτσι, η ταχύτητα υπερήχων μπορεί να αποτελέσει έμμεσο αλλά αξιόπιστο τρόπο υπολογισμού της μηχανικής ανισοτροπίας ενός στερεού υλικού και της αναπαράστασης του σχετικού τριαξονικού ελλειψοειδούς (Christaras, 1994, Christaras et al, 1994).
11. **Παραμορφωσιμότητα (deformability).** Αναφέρεται στη δυνατότητα παραμόρφωσης των στερεών υλικών υπό συγκεκριμένη φόρτιση. Στα ισότροπα μέσα, ορίζεται συνήθως:
 - 11.1. με το μέτρο ελαστικότητας (Young modulus) ως:

$$E = \frac{\sigma}{\Delta l/l}$$

Όπου: - σ : αξονική συμπιεστική τάση και
 - $\Delta l/l$: ανοιγμένη αξονική παραμόρφωση

11.2. και με το συντελεστή Poisson, ως:

$$\nu = \frac{\Delta z/z}{\Delta l/l}$$

Όπου: - $\Delta z/z$: ανοιγμένη πλευρική παραμόρφωση
 - $\Delta l/l$: ανοιγμένη αξονική παραμόρφωση

12. **Δοκιμές με το σφυρί Schmidt (Schmidt Rebound Hammer Test).** Το σφυρί αναπήδησης Schmidt είναι μία φορητή συσκευή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ύπαιθρο για την *επί τόπου* εκτίμηση της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας από τις επιφάνειες των πετρωμάτων (BPAX. E103-84, παρ. 7 του ΥΠΕΧΩΔΕ και την ISRM, 1981). Σχεδιάστηκε για να εκτελεί άμεσες επί τόπου δοκιμές σε μπετόν και σε επιφάνειες πετρώματος χωρίς να τις καταστρέφει. Παρ'όλα αυτά, μπορεί να προκαλέσει ρωγματώσεις των δοκιμίων που έχουν αντοχή μικρότερη των 50 MPa. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο ότι η μετρούμενη αναπήδηση της ασάλινης μάζας του εμβόλου, όταν προσκρούει με ενέργεια 0.075kgf/m, πάνω στην επιφάνεια του πετρώματος είναι ανάλογη της σκληρότητας του υλικού, η οποία σχετίζεται γραμμικά με την αντοχή του (Deere and Miller, 1966). Έχει προταθεί ότι η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη μπορεί να εκτιμηθεί πολλαπλασιάζοντας την τιμή του σφυριού Schmidt (SHV) με το ξηρό φαινόμενο βάρος του δοκιμίου (Geological Society, 1977). Γενικά, ωστόσο, έχει υπολογιστεί (Geological Society, 1977) ότι υπάρχει μόνο 75% πιθανότητα ο εργαστηριακός προσδιορισμός της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής να συμπίπτει με την αντοχή που προέρχεται από τα διαγράμματα συσχέτισης που πρότειναν οι Deere και Miller (1966). Έτσι η δοκιμή με το σφυρί Schmidt θεωρείται μικρότερης ακρίβειας δοκιμή προσδιορισμού της αντοχής του πετρώματος απ' ότι η δοκιμή σημειακής φόρτισης.

Εργαστηριακές Δοκιμές Εδαφομηχανικής

Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής εκτελούνται σύμφωνα με τις ισχύουσες ελληνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε105-86) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της A.S.T.M. (American Society for testing and Materials), της AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) και της B.S. (Βρετανικά Πρότυπα).

Βασικές προϋποθέσεις για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι η εκτέλεσή τους σύμφωνα με τις προδιαγραφές, η καλή λειτουργία των συσκευών και οργάνων, η ποιότητα των εδαφικών δειγμάτων και η εμπειρία του εργαστηριακού προσωπικού.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ (ASTM D-2216/80)

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους (W_w) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους (W_s), δηλαδή:

$m = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$ (%). Η διαδικασία προσδιορισμού της περιεχόμενης υγρασίας δίνεται στο αντίστοιχο εργαστηριακό έντυπο.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (AASHTO T-147, ASTM C-29)

Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους: $\gamma = \frac{W}{V}$ (gr/cm^3), όπου W το συνολικό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι με το περιεχόμενό τους (αέρας + νερό) και V ο συνολικός όγκος του δείγματος. Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί δίνονται στο αντίστοιχο εργαστηριακό έντυπο.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (ASTM D-854/83, AASHTO T-100/75)

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4°C : $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$.

Με δεδομένο ότι το ειδικό βάρος του νερού γ_w , σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ισούται με 1, το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών γ_s ενός εδάφους ισούται αριθμητικά με το λόγο του βάρους της στερεάς ύλης (δηλαδή μόνο το βάρος των κόκκων) προς τον αντίστοιχο όγκο.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΕΛΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΕΝΟΥ

Πορώδες ονομάζεται ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός δείγματος δια του συνολικού του όγκου V : $n = \frac{V_v}{V} \cdot 100$ (%). Με τη συσκευή κενού μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο των στερεών συστατικών V_s . Από τη σχέση $V_v = V - V_s$ υπολογίζουμε τον όγκο των κενών και επομένως και το πορώδες.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ, ΞΗΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ, ΒΑΘΜΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Δείκτης πόρων. Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός πετρώματος ή εδαφικού σχηματισμού προς τον όγκο των στερεών συστατικών V_s : $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n}$. Σε συνθήκες

κορεσμού ισχύει $e = m \cdot \gamma_s / \gamma_w$, ενώ για μερικά κορεσμένο έδαφος είναι $e = m \cdot \gamma_s / S$.

Ξηρό φαινόμενο βάρος (ξηρή πυκνότητα). Είναι το ξηρό βάρος του υλικού προς τον συνολικό όγκο του δείγματος: $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$ (gr/cm^3). Σε συνθήκες κορεσμού: $\gamma_d < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$.

Βαθμός κορεσμού. Η σχέση των κενών χώρων (του πορώδους) που είναι γεμάτοι με νερό προς το συνολικό πορώδες χαρακτηρίζει το βαθμό κορεσμού του εδάφους:

$S_w = \frac{n_w}{n} = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s \cdot m}{\gamma_w \cdot e}$. Στην κατάσταση κορεσμού ($S=1$), η περιεκτικότητα σε νερό έχει τη μεγαλύτερη τιμή της.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG

Όριο υδαρότητας (LL). Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Αυτό προσδιορίζεται με τη συσκευή CASAGRANDE (AASHO T-89/76, ASTM D-4318/83).

Μέθοδος πεντρόμετρου πίπτοντος κώνου.

Είναι εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για λεπτόκοκκα εδάφη. Κατά τη μέθοδο αυτή κωνικό βαρίδιο συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος κρέμεται με την κορυφή του κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα. Το βαρίδιο απελευθερούμενο βυθίζεται εντός του εδάφους. Το βάθος διείσδυσης του κώνου, ανάλογα με το βάρος του, σχετίζεται με την διατμητική αντοχή του εδάφους.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας. Χρησιμοποιείται το κωνικό βαρίδιο με βάρος 60 gr και γωνία 60° και εκτελείται η δοκιμή για διάφορα ποσοστά υγρασίας. Κατασκευάζεται δεκαδικό διάγραμμα «βάθος διείσδυσης (mm)» - «περιεκτικότητα σε νερό (%)» και το όριο υδαρότητας υπολογίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 10 mm βάθους διείσδυσης.

Στο αντίστοιχο έντυπο δίνεται ένα παράδειγμα δοκιμής ορίου υδαρότητας με την παραπάνω μέθοδο.

Όριο πλαστικότητας (PL). Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (AASHO T-90/70, ASTM D-4318/83).

Δείκτης πλαστικότητας PI. Ορίζεται ως η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ($PI = LL - PL$), όπου το υλικό είναι εύπλαστο. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε

νερό τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής στην ημιστερεή κατάσταση.

Δείκτης υδαρότητας (LI). $LI = \frac{m - PL}{PI} \cdot 100 \%$. Η συμπεριφορά ενός εδάφους θεμελίωσης

εξαρτάται από τη φυσική υγρασία σε σχέση με τα όρια Atterberg και εκφράζεται με το δείκτη υδαρότητας. Όταν $LI=100\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο υδαρότητας, ενώ όταν $LI=0\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο πλαστικότητας.

Ενεργότητα. Ο δείκτης PI αποτελεί γραμμική συνάρτηση του % ποσοστού καθαρής αργίλου του εδάφους. Η κλίση της ευθείας καλείται ενεργότητα και ισούται με $PI / \% \text{ αργίλου } (d < 0.002\text{mm})$. Η ενεργότητα αποτελεί κατά κάποιον τρόπο μέτρο της δραστηριότητας του αργιλικού κλάσματος όσον αφορά την ικανότητά του να προσροφήσει νερό. Όταν η ενεργότητα είναι μικρότερη του 0,75 τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη ενεργό, όταν είναι μεταξύ 0,75 και 1,25 ως κανονικό και όταν είναι μεγαλύτερη του 1,25 ως ενεργό.

Δείκτης συνεκτικότητας (Ic). $Ic = \frac{LL - m}{PI}$. Η αντοχή ενός εδάφους θεμελίωσης που αποτελείται από συνεκτικό χαλαρό πέτρωμα εξαρτάται από τον Ic του υλικού. Επομένως χαρακτηρίζει την διατμητική αντοχή ενός εδάφους η οποία αυξάνει καθώς ο Ic αυξάνει μεταξύ 0 και 1.

Πλαστικότητα. Τα λεπτόκοκκα εδάφη διερχόμενα από το κόσκινο No.40 (0.425mm) μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande (ASTM D-2487/83) που χρησιμοποιεί το συνδυασμό όριο υδαρότητας (LL) - δείκτης πλαστικότητας (PI). Τα ιλυώδη εδάφη έχουν περιορισμένο εύρος πλαστικότητας ενώ τα αργιλικά είναι εξ ολοκλήρου αργιλικά (πάνω από την Α-γραμμή).

Δείκτης συμπίεσης (Cc). Είναι η κλίση του ημιλογαριθμικού διαγράμματος “επιβαλλόμενης πίεσης (P) - δείκτη πόρων (e)” (καμπύλη “logp-e”) που κατασκευάζεται με τα αποτελέσματα της δοκιμής στερεοποίησης. Η καθίζηση οφείλεται αποκλειστικά σε αναδιάταξη των κόκκων με το χρόνο και μείωση του δείκτη πόρων του εδάφους, με απομάκρυνση του νερού των πόρων στην περιοχή της φόρτισης. Ο συντελεστής Cc συνδέεται άμεσα με το όριο υδαρότητας του εδαφικού υλικού σύμφωνα με τη σχέση: $Cc=0.009 (LL-10)$.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΟΣΚΙΝΙΣΜΑΤΟΣ

Το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους εξετάζεται για την ονομασία του και την ταξινόμησή του. Τα μεγέθη αυτά των κόκκων κατανέμονται κατά ομάδες, όπου τα μέρη βάρους καθεμιάς προσδιορίζονται με τη μέθοδο των κόσκινων ή με την ανάλυση ιλύος. Το όριο ανάμεσα στη χρησιμοποίηση αυτών των δύο μεθόδων βρίσκεται στους κόκκους που έχουν διάμετρο 0,075 mm (όριο άμμου-ιλύος). Έτσι αν έχουμε κόκκους με $d > 0,075 \text{ mm}$ χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με τα κόσκινα, ενώ αν έχουμε $d < 0,075 \text{ mm}$ χρησιμοποιούμε την ανάλυση ιλύος. Αν ένα δείγμα περιέχει περισσότερο από 25% κόκκους με $d < 0,075 \text{ mm}$ τότε είναι απαραίτητη μια συνδυασμένη ανάλυση, τόσο με κόσκινα όσο και με την ανάλυση ιλύος.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση υπολογίζεται στο εργαστήριο με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφών (Unified Soil Classification System (USCS) - USAE, 1953, AASHO, 1961, IAEG, 1981).

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά με τη χρησιμοποίηση

πρότυπων κόσκιων τετραγωνικών οπών (AASHO T-27/66, ASTM C-136). Η κοκκομετρική διαβάθμιση παριστάνεται με την κοκκομετρική καμπύλη. Από την κοκκομετρική καμπύλη μπορούμε να διακρίνουμε τον κύριο τύπο του εδάφους και τις υπάρχουσες προσμίξεις.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη (AASHO T-88/78, ASTM D-422/72). Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιείται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152H. Η κλίμακά του έχει υποδιαιρέσεις από 0-60 gr/lt και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20°C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65 gr/cm³. Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του εν αιώρηση στερεού υλικού μέσα σ' ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Το στέλεχος έχει υποδιαιρέσεις που οι τιμές τους αυξάνονται από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του στελέχους.

Όταν η συγκέντρωση του εν αιώρηση υλικού είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιόμετρου συναντά την επιφάνεια του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα όταν η συγκέντρωση είναι μικρή τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα και αυτό μας δείχνει μικρές τιμές πυκνότητας.

Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου εξαρτάται από το μέγεθός τους. Οι μεγάλοι κόκκοι θα καθιζήσουν στο πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους.

Παράδειγμα συνδυασμένης κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα και αραιόμετρο δίνεται στο αντίστοιχο έντυπο όπου με την εισαγωγή των συγκρατούμενων βαρών σε κάθε κόσκινο και των αναγνώσεων του αραιόμετρου και της θερμοκρασίας του εδαφικού αιωρήματος προβάλλεται αυτόματα η κοκκομετρική καμπύλη λαμβάνοντας υπόψη όλους τους συντελεστές διόρθωσης της δοκιμής και εκτελώντας όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς και τις απαραίτητες σύνθετες διορθώσεις. Τέλος, τα εδάφη χαρακτηρίζονται και ταξινομούνται με βάση τη γεωτεχνική ταξινόμηση των εδαφικών σχηματισμών USCS (Unified Soil Classification System), σύμφωνα με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά τους (ASTM D-2487/83).

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ

Η μέθοδος αφορά τον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου δείγματος συνεκτικού εδάφους κατά την εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσεως. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή στα μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων.

Με τον όρο αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη εννοούμε τη θραύση μετά από πίεση ενός δείγματος κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), ενώ πλευρικά μπορεί να επεκτείνεται χωρίς κανένα εξωγενή προσδιορισμό.

Δειγματοληψία. Η συλλογή των δοκιμίων γίνεται επί τόπου με ειδικό δειγματολήπτη. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ειδικός εξολκέας δειγμάτων για την εξαγωγή τους από το

δειγματοληπτή. Η εξαγωγή του δείγματος θα πρέπει να γίνεται με την ελάχιστη δυνατή διατάραξη του δείγματος και με διεύθυνση εξολκείσεως την ίδια με αυτή της δειγματοληψίας (AASHTO T-2/60, ASTM D-75/82).

Διαστάσεις δοκιμίου. Το δοκίμιο δεν πρέπει να έχει διάμετρο μικρότερη από 33 mm ενώ η μέγιστη διάμετρος των κόκκων θα πρέπει να είναι μικρότερη από το 1/10 της διαμέτρου του δοκιμίου. Ο λόγος ύψους προς τη διάμετρο του δοκιμίου θα πρέπει να είναι 2 ως 3.

Προπαρασκευή αδιατάρακτων δοκιμίων (AASHTO T-146/49, ASTM D-2217/88).

Πορεία δοκιμής (AASHTO T-208/70, ASTM D-2166/79).

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη δίνεται στο αντίστοιχο έντυπο όπου εκτελούνται αυτοματοποιημένα όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί καθώς και η καμπύλη του διαγράμματος τάσης-παραμόρφωσης.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΟΤΥΠΗ ΜΕΘΟΔΟ PROCTOR

Με τον όρο συμπίκνωση εννοούμε την τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Με την συμπίκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητάς του. Η σημασία της διαδικασίας συμπίκνωσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα συμπυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα για ασφαλέστερες κατασκευές.

Ο βαθμός συμπίκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του εδάφους. Επομένως μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπίκνωση, εκφράζει την μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή εκφράζει το βαθμό συμπίκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπίκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του εδάφους επιτυγχάνεται με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος που ευνοεί τη μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων, καθώς και της διατμητικής αντοχής του εδάφους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορη αναδιάταξη των κόκκων σε πυκνότερη δομή.

Επομένως, αν μεταβάλλουμε την περιεκτικότητα σε νερό του εδαφικού δείγματος, διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπίκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό κτύπων ανά στρώση, διατομή στρώσεων) και κάνουμε το διάγραμμα μεταβολής του ξηρού φαινόμενου βάρους γ_d σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό m (%), τότε παίρνουμε μία καμπύλη που παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή του γ_d για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό m , που χαρακτηρίζεται σαν **βέλτιστη υγρασία** m_{opt} κατά Proctor (optimum).

Αν αυξήσουμε την ενέργεια συμπίκνωσης αυξάνεται και η μέγιστη τιμή του γ_d και μειώνεται η τιμή optimum της περιεκτικότητας σε νερό. Η μορφή της καμπύλης συμπίκνωσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Η τιμή της βέλτιστης υγρασίας αυξάνει λογαριθμικά με την αύξηση των λεπτόκοκκων στο έδαφος, ενώ εμφανίζει γενικά γραμμική σχέση με την αύξηση του ποσοστού της λεπτής άμμου.

Proctor πρότυπη μέθοδος (AASHTO T-99/74, ASTM D-698/78)

Η δοκιμή έχει σαν σκοπό τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ της περιεχόμενης υγρασίας και της ξηρής πυκνότητας του εδάφους με τη χρήση ενός μεταλλικού κόπανου με κυκλική διατομή διαμέτρου 50.8 ± 0.127 mm και βάρους 2.49 ± 0.01 kg που πέφτει ελεύθερα από ύψος 304.8 ± 1.524 mm από τη στάθμη του εδαφικού δοκιμίου

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται σε διάγραμμα ξηρού φαινόμενου βάρους-περιεκτικότητα σε νερό. Στο σχετικό έντυπο με τα αποτελέσματα της δοκιμής εισάγονται μόνο τα εργαστηριακά δεδομένα και αυτόματα παίρνουμε μία καμπύλη που παρουσιάζει μία

μέγιστη τιμή της ξηρής πυκνότητας για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό, που χαρακτηρίζεται σαν βέλτιστη υγρασία m_{opt} κατά Proctor (optimum).

ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά (ASTM D-2435/80). Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων.

Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών εξετάζονται στη συσκευή του οιδημέτρου. Αυτή αποτελείται:

- *Συσκευή φορτίσεως* για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.
- *Συσκευή στερεοποίησης*: Το δοκίμιο (ύψος: 2cm, διάμετρος: 50.8mm) συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο, ο οποίος έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμύζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.
- Οι *πορόλιθοι* είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία. Το πάχος τους θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά τη δοκιμή.
- *Μηκυσιόμετρο* για την μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο στερεοποίησης με ακρίβεια 0.0025mm.

Στο αντίστοιχο εργαστηριακό έντυπο δίνεται ένα παράδειγμα μονοδιάστατης στερεοποίησης που περιλαμβάνει τον αυτοματοποιημένο υπολογισμό όλων των απαραίτητων συντελεστών της δοκιμής (συντελεστής συμπίεστότητας, συντελεστής στερεοποίησης, συντελεστής υδροπερατότητας, συντελεστής μεταβολής όγκου κτλ.) και την κατασκευή των διαγραμμάτων χρόνου-καθίζησης, λόγου κενών-κατακόρυφης τάσης και συντελεστή στερεοποίησης-κατακόρυφης τάσης.

ΤΡΙΑΞΟΝΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συνεκτικών εδαφών, σε αδιατάρακτη κατάσταση, ή ύστερα από αναζύμωση. Η εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου, που εξασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκειται ταυτόχρονα σε μια πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που εξασκούνται σ' αυτό.

Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσεως τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών. Είναι η πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της συμπεριφοράς του εδάφους που υπόκειται σε εντατικές καταστάσεις.

Είδη τριαξονικών δοκιμών

Η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της πίεσης που εξασκείται σ' αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά εξαρτάται και από την εντατική κατάσταση που βρίσκονταν το έδαφος πριν από τη δοκιμή του.

Από τη συμπεριφορά αυτή της διατμητικής αντοχής προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς από τριαξονικές δοκιμές, οι κυριότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU)

Κατά την πιο πάνω δοκιμή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων κατά τη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου εδάφους όπου δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου κατά την τριαξονική φόρτιση. Στην περίπτωση αυτή η περιβάλλουσα προκύπτει θεωρητικά παράλληλη προς τον οριζόντιο άξονα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά έχουν $\varphi = \varphi_u \rightarrow 0$ και $c = c_u$.

Κατά τη δοκιμή αυτή δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Αν ζητηθούν μετρήσεις της πίεσης του νερού των πόρων, η διάρκεια της δοκιμής αυξάνει ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου η ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου.

Η τριαξονική UU δοκιμή πρακτικά συμπίπτει με τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης στην οποία δεν υπάρχει διάταξη επιβολής πλευρικής τάσης σ_3 . Κατά τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης μετράται άμεσα η αντίστοιχη αντοχή του δοκιμίου σ και υπολογίζεται εύκολα η αστράγγιστη αντοχή c_u ίση με $\sigma/2$. Η κατάσταση αυτή για τις περιπτώσεις των κανονικά στερεοποιημένων και ελαφρά υπερστερεοποιημένων συνεκτικών εδαφών, κατά κανόνα είναι η πιο δυσμενής και αντιστοιχεί στη πράξη με περιπτώσεις στις οποίες μεγάλο τμήμα του συνολικού φορτίου προσάγεται σε μικρό χρονικό διάστημα.

Δοκιμή με στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CUPP)

Κατά τη δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτισή του δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων. Κατά τη δοκιμή μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισής του θα πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου.

Η τύπου CUPP δοκιμή φαίνεται να αντιστοιχεί στην πράξη σε αργιλικά εδάφη, στις περιπτώσεις που το κινητό φορτίο είναι σχετικά σημαντικό.

Για την περίπτωση εδαφών που δεν αποστραγγίζονται οι κύκλοι του Mohr που χαράζονται αντιστοιχούν σε ενεργές τάσεις και οι παράμετροι που υπολογίζονται είναι οι c' , φ' .

Δοκιμή με στερεοποίηση και με αποστράγγιση (CD)

Κατά τη δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτιση μετά από την στερεοποίηση λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισης του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τόσο βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων στο δοκίμιο ($u=0$).

Η δοκιμή αυτού του τύπου αντιστοιχεί στα αμμώδη εδάφη κάτω από οποιεσδήποτε πραγματικές συνθήκες (επειδή οδηγεί σε $c=0$ και $\varphi \neq 0$), ενώ για τα συνεκτικά εδάφη αντιστοιχεί γενικά στην περίπτωση που ο χρόνος κατασκευής είναι αργός και το κινητό φορτίο είναι μικρό.

Ο χρόνος στερεοποίησης για τις δοκιμές CUPP και CD διαρκεί είτε μέχρι πλήρους αποστράγγισης του δοκιμίου, για το δεδομένο φορτίο προστερεοποίησης, που ελέγχεται με τη βοήθεια μιας μπιουρέτας, όπου μαζεύεται το νερό αποστράγγισης, είτε μέχρι μηδενισμού της πίεσης του νερού των πόρων του δοκιμίου.

Η τριαξονική δοκιμή εκτελείται στο εργαστήριο από ένα **ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα τριαξονικών δοκιμών εδαφικών δοκιμών** (της GDS) που περιλαμβάνει πλήρες σύστημα πλαισίου φόρτισης τριαξονικής συσκευής, σύστημα 2 ηλεκτρονικών controllers πίεσης όγκου, ηλεκτρονικό pore pressure transducer, ανεξάρτητο ηλεκτρονικό σύστημα προετοιμασίας δειγμάτων, ένα ηλεκτρονικό σύστημα σύνδεσης όλων των συσκευών με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικό software επεξεργασίας. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει

όλους τους αυτοματισμούς μέτρησης, καταγραφής και εκτέλεσης υπολογισμών, μέσω Η/Υ, με στόχο την αυτοματοποιημένη διαδικασία της δοκιμής και της παροχής του τελικού προϊόντος, το οποίο αφορά τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους σε διαφορετικές πλευρικές και κατακόρυφες φορτίσεις.

Η αυτοματοποιημένη εκτέλεση της δοκιμής, μέσω ηλεκτρονικών συστημάτων, του υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών σε διάφορες πιθανές εντατικές καταστάσεις και προσδιορισμού της συμπεριφοράς του κατά την εκτέλεση ενός τεχνικού έργου συμβάλλει στην αύξηση της απόδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών εργαστηριακών δοκιμών Εδαφομηχανικής του Εργαστηρίου. Η χρησιμοποίηση της τριαξονικής συσκευής συμπληρώνει τις ήδη παρεχόμενες υπηρεσίες εδαφομηχανικής και συντελεί στην παροχή εξειδικευμένων και ολοκληρωμένων υπηρεσιών σε τομείς όπως οι τεχνικογεωλογικές μελέτες για την ασφαλή κατασκευή των των επιφανειακών και υπόγειων τεχνικών έργων (κατολισθήσεις, αυτοκινητόδρομοι, φράγματα, σήραγγες, μέτρα προστασίας κλπ), οι μελέτες οικιστικής καταλληλότητας, η εκπόνηση μικροζωνικών και περιβαλλοντικών μελετών, η προστασία των μνημείων, η εκπόνηση μελετών για την εξεύρεση χώρων υγειονομικής ταφής των απορριμμάτων (ΧΥΤΑ), κτλ.