

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΤΕΦ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟ ΠΟΤΑΜΟ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΑΝΤΩΝΑΡΟΠΟΥΛΟΥ ΚΑΛΛΙΟΠΗ
ΚΟΡΩΝΑΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΑ

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ ΓΙΩΡΓΟΣ



ΠΑΤΡΑ ΜΑΙΟΣ 2012

Πίνακας περιεχομένων

Συμβολισμοί.....	5
Περίληψη	6
Κεφάλαιο 1.....	7
1. Εισαγωγή.....	7
1.1 Στοιχεία Φράγματος Φιλιατρινού ποταμού	7
1.2 Ορισμός και σκοπός κατασκευής φραγμάτων.....	9
1.3 Είδη φραγμάτων.....	10
1.3.1 Φράγματα Βαρύτητας.....	11
1.3.2 Φράγματα Βαρύτητας με Διάκενα.....	12
1.3.3 Φράγματα Αντηριδωτά	13
1.3.4 Φράγματα Τοξωτά.....	14
1.3.5 Χωμάτινα φράγματα	16
1.3.6 Λιθόρριπτα Φράγματα.....	20
1.4 Δοκιμές Ποιοτικού Ελέγχου Εδαφομηχανικής.....	22
Κεφάλαιο 2.....	23
2. Συμμετρικό Φράγμα Σκληρού Επιχώματος.....	23
2.1 Φιλοσοφία Σχεδιασμού	23
2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά	25
2.3 Υλικά Κατασκευής	28
2.4 Τρόπος Εφαρμογής	31
2.5 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά Ενοτήτων.....	32
2.5.1 Γεωτεχνική Ενότητα I.....	33
2.5.2 Γεωτεχνική Ενότητα II.....	34
2.5.3 Γεωτεχνική Ενότητα III.....	34
2.5.4 Φρέατα Φ1-Φ5.....	35
Κεφάλαιο 3.....	36
3. Εργαστηριακές Δοκιμές.....	36
3.1 Ειδικό Βάρος.....	36
3.1.1 Γενική περιγραφή δοκιμής.....	36
3.1.2 Συσκευές – Υλικά.....	36
3.1.3 Διαδικασία Δοκιμής	37
3.1.4 Έντυπο Προσδιορισμού Ειδικού Βάρους	41
3.2 Κοκκομετρική Ανάλυση.....	42

3.2.1 Γενική περιγραφή δοκιμής.....	42
3.2.2 Συσκευές - Υλικά.....	44
3.2.3 Διαδικασία δοκιμής.....	46
3.2.4 Έντυπο Κοκκομετρικής Ανάλυσης.....	48
3.3 Όρια Atterberg	49
3.3.1 Γενική περιγραφή ορίων Atterberg	49
3.3.2 Όριο Υδαρότητας.....	51
3.3.2.1 Σκοπός	51
3.3.2.2 Συσκευές – Υλικά.....	51
3.3.2.3 Διαδικασία δοκιμής.....	52
3.3.3 Όριο πλαστικότητας	55
3.3.3.1 Σκοπός	55
3.3.3.2 Συσκευές - Υλικά.....	55
3.3.3.3 Διαδικασία δοκιμής.....	56
3.3.4 Έντυπο Προσδιορισμού ορίων Atterberg	57
3.4 Δοκιμή Συμπύκνωσης Εδαφών με την πρότυπη Μέθοδο Proctor	58
3.4.1 Γενική περιγραφή δοκιμής.....	58
3.4.2 Συσκευές – Υλικά.....	59
3.4.3 Διαδικασία Δοκιμής	60
3.4.4 Έντυπο Δοκιμής Proctor	62
3.5 Δοκιμή Μονοαξονικής θλίψης	63
3.5.1 Γενική περιγραφή.....	63
3.5.2 Συσκευές - Υλικά.....	63
3.5.3 Διαδικασία δοκιμής.....	66
3.5.4 Έντυπο Δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης	68
3.6 Μέθοδος κώνου και άμμου	69
3.6.1 Γενική περιγραφή.....	69
3.6.2 Συσκευές - Υλικά.....	69
3.6.3 Διαδικασία δοκιμής.....	70
3.6.3.1 Προσδιορισμός του όγκου της συσκευής (μέχρι την βαλβίδα).....	70
3.6.3.2 Προσδιορισμός Φ.Β. της άμμου.....	70
3.6.3.3 Προσδιορισμός του βάρους της άμμου, που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη.....	71
3.6.3.4 Προσδιορισμός όγκου (V) και βάρους (W_{10}) του υλικού που θα εξαχθεί από την οπή δοκιμής.....	71

3.6.4 Έντυπο Δοκιμής Μεθόδου κώνου και άμμου	74
Κεφάλαιο 4	75
4 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Δοκιμών	75
4.1 Στοιχεία Μελέτης Φράγματος.....	75
4.1.1 Στοιχεία μελέτης φράγματος για την Κοκκομετρική Ανάλυση	75
4.1.2 Στοιχεία μελέτης Φράγματος για τα Όρια Atterberg	76
4.1.3 Στοιχεία Μελέτης Φράγματος για τη μέθοδο Proctor.....	78
4.1.4 Στοιχεία μελέτης Φράγματος για την Μονοαξονική θλίψη.....	79
4.2 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος	92
4.2.1 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για το Ειδικό Βάρος	92
4.2.2 Στοιχεία κατασκευής φράγματος για την Κοκκομετρική Ανάλυση	93
4.2.3 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τα Όρια Atterberg.....	95
4.2.4 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τη μέθοδο Proctor	96
4.2.5 Στοιχεία κατασκευής Φράγματος για την Μονοαξονική θλίψη	97
4.2.6 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τη μέθοδο Κώνου και Άμμου	102
Συμπεράσματα	104
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β1	107
Τοπογραφικό Διάγραμμα 1:1000.....	107
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β2	108
Γεωτεχνική Τομή κατά μήκος του άξονα	108
Ευχαριστίες	109

Συμβολισμοί

γ_s = Ειδικό βάρος	W_L, LL = Όριο υδαρότητας
W_s = Ξηρό βάρος εδάφους	IP = Δείκτης πλαστικότητας
V_s = Όγκος στερεών	IL = Δείκτης υδαρότητας
γ_w = Ειδικό βάρος νερού	γ_d = Ξηρό φαινόμενο βάρος
W = Βάρος	γ = Υγρό φαινόμενο Βάρος
K = Συντελεστής αναγωγής	A = Επιφάνεια
T = Θερμοκρασία	H = Ύψος
D_{10} = Ενεργός διάμετρος	P = Κατακόρυφο φορτίο
C_u = Συντελεστής ομοιομορφίας	σ = Κατακόρυφη τάση
C_c = Συντελεστής καμπυλότητας	c = Συνοχή
W_s, SL = Όριο συρίκνωσης	R_c = Αντοχή Ανεμπόδιστης Θλίψης
W_p, PL = Όριο πλαστικότητας	F, F_θ = Εμβαδόν επιφάνειας θραύσης
θ = Γωνία	φ = Γωνία τριβής βάσει κύκλου Mohr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται οι Δοκιμές Εδαφομηχανικής για την τεκμηρίωση των Εδαφικών Υλικών Κατασκευής του Φράγματος στον Φιλιατρικό Ποταμό. Αρχικά περιγράφονται – αναλύονται οι τύποι των Φραγμάτων και στην συνέχεια γίνεται ειδική αναφορά στον τύπο του Συμμετρικού Σκληρού Επιχώματος που είναι και ο τύπος του Φράγματος του Φιλιατρινού Ποταμού. Ακολουθούν οι Εργαστηριακές Δοκιμές που εκτελέστηκαν κατά τη διάρκεια της μελέτης και της κατασκευής του Φράγματος. Εδώ περιέχονται, η γενική περιγραφή της δοκιμής, τα υλικά και οι συσκευές που χρειάζονται, η διαδικασία της κάθε δοκιμής καθώς και το απαραίτητο έντυπο. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα των δοκιμών αυτών μαζί με τους σχετικούς πίνακες και όλα τα διαγράμματα.

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

1.1 Στοιχεία Φράγματος Φιλιατρινού ποταμού

Το φράγμα πρόκειται να κατασκευαστεί στον ομώνυμο ποταμό στη περιοχή Τριφυλλίας του Νομού Μεσσηνίας στα όρια του Δήμου Φιλιατρών, σε στένωση του ποταμού Φιλιατρινού που απέχει από την πόλη των Φιλιατρών, σε ευθεία γραμμή, 5 χλμ περίπου προς τα Α. – ΝΑ. Ο τύπος κατασκευής είναι Αξονοσυμμετρικό Φράγμα Κυλινδρούμενου Σκληρού Επιχώματος.

Είναι ένα από τα τελευταίας τεχνολογίας, ως προς την κατασκευή του, φράγμα στην Ελλάδα και θα αποτελέσει πόλο ανάπτυξης στον οικονομικό-γεωργικό-κοινωνικό τομέα. Για την περιοχή χαρακτηρίζεται ως έργο πνοής που θα δώσει δυνατότητες ανάπτυξης στην αγροτική παραγωγή και στον αγροτουρισμό, εμπλουτίζοντας με πολλά εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερό το υπέδαφος. Είναι ένα μεγάλο αρδευτικό έργο που θα παράσχει στην ύπαιθρο ανάπτυξη, θα προστατεύει το περιβάλλον και θα βοηθήσει στην αύξηση της αγροτικής παραγωγής. Αποσκοπεί βέβαια στην επίλυση ενός βασανιστικού προβλήματος της περιοχής και στην θωράκιση της ενάντια στους κινδύνους της λειψυδρίας όπως και της σπατάλης πολύτιμων πόρων.

Η τεχνητή λίμνη Χριστιανούπολης, όπως θα ονομασθεί το φράγμα του Φιλιατρινού ποταμού, θα έχει εμβαδόν σχεδόν 500 στρέμματα γης, δηλαδή ο όγκος της επίχωσης του φράγματος θα είναι 500.000 m². Ο συνολικός όγκος αποθήκευσης ύδατος στη λίμνη ανέρχεται στα 7.81·10⁶ m³ δηλαδή περίπου 8.000.000 κυβικά μέτρα νερό. Οι διαστάσεις του είναι στα 45 μέτρα το μέγιστο ύψος από το φυσικό έδαφος και αν συνυπολογιστούν και τα θεμέλια του, φθάνει στα 55 μέτρα ύψος.

Πρόκειται για τη μοναδική τεχνητή λίμνη που έχει κατασκευασθεί ποτέ στην Ελλάδα κοντά στη θάλασσα, ένα στοιχείο που συμβάλλει ακόμα περισσότερο στην ανάπτυξη της περιοχής. Η ποιότητα κατασκευής του είναι εξαιρετική καθώς το φράγμα έχει συντελεστή ασφαλείας 5.

Το έργο αυτή την στιγμή βρίσκεται εντός του αρχικά προγραμματισμένου χρονοδιαγράμματος. Αυτό σημαίνει πως εντός του 2013 θα ολοκληρωθεί η κατασκευή του ενώ η λειτουργία του θα αρχίσει 2 χρόνια μετά την ολοκλήρωσή του.

Τύπος φράγματος	Σκληρό επίχωμα
Κλίσεις πρανών	1κατ : 0.8 ορ
Μέγιστο ύψος φράγματος από φυσικό έδαφος	45m
Μέγιστο ύψος φράγματος από θεμελίωση	55m
Μήκος στέψης	246m
Υψόμετρο στέψης	+215.20m
Μήκος στέψης υπερχειλιστή	24m
Στάθμη συγκράτησης ύδατος	+212.00m
Ανώτατη πλημμυρική στάθμη	+214.00m
Συνολικός όγκος αποθήκευσης	$7.81 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Ωφέλιμος όγκος ύδατος	$7.62 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Πίνακας 1.1 Χαρακτηριστικά φράγματος



Σχήμα 1.1 Το Φράγμα Φιλιατρινού ποταμού κατά τη διάρκεια κατασκευής (Φεβρουάριος 2012)

1.2 Ορισμός και σκοπός κατασκευής φραγμάτων

Φράγμα είναι τεχνικό έργο που κατασκευάζεται κάθετα στην κοίτη ενός φυσικού υδατορεύματος για να ανακόψει τη συνέχεια της ροής με σκοπό την αποθήκευση του νερού για μελλοντική χρησιμοποίησή του.

Σκοπός της κατασκευής ενός φράγματος μπορεί να είναι:

- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η άρδευση καλλιεργούμενων εδαφών
- Η ύδρευση πόλεων, οικισμών ή βιομηχανικών μονάδων
- Η διαμόρφωση πλωτών διωρύγων
- Η ρύθμιση της παροχής φυσικών ρευμάτων (ποταμών)

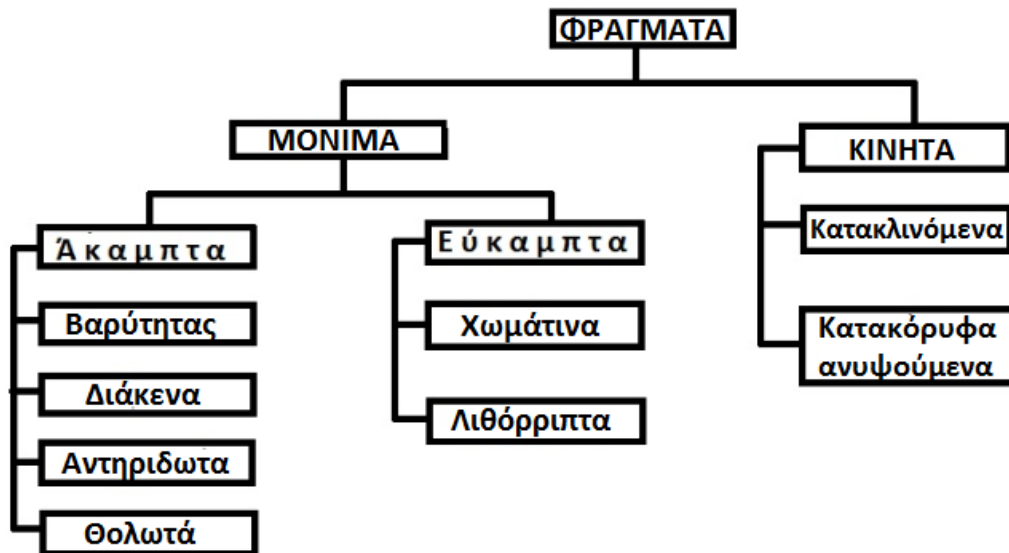
Συχνά τα φράγματα εξυπηρετούν περισσότερους από έναν σκοπούς (φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας).

Τα φράγματα είναι έργα δαπανηρά, παρουσιάζουν όμως μακροπρόθεσμα μεγάλα οικονομικά οφέλη και για το λόγο αυτό επιδιώκεται η κατασκευή τους.

Η κατασκευή ενός φράγματος, ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσει, μελετάται και βρίσκεται τόσο ο καλύτερος τύπος φράγματος όσο και οι απαιτούμενες διαστάσεις του. Τα φράγματα είναι έργα ιδιόμορφα, γιατί δεν είναι δυνατό να τυποποιηθούν και να εφαρμόζονται επανειλημμένα. Κάθε φράγμα έχει τη δική του λειτουργία, τους δικούς του φυσικούς παράγοντες και το δικό του φυσικό περιβάλλον, που παίζει σπουδαίο ρόλο για τη θεμελίωσή του. Η κατασκευή ενός φράγματος κι η δημιουργία τεχνητής λίμνης δημιουργεί διαταραχές στο φυσικό περιβάλλον, μεγαλύτερες και εντονότερες από οποιοδήποτε άλλο έργο γιατί στην περιοχή του συσσωρεύονται τεράστιες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα το υπέδαφος να καταπονείται από τις αναπτυσσόμενες πιέσεις. Η συγκέντρωση εξάλλου μεγάλων ποσοτήτων νερού δημιουργεί προβλήματα διαβρώσεων, διηθήσεων, διαρροών ή και κατολισθήσεων ακόμη στην περιοχή του φράγματος που, αν δεν προβλεφθούν για να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, μπορούν να οδηγήσουν στην μη αποδοτική λειτουργία του ή ακόμη και στην καταστροφή του.

1.3 Είδη φραγμάτων

Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την κατασκευή τους, τη λειτουργία τους και τη σκοπιμότητά τους. Από κατασκευαστική πλευρά κατατάσσονται σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 1.2 κατηγοριοποίηση φραγμάτων

Ανάλογα με τη λειτουργία διακρίνονται σε φράγματα ανύψωσης της στάθμης, φράγματα αποθήκευσης και φράγματα παροχέτευσης. Τέλος, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο χαρακτηρίζονται φράγματα για άρδευση, για ύδρευση, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ.

1.3.1 Φράγματα Βαρύτητας

Τα πρώτα φράγματα βαρύτητας κατασκευάστηκαν στην Ισπανία κατά τον 16^ο αιώνα με ύψος γύρω στα 20m και με τρόπο εντελώς διαφορετικό από το σημερινό. Περί τα μέσα του 18^{ου} αιώνα αρχίζει η συστηματική μελέτη και μπαίνουν οι πρώτες θεωρητικές βάσεις για την επίλυση των προβλημάτων που παρουσίαζε η κατασκευή φραγμάτων βαρύτητας.

Η θεωρία στηρίχθηκε στις ακόλουθες αρχές :

- α) ευστάθεια της διατομής έναντι ανατροπής
- β) ευστάθεια έναντι ολίσθησης κατά μήκος της βάσης ή οποιουδήποτε άλλου οριζόντιου επιπέδου
- γ) προσδιορισμό των αναπτυσσόμενων τάσεων.

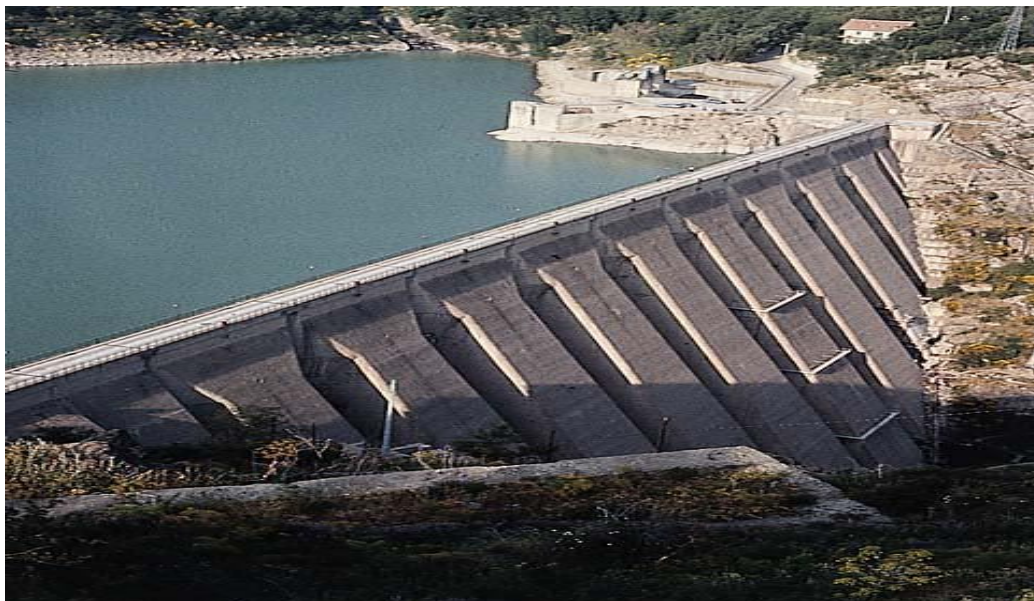
Ένα φράγμα βαρύτητας δεν κινδυνεύει να καταστραφεί από υπερχειλίση ούτε από την πίεση του νερού που τείνει να το ανατρέψει. Ο κίνδυνος προέρχεται από τις υποπίεσεις του νερού που διηθείται κάτω από το φράγμα και αυξάνει τη ροπή ανατροπής και φυσικά, αν το φράγμα κατασκευαστεί σε ασβεστολιθικά πετρώματα, λόγω της χημικής διάβρωσής τους και της δημιουργίας καρστ. Το βασικότερο σημείο ελέγχου είναι η ευστάθεια σε ανατροπή. Ο κίνδυνος ολίσθησης είναι πολύ μικρός και σπάνιες είναι οι περιπτώσεις καταστροφής φράγματος λόγω ολίσθησης. Από τα στατιστικά στοιχεία της καταστροφής φραγμάτων βαρύτητας βρίσκουμε ότι μόνον όσα είχαν κλίση της κατάντη πλευράς τους από 66:100 καταστράφηκαν. Τα φράγματα που κατασκευάζονται σήμερα έχουν κλίση της κατάντη πλευράς τουλάχιστον 0,80 (80 ορ:100 κατ) και σε περιπτώσεις υψηλών φραγμάτων ($h > 100m$) η κλίση γίνεται μεγαλύτερη.



Σχήμα 1.3 Φράγμα Βαρύτητας Dworshak στις ΗΠΑ

1.3.2 Φράγματα Βαρύτητας με Διάκενα

Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται έτσι που να αντέχουν στις πιέσεις του νερού με μόνο στοιχείο το μεγάλο βάρος τους. Ο όγκος ενός φράγματος βαρύτητας είναι πολύ μεγάλος και γι' αυτό καταβλήθηκαν προσπάθειες για τη μείωση του χωρίς φυσικά να μειωθεί η ευστάθεια του έργου. Η μείωση αυτή έγινε κατορθωτή με την αφαίρεση όγκου σκυροδέματος από το κατάντη τμήμα του φράγματος. Η αφαίρεση, εκτός από τη μείωση του όγκου του σκυροδέματος, μειώνει ταυτόχρονα την επιφάνεια έδρασης στην οποία ασκούνται οι υποπιέσεις του νερού. Έτσι φτάσαμε στα φράγματα με διάκενα. Τα φράγματα με διάκενα χρειάζονται λιγότερο υλικό αλλά δυσκολότερο ξυλότυπο. Ο χρόνος κατασκευής είναι μικρότερος εξαιτίας του μικρότερου όγκου σκυροδέματος και διάχυσης της θερμότητας ενυδάτωσης από τη μεγαλύτερη επιφάνεια που παρουσιάζουν. Συνήθως προτιμούνται, όταν πρόκειται για υψηλά φράγματα με λόγο L/H (μήκος στέψης : ύψος) μεγαλύτερο από 5 οπότε δεν είναι σκόπιμη η κατασκευή θολωτού φράγματος. Η συνεχής μείωση του όγκου και η αντίστοιχη αύξηση των κενών οδηγεί προοδευτικά από τα φράγματα βαρύτητας με διάκενα στα αντηριδωτά φράγματα.



Σχήμα 1.4 Φράγμα βαρύτητας με διάκενα Ancira στην Ιταλία

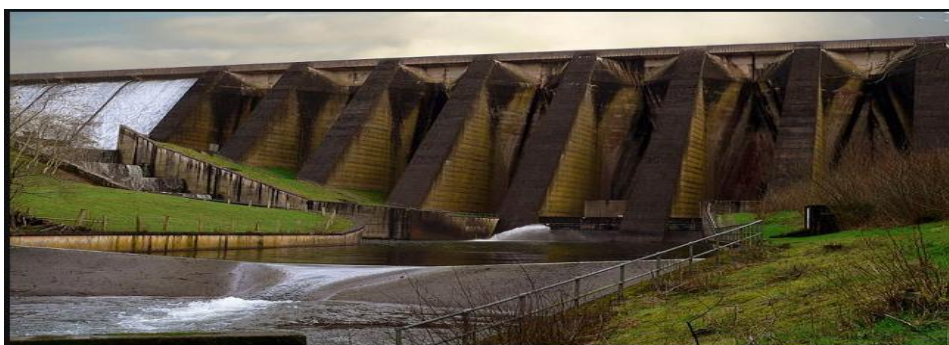
1.3.3 Φράγματα Αντηριδωτά

Τα διάκενα φράγματα βαρύτητας παρουσιάζουν οικονομία όγκου σχετικά με τα φράγματα βαρύτητας. Η οικονομία αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο τα διάκενα είναι μεγαλύτερα. Η προοδευτική αύξηση των κενών δίνει μετά από ένα όριο τα αντηριδωτά φράγματα. Τα αντηριδωτά φράγματα αποτελούνται από δύο μέρη:

α) Ένα λεπτό τοίχωμα (κάλυπτρα), επίπεδο ή καμπύλο με μικρό σχετικά βάρος, κάθετα στον άξονα του ρεύματος και κεκλιμένο ως προς την κατακόρυφο, που περιλαμβάνει την υδροστατική πίεση και τη μεταβιβάζει στις αντηρίδες.

β) Τις αντηρίδες, με διεύθυνση παράλληλα προς τον άξονα του ρεύματος, που περιλαμβάνουν τις δυνάμεις από το τοίχωμα και τις μεταφέρουν στο έδαφος. Με αυτό τον τρόπο ο όγκος του φράγματος μπορεί να φτάσει από 1/6 του αντίστοιχου φράγματος βαρύτητας.

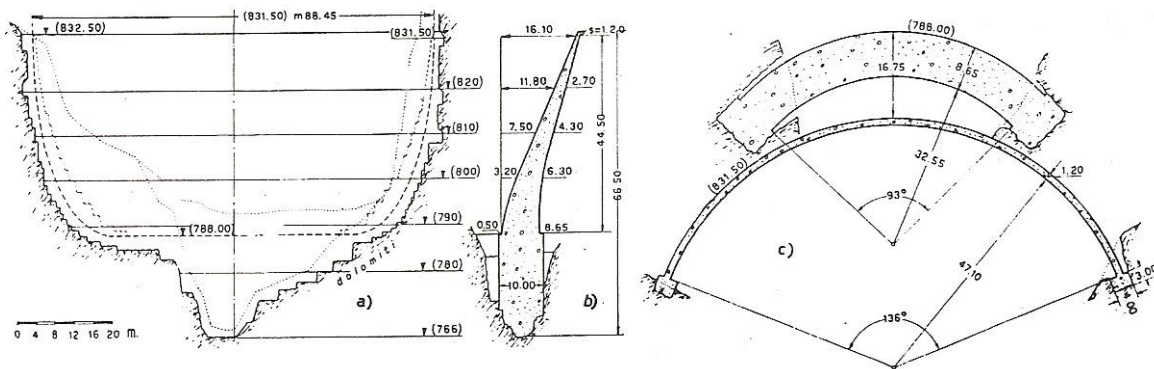
Το βάρος ενός αντηριδωτού φράγματος είναι μικρό και τις πιο πολλές φορές αμελητέο σχετικά με τα φορτία που παραλαμβάνει και μεταφέρει. Όταν το τοιχίο είναι επίπεδο, πρέπει να προβλέπονται αρμοί διαστολής, ενώ όταν έχει τη μορφή θόλων, δεν κρίνεται αναγκαία η ύπαρξή τους. Το τοιχίο έχει πάχος αυξανόμενο με το βάθος και συνεχίζεται συνήθως και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, μέχρι τον υγιή βράχο με μορφή τοίχου διακοπής, πέραν του οποίου γίνονται τσιμεντενέσεις για τη δημιουργία κουρτίνας και μείωση της διήθησης κάτω από το φράγμα. Σ' ένα αντηριδωτό φράγμα δεν κατασκευάζεται δίκτυο στραγγιστήρων, όπως αυτό εφαρμόζεται στα φράγματα βαρύτητας. Η διήθηση που πιθανόν να συμβαίνει δεν δημιουργεί κινδύνους υποπίεσεων, αφού αναβλύζει ελεύθερα στην επιφάνεια του εδάφους και δεν μπορεί να προκαλέσει δυνάμεις άνωσης κάτω από το φράγμα.



Σχήμα 1.5 Αντηριδωτό φράγμα Wimbleball στη Σουηδία.

1.3.4 Φράγματα Τοξωτά

Τα τοξωτά φράγματα έχουν σε κάτοψη τοξοειδή μορφή και εργάζονται σαν αμφίπακτα τόξα. Η πίεση του νερού εφαρμόζεται στην κυρτή επιφάνεια του φράγματος και μεταβιβάζεται στα πλευρά της κοιλάδας με μορφή κυρίως οριζόντιων δυνάμεων. Λόγω του μικρού του πάχους ένα τοξωτό φράγμα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα από το γεγονός ότι η ανάντη επιφάνεια του είναι στο μεγαλύτερο μέρος της βυθισμένη στο νερό, ενώ η κατάντη είναι εκτεθειμένη στην ατμόσφαιρα. Το γεγονός αυτό προκαλεί μία διαφοροποίηση στην συστοδιαστολή των δύο επιφανειών που αναπτύσσει σοβαρές τάσεις στη μάζα του σκυροδέματος.



Σχήμα 1.6 Το φράγμα Comelico σε οριζοντιογραφική διάταξη, όψη και κύρια τομή.

Από πλευράς υπολογισμού ένα τοξωτό φράγμα είναι μία πλάκα απλής ή σε πολλές περιπτώσεις διπλής καμπυλότητας, μικρού πάχους, πακτωμένης στις στηρίξεις της. Το πρόβλημα λοιπόν στην γενική του μορφή είναι σχεδόν άλυτο. Χρησιμοποιούνται όμως απλούστερες μέθοδοι και ιδιαίτερα με τη βοήθεια των κομπιούτερς είναι δυνατός ο υπολογισμός. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών πολλές φορές ελέγχεται πάνω σε ομοιώματα. Το ομοίωμα απαλλάσσει από τις απλούστερες, πλην όμως οι πραγματικές συνθήκες πάκτωσης στα άκρα είναι πολύ δύσκολο να μεταφερθούν στο ομοίωμα. Αν και η μελέτη ενός τοξωτού φράγματος παρουσιάζει δυσκολίες στους υπολογισμούς, εν τούτοις έχει πολλά θεωρητικά και πρακτικά πλεονεκτήματα όπως η μη επιρροή των υποπίεσεων στην κατασκευή, το ότι δεν κινδυνεύει από ανατροπή ή ολίσθηση, το ότι μπορεί να υπερχειλιστεί από το νερό της βροχής χωρίς σοβαρά αποτελέσματα και το γεγονός ότι οι πιέσεις του νερού αυξάνουν το αδιαπέρατο της μάζας.

Το άνοιγμα του τόξου (χορδή L) προκύπτει από την παραδοχή ότι το ελάχιστο κόστος κατασκευής αντιστοιχεί στον ελάχιστο όγκο του φράγματος και αυτό προκύπτει για επίκεντρη γωνία $\varphi=133^\circ$. Η διεύθυνση του άξονα του φράγματος στις πακτώσεις πρέπει να τέμνει τις υψομετρικές καμπύλες κατά γωνία τουλάχιστον 30° .



Σχήμα 1.7 Τοξωτό φράγμα Hoover στη Νεβάδα



Σχήμα 1.8 Τοξωτό φράγμα Hoover στη Νεβάδα

1.3.5 Χωμάτινα φράγματα

Τα χωμάτινα φράγματα κατασκευάζονται με γαιώδη υλικά που διατηρούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Αντλούν την αντοχή τους από την τοποθέτηση, τον συντελεστή εσωτερικής τριβής και την συνάφειά τους. Παρ' όλη όμως τη συμπύκνωσή τους αφήνουν κενά ανάμεσα στους κόκκους. Σε αντίθεση με τα υλικά του σκυροδέματος που συσσωματώνονται σε μια ενιαία σκληρή και απαραμόρφωτη μάζα, τα γαιώδη υλικά συνιστούν μια εύπλαστη και εύκαμπτη μάζα που μπορεί να παρακολουθήσει ελαφρές υποχωρήσεις του εδάφους, στο οποίο θεμελιώνεται, χωρίς κίνδυνο καταστροφής. Ένα χωμάτινο φράγμα κατασκευάζεται κατά επάλληλες στρώσεις που συμπυκνώνονται με μηχανικά μέσα. Το υλικό εσκάπτεται από δανειοθαλάμους που έχουν ερευνηθεί ως προς την ποιότητα του υλικού, μεταφέρεται με φορτηγά αυτοκίνητα στη θέση του φράγματος, διαστρώνεται με αποξέστες, ισοπεδωτές, ή προωθητές σε στρώσεις μικρού πάχους (0,50 – 0,30m), καταβρέχεται για να αποκτήσει την κατάλληλη υγρασία και συμπυκνώνεται με οδοστρωτήρες ή αυτοκινούμενους δονητές.

Τύποι χωμάτινων φραγμάτων

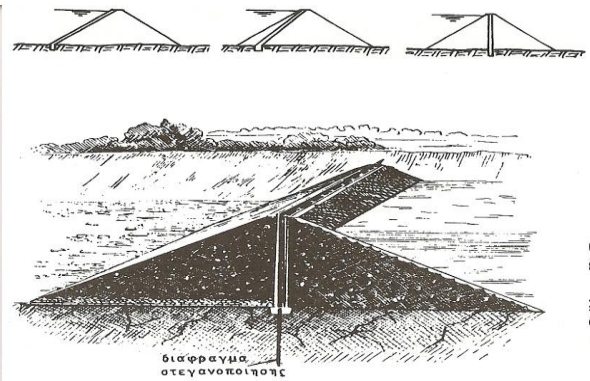
Υπάρχουν τρία είδη χωμάτινων φραγμάτων

- α) Με διάφραγμα
- β) Ομογενή
- γ) Ετερογενή ή κατά ζώνες

α) Χωμάτινα φράγματα με διάφραγμα

Τα φράγματα αυτού του τύπου κατασκευάζονται με διαπερατά υλικά (άμμο, χαλίκια, πέτρες, βράχους) και μια λεπτή μεμβράνη από αδιαπέρατο υλικό, που εμποδίζει το νερό να περάσει μέσα από το φράγμα. Η μεμβράνη μπορεί να τοποθετηθεί από το ανάντη πρηνές μέχρι τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα της διατομής και από πλευράς υλικού, μπορεί να είναι από άργιλο, σκυρόδεμα ή ασφαλτοσκυρόδεμα.

Όταν το πάχος της μεμβράνης είναι μεγαλύτερο από 3m και το υλικό άργιλος, τότε η μεμβράνη λέγεται πυρήνας και το φράγμα ετερογενές ή κατά ζώνες. Όταν το υλικό στήριξης του πυρήνα (κελύφη) είναι πέτρες και βράχοι, τότε το φράγμα χαρακτηρίζεται σαν λιθόρριπτο.

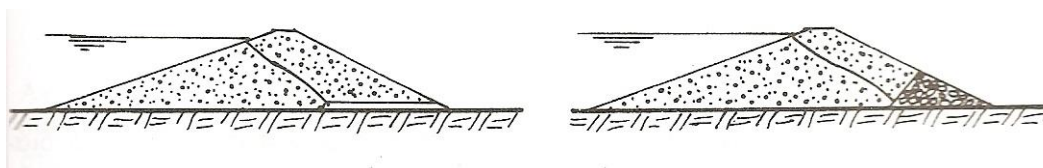


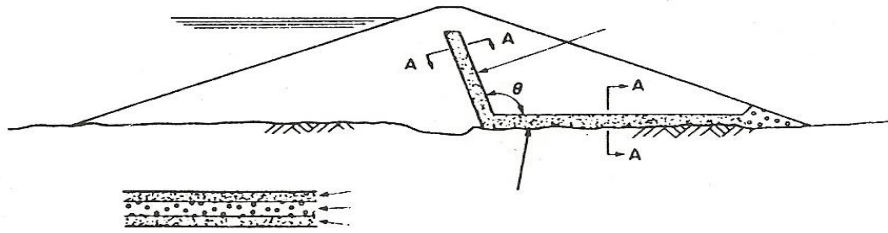
Σχήμα 1.9 Χωμάτινο φράγμα

Η εφαρμογή χωμάτινων φραγμάτων με διάφραγμα είναι περιορισμένη, γιατί παρουσιάζουν κατασκευαστικές δυσκολίες. Η κατασκευή λεπτής μεμβράνης από σκυρόδεμα ή άργιλο στον άξονα είναι πολύ ευαίσθητη στις μικρές μετατοπίσεις, ενώ η μεμβράνη από άργιλο στο ανάντη πρανές απαιτεί στρώματα φίλτρων και προστασία για την αποφυγή διάβρωσης από κυματισμό. Πολλές φορές φράγματα της μορφής αυτής κατασκευάζονται από ανάγκη, όταν το αργιλικό υλικό δεν επαρκεί για την κατασκευή κανονικού αργιλικού πυρήνα.

β) Ομογενή χωμάτινα φράγματα

Ένα ομογενές χωμάτινο φράγμα κατασκευάζεται σε όλο του το πλάτος και ύψος από ένα είδος υλικού (εκτός από την προστασία των πρανών), που πρέπει να έχει ελάχιστη έως μηδαμινή διαπερατότητα ($\kappa=10^{-7}$ m/s), ώστε να επιτυγχάνεται το αδιαπέρατο της μάζας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση υλικού που η καμπύλη της κοκκομετρικής του διαβάθμισης είναι πλατιά και με μικρή κλίση των πρανών (για να επιτευχθεί σταθερότητα τόσο του ανάντη πρανούς σε περίπτωση γρήγορης πτώσης της στάθμης του ταμιευτήρα όσο και της κατόντη, σε περίπτωση διήθησης όταν η στάθμη του ταμιευτήρα είναι υψηλή.) Η μείωση του όγκου ενός ομογενούς φράγματος μπορεί να γίνει με την τοποθέτηση μικρών ποσοτήτων διαπερατών υλικών (στραγγιστήρων) που επιτρέπουν την εφαρμογή μεγαλύτερων κλίσεων.





Σχήμα 1.10

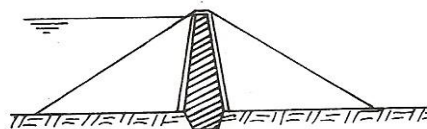
Η κατασκευή των ομογενών χωμάτινων φραγμάτων δεν γίνεται κατά ενιαίες οριζόντιες στρώσεις, αν και αυτό διευκολύνει την κατασκευή, αλλά κατά ανισοϋψείς ζώνες για την αποφυγή δημιουργίας διαπερατών στρώσεων.



Σχήμα 1.11

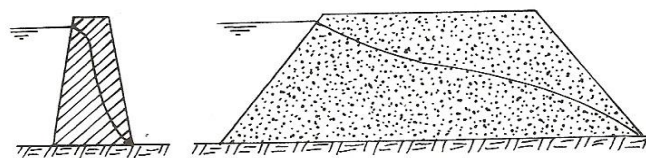
γ) Ετερογενή φράγματα

Ο πιο συνηθισμένος τύπος χωμάτινου φράγματος είναι αυτός που σε μία διατομή του έχει μια ζώνη από αδιαπέρατο υλικό (πυρήνας), της οποίας οι ανάντη και κατόντη επιφάνειες προστατεύονται με ζώνες από ημιπερατά υλικά, ενώ διαπερατά υλικά αποτελούν το σώμα του φράγματος (κελύφη).



Σχήμα 1.12

Τα τμήματα αυτά λέγονται κελύφη ή στηρίγματα, γιατί συγκρατούν το ουσιαστικά αδιαπέρατο τμήμα του φράγματος και το προστατεύουν ανάμεσά τους. Αν κατασκευαζόταν μόνο το αδιαπέρατο τμήμα (πυρήνας), σε μικρό πλάτος, το νερό δεν θα μπορούσε να περάσει. Λόγω όμως της πολύ μικρής γωνίας τριβής το πλάτος θα 'πρεπε να είναι τεράστιο για την ευστάθειά του.



Σχήμα 1.13

Αντίθετα, αν κατασκευαζόταν μόνο το διαπερατό τμήμα, για να μειωθεί η διήθηση, θα έπρεπε το μήκος του να είναι τεράστιο και πρακτικά ανεφάρμοστο. Έτσι γίνεται συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των διαφόρων υλικών για την κατασκευή κατά τον τεχνικά καλύτερο και οικονομικά πιο συμφέροντα τρόπο. Ένα φράγμα θα θεωρείται ετερογενές, αν το πλάτος b του πυρήνα σε κάποιο ύψος είναι μεγαλύτερο από το ύψος του φράγματος h , από το ύψος αυτό μέχρι τη στέψη και πάντως όχι μικρότερο από 3m. Το πλάτος του πυρήνα υπολογίζεται με βάση την εκμηδένιση της διήθησης. Η καθαρή άργιλος χωρίς προσμίξεις (πηλό- άμμο) είναι αδιαπέρατο υλικό. Παρουσιάζει όμως το μειονέκτημα της μεγάλης δυσκολίας συμπύκνωσης. Γι' αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις η άργιλος που χρησιμοποιείται είναι μίγμα αργίλου (20%), πηλού (30%) και άμμου (50%). Όσο περισσότερη άμμο περιέχει ο πυρήνας τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητά του και φυσικά το πλάτος του. Αντίθετα, όσο πιο καθαρό σε άργιλο το υλικό, τόσο πιο στενός ο πυρήνας αλλά και πιο δύσκολη η συμπύκνωση. Για την αποφυγή εσωτερικής διάβρωσης του πυρήνα τόσο η ανάντη όσο και κυρίως η κατάντη επιφάνειά του προστατεύεται με την δημιουργία ζώνης φίλτρου. Το πάχος της ζώνης των φίλτρων εξαρτάται από την ύπαρξη διαθέσιμου υλικού και από το κόστος διάστρωσης και συμπύκνωσης. Γι' αυτό το λόγο το πάχος είναι πάντοτε μεγαλύτερο από 3m ώστε να συμπυκνώνεται με μηχανικά μέσα. Το ύψος του κατάντη φίλτρου μπορεί να γίνει σε ύψος μικρότερο από το ύψος του πυρήνα, γιατί το ύψος της γραμμής κορεσμού κατά την έξοδό της από τον πυρήνα βρίσκεται στο 1/3 του ύψους του φράγματος. Όταν υπάρχει άφθονο διαθέσιμο υλικό κατασκευής, τότε προτιμάται το χωμάτινο φράγμα κατά ζώνες, γιατί παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα.



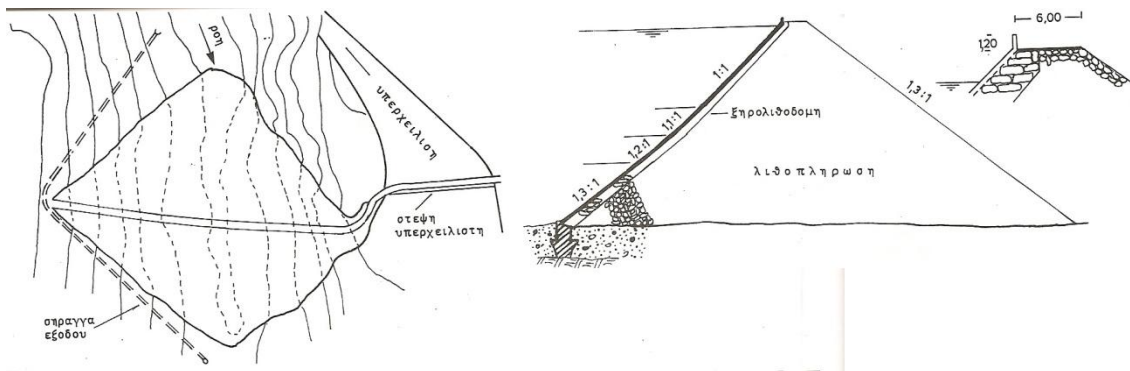
Σχήμα 1.14 Χωμάτινο φράγμα Καστρακίου στον ποταμό Αχελώο



Σχήμα 1.15 Χωμάτινο φράγμα Κρεμαστών στον ποταμό Αχελώο

1.3.6 Λιθόρριπτα Φράγματα

Σαν λιθόρριπτο χαρακτηρίζεται ένα φράγμα του οποίου τα σώματα στήριξης αποτελούνται από κομμάτια βράχων ή κροκάλες. Η εφαρμογή των φραγμάτων αυτών άρχισε γύρω στα 1950, γιατί το κόστος της εξόρυξης, μεταφοράς και τοποθέτησης μεγάλων ποσοτήτων βραχωδών προϊόντων έκανε κάθε προσπάθεια εφαρμογής οικονομικά ανεφάρμοστη.



Σχήμα 1.16 Η κλίση της μεμβράνης από σκυρόδεμα μπορεί να μην είναι ενιαία και να φτάσει το 1:1

Η κατασκευή παρουσίασε αλματώδη αύξηση στις αρχές της δεκαετίας του 1960, γιατί τα χωματουργικά μηχανήματα παρουσίασαν μια σημαντική εξέλιξη, που μείωσε σημαντικά το κόστος κατασκευής, ενώ παράλληλα η τεχνολογία στον τομέα αυτόν αναπτύχθηκε και τα αποτελέσματα από τις πρώτες εφαρμογές ήταν πολύ ενθαρρυντικά.

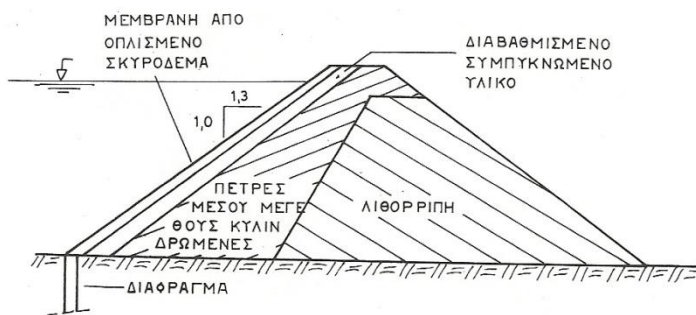
Τα λιθόρριπτα φράγματα παρουσιάζονται πιο οικονομικά όταν:

- α) Υπάρχουν διαθέσιμες μεγάλες ποσότητες βραχώδους υλικού, είτε αυτούσιες είτε σαν προϊόντα εκσκαφών τμημάτων του έργου, όπως σήραγγες και υπερχείλιστες.
- β) Γαιώδες υλικό δεν είναι διαθέσιμο στην περιοχή και απαιτείται μεταφορά του από μακρινή απόσταση.
- γ) Το κλίμα είναι εξαιρετικά υγρό και η τοποθέτηση και η συμπύκνωση του γαιώδους υλικού περιορίζεται σε λίγες μόνο μέρες το χρόνο.
- δ) Υπάρχει περίπτωση μελλοντικής υπερύψωσης του φράγματος.

Τα λιθόρριπτα φράγματα μπορεί να χωριστούν σε 3 βασικούς τύπους, ανάλογα με τη θέση του αδιαπέρατου τμήματος σε:

- α) Φράγματα με αδιαπέρατη μεμβράνη ανάντη.
- β) Φράγματα με κεκλιμένο πυρήνα
- γ) Φράγματα με κεντρικό πυρήνα ή αδιαπέρατο τοιχίο

Η κάθε θέση του αδιαπέρατου τμήματος παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, που ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο, το υλικό κατασκευής και τις συνθήκες θεμελίωσης. Ο κεντρικός ή κεκλιμένος πυρήνας θα αναφέρεται σαν εσωτερική μεμβράνη αν και κατασκευάζεται συνήθως από γαιώδες υλικό (αργιλικό).

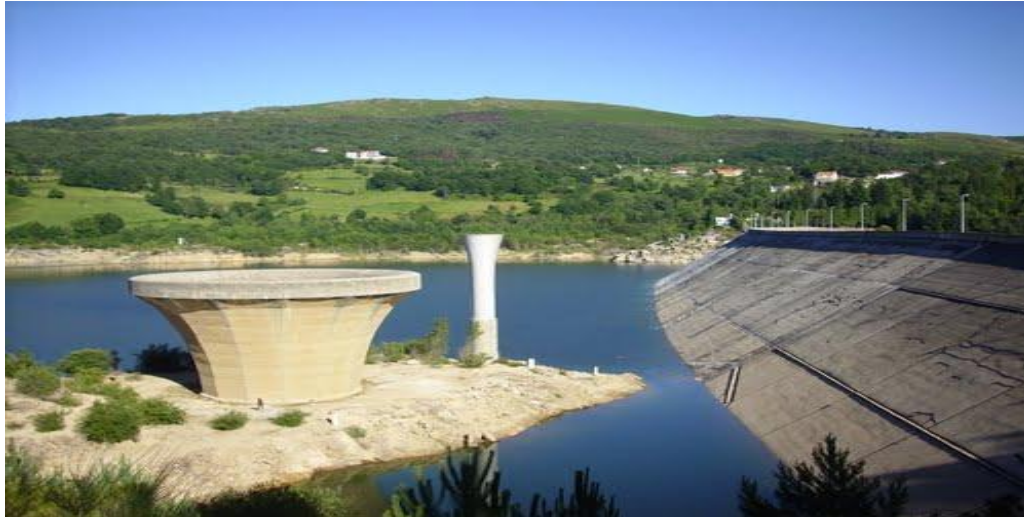


Η ανάντη μεμβράνη κατασκευάζεται συνήθως από σκυρόδεμα ή ασφαλτοσκυρόδεμα, ενώ όταν κατασκευάζεται πυρήνας προτιμάται να είναι κεντρικός.

Σχήμα 1.17 Τοπική διατομή φράγματος με μεμβράνη ανάντη.



Σχήμα 1.18 Λιθόρριπτο φράγμα Paradela στη Πορτογαλία



Σχήμα 1.19 Λιθόρριπτο φράγμα Paradela στη Πορτογαλία



Σχήμα 1.20 Το Φράγμα Φιλιατρινού ποταμού κατά τη διάρκεια κατασκευής (Φεβρουάριος 2012)

1.4 Δοκιμές Ποιοτικού Ελέγχου Εδαφομηχανικής

Στην Γεωτεχνική και Εδαφομηχανική μελέτη για την κατασκευή του φράγματος, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κατάταξης, μηχανικής αντοχής και επιτόπου δοκιμές. Στις δοκιμές κατάταξης περιλαμβάνονται, η δοκιμή ειδικού βάρους, κοκκομετρικής ανάλυσης και εύρεση των ορίων Atterberg. Αντίστοιχα για τις δοκιμές μηχανικής αντοχής εκτελέστηκε η δοκιμή συμπίκνωσης εδαφών με την μέθοδο Proctor και η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Ενώ τέλος η επιτόπου δοκιμή που πραγματοποιήθηκε ήταν η κώνου και άμμου.

Κεφάλαιο 2

2. Συμμετρικό Φράγμα Σκληρού Επιχώματος

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής δίνεται έμφαση στο Αξονοσυμμετρικό Φράγμα Κυλινδρούμενου Σκληρού Επιχώματος, καθώς είναι ο τύπος του Φράγματος του Φιλιατρινού Ποταμού και αναλύονται τα εξής:

- Η φιλοσοφία σχεδιασμού
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά
- Τα υλικά κατασκευής
- Ο τρόπος εφαρμογής

2.1 Φιλοσοφία Σχεδιασμού

Το σώμα ενός αξονοσυμμετρικού φράγματος με σκληρό κυλινδρούμενο επίχωμα κατασκευάζεται από ένα μίγμα αδρανών, νερού και τσιμέντου σε κατάλληλες αναλογίες. Πρόκειται, με άλλα λόγια, για έναν τύπο σκυροδέματος, που οι ιδιαιτερότητες λόγω των αναλογιών συνθέσεως συστήνουν ομάδες παραλλαγών του, συχνά με διαφορετικά ονόματα. Έτσι, απαντώνται στην ξένη κυρίως βιβλιογραφία, το εδαφο-τσιμέντο (soil - cement), το Cemented Soil and Gravel, το ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (lean Roller Compacted Concrete) και το υπέρ-ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (super lean RCC). Κατά κύριο λόγο, πρόκειται για παραλλαγές στη σύνθεση του μίγματος με αυξομείωση της περιεκτικότητας τσιμέντου και στην κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών. Εξάλλου, οποιαδήποτε διαφοροποίηση στο μίγμα επιφέρει αναγκαστικές αλλαγές στον τρόπο που αντιμετωπίζεται ως δομικό υλικό. Έτσι, ακόμα κι αν είναι δυνατή η διαφοροποίηση των διαφόρων μιγμάτων ως παραλλαγές του (κυλινδρούμενου) σκυροδέματος, τελικά μέσα από αυτές αναπτύχθηκαν εντελώς διαφορετικές κατηγορίες μεθόδων σχεδιασμού και κατασκευής φραγμάτων, όπως τα Αξονοσυμμετρικά Φράγματα Κυλινδρούμενου Σκληρού Επιχώματος (Face Symmetrical Hardfill Dam). Συνολικά, επισημαίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες υλικών με επιγραμματικά τα χαρακτηριστικά τους. Όλες στηρίζονται στην ελάχιστη δυνατή χρησιμοποίηση τσιμέντου και

συνεπακόλουθα και νερού, αντιστοιχούν όμως σε διαφορετικές μεταξύ τους τεχνολογίες ανέγερσης επιχωμάτων. Τονίζονται επιγραμματικά τα βασικά χαρακτηριστικά του μίγματός για κάθε μία περίπτωση. Διακρίνεται το soil-cement σαν προτεινόμενο υλικό για προστασία πρανών και πιο προσωρινές αντιστηρίξεις κι εμφράξεις κοίτης. Χαρακτηριστικό του είναι η Μέγιστη Διάσταση Κόκκου που δεν ξεπερνά απαραίτητα τα 4,75 mm και η οποία ακολούθως απαιτεί σχετικά αυξημένες ποσότητες τσιμέντου στο μίγμα. Βασίζεται στην τεχνική βελτίωσης εδαφών με προσθήκη τσιμέντου και οι κυριότερες εφαρμογές του είναι για μικρού ύψους αναχώματα συγκράτησης νερών, συνήθως σε αντιπλημμυρικά έργα. Επίσης υπάρχει το CSG που προέρχεται από την Ιαπωνία και αφορά σε ανάμιξη προϊόντων εκσκαφών μετά από ελάχιστη επεξεργασία, με νερό 105-135 kg/m³ και τσιμέντο της τάξης των 80 kg/m³. Τα αδρανή του χρήζουν κάποιας ιδιαίτερης επεξεργασίας. Αφορούν κυρίως σε υλικά που διατίθενται στο χώρο του έργου και η κοκκομετρική τους διαβάθμιση δεν εξετάζεται με τόση προσοχή όπως σε άλλες κατηγορίες δομικών υλικών, που λαμβάνουν τον όρο «σκυρόδεμα» στο χαρακτηρισμό τους. Ακόμη, διακρίνεται το ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα, ονομασία που αντιστοιχεί στο μίγμα διαβαθμισμένων αδρανών με συνήθη Μ.Δ.Κ. 60-75 mm, νερό 130-150 kg/m³ και περιεκτικότητα σε τσιμέντο 50-80 kg/m³, κατά περίπτωση βοηθούμενη από ιπτάμενη τέφρα με ποζολανικές ιδιότητες ώστε συνολικά τα υλικά με ιδιότητες σιμέντωσης στο μίγμα να μην ξεπερνούν σε κάθε περίπτωση τα 99 kg/m³. Οι παρειές του σώματος του φράγματος μπορούν να μορφωθούν με κλίσεις της τάξεως του 0,7 – 0,8 : 1 (Ο: Κ). Η ονομασία «ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα» προέρχεται από την αναγνώριση του ότι ένα μίγμα αδρανών, τσιμέντου και νερού αφορά ουσιαστικά σε σκυρόδεμα και οι αναλογίες αυτές σε συνδυασμό με τις μετέπειτα διαδικασίες διάστρωσης και συμπύκνωσης συνιστούν μια ιδιαίτερη κατηγορία RCC. Παρ' όλ' αυτά, ο τύπος φράγματος στον οποίο αντιστοιχεί η τεχνολογία αυτή υλικών δεν το αντιμετωπίζει ως σκυρόδεμα. Τα αξονοσυμμετρικά φράγματα κυλινδρούμενου σκληρού επιχώματος προέκυψαν από την προσαρμογή της γεωμετρίας και των τρόπων στεγάνωσης στις ιδιότητες του υλικού αυτού συνιστώντας πλέον μία εντελώς ξεχωριστή κατηγορία εύκαμπτων φραγμάτων βαρύτητας. Κοινά σημεία όλων αυτών των τεχνολογιών, όπως και άλλων προγενέστερων προσπαθειών που έχουν παρατεθεί, είναι η επιδίωξη της μείωσης των

μειονεκτημάτων από τη χρησιμοποίηση μεγάλων ποσοτήτων τσιμέντου στο μίγμα, αλλά πιο πολύ η ανάγκη για επιτάχυνση και οικονομικότητα στις μεθόδους κατασκευής των φραγμάτων.



Σχήμα 2.1 Φράγμα στο Στενό Σερίφου

2.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Θλιπτική Αντοχή

Από δοκιμές που έχουν γίνει πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά το πέρας της κατασκευής τεχνικών έργων σκληρού επιχώματος, είναι εμφανές ότι η αντοχή του υλικού σε μονοαξονική θλίψη καθορίζεται πρώτιστα από τις ιδιότητες των αδρανών του μίγματος, δεδομένης της μικρής περιεκτικότητας σε τσιμέντο. Με τον όρο αυτό συμπεριλαμβάνονται οι αντοχές του αρχικού πετρώματος και τα αποτελέσματα στις δοκιμές υγείας και Los Angeles. Επιπρόσθετα, η κοκκομετρική διαβάθμιση επηρεάζει την αναγκαία ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα, προκειμένου να επιτευχθούν οι προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις συμπύκνωσης, εργασιμότητας και αντοχής. Συνοψίζοντας τα διάφορα αποτελέσματα, επισημαίνονται συνολικά οι τιμές για δοκίμια σκληρυθέντος μίγματος μετά την πάροδο 28 ημερών άνω των 4 MPa, ενώ καρότα

πυρηνοληψιών δίνουν και αντοχές που ξεπερνούν τα 7 MPa. Χαρακτηριστικό είναι ακόμη, ότι δοκίμια ηλικίας 90 και πλέον ημερών παρουσιάζουν αύξηση στην αντοχή τους έως και 60%.

Πάντως ισχύει ότι η ανάπτυξη αντοχών του R.C.C. δεν παρουσιάζεται με τον ίδιο ρυθμό με το συμβατικό σκυρόδεμα. Τονίζεται, δε ότι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη είναι η μόνη απαίτηση που πρέπει σε κάθε περίπτωση να εξετάζεται για το υλικό του φράγματος. Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι σε όλη αυτήν τη γκάμα υλικών που έχουν αρχικά αναφερθεί, η θλιπτική αντοχή επηρεάζει άμεσα και την αντοχή του υλικού σε απόξεση και διάβρωση, ιδιότητα σημαντική για τις υδραυλικές κατασκευές. Ειδικότερα, η αυξημένη αντοχή των αδρανών, σε συνδυασμό με τη μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο και την αυξημένη περιεκτικότητα χονδρόκοκκου κλάσματος αντιστοιχούν σε αύξηση αυτής της αντοχής. Επιπλέον, παρατηρείται μείωση των φαινομένων διάβρωσης και απόξεσης με το χρόνο και ειδικά σε λείες επιφάνειες.

Μέτρο ελαστικότητας

Έχει παρατηρηθεί ότι η συμπεριφορά του σκληρυθέντος μίγματος είναι ελαστική εωσότου γίνει υπέρβαση του ορίου αντοχής σε θλίψη. Έπειτα και για κάθε επερχόμενο κύκλο φόρτισης που ξεπερνά αυτήν την τιμή, παρουσιάζει καθαρά ελαστο-πλαστική συμπεριφορά. Η συμπεριφορά του αυτή είναι που τελικά του δίνει το πλεονέκτημα της ανάληψης παραμορφώσεων και της καλής αντίδρασής του σε περιπτώσεις σεισμού. Το όριο των προδιαγραφών για το μέτρο ελαστικότητας, όπως ορίζεται για την περιοχή της ελαστικής συμπεριφοράς του υλικού, προσδιορίζεται στα 2000 MPa. Από τις δοκιμές που έχουν λάβει χώρα στα πλαίσια κατασκευής φραγμάτων σκληρού επιχώματος, το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται μεταξύ των παρακάτω τιμών: για πυρήνες από φράγματα μεταξύ 400 MPa και 1500 MPa και για δοκίμια μίγματος σε 200-300 MPa, ανάλογα με την ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα. Σε γενικές γραμμές, προσόν του υλικού αποτελεί η ευκαμψία που παρουσιάζει σε σχέση με κοινά σκυροδέματα. Διευκολύνει τη θεμελίωσή του σε επίσης εύκολα παραμορφώσιμη θεμελίωση. Σε κάθε περίπτωση, το μέτρο ελαστικότητας του υλικού επηρεάζεται άμεσα από τη συμπεριφορά των αδρανών, την κοκκομετρική τους διαβάθμιση και το ποσοστό του λεπτόκοκκου στο μίγμα.

Διαπερατότητα

Παρατηρώντας τη συμπεριφορά των φραγμάτων σκληρού επιχώματος και με αφετηρία το γεγονός ότι ένα μίγμα με τσιμέντο λιγότερο από 100kg/m³ δεν μπορεί παρά να είναι υδατοπερατό, επαληθεύεται αυτή η πεποίθηση και ο διαχωρισμός στο σώμα του φράγματος θεωρείται μέχρι ενός σημείου ανεκτός. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η στεγανότητα των φραγμάτων αυτού του τύπου, χρησιμοποιούνται τεχνικές, προερχόμενες και από την τεχνολογία των λιθόρριπτων φραγμάτων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται αυτή της ανάντη πλάκας σκυροδέματος. Με όλο το σύστημα της πλίνθου για τη στερέωσή της, η μεμβράνη από συμβατικό σκυρόδεμα διαδραματίζει το ρόλο του αδιαπέρατου στοιχείου εκμεταλλεζόμενη και το πλεονέκτημα της υπάρχουσας τεχνογνωσίας στο θέμα κατασκευής της αλλά και τις εγκαταστάσεις παραγωγής του μίγματος για το σώμα του φράγματος, μετά από τις αναγκαίες προσαρμογές. Ακόμη, διαδεδομένη θεωρείται και η τεχνική του εγκιβωτισμού του σκληρού επιχώματος μέσα σε στερεά από συμβατικό σκυρόδεμα, τοποθετημένα εκατέρωθεν του άξονα του φράγματος και παράλληλα σε αυτόν. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τόσο η υδατοστεγανότητα όσο και η προστασία του κατάντη πρανούς σε συνδυασμό με τη διευκόλυνση των διαδικασιών κατασκευής του σκληρού επιχώματος. Πιο πρόσφατη είναι η τάση για τοποθέτηση συνθετικών μεμβρανών στη θέση της πλάκας συμβατικού σκυροδέματος. Αυτή η λύση ικανοποιεί την ανάγκη εξάλειψης πιθανών κακοτεχνιών κατά τη σκυροδέτηση της πλάκας, δε χρειάζεται εξ ορισμού την τοποθέτηση οπλισμού και προσφέρεται σαν τεχνολογία μαζί με όλα τα πλεονεκτήματα της εμπειρίας από τη χρήση της σε πληθώρα έργων, όπως στεγανοποίηση ταμιευτήρων νερού ή Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων. Φυσικά, εξυπακούεται η προσαρμογή των χαρακτηριστικών αυτών των συνθετικών μεμβρανών στις ανάγκες των συγκεκριμένων τεχνικών έργων, όπως για παράδειγμα αύξηση του πάχους του ώστε να μη διακινδυνεύονται σχισίματα και διαρροές. Σε κάθε περίπτωση, αναγκαία κρίνεται η τοποθέτηση δικτύου αποστράγγισης ανάμεσα στο σώμα του φράγματος και το στεγανωτικό μανδύα, με όποιο τρόπο κι αν έχει αυτός κατασκευαστεί.

Θερμότητα ενυδάτωσης

Το κυρίαρχο πρόβλημα από τη χρησιμοποίηση του συμβατικού σκυροδέματος σε μεγάλου όγκου κατασκευές είναι η καταπόνηση των δομών εξαιτίας της θερμοκρασιακής φόρτισης από την εξώθερμη αντίδραση ενυδάτωσης του τσιμέντου. Με τη μείωση του περιεχόμενου τσιμέντου σε ποσότητες κάτω των 80 kg/m³, η θερμότητα που αναπτύσσεται κατά τη σκλήρυνση του μίγματος είναι σαφώς μικρότερη και δεν απαιτεί την κατασκευή αρμών συστολοδιαστολής, διευκολύνοντας ακόμα περισσότερο τις διαδικασίες κατασκευής. Έχει παρατηρηθεί ότι στις ελληνικές κατασκευές αυτού του τύπου η θερμοκρασία στο σώμα του φράγματος δεν ξεπέρασε ακόμα και τους θερινούς μήνες τους 34°C.



Σχήμα 2.2 Φράγμα στο Στενό Σερίφου

2.3 Υλικά Κατασκευής

Το σκληρό επίχωμα κατασκευάζεται από ένα τριφασικό υλικό που στην ουσία αποτελεί μίγμα νερού, τσιμέντου αδρανών και αέρα. Επειδή η παραγωγή του πραγματοποιείται πάντα με σκοπό την άμεση χρησιμοποίησή του για συγκεκριμένη κατασκευή επιδιώκεται η βέλτιστη χρησιμοποίηση των ανά περιοχή διαθέσιμων πόρων. Αυτό αφορά κατά βάση στα αδρανή και το νερό της

ευρύτερης περιοχής ανέγερσης του φράγματος. Για το λόγο αυτό επιβάλλεται να εξεταστεί η καταλληλότητά τους προτού ξεκινήσουν οι διαδικασίες παραγωγής

Αδρανή

Οι ιδιότητες των αδρανών του μίγματος είναι αυτές που κατά κύριο λόγο επηρεάζουν τη συνολική συμπεριφορά του υλικού. Σε γενικές γραμμές αναφέρονται οι συνήθεις περιορισμοί στην κοκκομετρική διαβάθμιση που αφορούν στη Μ.Δ.Κ και που είναι τα 60 mm. Παράλληλα, πολύ μεγάλο κλάσμα λεπτόκοκκου οδηγεί σε μείωση των αντοχών του υλικού, ενώ αύξηση του χονδρόκοκκου δυσχεραίνει την επεξεργασία και επί τόπου εφαρμογή του μίγματος. Παράλληλα πρέπει να ικανοποιούνται οι περιορισμοί των διαφόρων δοκιμών καταλληλότητας του πετρώματος. Οι δοκιμές υγείας, Los Angeles, η πετρογραφική εξέταση για αποκλεισμό της πιθανότητας αλκαλοπυριτικής αντίδρασης με το τσιμέντο, η ανοχή του μητρικού πετρώματος σε θραύση αποτελούν αναγκαίες διαδικασίες για τον προσδιορισμό της τελικής σύνθεσης του μίγματος. Είναι γεγονός ότι η ποιότητα των αδρανών είναι αυτή που κυρίαρχα καθορίζει την ποιότητα του σκληρυθέντος μίγματος, δεδομένου και του ελάχιστου τσιμέντου που περιέχει το μίγμα. Συνήθως εξάγονται από την περιοχή θεμελίωσης του έργου ποσότητες ικανές να τροφοδοτήσουν το συγκρότημα παραγωγής εφόσον και η ποιότητά τους κριθεί ικανοποιητική. Έχουν καταγραφεί περιπτώσεις που χρειάζεται συμπλήρωση των ποσοτήτων αυτών με ασβεστολιθικά αδρανή από κάποιο λατομείο, συνήθως όταν η αντοχή του αγγίζει το κατώτατο όριο ανοχής. Από την άλλη πλευρά, αντικατάσταση ποσοτήτων του διατιθέμενου πετρώματος μπορεί να χρειαστεί και εξαιτίας της μεγάλης αντοχής του, που δυσχεραίνει την επεξεργασία του και προκαλεί φθορές στον εξοπλισμό. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι, παρ' όλους τους γενικούς περιορισμούς, οι καμπύλες της κοκκομετρικής διαβάθμισης δέχονται ευρεία περιθώρια αποκλίσεων και ποσοστό λεπτόκοκκου στο μίγμα που ενδεχομένως να αγγίζει το 30%. Σε κάθε περίπτωση, η εγκατάσταση συγκροτήματος παραγωγής σκυροδέματος κατά τους τύπους των εργοταξίων για συμβατικό σκυρόδεμα, είναι απολύτως αναγκαία στην πορεία κατασκευής.

Νερό

Η περιεκτικότητα σε νερό επιδιώκεται να είναι η ελάχιστη δυνατή. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η δυνατότητα χειρισμού του νωπού μίγματος με χωματουργικό εξοπλισμό. Η υγρασία των αδρανών συμπεριλαμβάνεται στο προσδιορισμό του περιεχόμενου στο μίγμα νερού. Έτσι, με στόχο την ελάχιστη δυνατή περιεκτικότητα, η προσθήκη νερού αναπροσαρμόζεται συνεχώς ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Η πρώτη διεργασία μέσα από την οποία αναπροσαρμόζεται η ποσότητα του προστιθέμενου στο μίγμα νερού είναι η μέτρηση της υγρασίας των αδρανών, που επαναλαμβάνεται περιοδικά και ανά τακτά διαστήματα καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών. Επίσης περιοδικά πραγματοποιούνται έλεγχοι συμπύκνωσης, συνήθως με τροποποιημένη δοκιμή Proctor και με τη θεωρητική υγρή πυκνότητα του μίγματος για περιεκτικότητα αέρα 2% να αναμένεται σε 2,40 kg/m³, καθώς και έλεγχοι της συνεκτικότητας του μίγματος. Ειδικά για τους ελέγχους συνεκτικότητας συνηθίζεται η παραδοσιακά χρησιμοποιούμενη συσκευή Vebe, που ενδείκνυται για πολύ στεγνά μίγματα με μηδενική πρακτικά κάθιση. Παρ' όλ' αυτά, με επιτυχία έχει εφαρμοστεί και προταθεί για πρακτικούς κυρίως λόγους η χρησιμοποίηση κρουστικής σφύρας. Η πρόταση αυτή υποστηρίζεται αφενός από την ευκολία της μεθόδου αυτής σε σχέση με τη Vebe, αφετέρου από την ομοιότητα που παρουσιάζει με τον τρόπο συμπύκνωσης των στρώσεων κατά τη διάρκεια εφαρμογής του μίγματος στο έργο.

Τσιμέντο

Για τις συνήθεις κατασκευές Αξονοσυμμετρικών Φραγμάτων Κυλινδρούμενου Σκληρού Επιχώματος το τσιμέντο χρησιμοποιείται κατά το δυνατόν ελάχιστα. Ειδικά στην Ελλάδα προτιμάται το Ελληνικού τύπου Portland με συναλεσμένη σε ποσοστό 20% θηραϊκή γη. Προκειμένου να προσδιοριστεί η απαιτούμενη βάση και της εκάστοτε ποιότητας των αδρανών ποσότητα τσιμέντου ανά m³ μίγματος πραγματοποιούνται δοκιμαστικές συνθέσεις, συνήθως με αφετηρία τα 60 kg/m³. Για κάθε αναλογία συνθέσεως γίνονται οι έλεγχοι συμπύκνωσης και συνεκτικότητας που ήδη αναφέρθηκαν. Επίσης, παρασκευάζονται δοκίμια για την υποβολή σε μονοαξονική θλίψη προκειμένου να επιτευχθεί το όριο της αντοχής σε θραύση, των 4 MPa. Ανάλογα με τα αποτελέσματα η ποσότητα του

τσιμέντου αναπροσαρμόζεται και μπορεί σε εξαιρετικές περιπτώσεις να ξεπεράσει τα 90kg/m³, ποσότητα που γενικά δεν επιδιώκεται. Η μικρή περιεκτικότητα σε κονίαμα επιφέρει μικρές σχετικά αντοχές αλλά και αυξημένη διαπερατότητα. Ταυτόχρονα, επιτυγχάνεται δραστική μείωση της θερμότητας που εκλύεται κατά την ενυδάτωσή του.

Ποζολάνη

Προκειμένου να βοηθηθεί ο ρόλος του τσιμέντου δίχως αύξηση της αναλογίας του στο συνολικό όγκο του μίγματος, προστίθεται επικουρικά ποζολάνη. Η συνηθέστερη γι' αυτό το ρόλο είναι η ιπτάμενη τέφρα. Δρα σαν κονίαμα χωρίς την προβληματική ισχυρά εξώθερμη αντίδραση ενυδάτωσης του τσιμέντου, ενώ μακροπρόθεσμα αναπτύσσει τις ίδιες αντοχές με αυτό. Η αφθονία της στην Ελλάδα διευκολύνει την εκμετάλλευσή της και αποτελεί κι ενίσχυση του «φιλικού προς το περιβάλλον» χαρακτήρα των Συμμετρικών Φραγμάτων Σκληρού Επιχώματος.

Αέρας

Η περιεκτικότητα του μίγματος σε αέρα δεν έχει λάβει περαιτέρω διερεύνηση. Παρ' όλ' αυτά, δεν παύει να αποτελεί την τρίτη φάση του μίγματος και να ενισχύει την άποψη που θέλει το νωπό ισχνό κυλινδρούμενο σκυρόδεμα να χρειάζεται τη μέγιστη δυνατή συμπύκνωση.

2.4 Τρόπος Εφαρμογής

Η παραγωγή του νωπού μίγματος γίνεται σε συγκροτήματα παραγωγής κοντά στην περιοχή ανέγερσης του φράγματος. Ο χρόνος μεταφοράς από το συγκρότημα στο φράγμα δεν πρέπει να ξεπερνά το χρόνο πήξης του μίγματος και σε καμία περίπτωση τα 10'. Για τη μεταφορά προτιμώνται οι ταινιόδρομοι. Επειδή όμως συνήθως αυτή η πρακτική δεν είναι εύκολη, χρησιμοποιούνται οχήματα μεταφοράς ανατρεπόμενου κάδου, αλλά σε καμία περίπτωση αναμικτήρες. Προκειμένου να μη διακινδυνεύεται απόμιξη συνιστάται να μη δημιουργούνται σωροί μεγαλύτεροι του 1,5 m σε ύψος. Η αρχική διάστρωση γίνεται σε κατά το δυνατόν ομοιόμορφες οριζόντιες στρώσεις με τη βοήθεια ερπυστριοφόρων προωθητήρων. Αμέσως μετά γίνεται η συμπύκνωση με τη

χρησιμοποίηση δονητικών συμπυκνωτών λείου τυμπάνου. Ο αριθμός των διελεύσεων είναι ενδεικτικός της συμπύκνωσης του μίγματος. Μετά και τη συμπύκνωση η επιφάνεια είναι έτοιμη για διάστρωση και συμπύκνωση της επόμενης στρώσης, εφόσον δεν παρέλθει μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε αντίθετη περίπτωση επιβάλλεται καθαρισμός και απόξεση της επιφάνειας της παλαιάς στρώσης πριν την εφαρμογή της επόμενης.

2.5 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά Ενοτήτων

Η γεωτεχνική έρευνα και μελέτη του Φράγματος του Φιλιατρινού Ποταμού περιελάμβανε την διάνοιξη δύο (2) ερευνητικών στοών και δέκα (10) ερευνητικών- δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, οκτώ (8) από τις οποίες πραγματοποιήθηκαν κοντά σχετικά στον προβλεπόμενο από την προκαταρκτική μελέτη άξονα του φράγματος και δύο (2) σε πιο μεγάλη κάθετη απόσταση απ αυτό. Κατά την διάνοιξη των γεωτρήσεων πραγματοποιήθηκαν επιτόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής και ελήφθησαν δείγματα για περαιτέρω εργαστηριακές δοκιμές. Για κάθε γεώτρηση πραγματοποιήθηκε Γεωτεχνική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επιτόπου και των εργαστηριακών δοκιμών. Με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης έγινε η αναγνώριση της στρωματογραφίας της περιοχής ενδιαφέροντος και η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των στρωμάτων. Όλες οι γεωτρήσεις εμφανίζουν, γενικά, μια παρόμοια κατάσταση του εδάφους. Στην επιφάνεια σε βάθος 3.5 έως 6 μέτρα υπάρχει η ζώνη εδαφικών υλικών αποτελούμενη από υλικά αποσαθρώσεως του βραχώδους υποβάθρου (στα αντερείσματα) και σύγχρονες ποτάμιες αποθέσεις στην περιοχή της κοίτης του ποταμού. Στην συνέχεια εμφανίζεται το βραχώδες υπόβαθρο, στην αρχή αποσαθρωμένο που βελτιώνεται αυξανόμενου του βάθους. Οι πυρήνες των γεωτρήσεων, σχεδόν στο σύνολό τους, εμφανίζουν παρόμοια όψη και χρώμα, είναι δε ιδιαίτερα δύσκολος και δυσδιάκριτος ο διαχωρισμός μεταξύ των ζωνών ιλυολίθου και ψαμμίτη.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Στάθμη κεφαλής	Στάθμη υπόβαθρου	Στάθμη φρ. ορίζοντα
Γ1	50.50	220.02	214.50	210.50
Γ2	40.00	198.76	195.00	191.00
Γ3	40.20	173.42	167.70	170.50
Γ4	40.20	189.33	186.00	179.00
Γ5	50.60	227.97	223.00	198.70
4	25.40	237.93	233.50	217.60
Γ7	20.30	172.67	168.60	170.00
Γ8	20.00	177,12	173.00	173.60
Γ9	20.00	175,56	170.50	172.00
Γ10	20.00	171,41	165.40	168.50

Πίνακας 2.1 Τα κύρια χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων

2.5.1 Γεωτεχνική Ενότητα I

Η Ενότητα I αποτελείται από εδαφικά υλικά προερχόμενα από την αποσάθρωση του βραχώδους υποβάθρου καθώς και από τις σύγχρονες αποθέσεις του ποταμού, κυρίως όσον αφορά την περιοχή της κοίτης αυτού. Επιφανειακά απαντώνται φυτικές γαίες αποτελούμενες από άργιλο, ιλύ και άμμο. Με το βάθος, αυξάνει το ποσοστό χαλίκων και τεμαχών ιλυολίθου που προέρχονται από την αποσάθρωση του βραχώδους υποβάθρου. Η Ενότητα αυτή παρουσιάζεται εν γένει με μικρά βάθη στην περιοχή του έργου, που κυμαίνονται από 3.5 έως 4 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους και μόνο στις γεωτρήσεις Γ1, Γ3 και Γ10 εκτείνεται στο μεγαλύτερο βάθος των 5 έως 6 μέτρων.

Γεώτρηση	Βάθος οροφής Ενότητας (m)	Βάθος δαπέδου Ενότητας (m)	Πάχος στρώσης (m)
Γ1	0.0	5.5	5.5
Γ2	0.0	3.5	3.5
Γ3	0.0	5.7	5.7
Γ4	0.0	4.0	4.0
Γ5	0.0	4.0	4.0
Γ6	0.0	4.0	4.0
Γ7	0.0	4.0	4.0
Γ8	0.0	4.0	4.0
Γ9	0.0	4.0	4.0
Γ10	0.0	6.0	6.0

Πίνακας 2.2 Βάθη εμφάνισης Γεωτεχνικής Ενότητας I ανά Γεώτρηση

2.5.2 Γεωτεχνική Ενότητα II

Η Γεωτεχνική Ενότητα II αποτελείται από εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη. Η αναλογία του ιλυολίθου και του ψαμμίτη ποικίλει κατά τόπους, αλλά εν γένει υπερισχύει η παρουσία του ιλυολίθου ενώ ο ψαμμίτης παρουσιάζεται με μικρά πάχη μέσα στη δομή του ιλυολίθου. Οι εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη παρουσιάζονται σε όλες τις γεωτρήσεις μέχρι το πέρας τους. Η διάκριση σε Γεωτεχνικές Ενότητες (Γεωτεχνική Ενότητα II και III) της μάζας των προαναφερθέντων γεωλογικών σχηματισμών οφείλεται στην διαφοροποίηση των μηχανικών ιδιοτήτων της συνολικής βραχώμαζας που αναμένεται να υπάρχει σε σχέση με το υπό μελέτη τεχνικό.

Γεώτρηση	Βάθος οροφής Ενότητας (m)	Βάθος δαπέδου Ενότητας (m)	Πάχος στρώσης (m)
Γ1	-	-	-
Γ2	3.5	10.0	7.5
Γ3	5.7	7.7	2.0
Γ4	4.0	7.8	3.8
Γ5	4.0	9.0	5.0
Γ6	4.0	4.0	0.0
Γ7	4.0	7.5	3.5
Γ8	4.0	8.0	4.0
Γ9	4.5	-	0.0
Γ10	6.0	6.9	0.9

Πίνακας 2.3 Βάθη εντοπισμού Ενότητας II ανά Γεώτρηση

2.5.3 Γεωτεχνική Ενότητα III

Η Γεωτεχνική Ενότητα III αποτελείται όπως και η II από εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη ενώ και εδώ υπερισχύει η παρουσία του ιλυολίθου με τον ψαμμίτη να παρουσιάζεται σε μικρά πάχη μέσα στη δομή του ιλυολίθου. Ο σχηματισμός αυτός με τις εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη παρουσιάζονται σε όλες τις γεωτρήσεις μέχρι το πέρας τους. Η διαφοροποίηση μεταξύ των Γεωτεχνικών στρώσεων II και III πραγματοποιήθηκε κατόπιν της αξιολόγησης του σχηματισμού και θεώρηση της μεταβολής της ποιότητάς του με το βάθος και

έγκειται στη διαφορετική μηχανική συμπεριφορά που αναμένεται όπως προαναφέρθηκε, να παρουσιάζουν όσον αφορά την συμπεριφορά της συνολικής βραχώμαζας στην κατασκευή και λειτουργία του φράγματος.

2.5.4 Φρέατα Φ1-Φ5

Τα ερευνητικά φρέατα Φ1-Φ5 διανοίχτηκαν σε δανειοθάλαμο κοντά στο χωριό Περδικονέρι στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος του Φιλιατρινού με σκοπό την επιβεβαίωση της καταλληλότητας των υλικών του δανειοθαλάμου αυτού για την χρησιμοποίησή τους στην κατασκευή του σκληρού επιχώματος. Ενώ η μελέτη αναφέρει το χωριό Περδικονέρι για τα υλικά του δανειοθαλάμου, τα πειράματα της κατασκευής έχουν γίνει με υλικά από το Λατομείο Φιλιατρών. Τα αδρανή (υλικά από φρέατα) που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του φράγματος από ‘σκληρό’ επίχωμα, εξετάστηκαν αρχικώς σε δοκιμές κατάταξης ανά φρέαρ. Ειδικότερα εκτελέστηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις και δοκιμές πλαστικότητας (προσδιορισμού των ορίων Atterberg υδαρότητας LL, πλαστικότητας PL και του δείκτη πλαστικότητας PI).



Σχήμα 2.3 Παραγωγή και μεταφορά Σκληρού Επιχώματος στο Φράγμα Φιλιατρινού Ποταμού

Κεφάλαιο 3

3. Εργαστηριακές Δοκιμές

3.1 Ειδικό Βάρος

3.1.1 Γενική περιγραφή δοκιμής

Ως ειδικό βάρος γ_s (ή ειδική βαρύτητα G_s) των κόκκων του εδάφους ορίζεται ο λόγος του βάρους των κόκκων προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού στην θερμοκρασία των 4 °C, $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \times \gamma_w}$. Τα ειδικά βάρη των εδαφικών κόκκων κυμαίνονται από 2,65 – 2,85. Τα εδάφη όταν περιέχουν οργανικές προσμίξεις μπορεί να έχουν ειδικό βάρος 2, ενώ όταν περιέχουν προσμίξεις βαρέων μετάλλων 3.

Η γνώση του ειδικού βάρους γ_s και των άλλων φυσικών χαρακτηριστικών όπως το πορώδες ή ο δείκτης πόρων και η υγρασία ή ο βαθμός κορεσμού επιτρέπει να προσδιοριστεί το μοναδιαίο φαινόμενο βάρος του εδάφους. Επίσης το γ_s χρησιμοποιείται σε πλείστους τύπους κατά την λύση των γεωτεχνικών προβλημάτων.

3.1.2 Συσκευές – Υλικά

- Ογκομετρική φιάλη ή λήκυθος χωρητικότητας 500 ml (ή 250) στους 20°C με ανοχή 0,3 ml.
- Απεσταγμένο νερό.
- Πηγή θερμότητας.
- Ζυγός ευαισθησίας 0,001 gr.
- Φούρνος ξήρανσης.
- Θερμόμετρο ακριβείας 0,1 °C.
- Σταγονόμετρο ή πιπέτα.
- Δοχείο εξατμίσεως.
- Αντλία κενού.

3.1.3 Διαδικασία Δοκιμής

Για τον υπολογισμό του ειδικού βάρους των **στερεών συστατικών** απαιτείται η γνώση του βάρους της φιάλης με σταθερό όγκο νερού σε διάφορες θερμοκρασίες. Για την απλοποίηση των υπολογισμών μηδενίζουμε την ένδειξη της ζυγαριάς στο απόβαρο της φιάλης.



Σχήμα 3.1 Αναγωγή του μηδενός στο απόβαρο της ληκύθου.



Σχήμα 3.2 Ζύγιση του περιεχομένου ύδατος της ληκύθου. Δεξιά θερμόμετρο και πιπέτα.

- Καθαρίζουμε την φιάλη και την γεμίζουμε με απεσταγμένο νερό σε θερμοκρασία δωματίου.
- Κλείνουμε το στόμιο της και την αναποδογυρίζουμε ώστε να αποκτήσει το νερό ομοιόμορφη θερμοκρασία.
- Μετρούμε την θερμοκρασία του νερού σε διάφορες στάθμες μέσα στην φιάλη για να διαπιστώσουμε εάν είναι ομοιόμορφη.
- Στεγνώνουμε την εξωτερική επιφάνεια της φιάλης και την εσωτερική μέχρι την επιφάνεια του περιεχομένου του ύδατος, διατηρώντας σταθερό τον όγκο του με την βοήθεια της πιπέτας.
- Ζυγίζουμε με ακρίβεια 0,001 gr το περιεχόμενο της φιάλης και καταγράφουμε τη μέτρηση του βάρους W και της αντίστοιχης θερμοκρασίας.

- Μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία του περιεχομένου ύδατος δι' εμβαπτίσεως της φιάλης σε λουτρό θερμού ύδατος και επαναλαμβάνουμε τα προηγούμενα βήματα μέχρις ότου λάβουμε ικανοποιητικό αριθμό σημείων για το σχεδιασμό της καμπύλης του βάρους του ύδατος σε συνάρτηση της θερμοκρασίας του.



Σχήμα 3.3 Μέτρηση της θερμοκρασίας του ύδατος



Σχήμα 3.4 Μετακίνηση μικροποσοτήτων ύδατος με την βοήθεια της πιπέτας.

Διαδικασία υπολογισμού ειδικού βάρους σε **ψαθυρό έδαφος**:

- Γεμίζουμε τη φιάλη μέχρι το μέσον της με απεσταγμένο νερό και προσθέτουμε μια ποσότητα W_1 (τουλάχιστον 25 gr) ξηραμένου στον κλίβανο εδάφους ζυγισμένου με ακρίβεια 0,001 gr.
- Απομακρύνουμε τον εγκλωβισμένο μεταξύ των κόκκων αέρα με την βοήθεια ελαφρού βρασμού επί 10 min ή με την εφαρμογή αντλίας κενού. Η προκαλούμενη αποπίεση υποβιβάζει το σημείο βρασμού και δεν απαιτείται χρόνος για την ψύξη του ύδατος.
- Γεμίζουμε την φιάλη με νερό μέχρι την επιθυμητή στάθμη.

- Μετρούμε την θερμοκρασία του νερού σε διάφορες στάθμες, στεγνώνουμε την εξωτερική επιφάνεια της φιάλης και την εσωτερική μέχρι την επιφάνεια του περιεχομένου ύδατος, διατηρώντας σταθερό τον όγκο του με τη βοήθεια της πιπέτας ζυγίζουμε με ακρίβεια 0,001 gr και καταγράφουμε το βάρος W_2 της φιάλης με νερό και έδαφος και την αντίστοιχη θερμοκρασία.



Σχήμα 3.5 Ρήψη των κόκκων ψαθυρού εδάφους στη λήκυθο.



Σχήμα 3.6 Εφαρμογή υποπίεσεως στο στόμιο της ληκύθου.

Διαδικασία υπολογισμού ειδικού βάρους σε **συνεκτικό έδαφος**:

- Γεμίζουμε τη φιάλη μέχρι το μέσον με απεσταγμένο νερό.
- Αναμιγνύουμε περίπου 50 gr ξηρού δείγματος με νερό μέχρις ότου γίνει μια μαλακή πάστα και την προσθέτουμε στη φιάλη.
- Απομακρύνουμε τον εγκλωβισμένο αέρα και ακολουθούμε την προηγούμενη διαδικασία.

Θερμοκρασία °C	Σχετική πυκνότητα ύδατος	Συντελεστής αναγωγής K
18	0,9986244	1,0004
19	0,9984347	1,0002
20	0,9982343	1,0000
21	0,9980233	0,9998
22	0,9978019	0,9996
23	0,9975702	0,9993
24	0,9973286	0,9991
25	0,9970770	0,9989
26	0,9968156	0,9986
27	0,9965451	0,9983
28	0,9962652	0,9980
29	0,9959761	0,9977
30	0,9956780	0,9974

Πίνακας 3.1 Σχετική πυκνότητα του ύδατος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και συντελεστή K αναγωγής στους 20°C

3.1.4 Έντυπο Προσδιορισμού Ειδικού Βάρους

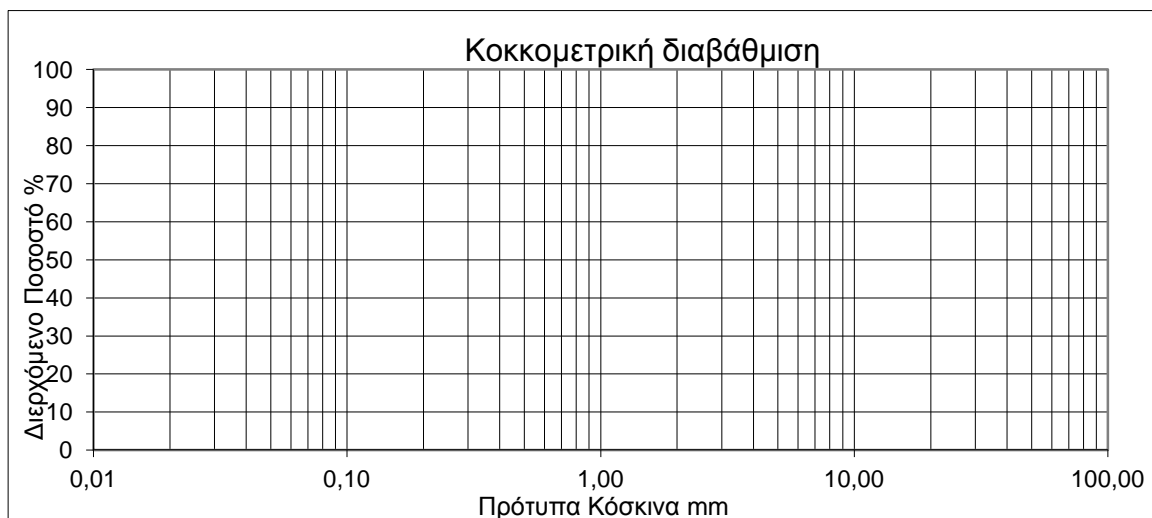
Έργο.....
Αριθμός δείγματος.....
Θέση.....
Γεώτρηση.....
Βάθος.....
Περιγραφή Εδάφους.....
Εκτελέστηκε από.....
Ημερομηνία.....

Βάρος φιάλης + ύδατος:	W (gr)	
Προσδιορισμός θερμοκρασίας ύδατος:	T _X (°C)	
Βάρος ξηρού εδάφους:	W ₁ (gr)	
Βάρος φιάλης + ύδατος + εδάφους:	W ₂ (gr)	
Ειδικό βάρος στερεών	$G_{sx} = \frac{W_1}{W_1 + W - W_2}$	
Παράγων Κ αναγωγής σε θερμοκρασία 20°C		
Ειδικό βάρος στους 20 °C	$G_{S20} = K \times G_{SX}$	

3.2 Κοκκομετρική Ανάλυση

3.2.1 Γενική περιγραφή δοκιμής

Η κοκκομετρική ανάλυση είναι μία δοκιμή η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στην πράξη για μη συνεκτικά εδάφη. Είναι μια μέθοδος προσδιορισμού των ποσοστών κατά βάρος των κόκκων που βρίσκονται μέσα στο όρια διαφόρων μεγεθών. Στα χονδρόκοκκα συνεκτικά εδάφη χρησιμοποιούμε την ανάλυση με κόσκινα. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή υλικά, με τη χρησιμοποίηση των κοσκίνων τετραγωνικών οπών. Η μέθοδος των κοσκίνων δεν μπορεί να εφαρμοστεί για τα λεπτόκοκκα εδάφη ή γενικά για εδάφη των οποίων η πλειοψηφία των κόκκων είναι διαμέτρου μικρότερης από 0.07mm. Επίσης δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κοκκομετρική ανάλυση αδρανών υλικών που ανακτήθηκαν από ασφαλικά μείγματα. Γενικά η ανάλυση με κόσκινα γίνεται με δόνηση (κοσκίνισμα) του εδάφους μέσα από μια σειρά κόσκινα συρμάτων πλεγμάτων με γνωστά ανοίγματα. Τα ανοίγματα αυτά μικραίνουν από την κορυφή προς τα κάτω. Ζυγίζοντας το έδαφος που συγκρατήθηκε σε κάθε κόσκινο μετά τη δοκιμή χαράσσεται μια καμπύλη του μεγέθους των κόκκων συναρτήσεως του βάρους ανηγμένου επί τοις εκατό επί του ολικού.



Σχήμα 3.7 Διάγραμμα κοκκομετρικής ανάλυσης

Σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με οριζόντιο άξονα τις διαμέτρους των κόκκων και κατακόρυφο τα διερχόμενα ποσοστά τοποθετούνται τα αντίστοιχα ζεύγη

τιμών και σχεδιάζεται η κοκκομετρική καμπύλη. Από την κοκκομετρική καμπύλη υπολογίζονται τρεις βασικές παράμετροι των εδαφών, η ενεργός διάμετρος D_{10} , ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u και ο συντελεστής καμπυλότητας C_c . Η ενεργός διάμετρος D_{10} ορίζεται ως η διάμετρος που αντιστοιχεί σε διερχόμενο ποσοστό δείγματος 10%. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη καθώς συνδέεται με την δυνατότητα ροής του νερού μέσα στο έδαφος. Μικρή τιμή της ενεργού διαμέτρου δείχνει ότι το έδαφος περιέχει μεγάλο ποσοστό λεπτόκοκκων συστατικών, το οποίο επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες του εδάφους. Ο συντελεστής ομοιομορφίας C_u ορίζεται ως το πηλίκο:

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

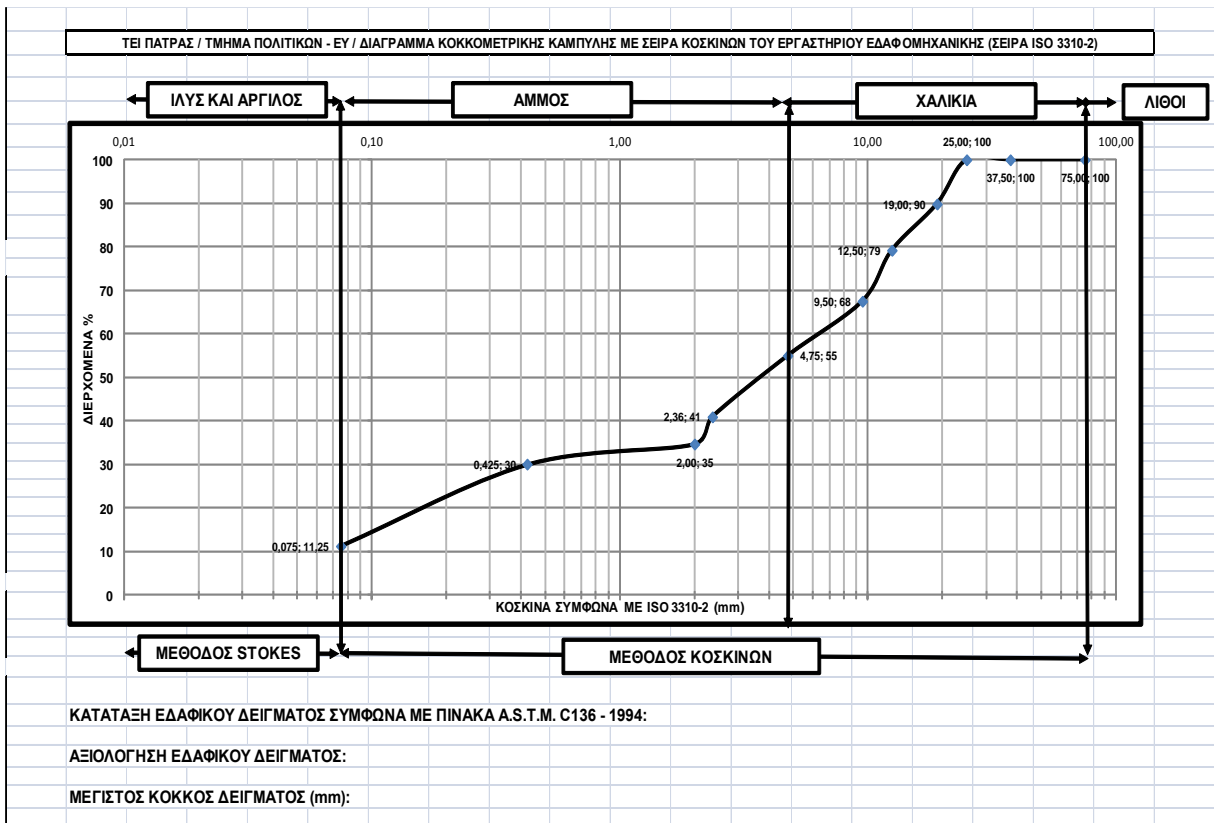
Όπου D_{60} δηλώνει τη διάμετρο για την οποία διέρχεται το 60% του δείγματος. Μεγάλη τιμή του συντελεστή δηλώνει ότι τα μεγέθη των κόκκων είναι καλά διαβαθμισμένα από τους μικρότερους κόκκους προς τους μεγαλύτερους. Έδαφος με συντελεστή ομοιομορφίας ίσο προς 1 αποτελείται από κόκκους της ίδιας διαμέτρου. Τα εδάφη που έχουν συντελεστή $C_u < 5$ είναι σχετικά ομοιόμορφα ενώ εκείνα που έχουν $C_u > 5$ καλούνται καλά διαβαθμισμένα. Ο συντελεστής καμπυλότητας C_c ορίζεται ως το πηλίκο:

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$$

Και αποτελεί ένα μέτρο της καμπυλότητας της γραμμής μεταξύ των σημείων D_{60} και D_{10}

ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΕΔΑΦΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΧΑΛΙΚΙΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ 75 mm ΚΑΙ Νο4 (4,75 mm)	ΧΑΛΙΚΙΑ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ 75 mm ΚΑΙ 19 mm
		ΧΑΛΙΚΙΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΑ	ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΝΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ 19 mm ΚΑΙ Νο4 (4,75 mm)
ΑΜΜΟΣ	ΣΥΓΚΡΑΤΕΙΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ No4 (4,75 mm) ΚΑΙ Νο200 (0,075 mm)	ΑΜΜΟΣ ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΗ	ΣΥΓΚΡΑΤΕΙΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ No4 (4,75 mm) ΚΑΙ Νο10 (2 mm)
		ΑΜΜΟΣ ΜΕΣΟΚΟΚΚΗ	ΣΥΓΚΡΑΤΕΙΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ No10 (2 mm) ΚΑΙ Νο40 (0,425 mm)
		ΑΜΜΟΣ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΗ	ΣΥΓΚΡΑΤΕΙΤΑΙ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΚΟΣΚΙΝΩΝ No40 (0,425 mm) ΚΑΙ Νο200 (0,075 mm)
ΙΛΥΣ - ΑΡΓΙΛΟΣ	ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΠΟΥ ΔΙΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΟΣΚΙΝΟ No200 (0,075 mm)	ΙΛΥΣ	0,075mm – 0,005mm (ΜΕΘΟΔΟΣ STOKES)
		ΑΡΓΙΛΟΣ	ΕΩΣ 0,005 mm (ΜΕΘΟΔΟΣ STOKES)
ΑΝΩ ΤΩΝ 75mm ΤΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΕΤΑΙ ΛΙΘΟΙ (ΠΕΤΡΕΣ)			

Πίνακας 3.8 Κατάταξη εδαφικών υλικών



Σχήμα 3.9 Διάγραμμα κοκκομετρικής καμπύλης

3.2.2 Συσκευές - Υλικά

- Ζυγός ευαισθησίας 0.1% του βάρους του προς εξέταση δείγματος
- Πρότυπα αμερικανικά κόσκινα
- Δοχεία κατάλληλων μεγεθών
- Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110-5°C
- Μηχανή κοσκινίσματος
- Αναδευτήρας



Σχήμα 3.10 Κόσκινα διαμέτρου D=6.3mm και D=75mm



Σχήμα 3.11 Κόσκινα Νο200 και Νο4



Σχήμα 3.12 Μηχανή κοσκίνισματος - Κόσκινα

άργιλοι	ίλεις			άμμοι			χάλικες			κροκάλες		
	λεπτές	Μέσες	χονδρές	λεπτές	μέσες	χονδρές	λεπτές	μέσες	Χονδρές			
0,001	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	10	20	60	200
		0,01		0,1		1						100

Σχήμα 3.13 Διαστάσεις κόκκων (mm)

Τα υλικά που χρειάζονται είναι εδαφικά δείγματα για κοκκομετρική ανάλυση τα οποία έχουν προέρθει από τη μέθοδο του τετραμερισμού. Το λεπτόκοκκο αδρανές υλικό που παίρνεται σα δείγμα με τη μέθοδο του τετραμερισμού, πρέπει να αναμειγνύεται καλά και να είναι ελαφρώς υγρό. Τα δείγματα λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού, για κοκκομετρική ανάλυση πρέπει μετά την ξήρανση να έχουν κατά προσέγγιση τα βάρη που αναφέρονται πιο κάτω:

- Υλικό με κατ' ελάχιστο 95% διερχόμενο του κόσκινου No 8 (2580μ):500gr
- Υλικό με κατ' ελάχιστο 95% διερχόμενο του κόσκινου No 4 (4760μ) και περισσότερο των 5% συγκρατούμενου το κόσκινο No 8 :500gr.

Τα δείγματα χονδρόκοκκου αδρανούς υλικού κοκκομετρική ανάλυση πρέπει να έχουν βάρη, μετά την ξήρανση, όχι μικρότερα αυτών που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ονομαστικό μέγεθος κόκκου σε cm	Ελάχιστο βάρος δείγματος σε gr
0.965	1.000
1.270	2.500
1.930	5.000
2.540	10.000
3.810	15.000
5.080	20.000
6.350	25.000
7.620	30.000
8.890	35.000

Πίνακας 3.2

3.2.3 Διαδικασία δοκιμής

- Ξήρανση του εδαφικού υλικού σε φυσικό περιβάλλον.
- διαδικασία του τετραμερισμού και παραλαβή ελάχιστης ποσότητας εδαφικού δείγματος βάσει του πίνακα.
- διαχωρισμός λεπτόκοκκου – χονδρόκοκκου υλικού με βάση το κόσκινο Νο4
- ζυγίζονται τα ληφθέντα δείγματα.
- Κοσκίνισμα του χονδρόκοκκου υλικού.
- ζυγίζεται η συγκρατούμενη ποσότητα σε κάθε ένα από τα κόσκινα και καταγράφονται τα βάρη στο Δελτίο Κοκκομετρικής Ανάλυσης και ακολουθεί η συμπλήρωσή αυτού.

Για το **λεπτόκοκκο υλικό ($D < 0.07\text{mm}$)** γίνονται τα παρακάτω:

- εμποτίζεται με ποσότητα νερού περίπου 500gr το δείγμα και αναδεύεται. Γίνεται έκχυση του μη καθαρού νερού στο κόσκινο No200. Επανάληψη της πιο πάνω εργασίας έως ότου το νερό γίνει τελείως καθαρό και μετά την ανάδευση.
- γίνεται η ξήρανση του πλυμένου εδαφικού δείγματος μέχρι σταθερού βάρους σε θερμοκρασία 100°C έπειτα ψύξη και τέλος ζύγιση αυτού.
- Τοποθετείται στην μηχανή κοσκίνισματος και περνάει απ τα κόσκινα: No4, No9, No29, No35, No100, N200.
- Ζυγίζεται η συγκρατούμενη ποσότητα από το κάθε κόσκινο, γίνεται η καταγραφή των βαρών στο Δελτίο Κοκκομετρικής Ανάλυσης.
- προσδιορίζεται το διερχόμενο βάρος και γίνεται η αναγωγή του επί τοις % στην συνολική ποσότητα του εδαφικού μείγματος.
- χαράσσεται η κοκκομετρική καμπύλη με συντεταγμένες σημείων τις τιμές του διερχόμενου ποσοστού επί τοις % και τα μεγέθη οπής κοσκίνων.

Τα έντυπα και οι υπολογισμοί περιγράφονται παρακάτω:

$$p = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

w1: ξηρό βάρος υλικού πρώτης ύλης

w2: ξηρό βάρος υλικού μετά την πλύση

p : ποσοστό % διερχόμενο από το κόσκινο No200

3.2.4 Έντυπο Κοκκομετρικής Ανάλυσης

Προέλευση:.....

Αριθμός δείγματος:.....

Ολικό βάρος δείγματος:.....

Ημερομηνία:.....

Αριθμός κόσκινου	Άνοιγμα κόσκινου mm	Συγκρατούμενο βάρος	Διερχόμενο βάρος	
			gr	%
3''	76.20			
2 1/2''	63.50			
2''	50.80			
1 1/2''	38.10			
1 1/4''	31.75			
1''	25.40			
3/4''	19.05			
5/8''	15.88			
1/2''	12.70			
3/8''	9.353			
1/4''	6.35			
No 4	4.76			
No 8	2.38			
No 10	2.00			
No 16	1.19			
No 30	0.59			
No 40	0.420			
No 50	0.297			
No 80	0.177			
No 100	0.149			
No 200	0.074			
	Παιπάλη			
Ολικό βάρος				
Παρατηρήσεις:.....				
.....				
.....				
.....				
.....				

3.3 Όρια Atterberg

3.3.1 Γενική περιγραφή ορίων Atterberg

Η επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών εξαρτάται από τον τύπο εδάφους τη συμπύκνωσή του και την ταχύτητα επιβολής της φόρτισης. Στα συνεκτικά εδάφη η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να μεταβάλλει τελείως την συνεκτικότητα και το μέγεθος της διατμητικής αντοχής επειδή τα πεπλατυσμένα σωματίδιά της έχουν την δυνατότητα να δεσμεύουν στην επιφάνειά τους νερό.

Τα όρια Atterberg καθορίζουν την μέγιστη υγρασία που μπορεί να προσροφηθεί στην επιφάνεια των σωματιδίων για να παρουσιάσουν συγκεκριμένη κατάσταση συνεκτικότητας: στερεά, ημιστερεά, πλαστική ή υδαρή. Η στερεά κατάσταση χαρακτηρίζεται από τη δυσκολία με την οποία παραμορφώνεται το έδαφος, η ημιστερεά από τον θρυμματισμό όταν πλάθεται και την συρρίκνωση όταν χάνει υγρασία, η πλαστική από την ικανότητα να πλάθεται χωρίς να θρυμματίζεται και η υδαρής χαρακτηρίζεται από την παχύρρευστη όψη και την οριζόντια επιφάνεια όταν αφεθεί το έδαφος ελεύθερο.

Όριο συρρίκνωσης W_s ή SL : είναι η περιεκτικότητα σε νερό που καθορίζει ότι ο εδαφικός όγκος παραμένει σταθερός εάν μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό. Η φυσική ερμηνεία του γεγονότος αυτού είναι ότι όταν το έδαφος έχει υγρασία ίση με το όριο αυτό, τότε το νερό καταλαμβάνει όλα τα κενά. Εάν είναι μικρότερη, τα κενά καταλαμβάνονται και από αέρα ενώ όταν είναι μεγαλύτερη οι κόκκοι αρχίζουν να απομακρύνονται ο ένας από τον άλλο λόγω του νερού που εισέρχεται ανάμεσά τους. Άρα το όριο συρρίκνωσης ορίζεται με ακριβή τρόπο.

Όριο πλαστιμότητας η πλαστικότητας W_p ή PL : είναι η περιεκτικότητα σε νερό που καθορίζει τη μετάβαση του εδάφους από την ημιστερεά στην πλαστική κατάσταση. Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στην περιεχόμενη υγρασία εδαφικού δείγματος το οποίο αρχίζει να θρυμματίζεται όταν πλάθεται σε κυλινδρικά λεπτά νήματα διαμέτρου 3,2mm.

Όριο υδαρότητας W_L ή LL : είναι η περιεκτικότητα σε νερό που καθορίζει τη μετάβαση του εδάφους από την πλαστική σε μία ιξώδη ρευστή κατάσταση και προσδιορίζεται με χρήση της συσκευής Casagrande. Το εδαφικό υλικό

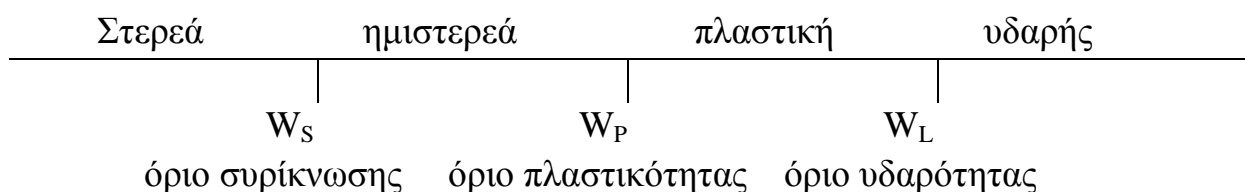
διαστρώνεται στην κάψα της συσκευής και αναζητείται η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία τα χείλη μια εγκοπής που χαράσσεται στο δείγμα κατά την διεύθυνση που διέρχεται από το σημείο στηρίξεως της κάψας ενώνονται κατά 1,2cm μετά από 25 κρούσεις της βάσης της κάψας στη βάση της συσκευής.

Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των λεπτόκοκκων εδαφών σύμφωνα με το ενοποιημένο σύστημα εδαφικής ταξινόμησης ή το σύστημα A.A.S.H.T.O. και συσχετίζονται με ποικίλες μηχανικές ιδιότητες π.χ. τα συνεκτικά εδάφη που παρουσιάζουν μεγαλύτερη τιμή των ορίων Atterberg έχουν μεγαλύτερη τάση να προσροφούν νερό στην επιφάνεια των σωματιδίων τους. Συνήθως όσο πιο λεπτά είναι τα σωματίδια των συνεκτικών εδαφών, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα νερού είναι ικανά να προσροφήσουν.

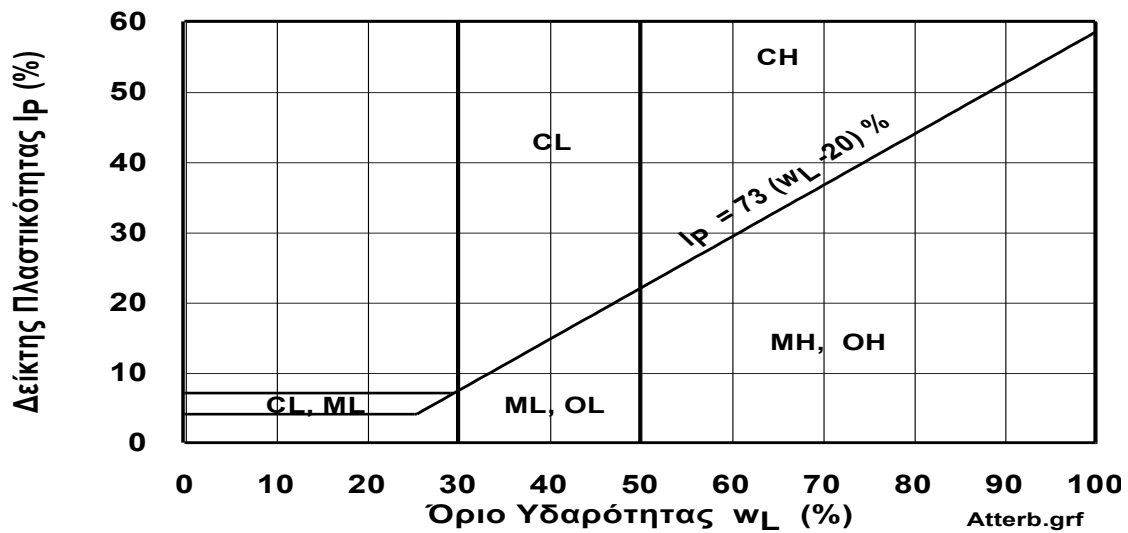
Με βάση τα όρια πλαστικότητας και υδαρότητας προσδιορίζονται τα εξής μεγέθη:

- Δείκτης πλαστικότητας: $I_p = W_L - W_p$
- Δείκτης υδαρότητας: $I_L = \frac{W_u - W_p}{W_L - W_p}$, Όπου W_u : φυσική υγρασία

Ο Δ.Π. δείχνει το μέγεθος των ορίων της περιεκτικότητας σε νερό που το έδαφος παραμένει πλαστικό και ο Δ.Υ. δείχνει το πόσο κοντά είναι ένα φυσικό έδαφος στο όριο υδαρότητας. Γενικά τα όρια και οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά για επιχώσεις και στο γενικό χαρακτηρισμό και ταξινόμηση εδαφών.



Σχήμα 3.14



Σχήμα 3.15 Χάρτης πλαστικότητας Casagrande

CL: Άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας

ML: Ιλεις χαμηλής πλαστικότητας

OL: Οργανικές ιλεις και οργανικές άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας

CH: Άργιλοι υψηλής πλαστικότητας

MH: Ιλεις υψηλής πλαστικότητας

OH: Οργανικές ιλεις και οργανικές άργιλοι υψηλής πλαστικότητας

3.3.2 Όριο Υδαρότητας

3.3.2.1 Σκοπός

Το όριο υδαρότητας αντιστοιχεί εξ ορισμού στην υγρασία στην οποία το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση, όπως αυτή προσδιορίζεται από την δοκιμή του ορίου υδαρότητας.

3.3.2.2 Συσκευές – Υλικά

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου 12 cm
- Μικρό μαχαίρι
- Συσκευή ορίου υδαρότητας (Casagrande)
- Όργανο χάραξης

- Υποδοχείς γυάλινοι
- Ζυγός ευαισθησίας 0.1 gr
- Κλίβανος σταθερής θερμοκρασίας 110 °C



Σχήμα 3.16 Απαραίτητες συσκευές

Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι δείγμα βάρους περίπου 100gr από ένα κλάσμα του υλικού που έχει καλά αναμειχθεί και διέρχεται από το κόσκινο Νο 40.

3.3.2.3 Διαδικασία δοκιμής

- Ξηραίνουμε στον αέρα τους σβώλους του υπό εξέτασιν εδάφους. Κονιορτοποιούμε προσεκτικά τους σβώλους και κοσκινίζουμε το υλικό με το κόσκινο Νο40 ώστε να λάβουμε περίπου 125gr από το διερχόμενο υλικό.
- Αναμιγνύουμε προσεκτικά τα 125gr με μια μικρή ποσότητα απεσταγμένου νερού μέχρι να αποκτήσει το μίγμα κρεμώδη εμφάνιση, κολλώδη υφή και ομοιόμορφο χρώμα. Το νερό προστίθεται κάθε φορά στο έδαφος με αυξήσεις περίπου 2-5cm³. Το μίγμα αφήνεται στο θάλαμο υγρασίας περίπου μισή ώρα για να αποκτήσει ομοιόμορφη υγρασία και να ωριμάσει.
- Ζυγίζουμε τρεις αριθμημένες κάψες προσδιορισμού υγρασίας και καταγράφουμε τα αντίστοιχα βάρη τους στο φύλλο δεδομένων.

- Ρυθμίζουμε τη συσκευή Casagrande ελέγχοντας με το εργαλείο χαράξεως το ύψος πτώσεως της κάψας. Το σημείο της κάψας που έρχεται σε επαφή με τη βάση πρέπει να βρίσκεται σε ύψος 10mm και να χτυπάει στη βάση της συσκευής με ρυθμό περίπου δύο φορές ανά δευτερόλεπτο.
- Απλώνουμε το μίγμα στο μπροστά μισό της ορειχάλκινης κάψας, το συμπιέζουμε για να αποβάλλει τα κενά αέρα και να απλωθεί σε βάθος περίπου 10mm στο βαθύτερο σημείο της κάψας και λειαίνουμε την επιφάνειά του με την βοήθεια της σπάτουλας. Διαχωρίζουμε το υλικό σε δύο μέρη κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το σημείο στήριξης.
- Γυρίζουμε τον στρόφαλο της συσκευής με ρυθμό περίπου δύο χτύπων ανά δευτερόλεπτο. Το έδαφος θα αρχίσει να ρέει από τα δύο χείλη της διατομής προς το κέντρο με αποτέλεσμα να κλείνει η εγκοπή. Μετρούμε τον αριθμό των κτύπων N , που απαιτούνται για να έρθουν σε επαφή τα δύο χείλη της εδαφικής μάζας στο κατώτατο σημείο της κάψας κατά μήκος 12,7mm (1/2 ίντσας).
- Στόχος της δοκιμής είναι να ληφθούν τρεις τιμές για τον αριθμό χτύπων N , δηλαδή μεταξύ 25 και 35, μεταξύ 20 και 25, και μεταξύ 15 και 20 και η αντίστοιχη τιμή της υγρασίας. Εάν ο αριθμός χτύπων υπερβαίνει τους 50, ακυρώνεται η δοκιμή, προστίθεται νέα ποσότητα νερού, αναμιγνύεται καλά και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι να επιτευχθεί ο επιθυμητός αριθμός.
- Με την άκρη της σπάτουλας παίρνουμε δείγμα από τις δύο πλευρές της περιοχής επαφής του υλικού και το μεταφέρουμε σε μια αριθμημένη κάψα προσδιορισμού υγρασίας, τη ζυγίζουμε με το υγρό δείγμα και καταγράφουμε στο φύλλο δεδομένων το βάρος και τον αριθμό χτύπων.
- Τοποθετούμε την κάψα στον κλίβανο σε θερμοκρασία 105 έως 110°C επί 24 ώρες και ύστερα σημειώνουμε το βάρος. Μεταφέρουμε το υλικό από την κάψα Casagrande στην κούπα αναμίξεως και καθαρίζουμε και στεγνώνουμε τη συσκευή όπως και το εργαλείο χάραξης για να αρχίσει νέα δοκιμή. Ανακατεύουμε ξανά ολόκληρο το εδαφικό δείγμα στην πορσελάνινη κούπα προσθέτοντας μικρή ποσότητα απεσταγμένου νερού, ώστε να μειωθεί ο αριθμός χτύπων για το κλείσιμο της χαραγής.

- Επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή, ώστε να αποκτήσουμε τρία ζεύγη τιμών υγρασίας της περιοχής ροής του υλικού και των αντίστοιχων χτύπων.



Σχήμα 3.17 Ζύγιση υλικού



Σχήμα 3.18 Δημιουργία μίγματος



Σχήμα 3.19 Τοποθέτηση μίγματος στο θάλαμο υγρασίας



Σχήμα 3.20 Ρύθμιση συσκευής casagrande



Σχήμα 3.21 Διάστρωση μίγματος στη συσκευή



Σχήμα 3.22 Χάραξη της εγκοπής



Σχήμα 3.23 Η περιοχή ένωσης των χειλιών Εγκοπής



Σχήμα 3.24 Τοποθετείται η κάψα στον κλίβανο

3.3.3 Όριο πλαστικότητας

3.3.3.1 Σκοπός

Το όριο πλαστικότητας εδάφους αντιστοιχεί εξ ορισμού στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας, στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεά κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ράβδους διαμέτρου 3mm χωρίς να θραύεται.

3.3.3.2 Συσκευές - Υλικά

- Κάψα από πορσελάνη διαμέτρου 12cm περίπου
- Σπάτουλα με λεπίδα μήκους 8cm και πλάτους 2cm περίπου
- Επιφάνεια για την κυλίνδρωση
- Υποδοχείς
- Κλίβανος θερμοκρασίας 110°C
- Ζυγός ευαισθησίας 0.001gr
- Εδαφικό δείγμα 20gr διερχόμενο από το κόσκινο Νο40
- Απεσταγμένο νερό



Σχήμα 3.25 Πλάσιμο του κυλίνδρου προσδιορισμού του ορίου πλαστικότητας

3.3.3.3 Διαδικασία δοκιμής

- Παίρνουμε 15-20gr του υλικού που παρέμεινε από τη δοκιμή ορίου υδαρότητας και το ζυμώνουμε με τα δάχτυλα μέσα στη παλάμη ώσπου να επιτευχθεί η πυκνότητα με την οποία δεν κολλάει στα δάχτυλα και διαμορφώνουμε με αυτό δύο ξεχωριστές μπάλες.
- Ζυγίζουμε δύο άδειες αριθμημένες κάψες προσδιορισμού υγρασίας και καταγράφουμε τα αντίστοιχα βάρη στο φύλλο δεδομένων. Διαμορφώνουμε το δείγμα σε ελλειψοειδή μάζα και πιέζοντας αρκετά την κυλούμε επί 2 λεπτά μεταξύ της παλάμης ή των δαχτύλων και της γυάλινης βάσης με ρυθμό στο λεπτό 80 περίπου κινήσεις της παλάμης εμπρός – πίσω, ώστε να μετατραπεί σε νήμα ομοιόμορφης διαμέτρου 3,2mm (1/8 ίντσας). Αν δεν θρυμματιστεί, διπλώνουμε το νήμα και επαναλαμβάνουμε το πλάσιμο έως όταν η αποβολή υγρασίας που επέρχεται οδηγήσει το νήμα σε θραύση κομματιών διαμέτρου 1/8 ίντσας και μήκος 3/8 ίντσας.
- Συγκεντρώνουμε τα κομμάτια του θρυμματισμένου νήματος και τοποθετούμε περίπου 6gr εδάφους σε αριθμημένη κάψα προσδιορισμού της υγρασίας, τη ζυγίζουμε, το καταγράφουμε και ύστερα τοποθετούμε το δοχείο στον κλίβανο προς ξήρανση , οπότε το καταγράφουμε και αυτό.
- Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τουλάχιστον άλλη μια φορά για να ληφθεί μια δεύτερη εκτίμηση του ορίου πλαστικότητας, του εδάφους και ο μέσος όρος των μετρήσεων. Αν οι τιμές των δύο μετρήσεων παρουσιάζουν απόκλιση μεγαλύτερη από 2,6%, η δοκιμή πρέπει να επαναληφθεί.
- Ο προσδιορισμός του ορίου πλαστικότητας δεν είναι πάντα εφικτός, επειδή τα νήματα μπορεί να θρυμματιστούν πριν φτάσουν την διάμετρο των 3mm. Σε αυτή την περίπτωση για $PI=0\%$, το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη πλαστικό.

3.3.4 Έντυπο Προσδιορισμού ορίων Atterberg

Προέλευση δείγματος:.....	αριθμός δείγματος:.....
Χαρακτηρισμός εδάφους:.....	Αριθμός φύλλου:.....
	Ενάρξεως:.....
	Ημερομηνία:.....
	Λήξεως:.....

	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	Ορ. Υδ.	Ορ. Υδ.	Ορ. Υδ.	Ορ. Υδ.	Ορ. Πλ.	Ορ. Πλ.	Ορ. Πλ.	Ορ. Πλ.
	Αριθμός υποδοχέα								
	Αριθμός κτύπων								
A	Βάρος υγρού δείγμ. + υποδοχέα (gr)								
B	Βάρος ξηρού δείγμ. + υποδοχέα (gr)								
Γ	Βάρος ύδατος (Γ=A-B) (gr)								
Δ	Βάρος υποδοχέα(gr)								
E	Βάρος ξηρού δείγματος (E=B-Δ) (gr)								
Z	Ενεχόμενη υγρασία $(Z = \frac{\Gamma * 100}{E})(\%)$								

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....

Όριο Υδαρότητας:.....
 Όριο Πλαστικότητας:.....
 Δείκτης πλαστικότητας:.....

3.4 Δοκιμή Συμπύκνωσης Εδαφών με την πρότυπη Μέθοδο Proctor

3.4.1 Γενική περιγραφή δοκιμής

Με τον όρο συμπύκνωση εννοούμε την τεχνική αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Με την συμπύκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητας. Η σημασία της διαδικασίας συμπύκνωσης έχει να κάνει με το γεγονός ότι τα συμπυκνωμένα εδάφη χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα για ασφαλέστερες κατασκευές. Ο βαθμός συμπύκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του εδάφους. Επομένως μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπύκνωση, εκφράζει την μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή εκφράζει το βαθμό συμπύκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπύκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα του εδάφους επιτυγχάνεται με προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος που ευνοεί την μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων, καθώς και της διατμητικής αντοχής του εδάφους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορα αναδιάταξη των κόκκων σε πυκνότερη δομή. Επομένως, αν μεταβάλλουμε την περιεκτικότητα σε νερό του εδαφικού δείγματος διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπύκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό χτύπων 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 μια καμπύλη που παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή γ_d για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό m , που χαρακτηρίζεται σαν βέλτιστη υγρασία m_{opt} κατά Proctor (optimum). Αν αυξήσουμε την ενέργεια συμπύκνωσης αυξάνεται και η μέγιστη τιμή του γ_d και μειώνεται η τιμή του optimum της περιεκτικότητας σε νερό. Η μορφή της καμπύλης συμπύκνωσης μεταβάλλεται ανάλογα με το τύπο του εδάφους. Η μορφή της βέλτιστης υγρασίας αυξάνεται λογαριθμικά με την αύξηση των λεπτόκοκκων στο έδαφος, ενώ εμφανίζει γενικά γραμμική σχέση με την αύξηση του ποσοστού της λεπτής άμμου.

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

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



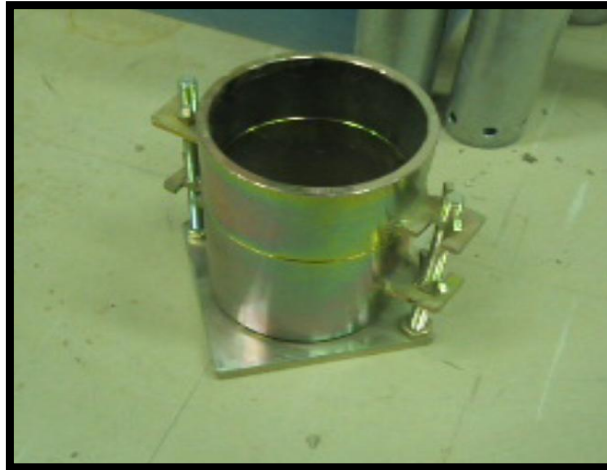
Σχήμα 3.26 Κόπανος και μεταλλικός δακτύλιος



Σχήμα 3.27 Ηλεκτρικός μεταλλικός κόπανος

3.4.2 Συσκευές – Υλικά

- Τύπος κυλινδρικού σχήματος μεταλλικούς μετά δακτυλίου ύψους περίπου 6.3 cm. Διαστάσεις τύπου βάσει προδιαγραφών ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο.
- Ηλεκτρικός μεταλλικός κόπανος διαστάσεων και βάρους βάσει προδιαγραφών.
- Εξολκέας δείγματος: Κατάλληλη συσκευή για την εξαγωγή των συμπυκνωμένων δοκιμίων από τον τύπο.
- Ζυγοί: Ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 10 Kg και ακρίβειας ως 5 gr και ένας ζυγός ικανότητας τουλάχιστον 1Kg και ακρίβειας ως 0.1 gr.
- Κλίβανος ξηράνσεως: Ένας θερμοστατικός ελεγχόμενος κλίβανος ξηράνσεως ικανός για την διατήρηση της θερμοκρασίας σε $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ για την ξήρανση υγρών δειγμάτων.
- Κανόνας χαλύβδινος μήκους 30cm που έχει την μια πλευρά λοξά κομμένη.
- Κόσκινα 3/4".
- Εργαλεία αναμείξεως (λεκάνη, κουτάλι, μυστρί, σπάτουλα κ.λπ.).



Σχήμα 3.28 Μεταλλικοί δακτύλιοι

- Εδαφικό δείγμα διερχόμενο από το κόσκινο 3/4".

3.4.3 Διαδικασία Δοκιμής

- Παραλαβή 12Kg εδαφικού δείγματος το οποίο έχει περάσει από το κόσκινο και έχει ξηρανθεί μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος.
- Διαχωρισμός του υλικού (σε πέντε μέρη συνήθως) και ανάμειξη κάθε αντιπροσωπευτικής ποσότητας ξεχωριστά σε νερό αναλογίας 55, 10 %, 15%, 20%, 25% κατά βάρος αντιστοίχως, περίπου.
- Τοποθέτηση του τύπου επί σταθερού βάθρου.
- Σχηματισμός του δοκιμίου σε τρεις διαδοχικές στρώσεις πάχους 4.2 cm η κάθε μια, αφού προηγουμένως κάθε στρώση κοπανηθεί ομοιόμορφα με 25 χτύπους και από ύψος πτώσεως κόπανου 30.48 cm².
- Αφαίρεση του δακτυλίου και εξομάλυνση (με κάθετη τομή στο ύψος των χειλιών του τύπου και με σύγχρονη συμπλήρωση λεπτόκοκκου υλικού στα σημεία όπου η τομή δημιούργησε ανωμαλίες).
- Ζύγιση του τύπου με το συμπυκνωθέν δοκίμιο.
- Προσδιορισμός του βάρους του δοκιμίου αφού αφαιρεθεί το βάρος του τύπου.
- Προσδιορισμός του υγρού φαινόμενου βάρους γ.
- Εξαγωγή του δοκιμίου από τον τύπο και με αντιπροσωπευτική ποσότητα δείγματος υπολογίζουμε την υγρασία.
- Προσδιορισμός του ξηρού φαινόμενου βάρους γd.
- Επανάληψη των παραπάνω διαδικασιών για τα άλλα 4 δείγματα.



Σχήμα 3.29 Τοποθέτηση εδαφικού δείγματος σε μεταλλικό δακτύλιο και εξομάλυνση της επιφάνειάς του.

3.4.4 Έντυπο Δοκιμής Proctor

ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΕΙΑ: ΘΕΣΗ: ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ: ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: ΜΕΘΟΔΟΣ:

Προσδιορισμός γ_d

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	1	2	3	4
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΥΠΟΥ D (cm)				
ΥΨΟΣ ΤΥΠΟΥ H (cm)				
ΟΓΚΟΣ ΤΥΠΟΥ $V_t = H \cdot (\pi D^2) / 4$ (cm ³)				
ΒΑΡΟΣ ΤΥΠΟΥ (gr)				
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ & ΤΥΠΟΥ (gr)				
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ W_t (gr)				
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ w (%)				
ΥΓΡΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ $\gamma_w = W_t / V_t$ (gr/cm ³)				
ΞΗΡΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ γ_d (gr/cm ³) ή t/m ³				
ΞΗΡΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ γ_d (kg/m ³)				

ΤΥΠΟΙ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ-ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{w+100} \circ 100$$

Προσδιορισμός υγρασίας

ΔΟΚΙΜΗ	1	2	3	4
Βάρος υγρού δείγματος + κάψας (gr)				
Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας (gr)				
Βάρος κάψας (gr)				
Βάρος νερού (gr) W_w				
Βάρος ξηρού δείγματος (gr) W_s				
Περιεχόμενη υγρασία w (%) w (%) = $W_w \cdot 100 / W_s$				

ΣΧΕΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΞΗΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ PROCTOR



3.5 Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης

3.5.1 Γενική περιγραφή

Η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης είναι μια απλή δοκιμή προσδιορισμού της διατμητικής αντοχής των συνεκτικών εδαφών αδιατάρακτων δειγμάτων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πίεσεως. Είναι η δοκιμή κατά την οποία εφαρμόζεται στο δοκίμιο ελεύθερο από πλευρική πίεση ένα αξονικό φορτίο. Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο εμφανίζει 2 από τις ακόλουθες καταστάσεις:

- Αρχίζει να παρουσιάζει επιφάνεια θραύσεως.
- Η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς αύξηση φορτίου.

Εάν καμιά από τις παραπάνω καταστάσεις δεν συμβαίνει, τότε σαν αντοχή λαμβάνεται η τάση που αντιστοιχεί σε ανηγμένη παραμόρφωση 20%.

3.5.2 Συσκευές - Υλικά.

Συσκευή θλίψεως

Ο εξοπλισμός της συσκευής θλίψεως αποτελείται βασικά από ένα βαθμονομημένο ελατήριο το οποίο είναι συνδεδεμένο μέσο ενός κινητού ελάσματος (ή πλάκας) σε ένα χαμηλότερο κινούμενο έλασμα που φέρει την βάση πλάκας. Αυτό το χαμηλότερο κινητό έλασμα έχει ένα βραχίονα μοχλού με μολύβι ο οποίος περιστρέφεται γύρω από το χαμηλότερο κινητό έλασμα, σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Το ελατήριο και τα κινητά ελάσματα είναι σφιγμένα με δύο κατακόρυφες ράβδους οι οποίες επιτρέπουν στο ελατήριο και στην πλάκα να κινούνται μόνο προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Το βαθμονομημένο ελατήριο επεκτείνεται με την βοήθεια ενός παξιμαδιού με την λειτουργία λαβής σε μια μολύβδινη βίδα. Γυρίζοντας το παξιμάδι με δεξιόστροφη κατεύθυνση η μολύβδινη βίδα, τα κινητά ελάσματα και το ελατήριο κινούνται κατακόρυφα προς τα πάνω και αντίστροφα. Το μολύβι που είναι συνδεδεμένο στο πάνω άκρο του μοχλοβραχίονα στηρίζεται απέναντι από μια σταθερή πλάκα σχεδίασης η

οποία είναι συνδεδεμένη με την πάνω κινητή πλάκα. Ολόκληρος ο εξοπλισμός είναι σμαλτωμένος και περασμένος σε χρώμιο.



Σχήμα 3.30 Πλαίσιο θλίψης με δύο έμβολα δυναμικότητας 15 και 250 kN αντίστοιχα



Σχήμα 3.31 Δοκιμή θλίψης σε κυβικό δοκίμιο σκυροδέματος

Εξοπλισμός διάτρησης.

Αυτός ο εξοπλισμός πρέπει να είναι ικανός να παράγει μια σχετική καθαρή οπή στις πλευρές της πριν την εισαγωγή του σωλήνα με το μείγμα. Το μείγμα που παραλαμβάνεται από τον πυθμένα της οπής πρέπει να είναι αδιατάρακτο. Μια συμβατική εφαρμογή αυτού μπορεί να γίνει αν η οπή, αμέσως πάνω από τον πυθμένα του δείγματος, διαμορφωθεί με ένα τρυπάνι ώστε να δίνει ελάχιστη διαταραχή.

Εξοπλισμός δειγματοληψίας.

Δειγματοληπτικοί σωλήνες του τύπου WF: 30510 χρησιμοποιούνται, οι οποίοι έχουν λεία εσωτερική και εξωτερική διάμετρο, με το κοπτερό χείλος ελαφρώς λοξοκομμένο προς τα μέσα ώστε να παρέχουν ένα κοφτερό χείλος στην εσωτερική τους επιφάνεια. Μια συναρμολόγηση κίνησης δειγματολόγου πρέπει να χρησιμοποιείται του τύπου που δείχνεται από το WF: 30540 σφυρί δόνησης, σε συνδυασμό με την κεφαλή προσαρμογής WF: 20060.

Για την αποφυγή αλλαγών στην περιεχόμενη υγρασία και τους σωλήνες σφράγισης, προτείνουμε την χρήση των άκρων προστασίας WF: 30510.

Εξοπλισμός προετοιμασίας δοκιμίου.

Ένα μέσο για την εξαγωγή του δείγματος από τον σωλήνα είναι το WF: 20070, το οποίο είναι φτιαγμένο από ελαφρό μέταλλο και χρησιμοποιείται με παλινδρομική κίνηση. Χρήση αυτής της μονάδας επιτρέπει στα δείγματα να εξετάσουν απευθείας από το σωλήνα. Ένα καλύτερο μέσο εξαγωγής από το σωλήνα, που προτείνεται από το BS: 1377, είναι με τη χρήση ενός εξαγωγέα δείγματος του τύπου WF: 30640 κ.α., το οποίο περιλαμβάνει το κατάλληλο καλούπι διαχωρισμού και το σύρμα για το κόψιμο του δείγματος. Ένας χαλύβδινος χάρακας, WF: 33081, και μια μεταλλική κάψα WF: 20900 είναι επίσης απαραίτητα.

Εξοπλισμός συσκευής.

Τα διαγράμματα WF:20050, παρέχονται σε πακέτα των 50 και είναι φτιαγμένα για να ταιριάζουν στην συσκευή μας. Μπορούν να παρέχονται με απευθείας ανάγνωση σε lbf ή Kg. Η συσκευή WF: 20010 περιλαμβάνει 4 βαθμονομημένα ελατήρια σαν στάνταρ με τάξεις των 10 lbf, 25 lbf, 50 lbf και 100 lbf ανά ίντσα επιμηκύνσεων. Πρόσθετη συσκευή θα περιλάμβανε εξοπλισμό που θα καλύπτεται από το BS: 1377 για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας μαζί με το ζυγό των 7 Kg αναγνώσιμος με ακρίβεια των 0.5gr, με αριθμό τύπου WF: 60020.

Για την διεξαγωγή της δοκιμής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αδιατάρακτα δοκίμια ή αναζυμωθέντα δοκίμια.

- Κατά την παραλαβή των αδιατάρακτων δοκιμίων από μια οπή, είναι βασικό η οπή να είναι καθαρισμένη με ένα τρυπάνι τέτοιου τύπου που δεν θα προκαλέσει διαταραχή στο υλικό που θα ληφθεί ως δείγμα. Ο δειγματοληπτικός σωλήνας είναι αλαφρά μπασμένος και συνδεδεμένος με την συναρμολόγηση κίνησης του δειγματολόγου. Ο δειγματολόγος κατεβαίνει ως τον πυθμένα της οπής και ο σωλήνας είτε πιέζεται είτε ωθείται μέσα στο έδαφος. Πρέπει ωστόσο να δοθεί προσοχή ώστε ο σωλήνας να μην πιεστεί υπερβολικά. Στην συνέχεια ο δειγματολόγος περιστρέφεται για να σπάσει τον πυρήνα του εδάφους και αποσύρεται.

- Η παρασκευή των αναζυμωθέντων δοκιμίων γίνεται είτε χρησιμοποιώντας θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο είτε διαταραγμένο δείγμα. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται θραυσμένο αδιατάρακτο δοκίμιο το υλικό τυλίγεται αεροστεγώς με μεμβράνη και δουλεύεται με τα δάκτυλα ώστε να εξασφαλιστεί πλήρως αναζύμωση του υλικού. Μετά την αναζύμωση το υλικό επανασυμπυκνώνεται μέσα σε κυλινδρικά καλούπια με επιθυμητές διαστάσεις και γίνεται προσπάθεια ώστε το αναζυμωμένο δοκίμιο να έχει τον ίδιο δείκτη πόρων και την ίδια φυσική υγρασία με το αδιατάρακτο δείγμα.

3.5.3 Διαδικασία δοκιμής

Προετοιμασία δοκιμίου.

Το καλούπι διαχωρισμού πρέπει να είναι ελαφρά λιπασμένο και το δείγμα εκβάλλεται μέσα σ' αυτό χρησιμοποιώντας τον εξαγωγέα, έτσι ώστε με την ρήξη του δείγματος μέσα στο καλούπι να μην επιτρέψουν στο διαταραγμένο υλικό να μετακινηθεί. Τα άκρα είναι κομμένα επίπεδα και κάθετα στον άξονα του δείγματος χρησιμοποιώντας το σύρμα και αποξαίνοντας με τη λίμα διευθέτησης. Το μήκος του δοκιμίου πρέπει να μετρηθεί με τον γνώμονα με ακρίβεια 0.02 in και το αναγραφόμενο βάρος με ακρίβεια 0.5gr.

Πορεία δοκιμής. Ένα ελατήριο πρέπει να επιλεγθεί το οποίο να έχει επαρκή δυσκαμψία για να προκαλέσει στο δείγμα θραύση. Εντός του πεδίου της επιτρεπόμενης παραμόρφωσης από την συσκευή, δεν πρέπει να είναι πιο δύσκαμπτο από το απαραίτητο αφού θα πρέπει να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ευαισθησία. Το ελατήριο είναι συναρμολογημένο στην συσκευή μεταξύ των ανωτέρου και συγκρατείται από τις συνδετικές ράβδους. Το δείγμα μετά την προετοιμασία πρέπει να τοποθετηθεί κεντρικά στο χαμηλότερο δίσκο και το χερούλι να περιστραφεί για να φέρει τον πάνω δίσκο σ' επαφή κεντρικά με το δοκίμιο. Η συσκευή ρυθμίζεται για να φέρει το μολύβι καταγραφής, συνδεδεμένο με το χαμηλότερο βραχίονα, πάνω στον κατακόρυφο άξονα παραμόρφωσης του διαγράμματος και το δεδομένο για το μηδενικό φορτίο σημειώνεται. Στην συνέχεια περιστρέφεται το χερούλι με σταθερή αναλογία, δια του οποίου το δοκίμιο συμπιέζεται και συνεχίζεται μέχρι να επέλθει θραύση. Η τάξη της παραμόρφωσης πρέπει να είναι περίπου 0.3in (7.62mm) ανά λεπτό. Ο

σκοπός είναι να επιτευχθεί ένας χρόνος δοκιμής περίπου 2 λεπτών για ένα δείγμα που θραύεται στο 20% της τάσεως. Όταν τελικά η θραύση έχει τελειώσει το διάγραμμα θα πρέπει να μετακινηθεί και η μέγιστη δύναμη συμπίεσης και η τάση στη θραύση να καταγραφούν. Στην περίπτωση όμως πλαστικής θραύσης κατά την οποία δεν επιτυγχάνεται μέγιστη δύναμη σε τάση λιγότερη από 20%, η προκύπτουσα τάση του 20%, πρέπει να καταγραφεί.

Η περιεχόμενη υγρασία του δείγματος θα πρέπει να καθοριστεί σύμφωνα με τις δοκιμές 1(A) και 1(C) του BS: 1377:1967.

3.5.4 Έντυπο Δοκιμής Μονοαξονικής Θλίψης

Προέλευση δείγματος:.....			Αριθ. Δείγματος:.....
Γεώτρηση.....	Βάθος.....	Είδος.....	Αριθ. Φύλλου.....
Επιφάνεια: A=..... cm ²	Ανηγμ. Επιφάνεια: A=..... cm ²	Ύψος: H=..... cm	Βάρος: W..... g
			Ενάρξεως:.....
Χαρακτηρισμός εδάφους		Ημερομηνία	
			Λήξεως:.....
Υπογραφή:			

Αριθμ.	Παραμ. ΔL mm	ΔL L	Φορτίο P Kg	Τάση Kg cm ²		Παρατηρήσεις
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						

Προσδιορισμός της Περιεχόμενης υγρασίας	
Πριν την δοκιμή	
Αριθ.	
Bδ + ε + u	
Bδ + ε	
Bu	
Bδ	
Bε	
W%	
Μετά την δοκιμή	
Αριθ.	
Bδ + ε + u	
Bδ + ε	
Bu	
Bδ	
Bε	
W%	

Σχέδιο θραύσης

Παρατηρήσεις:.....
.....

3.6 Μέθοδος κώνου και άμμου

3.6.1 Γενική περιγραφή

Η μέθοδος αυτή είναι μια εργαστηριακή δοκιμή που γίνεται επί τόπου του έργου και στοχεύει στο να ελέγξει την επιτευχθείσα συμπύκνωση και να την συγκρίνει με την προσδιορισθείσα εργαστηριακή συμπύκνωση με την μέθοδο Proctor. Η μέθοδος αυτή προσδιορίζει την πυκνότητα σε τοποθεσία με ρηχά εδάφη και ιδιαίτερα σε συμπαγή εδάφη που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εθνικών οδών, για χωμάτινα φράγματα και σε διάφορες άλλες κατασκευές. Έτσι προσδιορίζεται το επί τόπου ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος του εδάφους και το συγκρίνουμε με το μέγιστο ξηρό φαινόμενο βάρος που διαπιστώθηκε κατά Proctor ότι μπορεί να επιτευχθεί.

3.6.2 Συσκευές - Υλικά

- Συσκευή προσδιορισμού πυκνότητας, η οποία αποτελείται από:
 - Δυο ελαστικά δοχεία άμμου, χωρητικότητας 5lt.
 - Μεταλλική χοάνη, με προσαρμοσμένη στη βάση της μια ειδική βαλβίδα, επιτρέποντας την εκροή ή όχι της άμμου στο δοχείο. Διάμετρος του κώνου 6''.
 - Μεταλλική βάση.
- Ζυγοί.



Σχήμα 3.32 Εργαστηριακά Εργαλεία



Σχήμα 3.33 Ζύγιση Άμμου

- Άμμος καθαρή και ρέουσα
- Νερό
- Εδαφικό δείγμα

3.6.3 Διαδικασία δοκιμής

3.6.3.1 Προσδιορισμός του όγκου της συσκευής (μέχρι την βαλβίδα)

- Ζυγίζουμε το δοχείο κενό W_1
- Τοποθετούμε το δοχείο σε όρθια θέση και ανοίγουμε τη βαλβίδα
- Γεμίζουμε με απεσταγμένο νερό την συσκευή μέχρι να προσεγγίσει την βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν περισσεύουσα ποσότητα νερού πάνω από την βαλβίδα. Κλείνουμε την βαλβίδα
- Ζυγίζουμε πλέον το δοχείο και νερό W_2 αφού προσδιορίσουμε και την θερμοκρασία του νερού T_1

Βάρος νερού συσκευής : $W = W_2 - W_1$ (gr)

Όγκος συσκευής : $V = W * K_w$ (ml)

K_w δίνεται από τον πίνακα (3.3)

3.6.3.2 Προσδιορισμός Φ.Β. της άμμου

- Τοποθετούμε το άδειο δοχείο σε όρθια θέση και το συνδέουμε με τη βαλβίδα της χοάνης
- Κλείνουμε την βαλβίδα και γεμίζουμε την χοάνη με άμμο. Αυτός ο χειρισμός γίνεται προσεκτικά για να αποφύγουμε διάφορες κρούσεις και δονήσεις.
- Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο, ανοίγοντας την βαλβίδα της χοάνης, προσέχοντας όμως να μην ξεπερνάει η στάθμη της άμμου της χοάνης το μέσον αυτής, κατά την εκροή της άμμου στο δοχείο.
- Όταν η ροή σταματήσει κλείνουμε την βαλβίδα και απομακρύνουμε τυχόν υπολείμματα πάνω από το δοχείο.
- Προσδιορίζουμε βάρος άμμου και συσκευής W_3 .

Βάρος άμμου συσκευής : $W_4 = W_3 - W_1$ (kg)

Όγκος συσκευής : V σε dm^3 όπου $1 dm^3 = 1000cm^3$

$$Y_{\text{Άμμου}} = \frac{W_4}{V} \quad (\text{kg/dm}^3) \quad \text{ή} \quad 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ cm}^3$$

3.6.3.3 Προσδιορισμός του βάρους της άμμου, που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη.

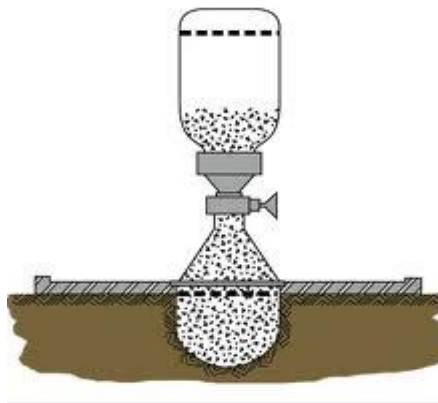
- Ανατρέπουμε την συσκευή σε επίπεδη επιφάνεια και ανοίγουμε την βαλβίδα.
- Κλείνουμε την βαλβίδα όταν σταματήσει η ροή της άμμου μέσα στη φιάλη γεγονός που συμβαίνει όταν το χωνί έχει γεμίσει με άμμο.
- Ζυγίζουμε την άμμο που έμεινε στη φιάλη μαζί με την συσκευή W_5 .

Βάρος άμμου που απαιτείται για να γεμίσει η χοάνη : W_5

$$W_6 = W_3 - W_5$$



Σχήμα 3.34 Χοάνη συσκευής προσδιορισμού



Σχήμα 3.35 Άδειασμα άμμου

3.6.3.4 Προσδιορισμός όγκου (V) και βάρους (W_{10}) του υλικού που θα εξαχθεί από την οπή δοκιμής.

- Προετοιμάζουμε την επιφάνεια του εδάφους που θα ελεγχθεί, έτσι ώστε να είναι επίπεδη και καθαρή.
- Τοποθετούμε το αναστρεφόμενο δοχείο στο έδαφος και χαράσσουμε το περίγραμμα της χοάνης.
- Σκάπτουμε την ‘οπή’ ελέγχου που έχει δημιουργηθεί από το περίγραμμα της χοάνης, προσέχοντας να μην διακινήσουμε το υπόλοιπο έδαφος, που περιβάλλει την ‘οπή’ ελέγχου. Τοποθετούμε όλη την ποσότητα χώματος που πήραμε σαν δείγμα, μέσα σε ένα δοχείο, προσέχοντας να μην χάσουμε καθόλου δείγμα και ζυγίζουμε W_7 .

- Γεμίζουμε το δοχείο με άμμο όπως περιγράφουμε παραπάνω και το ζυγίζουμε.
- Τοποθετούμε το δοχείο στο χαραγμένο περίγραμμα της χοάνης και ανοίγουμε την βαλβίδα. Κλείνουμε την βαλβίδα, όταν θα σταματήσει η πτώση από το δοχείο.
- Ζυγίζουμε πάλι το βάρος του δοχείου (με την παραμένουσα άμμο) και προσδιορίζουμε το βάρος της άμμου, που χρειάστηκε για να γεμίσει η ‘οπή’ ελέγχου W_8 .
- Ζυγίζουμε το δείγμα εδάφους που μετακινήσαμε. Αναδεύουμε το δείγμα με νερό και ζυγίζουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.
- Αποξηραίνουμε και ζυγίζουμε το δείγμα υγρασίας.

Βάρος άμμου που εισήλθε στην οπή δοκιμής W_9

$$W_9 = W_3 - (W_8 + W_6)$$

Βάρος ξηρού υλικού οπής δοκιμής

$$W_{10} = \frac{W_7}{W_{\text{υγρ}} + 100} * 100 \text{ (kg)}$$

Όγκος υλικού = όγκος άμμου που εισήλθε στην οπή δοκιμής

$$V_{\text{υλικού}} = V_{\text{άμμου}} = \frac{W_9}{\gamma_{\text{υλικού}}} \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Ξηρά πυκνότητα εδάφους } \gamma_d = \frac{W_{10}}{V_{\text{υλικού}}} \text{ kg/dm}^3$$

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΝΕΡΟΥ ΑΝΑΛΟΓΩΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ		
Θερμοκρασία		$\gamma_w = \frac{1}{k_w}$
°C	°F	$K_w = 1/\text{ειδικό βάρος}$
12	53,6	1,00048
14	57,2	1,00073
16	60,8	1,00103
18	64,4	1,00138
20	68,6	1,00177
22	71,6	1,00221
24	75,2	1,00268
26	78,8	1,00320
28	82,4	1,00375
30	86,0	1,00435
32	89,6	1,00497

Πίνακας 3.3

Μέγιστο μέγεθος σωματιδίου (mm)	Ελάχιστος όγκος οπής (lt)	Ελάχιστο βάρος δείγματος υγρασίας (gr)
4.75	0.700	100
15.50	1.400	250
25.00	2.100	500
50.00	2.800	1000
63.00	3.800	1500

Πίνακας 3.4



Σχήμα 3.36 Συσκευές



Σχήμα 3.37 Πειραματική διαδικασία

3.6.4 Έντυπο Δοκιμής Μεθόδου κώνου και άμμου

Προέλευση δείγματος :.....	Αριθμός δείγματος:.....
Γεώτρηση :..... Βάθος:..... Είδος:.....	αριθμός φύλλου:.....
	Έναρξης:.....
Χαρακτηρισμός εδάφους:.....	ημερομηνία
	Λήξης:.....

α/α	Περιγραφή μετρήσεων	MON	1	2	3
A	Βάρος κενής συσκευής				
B	Βάρος συσκευής + βάρος ύδατος				
Γ	Βάρος περιεχόμενου ύδατος ($\Gamma=B-A$)				
Δ	Όγκος συσκευής $V=\Delta=\Gamma \cdot K$				
E	Βάρος συσκευής + βάρος άμμου				
Z	Βάρος άμμου $Z=E-A$				
H	Φαινόμενο βάρος άμμου $H=Z/\Delta$				
Θ	Βάρος συσκευής + βάρος άμμου μετά την ανατροπή				
I	Βάρος άμμου χοάνης $I=E-\Theta$				
K	Βάρος εδαφικού δείγματος οπής				
Λ	Βάρος συσκευής+ βάρος άμμου που έμεινε				
M	Βάρος άμμου οπής $M=E-(\Lambda+I)$				
N	Βάρος υγρού δείγματος				
Ξ	Βάρος ξηρού δείγματος				
O	Περιεχόμενη υγρασία $O=((N-\Xi)/\Xi) \cdot 100\%$				
Π	Βάρος ξηρού δείγματος οπής $\Pi=(K/(O+100)) \cdot 100$				
P	Όγκος υλικού $P=M/H$				
Σ	Ξηρά πυκνότητα $\Sigma=\Pi/P$				

Κεφάλαιο 4

4 Αποτελέσματα Εργαστηριακών Δοκιμών

4.1 Στοιχεία Μελέτης Φράγματος

4.1.1 Στοιχεία μελέτης φράγματος για την Κοκκομετρική Ανάλυση

Τα παρακάτω αφορούν αποτελέσματα δοκιμής κατάταξης ερευνητικών φρεάτων.

Φρέατα	Ποσοστό λεπτόκοκκων (%) ($<100\mu\text{m}$)	Ποσοστό λεπτόκοκκων (%) κόσκινο No 200	Ποσοστό άμμου (%)	Ποσοστό χαλίκων (%)
Φ1	19.1	17.0	26.9	56.1
Φ2	12.3	10.9	28.5	60.6
Φ3	22.7	18.9	29.1	52.0
Φ4	20.8	19.0	28.1	52.9
Φ5	8.6	6.8	19.8	73.4
Μίγμα	20.0	18.2	22.7	59.1

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα δοκιμής κατάταξης ερευνητικών φρεάτων Φ1-Φ5

Τα υλικά που θα αναμιγνύονταν με τσιμέντο για την κατασκευή του ‘σκληρού’ επιχώματος πρέπει κατά προτίμηση να πληρούν τις εξής προδιαγραφές: Ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών ($<100\mu\text{m}$) $\leq 20\%$ Από τα εκτελεσθέντα φρέατα, το δείγμα του Φ3 έδωσε ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών ($<100\mu\text{m}$) $> 20\%$. Παρόλα αυτά, οι προαναφερθείσες αποκλίσεις δεν ήταν σημαντικές και εκτιμήθηκε ότι θα αναιρούνταν από την ανάμειξη με τα υπόλοιπα υλικά, στο μείγμα το οποίο αποφασίσθηκε να περιλαμβάνει όλα τα φρέατα. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τις δοκιμές κατάταξης στο μείγμα υλικών, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα (4.1).

Φυσικά χαρακτηριστικά	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
	Από	Έως			
Ποσοστό χαλικιών[%]	0.2	73.8	16	34.46	23.86
Ποσοστό άμμου[%]	10.2	63.9	16	28.61	16.41
Ποσοστό λεπτόκοκκων[%]	16	74.3	16	36.93	16.36
Ποσοστό ιλύος[%]	13.8	33.2	6	21.58	7.94
Ποσοστό αργίλου[%]	15.0	34.0	6	23.83	6.59

Πίνακας 4.2 Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης στη Γεωτεχνική Ενότητα I

4.1.2 Στοιχεία μελέτης Φράγματος για τα Όρια Atterberg

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της Ενότητας I όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν.

Φυσικά χαρακτηριστικά (%)	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
	Από	Έως			
Όριο Υδαρότητας (LL)	22	39	16	30,38	6,10
Όριο πλαστικότητας (PL)	14	18	16	15,94	1,29
Δείκτης πλαστικότητας (PI)	6	23	16	14,31	5,10

Πίνακας 4.3 Φυσικά χαρακτηριστικά Ενότητας I

Η Γεωτεχνική Ενότητα I αποτελείται από υλικά μεγάλης ποικιλομορφίας και ανομοιογένειας εξ αιτίας, συν των άλλων, και της διαφορετικής τους προέλευσης. Στα φυσικά πρηνή της κοιλάδας του Φιλιατρινού ποταμού, εμφανίζονται κυρίως τα υλικά αποσάθρωσης του υποκείμενου ιλυολίθου με τη μορφή αργιλωδών χαλίκων (GC). Στην περιοχή της κοίτης, υπερισχύουν υλικά ποταμοχειμάρριων αποθέσεων, ενώ εκατέρωθεν αυτής επικρατούν ως κάποιο βάθος πιο λεπτόκοκκα υλικά όπως αμμώδεις άργιλοι και ιλύες (SC-SM) και άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας (CL). Από κάποιο βάθος και μετά επικρατούν και εκεί τα προϊόντα της αποσάθρωσης του ιλυολίθου (GC-GM). Λόγω της ύπαρξης χαλίκων στα εδαφικά υλικά της Ενότητας I, δεν ήταν εφικτό να ληφθούν δείγματα για εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Εξάλλου, σχετικά γρήγορα κατά την εκτέλεση των

γεωτεχνικών ερευνητικών εργασιών έγινε φανερό ότι αποτελούν κατά κύριο λόγο αποσαθρώματα του υποκείμενου ιλυολίθου. Ως αποτέλεσμα αυτού και εξ' αιτίας του μικρού βάθους αυτών των αποσαθρωμάτων αλλά και των φερτών υλικών του ποταμού στην περιοχή της κοίτης, θεωρήθηκε ότι κατά τη θεμελίωση του φράγματος τα υλικά αυτά θα απομακρυνθούν και το έργο θα θεμελιωθεί στον υποκείμενο, λιγότερο διαπερατό βραχώδη σχηματισμό που απαντάται σε μικρό σχετικά βάθος σε όλο το μήκος του άξονα. Σε αυτό το συμπέρασμα οδηγούν και οι μέτριες μηχανικές ιδιότητες που αναμένεται να παρουσιάζουν τα επιφανειακά υλικά, η μεγάλη ανομοιογένεια και η υδροπερατότητά τους που κατά τόπους αναμένεται σημαντική.

Τα αδρανή (υλικά από φρέατα) που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του φράγματος από σκληρό επίχωμα, εξετάστηκαν σε δοκιμές πλαστικότητας (προσδιορισμού των ορίων Atterberg υδαρότητας LL, πλαστικότητας PL και του δείκτη πλαστικότητας PI). Τα αποτελέσματα των δοκιμών κατάταξης σε διαταραγμένα δείγματα από κάθε φρέαρ, παρουσιάζονται παρακάτω σε συγκεντρωτικό πίνακα.

Φρέατα	Όρια Atterberg (%)		
	LL	PL	PI
Φ1	23.7	17.0	6.7
Φ2	23.5	16.9	6.6
Φ3	25.8	17.0	8.8
Φ4	23.1	17.1	6.0
Φ5	25.4	15.4	10.0
μίγμα	24.5	16.7	7.8

Πίνακας 4.4 Αποτελέσματα δοκιμών κατάταξης ερευνητικών φρεάτων Φ1-Φ5

Τα υλικά που θα αναμιγνύονται με τσιμέντο για την κατασκευή του 'σκληρού' επιχώματος πρέπει κατά προτίμηση να πληρούν τις εξής προδιαγραφές:

- Ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών ($<100\mu\text{m}$) $\leq 20\%$
- Δείκτη πλαστικότητας $PI \leq 8$

Από τα εκτελεσθέντα φρέατα, το δείγμα του Φ3 έδωσε ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών ($<100\mu\text{m}$) $> 20\%$ και δείκτη πλαστικότητας $PI > 8$. Δείκτη πλαστικότητας $PI > 8$ έδωσε και το δείγμα του φρέατος Φ3. Παρόλα αυτά, οι προαναφερθείσες

αποκλίσεις δεν ήταν σημαντικές και εκτιμήθηκε ότι θα αναιρούνται από την ανάμειξη με τα υπόλοιπα υλικά ,στο μείγμα το οποίο αποφασίστηκε να περιλαμβάνει όλα τα φρέατα. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τις δοκιμές κατάταξης στο μείγμα υλικών, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα.

4.1.3 Στοιχεία Μελέτης Φράγματος για τη μέθοδο Proctor

Η ελάχιστη αναλογία τσιμέντου που έχει καθοριστεί από την εγκεκριμένη μελέτη είναι 70 Kg/m^3 . Η ελάχιστη αναλογία τσιμέντου θα καθοριστεί από τις εργαστηριακές δοκιμές συνθέσεως που γίνονται στην φάση της μελέτης εφαρμογής. Σε κάθε περίπτωση η ελάχιστη αναλογία τσιμέντου δεν μπορεί να είναι μικρότερη από 50 Kg/m^3 .

Μετά από δοκιμή Proctor, η σχέση της ξηρής φαινόμενης πυκνότητας με την φυσική υγρασία $\gamma_{\text{dry}} = f(w)$, με την w να παίρνει τιμές στο εύρος 5%-15%. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής και συγκεκριμένα τη γραφική απεικόνιση της σχέσης $\gamma_{\text{dry}} = f(w)$, εξήχθη η βέλτιστη υγρασία w_{optimum} και η μέγιστη τιμή της ξηρής φαινόμενης πυκνότητας γ_{drymax} , από την κορυφή της αντίστοιχης καμπύλης.

Ο παρακάτω πίνακας είναι αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα υλικά των φρεάτων Φ1- Φ5.

Αποτελέσματα δοκιμών συμπίκνωσης Proctor		Αναλογία τσιμέντου σε μίγματα εδάφους-τσιμέντου		
		50kg/m^3	70kg/m^3	90kg/m^3
$W_{\text{optimum}} [\%]$		11,92	12,74	12,72
$\gamma_{\text{drymax}} [\text{Kn/m}^3]$		19,12	19,03	18,92

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών στα Φ1 – Φ5

4.1.4 Στοιχεία μελέτης Φράγματος για την Μονοαξονική θλίψη

Δοκιμή	Παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη	σ_c [MN/m ²]	0.28	7.33	14	2.50	2.22

Πίνακας 4.6 Μηχανικά χαρακτηριστικά Ενότητας II

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα 14 δοκιμών αντοχής σε Μονοαξονική Θλίψη που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα ιλυολίθου με κυμαινόμενο ποσοστό ψαμμίτη σε ενστρώσεις μέσα στη μάζα του ιλυολίθου. Τα αποτελέσματα ελήφθησαν υπόψη για τον προσδιορισμό της αντοχής του ‘άθικτου’ (χωρίς ασυνέχειες και ασθενείς ζώνες) πετρώματος. Δύο δοκιμές που εκτελέστηκαν σε μη αντιπροσωπευτικά δοκίμια πιο καθαρού ψαμμίτη έδωσαν συγκριτικά πολύ υψηλές τιμές αντοχής (104.48 και 20.94 MPa) και δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση όπως επίσης και τέσσερις πολύ χαμηλές τιμές (0.07, 0.20, 0.20, και 0.25 MPa) σε δείγματα ιλυολίθου που αστόχησαν κατά μήκος προϋπάρχουσας ασθενούς επιφάνειας ιζηματογένεσης. Με βάση τα συγκεντρωμένα εργαστηριακά αποτελέσματα του πίνακα ως αντιπροσωπευτική τιμή της μονοαξονικής αντοχής του πετρώματος της Ενότητας II για το συγκεκριμένο βαθμό αποσάθρωσης, θεωρείται η τιμή $\sigma_c = 3.0$ MPa. Η τιμή αυτή που θεωρήθηκε ως η μονοαξονική αντοχή της Ενότητας είναι ελαφρώς μεγαλύτερη από το μέσο όρο των εργαστηριακών αποτελεσμάτων (2.5 MPa). Η μικρή αύξηση δικαιολογείται λόγω της διαταραχής που θεωρείται ότι θα προκάλεσε το κοπτικό μηχάνημα με χρήση νερού στα πιο μαλακά και ευαίσθητα δείγματα ή στη διαταραχή λόγω μεταφοράς και μικρής έστω απώλειας της φυσικής υγρασίας πριν τη θραύση στο εργαστήριο. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται οι τιμές Μονοαξονικής αντοχής για κάθε γεώτρηση σε σχέση με το βάθος από την κεφαλή της γεώτρησης αλλά και το απόλυτο βάθος. Από τα διαγράμματα αυτά δεν φάνηκε κάποια σχέση της μονοαξονικής αντοχής σ_c ‘άθικτων’ δοκιμίων του σχηματισμού με το σχετικό ή απόλυτο βάθος. Πιο σημαντική από το βάθος παράμετρος μεταβολής της σ_c , είναι η εναλλαγή των περιεχομένων ποσοστών ψαμμίτη μέσα στη μάζα του ιλυολίθου, που θεωρείται ότι κυριαρχεί όσον αφορά τη μηχανική συμπεριφορά

και αντοχή των δειγμάτων του σχηματισμού που δοκιμάσθηκαν στο εργαστήριο.

Δοκιμή	Παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη	σ_c [MN/m ²]	0.16	23.02	51	5.34	4.48

Πίνακας 4.7 Μηχανικά χαρακτηριστικά Ενότητας III

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα πραγματοποιήθηκαν 51 δοκιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, που έδωσαν μέση τιμή $\sigma_c = 5.34$ MPa. Έτσι επιλέγεται ως αντιπροσωπευτική τιμή της αντοχής της ενότητας III, η τιμή $\sigma_c = 5$ MPa. Όμοια με την Ενότητα II, δοκιμές σε ορισμένα δείγματα δεν θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές της αντοχής της βραχόμαζας και τα αποτελέσματά τους δεν έχουν συμπεριληφθεί στον παραπάνω πίνακα. Αυτές οι δοκιμές (αντοχής σε μονοαξονική θλίψη) περιλαμβάνουν τέσσερις (4) σε ψαμμιτικά δείγματα (αντοχή 116.4, 81.9, 133.9 και 103.5 MPa) και επτά (7) με χαμηλές τιμές αντοχής (1.02, 1.29, 1.04, 2.29, 0.25, 0.49 και 0.77 MPa) σε δείγματα ιλυολίθου που αστόχησαν σε στρώση ίζηματογένεσης. Σε έξι από τις εκτελεσθείσες δοκιμές μονοαξονικής αντοχής τοποθετήθηκαν ηλεκτρικά μηκυνσιόμετρα για πιο ακριβή μέτρηση των αξονικών και περιφερειακών παραμορφώσεων.

ΦΡΑΙ ΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ													ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΛΑΦΟΥΣ ΒΑΣΕΙ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΟΥ ΘΑΛΠΣΕΩΣ												
ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΤΗΣ																									
Υπολογισμός βάσει διατμητικής αντοχής στην επιφάνεια θραύσεως κατά ΜΟΗΡ-ΚΟΥΛΟΜΒ																									
ΓΕΩΤΡΩΑΘΟΣ	ρ	θ	sinθ	cosθ	d	a	b	F	F _θ	Rc	φ= 20	φ= 24	φ= 28	φ= 30	πιν1										
m	Kn	(ο)	mm	mm	m	m	m	m ²	m ²	kPa	c	c	c	c											
Γ-3	11,50	6,30	14	0,242	0,970	82,88	0,171295	0,04144	0,005395	0,0223	408,8	249,2	243,7	350,8	337,1	234,7									
	18,20	11,90	40	0,643	0,766	83,13	0,064664	0,041565	0,005428	0,00844	2192,5	749,9	676,3	658,7	597,9	556,6									
	21,40	8,40	30	0,500	0,866	82,90	0,0829	0,04145	0,005398	0,0108	1556,3	544,9	532,3	505,3	467,0	449,3									
	22,70	11,90	13	0,225	0,974	83,25	0,18504	0,041625	0,005443	0,0242	2186,2	709,9	429,9	656,8	420,4	415,3									
	23,50	9,80	35	0,574	0,819	82,76	0,072144	0,04138	0,005379	0,00938	1821,8	637,8	589,1	547,3	537,3	509,9									
	27,00	4,20	20	0,342	0,940	82,90	0,121192	0,04145	0,005398	0,01578	778,1	272,4	209,6	233,8	201,7	197,5									
	31,80	7,00	29	0,485	0,875	83,07	0,085673	0,041535	0,00542	0,01118	1291,6	452,2	412,5	388,0	386,2	372,4									
	35,60	7,00	31	0,515	0,857	83,16	0,080732	0,04158	0,005431	0,01055	1417,7	496,3	458,4	425,9	425,9	408,7									
	37,70	5,60	19	0,326	0,946	82,83	0,127208	0,041415	0,005388	0,01655	1039,3	363,8	270,9	312,2	261,3	256,3									
Γ-4	6,80	18,10	35	0,574	0,819	83,70	0,072963	0,04185	0,005502	0,00959	3289,6	1151,7	1063,7	988,3	970,2	949,6									
	8,30	115,10	15	0,259	0,966	82,93	0,160208	0,041465	0,005401	0,02087	21309,0	7460,3	4807,7	6401,9	4568,3	4503,1									
	12,20	31,40	5	0,087	0,966	83,51	0,479085	0,041755	0,005477	0,06285	5732,7	2007,1	481,9	1861,4	474,6	1654,9									
	30,20	58,00	20	0,174	0,985	83,66	0,240889	0,04183	0,005497	0,03166	10551,2	3694,0	1688,6	3426,0	1662,7	3169,9									
	32,90	3,50	29	0,485	0,875	83,50	0,086116	0,04175	0,005476	0,0113	639,2	223,8	204,1	192,0	191,1	184,5									
	34,90	18,10	28	0,469	0,883	83,49	0,088919	0,041745	0,005475	0,01166	3306,1	1157,5	1046,0	993,3	983,0	954,4									
	37,90	27,90	15	0,259	0,966	83,44	0,161194	0,04172	0,005468	0,02113	5102,3	1786,3	1123,4	1532,9	1093,8	1472,9									
Γ-7	11,60	2,60	28	0,469	0,883	84,33	0,090	0,042165	0,005585	0,0119	465,5	163,0	147,3	139,9	138,4	133,7									
	15,20	1,60	45	0,707	0,707	84,91	0,060	0,042455	0,005662	0,00801	282,6	98,9	78,4	84,9	66,2	59,7									
Γ-8	6,90	2,80	34	0,559	0,829	83,13	0,07433	0,041565	0,005428	0,00971	515,9	180,6	167,5	155,0	153,4	148,9									
	15,20	0,90	40	0,643	0,766	84,52	0,065745	0,04226	0,005611	0,00873	160,4	56,2	49,5	48,2	43,7	40,7									
	19,00	25,10	10	0,174	0,985	83,62	0,240774	0,04181	0,005492	0,03163	4570,5	1600,1	731,4	1484,1	708,3	1319,4									
Γ-9	5,50	25,10	10	0,174	0,985	83,98	0,241811	0,04199	0,005539	0,0319	4531,4	1586,5	725,2	1471,4	702,3	1308,1									
	8,00	25,10	5	0,087	0,996	83,82	0,480863	0,04191	0,005518	0,06331	4548,7	1592,5	382,4	1477,0	376,6	1313,1									
	9,80	5,60	39	0,629	0,777	84,08	0,066802	0,042	0,005552	0,00882	1008,6	353,1	347,9	327,5	280,9	291,2									
	11,00	10,50	45	0,707	0,707	83,95	0,059362	0,042	0,005535	0,00783	1897,0	664,1	603,3	615,9	526,2	547,6									
	12,80	9,80	45	0,707	0,707	84,13	0,059489	0,042065	0,005559	0,00786	1762,9	617,2	560,6	572,4	489,0	508,9									
Γ-10	8,00	11,20	28	0,469	0,883	82,92	0,088312	0,04146	0,0054	0,0115	2074,0	726,1	693,3	673,4	616,7	598,7									
	11,10	2,80	20	0,342	0,940	83,19	0,121616	0,041595	0,005435	0,01589	515,1	180,4	143,6	167,3	138,7	148,7									
	11,60	9,10	18	0,309	0,951	82,91	0,134151	0,041455	0,005399	0,01747	1685,5	590,1	436,8	547,3	506,4	486,6									
	13,60	2,60	30	0,500	0,866	82,47	0,08247	0,041235	0,005342	0,01068	486,7	170,4	166,5	158,0	146,2	140,5									
	17,50	4,20	22	0,375	0,927	82,90	0,110649	0,04145	0,005398	0,01441	778,1	272,4	221,6	233,8	224,6	207,2									
	18,50	14,00	16	0,276	0,961	83,01	0,150578	0,041505	0,005412	0,01963	2586,9	905,7	613,9	840,0	597,9	746,8									
	19,10	15,40	12	0,208	0,978	83,00	0,200	0,0415	0,005411	0,02602	2846,3	996,5	534,1	924,2	513,4	507,8									
ΑΓΡΟΣΙΜΑ											94097,5	32943,7	21284,0	30553,6	20366,9	19391,1	27163,5	18875,8							
Μ.Ο.											2851,4	998,3	645,0	856,7	617,2	856,7	823,1	572,0							

Πίνακας 4.8

ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ		ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΒΑΣΕΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ													
ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΟΙΤΗΣ		Υπολογισμός βάσει θραύσεως του δοκίμιου υπό ανεμπόδιστη θλίψη													
ΓΕΩΤΡ/ΒΑΘΟΣ	P	θ	sinθ	cosθ	d	a	b	F	F _θ	Rc	φ	C	tanφ		
m	kN	(ο)			mm	m	m	m ²	m ²	kPa	Deg	kPa			
Γ-3	11,50	6,30	14	0,242	0,97	82,88	0,1713	0,0414	0,00539	1167,8	62	145,6	1,8807		
	18,20	11,90	40	0,643	0,766	83,13	0,0647	0,0416	0,00543	2192,5	10	919,9	0,1763		
	21,40	8,40	30	0,500	0,866	82,90	0,0829	0,0415	0,00540	1556,3	30	449,3	0,5774		
	22,70	11,90	13	0,225	0,974	83,25	0,1850	0,0416	0,00544	2186,2	64	252,4	2,0503		
	23,50	9,80	35	0,574	0,819	82,76	0,0721	0,0414	0,00538	1821,8	20	637,8	0,3640		
	27,00	4,20	20	0,342	0,94	82,90	0,1212	0,0415	0,00540	778,1	50	141,6	1,1918		
	31,80	7,00	29	0,485	0,875	83,07	0,0857	0,0415	0,00542	1291,6	32	358	0,6249		
	35,60	7,70	31	0,515	0,857	83,16	0,0807	0,0416	0,00543	1417,7	28	425,9	0,5317		
	37,70	5,60	19	0,326	0,946	82,83	0,1272	0,0414	0,00538	1039,3	52	178,9	1,2799		
Γ-4	6,80	18,10	35	0,574	0,819	83,70	0,0730	0,0419	0,00550	3289,6	20	1151,7	0,3640		
	12,20	31,40	5	0,087	0,996	83,51	0,4791	0,0418	0,00548	5732,7	80	250,8	5,6713		
	30,20	58,00	10	0,174	0,985	83,66	0,2409	0,0418	0,00550	10551,2	70	930,2	2,7475		
	32,90	3,50	29	0,485	0,875	83,50	0,0861	0,0418	0,00548	639,2	32	177,1	0,6249		
	34,90	18,10	28	0,469	0,883	83,49	0,0889	0,0417	0,00547	3306,1	34	878,9	0,6745		
	37,90	27,90	15	0,259	0,966	83,44	0,1612	0,0417	0,00547	5102,3	60	683,6	1,7321		
Γ-7	11,60	2,60	28	0,469	0,883	84,33	0,0900	0,0422	0,00559	465,5	34	123,8	0,6745		
	15,20	1,60	45	0,707	0,707	84,91	0,0600	0,0425	0,00566	282,6	0	141,3	0,0000		
Γ-8	6,90	2,80	34	0,559	0,829	83,13	0,0743	0,0416	0,00543	515,9	22	174	0,4040		
	15,20	0,90	40	0,643	0,766	84,52	0,0657	0,0423	0,00561	160,4	10	67,3	0,1763		
	19,00	25,10	10	0,174	0,985	83,62	0,2408	0,0418	0,00549	4570,5	70	403	2,7475		
Γ-9	5,50	25,10	10	0,174	0,985	83,98	0,2418	0,0420	0,00554	4531,4	70	399,5	2,7475		
	8,00	25,10	5	0,087	0,996	83,82	0,4809	0,4190	0,00552	4548,7	80	199	5,6713		
	9,80	5,60	39	0,629	0,777	84,08	0,0668	0,0420	0,00555	1008,6	12	408,4	0,2126		
	11,00	10,50	45	0,707	0,707	83,95	0,0594	0,0420	0,00554	1897,0	0	948,5	0,0000		
	12,80	9,80	45	0,707	0,707	84,13	0,0595	0,0421	0,00556	1762,9	0	881,5	0,0000		
Γ-10	8,00	11,20	28	0,469	0,883	82,92	0,0883	0,0415	0,00540	2074,0	34	551,4	0,6745		
	11,10	2,80	20	0,342	0,94	83,19	0,1216	0,0416	0,00544	515,1	50	93,7	1,1918		
	11,60	9,10	18	0,309	0,951	82,91	0,1342	0,0415	0,00540	1685,5	54	273,8	1,3764		
	13,60	2,60	30	0,5	0,866	82,47	0,0825	0,0412	0,00534	486,7	30	140,5	0,5774		
	17,50	4,20	22	0,375	0,927	82,90	0,1106	0,0415	0,00540	778,1	46	157,2	1,0355		
	18,50	14,00	16	0,276	0,961	83,01	0,1506	0,0415	0,00541	2586,9	58	370,9	1,6003		
	19,10	15,40	12	0,208	0,978	83,00	0,2000	0,0415	0,00541	2846,3	66	302,5	2,2460		
ΑΓΡΟΙΣΜΑ										72788,5	1280	13218	41,8269		
Μ.Ο											40	413,0625	1,3071		

Πίνακας 4.9

Ερευνητικά φρέατα Φ1 – Φ5

Σε δοκίμια από τα μείγματα εδάφους – τσιμέντου εκτελέσθηκαν δοκιμές για τον υπολογισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Συγκεκριμένα κατόπιν συμπυκνώσεως σε τιμές ξηρής φαινόμενης πυκνότητας και φυσικής υγρασίας κατασκευάσθηκαν κυλινδρικά δοκίμια στη μήτρα του Proctor, τα οποία εισήχθησαν στον υγρό θάλαμο για παραμονή 7 και 28 ημερών αντίστοιχα. Κατόπιν παραμονής στον υγρό θάλαμο το αντίστοιχο χρονικό διάστημα, τα δοκίμια δοκιμάσθηκαν σε δοκιμές θραύσης (μονοαξονική θλίψη). Από καθεμία από αυτές τις δοκιμές υπολογίσθηκε η μέγιστη αντοχή σε μονοαξονική θλίψη. Σε κάποιες δοκιμές στις οποίες είχαν τοποθετηθεί, πάνω στο δοκίμιο, ηλεκτρικά μηχανοσκόπια υπολογίσθηκε επίσης το μέτρο ελαστικότητας του Young (E_{Young}) και ο λόγος Poisson (ν). Με την χρήση των ηλεκτρικών μηχανοσκόπων κατέστη δυνατή η μέτρηση των κατακόρυφων παραμορφώσεων στα δοκίμια, κατά την διάρκεια των δοκιμών, με μεγαλύτερη ακρίβεια με αποτέλεσμα και την πιο ακριβή εκτίμηση των E_{Young} και ν . Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες. Από τα αποτελέσματα είναι εμφανές ότι με την αύξηση της αναλογίας του τσιμέντου στο μίγμα, αυξάνουν, όπως ήταν αναμενόμενο, οι τιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη.

Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε δοκίμια παραμονής στον υγρό θάλαμο 7 ημερών.

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	2.46	3.45	3	2.81	0.56
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ϵ [%]	0.78	3.09	3	1.83	1.17
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0.60	0.60	1	0.600	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0.25	0.25	1	0.250	-

Πίνακας 4.11 Αναλογία τσιμέντου 50kg/m³

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	2.77	3.88	3	3.33	0.56
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ϵ [%]	1.36	3.04	3	2.24	0.84
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0.34	0.34	1	0.340	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0.32	0.32	1	0.319	-

Πίνακας 4.12 Αναλογία τσιμέντου 70kg/m³

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	3.80	4.57	3	4.13	0.40
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ϵ [%]	0.98	2.13	3	1.50	0.58
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0.50	0.50	1	0.500	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0.28	0.28	1	0.278	-

Πίνακας 4.13 Αναλογία τσιμέντου 90kg/m³

*διορθωμένη αντοχή σ_c . Η διόρθωση πραγματοποιείται για το λόγο ύψους προς διαμέτρου του εκάστοτε δοκιμίου που παρασκευάζεται στη δοκιμή Proctor.

Αποτελέσματα δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σε δοκίμια παραμονής στον υγρό θάλαμο 28 ημερών.

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	3,72	4,40	3	3,99	0,36
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ε [%]	0,65	0,91	3	0,78	0,13
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0,58	0,58	1	0,577	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0,33	0,33	1	0,330	-

Πίνακας 4.14 Αναλογία τσιμέντου 50kg/m³

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	4,64	5,27	3	4,96	0,32
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ε [%]	0,87	1,09	3	1,00	0,11
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0,55	0,55	1	0,550	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0,16	0,16	1	0,162	-

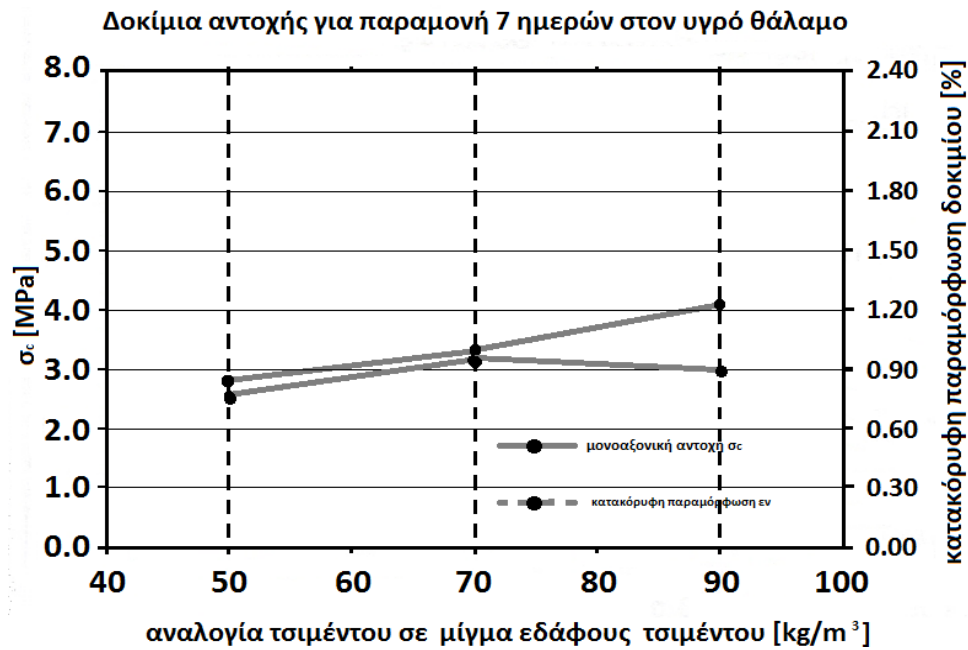
Πίνακας 4.15 Αναλογία τσιμέντου 70kg/m³

Δοκιμή	παράμετρος	Διακύμανση τιμής		Πλήθος τιμών	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη	σ_c [MN/m ²]	5,12	6,04	3	5,49	0,48
Κατακόρυφη παραμόρφωση	ε [%]	0,91	1,31	3	1,11	0,20
Μέτρο ελαστικότητας	E_{Young} [GPa]	0,63	0,63	1	0,625	-
Λόγος Poisson	ν [-]	0,26	0,26	1	0,263	-

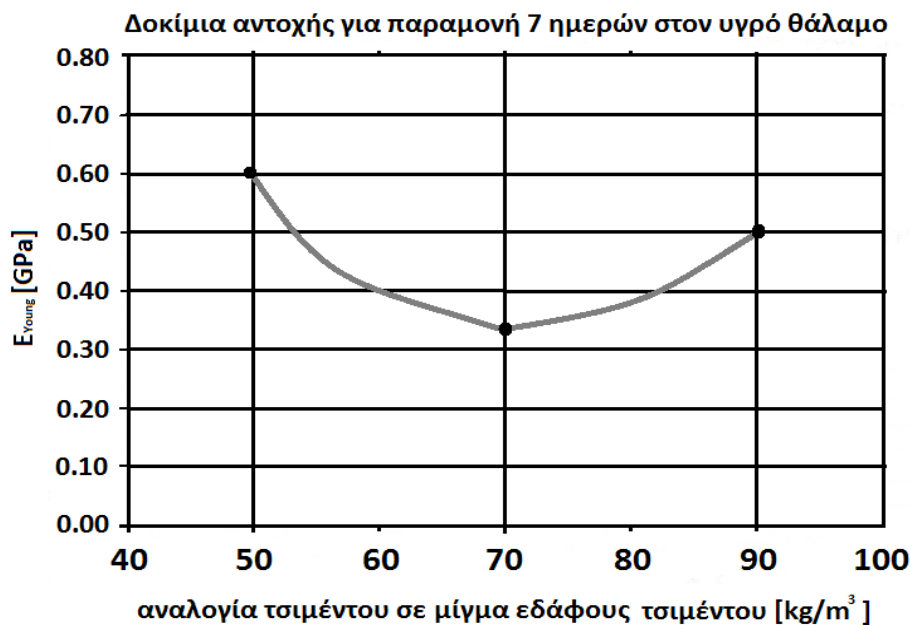
Πίνακας 4.16 Αναλογία τσιμέντου 90kg/m³

*διορθωμένη αντοχή σ_c . Η διόρθωση πραγματοποιείται για το λόγο ύψους προς διαμέτρου του εκάστοτε δοκιμίου που παρασκευάζεται στη δοκιμή Proctor.

Η επίδραση της αναλογίας του τσιμέντου στα μηχανικά χαρακτηριστικά του μίγματος εδάφους – τσιμέντου παρουσιάζεται σχηματικά στα παρακάτω σχήματα όπου δίνεται η μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη σ_c , η κατακόρυφη παραμόρφωση από τα όργανα μέτρησης και καταπόνησης, και το μέτρο ελαστικότητας που προκύπτει.

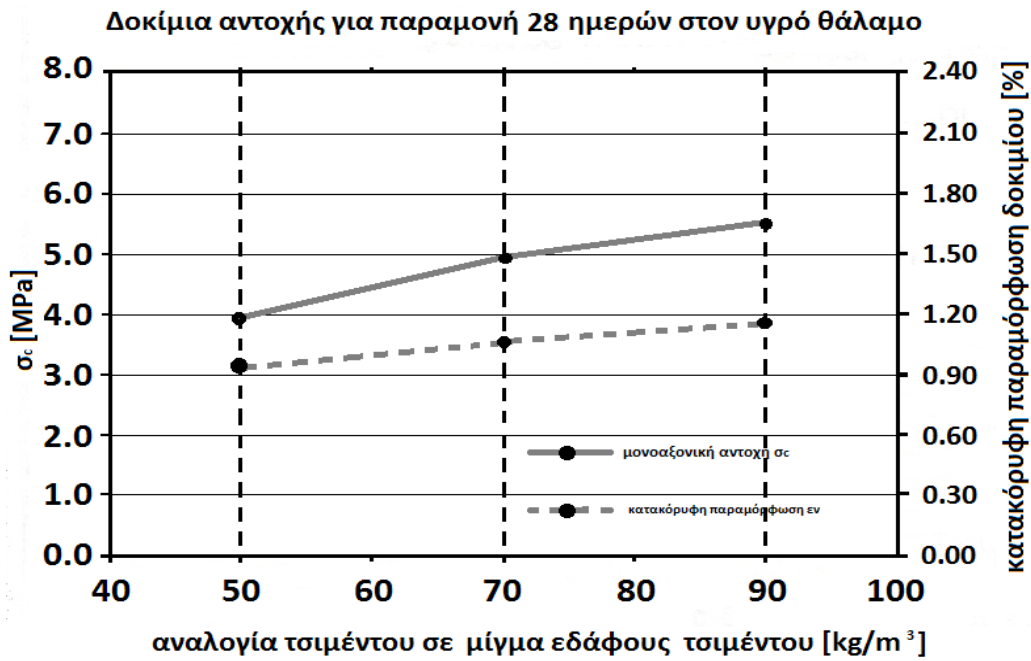


Σχήμα 4.1

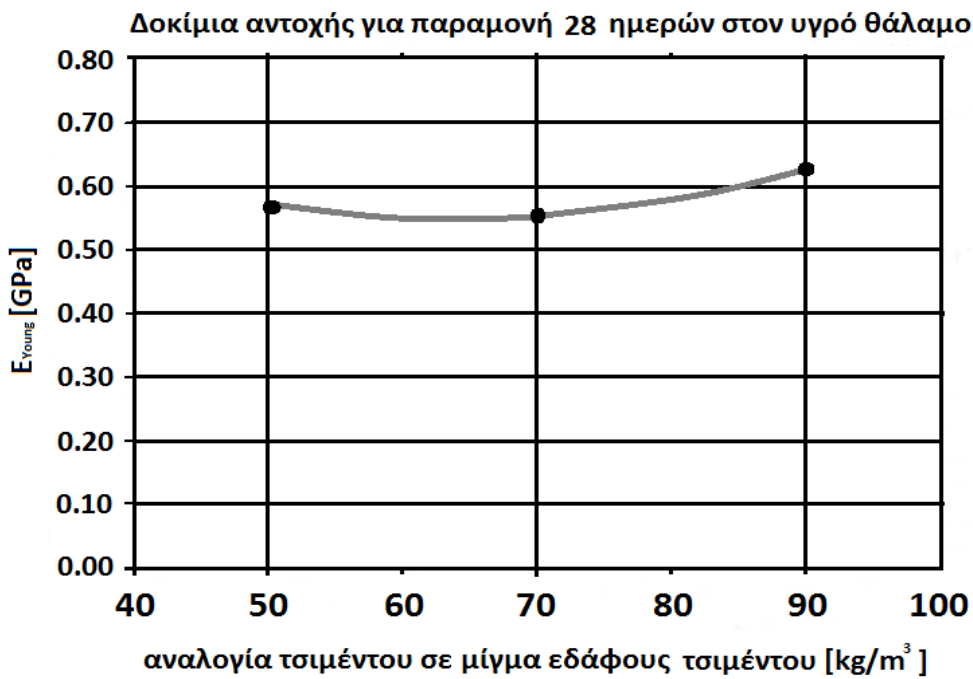


Σχήμα 4.2

Σχήματα 4.1,4.2: Διακύμανση της μονοαξονικής αντοχής, της κατακόρυφης παραμόρφωσης και του μέτρου ελαστικότητας του Young σε δοκίμια 7 ημερών



Σχήμα 4.3

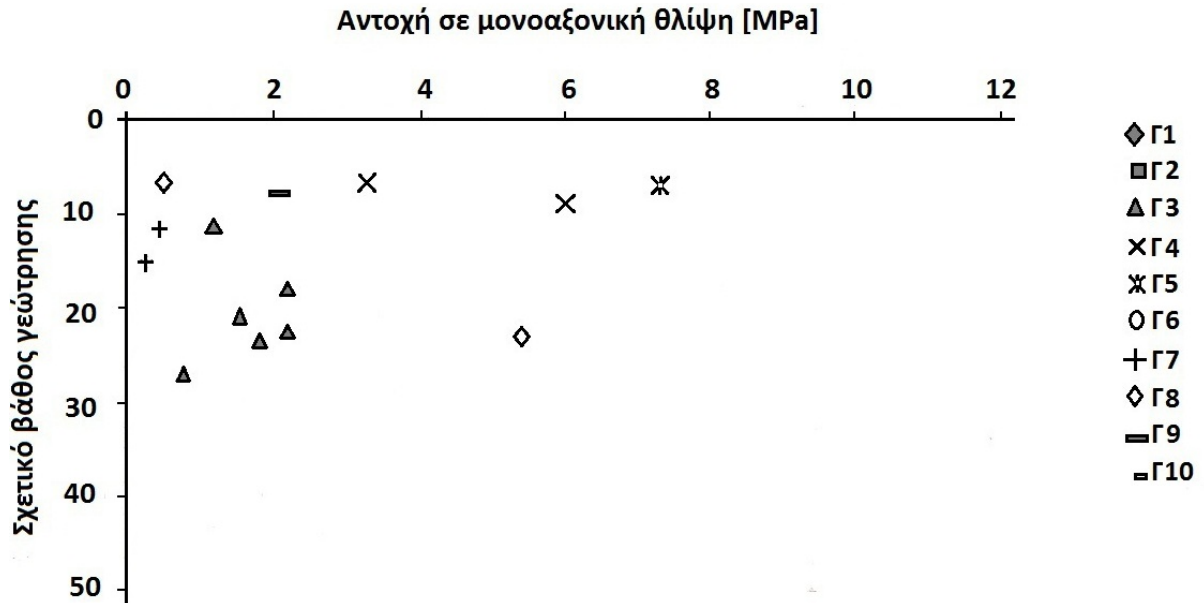


Σχήμα 4.4

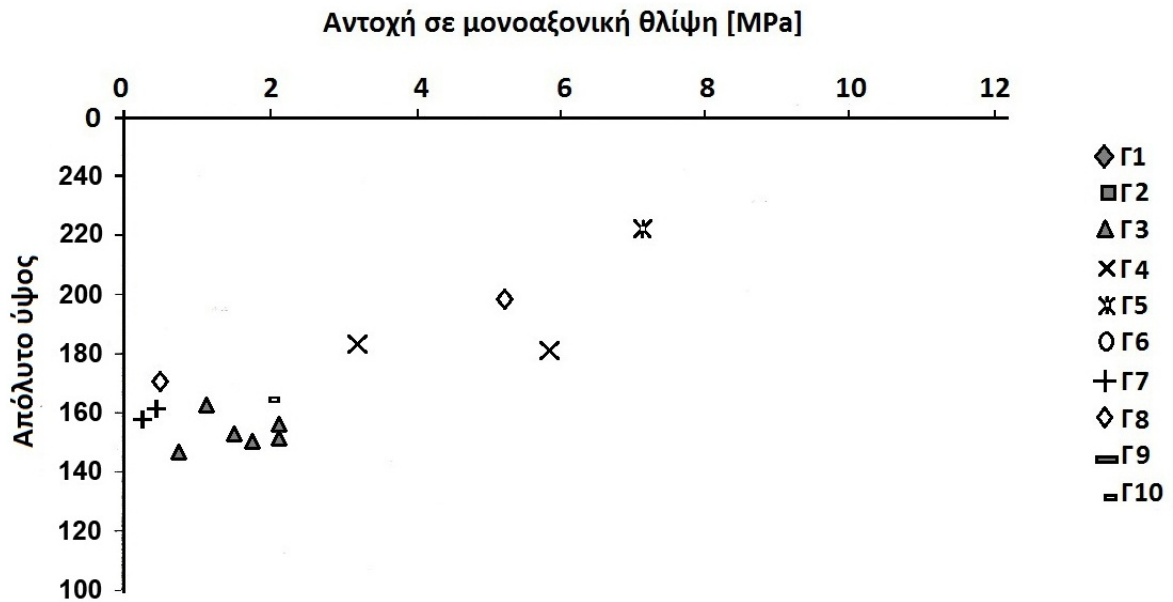
Σχήματα 4.3,4.4 : Διακύμανση της μονοαξονικής αντοχής, της κατακόρυφης παραμόρφωσης και του μέτρου ελαστικότητας του Young σε δοκίμια 28 ημερών

Διαγράμματα μονοαξονικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας

Γεωτεχνική Ενότητα II



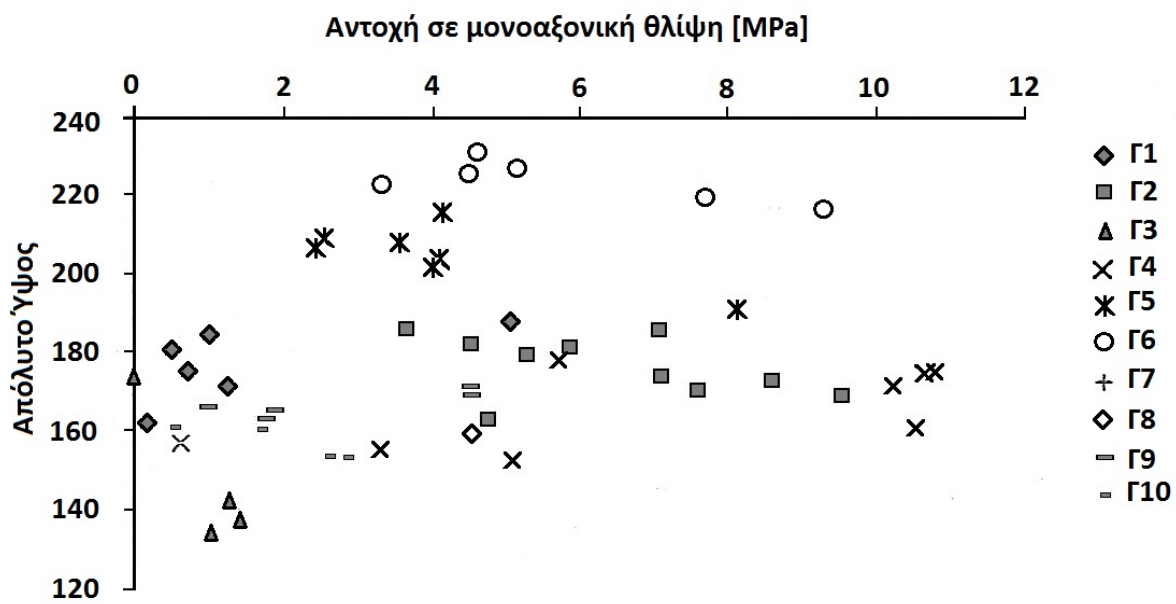
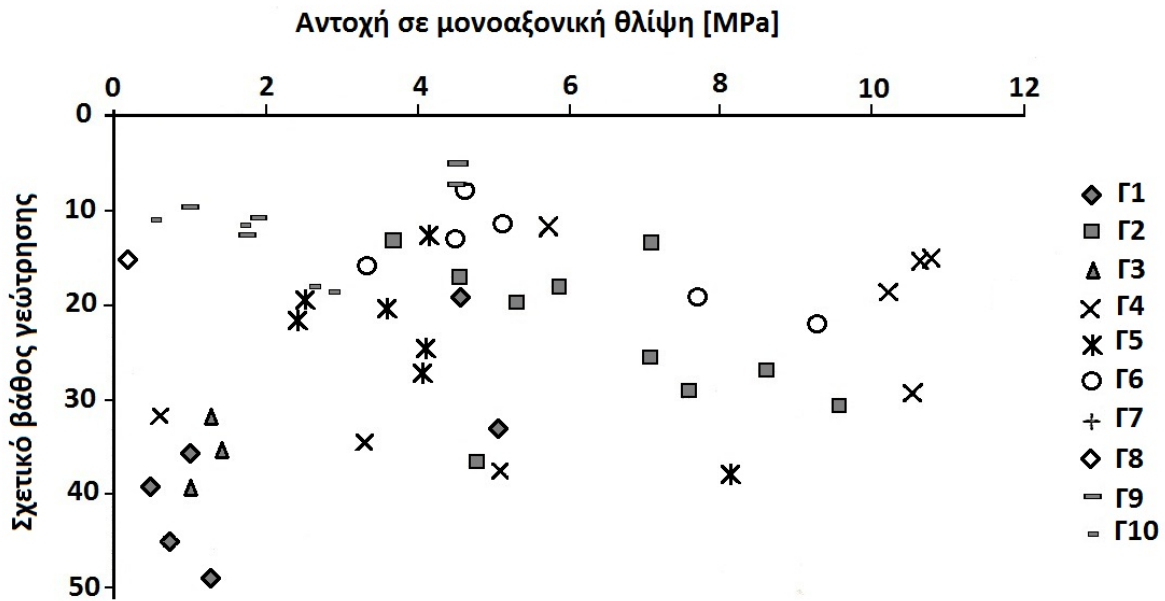
Σχήμα 4.5



Σχήμα 4.6

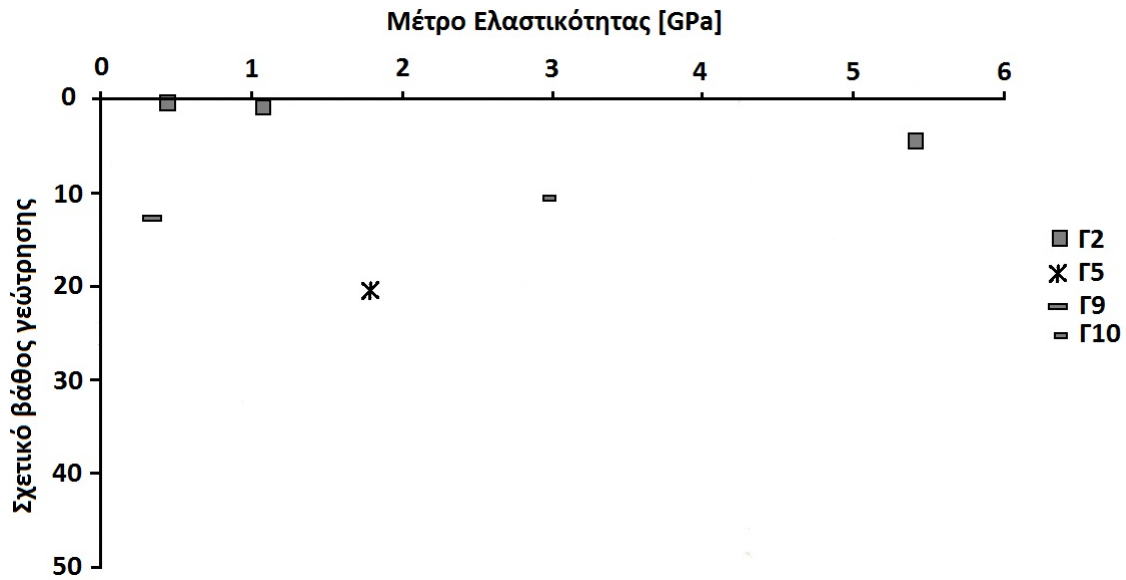
Διαγράμματα μονοαξονικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας

Γεωτεχνική Ενότητα III

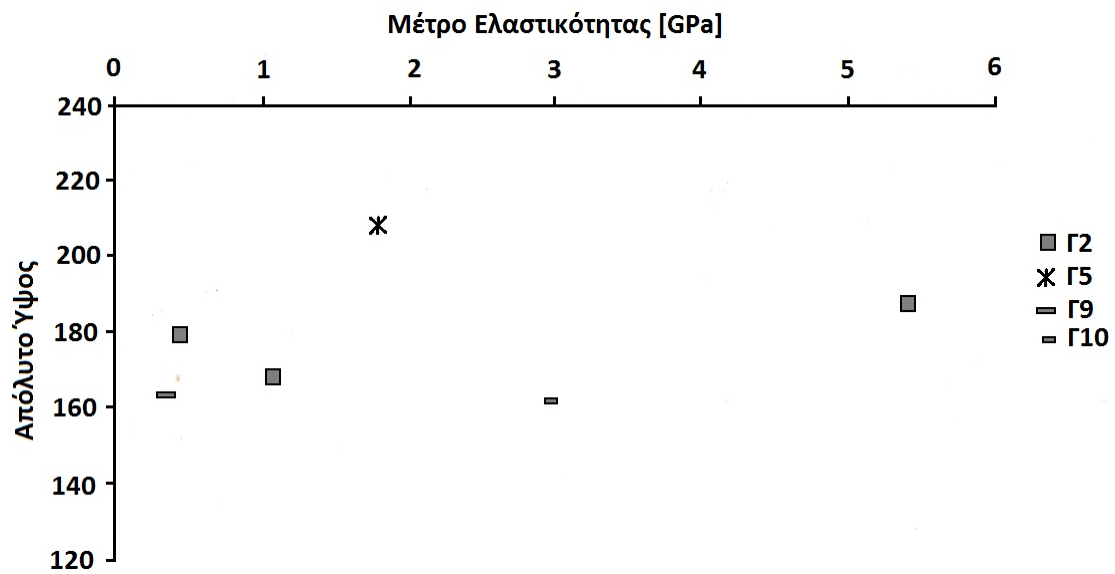


Διαγράμματα μονοαξονικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας

Γεωτεχνική Ενότητα III



Σχήμα 4.9



Σχήμα 4.10

4.2 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος

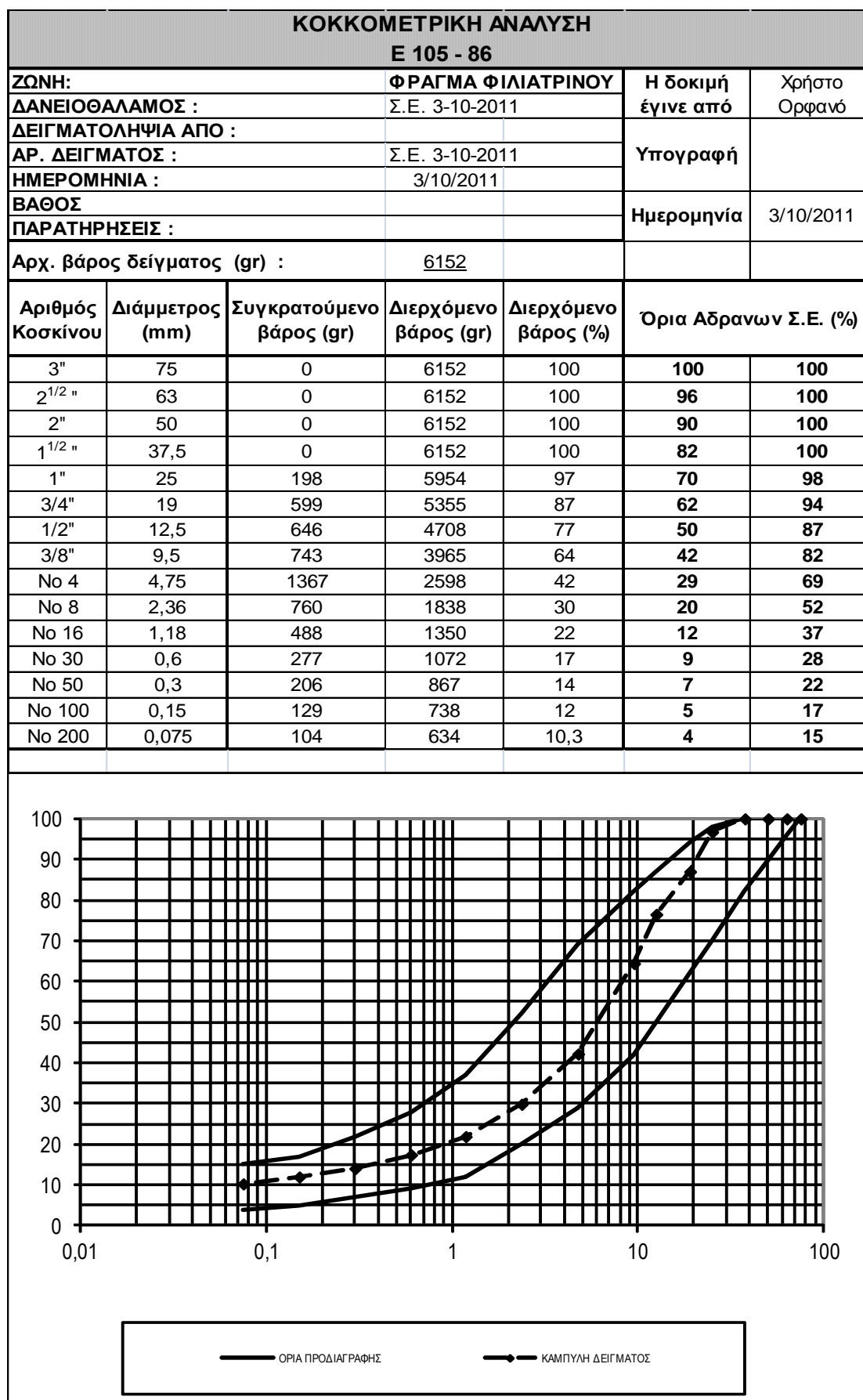
4.2.1 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για το Ειδικό Βάρος

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ
ΑΔΡΑΝΩΝ (Ε105-86)

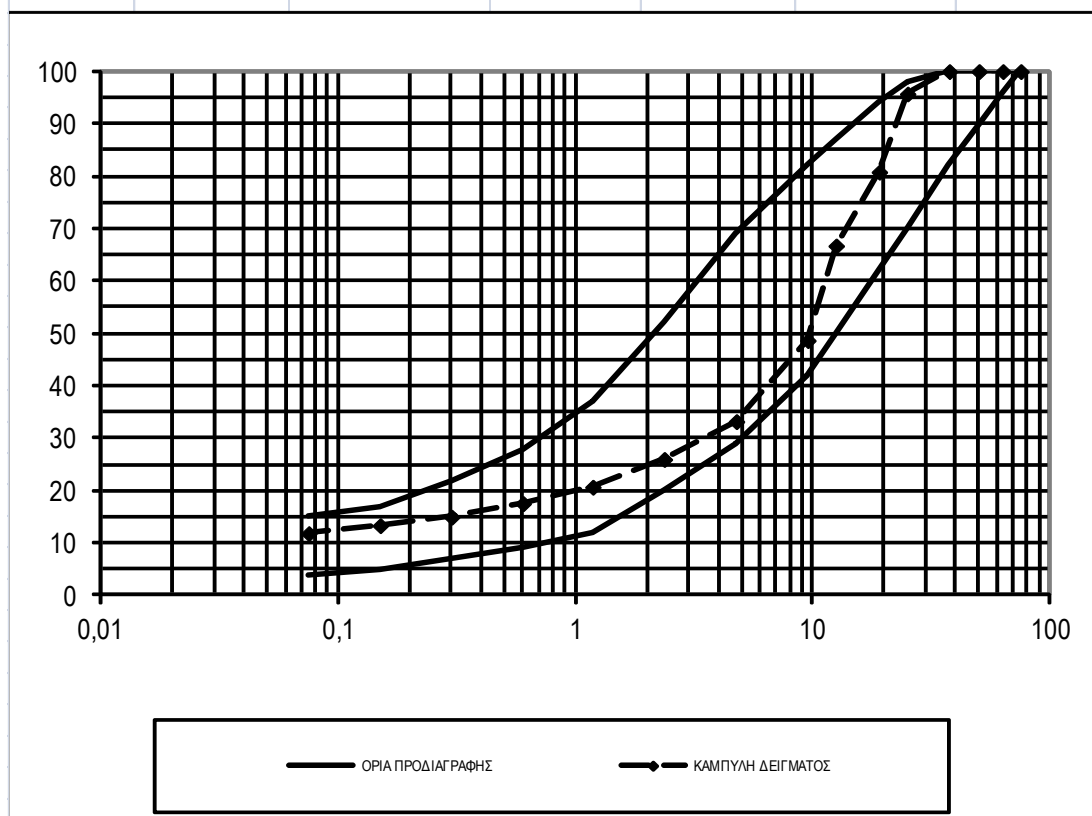
ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΟΥ:	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 24-10-2011
ΑΡ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ:	ΥΛΙΚΟ: Λατομείο φιλιατρών
A. Βάρος κορεσμένου επιφανειακά ξηρού δείγματος στον αέρα (gr)	1057
B. Βάρος ξηραθέντος στο φούρνο δείγματος (gr)	1047
Γ. Βάρος κορεσμένου επιφανειακά ξηρού δείγματος στο νερό (gr)	660
ΕΙΔΙΚΑ ΒΑΡΗ	
A. Μικτό Ειδικό Βάρος ξηραθέντος στο φούρνο δείγματος B/(A-Γ)	2,64
B. Μικτό Ειδικό Βάρος κορεσμένου και επιφανειακά ξηρού δείγματος (A/(A-Γ))	2,66
Γ. Φαινόμενο Ειδικό Βάρος	2,71
ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	%
Δ. Υδατοαπορροφηση (A-B)*100/B	1,0
Η ΔΟΚΙΜΗ ΕΓΙΝΕ ΑΠΟ:	ΥΠΟΓΡΑΦΗ
Παρατηρήσεις:	
.....	
.....	
.....	

4.2.2 Στοιχεία κατασκευής φράγματος για την Κοκκομετρική Ανάλυση



ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ						
Ε 105 - 86						
ΖΩΝΗ:		ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ			Η δοκιμή έγινε από	Χρήστο Ορφανό
ΔΑΝΕΙΟΘΑΛΑΜΟΣ :					Υπογραφή	
ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΠΟ :		ΣΚΛΗΡΟ ΕΠΙΧΩΜΑ				
ΑΡ. ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ :		Σ.Ε. 5-10-2011				
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :		5/10/2011			Ημερομηνία	5/10/2011
ΒΑΘΟΣ						
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :						
Αρχ. βάρος δείγματος (gr) :		5125				
Αριθμός Κοσκίνου	Διάμετρος (mm)	Συγκρατούμενο βάρος (gr)	Διερχόμενο βάρος (gr)	Διερχόμενο βάρος (%)	Όρια Αδρανων Σ.Ε. (%)	
3"	75	0	5125	100	100	100
2 ^{1/2} "	63	0	5125	100	96	100
2"	50	0	5125	100	90	100
1 ^{1/2} "	37,5	0	5125	100	82	100
1"	25	219	4906	96	70	98
3/4"	19	765	4141	81	62	94
1/2"	12,5	722	3420	67	50	87
3/8"	9,5	925	2495	49	42	82
No 4	4,75	792	1702	33	29	69
No 8	2,36	370	1332	26	20	52
No 16	1,18	271	1061	21	12	37
No 30	0,6	160	900	18	9	28
No 50	0,3	133	768	15	7	22
No 100	0,15	83	685	13	5	17
No 200	0,075	77	607	11,9	4	15



4.2.3 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τα Όρια Atterberg

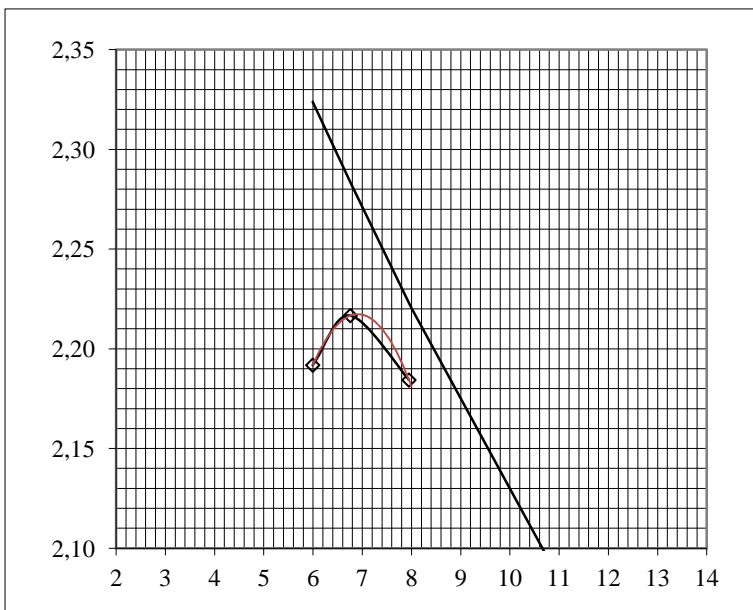
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG (E105 - 86 κ' ASTM D 423/424)												
ΕΡΓΟ	Φράγμα Φιλιατρινού											
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΥΛΙΚΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ											
ΕΚΤΕΛΕΣΘΗΚΕ ΑΠΟ	Χρήστο Ορφανό										ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ 7-09-2011	
ΒΑΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	Σ.Ε. 7-09-2011											

		ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ		21			
ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΕΩΣ		10			
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ+ΚΑΨΑΣ	$m_{υγρ} + m_κ$	gr	33,39	13,69	13,24
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ+ΚΑΨΑΣ	$m_ξ + m_κ$	gr	29,65	13,18	12,72
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	$m_κ$	gr	9,65	9,67	9,68
ΒΑΡΟΣ ΥΔΑΤΟΣ	$m_{υδ}$	gr	3,74	0,51	0,52
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	$m_ξ$	gr	20,00	3,51	3,04
ΥΓΡΑΣΙΑ	$m_{υδ} / m_ξ = w$	%	18,70	14,52	17,11

ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	$w_L = w_N * (N/25)^{0.121}$	18,31
ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	w_p	15,81
ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	$I_p = w_L - w_p$	2,50
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	w	3,50
ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΝΕΚΤΗΚΟΤΗΤΑΣ	$I_c = (w_L - w) / I_p$	5,93

4.2.4 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τη μέθοδο Proctor

ΔΟΚΙΜΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗ PROCTOR							
ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ		A	B	C	D	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	
ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΥΠΟΥ	mm	101,60	151,51	101,60	151,51		
ΟΓΚΟΣ ΤΥΠΟΥ	cm ³	943,89	2102,01	943,89	2102,01		
ΒΑΡΟΣ ΚΟΠΑΝΟΥ	kg	4,54	4,54	4,54	4,54		
ΥΨΟΣ ΠΤΩΣΕΩΣ	mm	457,00	457,00	457,00	457,00		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ		5	5	5	5		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΤΥΠΩΝ		25	56	25	56		
ΔΑΝΕΙΟΘΑΛΑΜΟΣ: φασή μελέτης ΥΛΙΚΑ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 25/10/2010							
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ			1	2	3	4	5
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜ.+ΤΥΠΟΥ	$m_{\text{υγρ}} + m_t$	gr	11395	11487	11469		
ΒΑΡΟΣ ΤΥΠΟΥ	m_t	gr	6456	6456	6456		
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	$m_{\text{υγρ}}$	gr	4939	5031	5013		
ΟΓΚΟΣ ΤΥΠΟΥ	V	cm ³	2126,02	2126,02	2126,02		
ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	$\gamma = m/V$	t/m ³	2,32	2,37	2,36		2,45
ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΨΑΣ			κ1	κ2	κ3	κ4	κ5
ΒΑΡΟΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΙΓΜ.+ΚΑΨΑΣ	$m_{\text{υγρ}} + m_k$	gr	1425	1625	1461		
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜ.+ΚΑΨΑΣ	$m_\xi + m_k$	gr	1371	1545	1380		
ΒΑΡΟΣ ΚΑΨΑΣ	m_k	gr	470	361	361		
ΒΑΡΟΣ ΥΔΑΤΟΣ	$m_{\text{υδ}}$	gr	54	80	81		
ΒΑΡΟΣ ΞΗΡΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	m_ξ	gr	901	1184	1019		
ΥΓΡΑΣΙΑ	$w = m_{\text{υδ}} / m_\xi$	%	6,0	6,8	7,9	8,0	12,0
ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	$\gamma_d = \gamma / (w+100)$	t/m ³	2,19	2,22	2,18		2,15
ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ ΚΕΝΑ ΑΕΡΑ = 0%		t/m ³	2,32	2,28	2,22	2,22	2,04



ΜΕΓ. ΕΡΓ. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ $\gamma_d=2,22 \text{ t/m}^3$

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΥΓΡΑΣΙΑ $w_{\text{OPT}}= 7,0 \%$

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ $G_s=2,70 \text{ t/m}^3$

4.2.5 Στοιχεία κατασκευής Φράγματος για την Μονοαξονική θλίψη

ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ (ASTM C39/C39M)								
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ								
Ημερομηνία		Υψόμετρο περιοχής διάστρωσης (m)		Αριθμός Δείγματος	Είδος Δοκιμίου	Διάμετρος Δοκιμίου (m)	Χαρακτηριστική αντοχή (Μρα)	
10/10/2011		169		ΣΕ 3-10-2011	κυλινδρικό	0,15	$f_c =$	2
A/A	Ημερ/νία Παρασκευής	Ημερ/νία Ελέγχου	Ηλικία Δοκιμίου	Ξηρή Πυκνότητα (t/m ³)	Εργαστηριακή Πυκνότητα Διοθωμένη (t/m ³)	Ποσοστό συμπίκνωσης Δοκιμίου (%)	Φορτίο Θραύσης (KN)	Τάση Θραύσης (Μρα)
389	3/10/2011	10/10/2011	7	2,22	2,3	96,5%	39,5	2,24
390	3/10/2011	10/10/2011	7	2,24	2,3	97,4%	40,2	2,28
391	3/10/2011	10/10/2011	7	2,21	2,3	96,1%	40,9	2,32
392	3/10/2011	10/10/2011	7	2,26	2,3	98,3%	39,8	2,25
				2,19	2,3	95%		
				2,21	2,3	96%		
				2,29	2,3	100%		
				2,28	2,3	99%		
Μέσος Όρος 7 ημερών				Τυπική Απόκλιση				
$X_{mean} =$	2,27	Μρα		$S =$				0,03
1ο Κριτήριο αποδοχής				2ο Κριτήριο αποδοχής				
$X_{mean} \geq f_c + 1,1 S$				$X_{min} \geq f_c - 0,25$				
Το 1ο Κριτήριο αποδοχής ικανοποιείται				Το 2ο Κριτήριο αποδοχής ικανοποιείται				
X_{mean}	2,27	\geq	2,04	$f_c + 1,1 * S$	X_{min}	2,24	\geq	1,75
η δοκιμή έγινε από τον						ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ		
Όνομα/νο			Χρήστο Ορφανό			TRUE		
Υπόγραφή								

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ
(ASTM C39/C39M)**

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ

Ημερομηνία	Υψόμετρο περιοχής διάστρωσης (m)	Αριθμός Δείγματος	Είδος Δοκιμίου	Διάμετρος Δοκιμίου (m)	Χαρακτηριστική αντοχή (Mpa)			
12/10/2011	170,5	ΣΕ 5-10-2011	κυλινδρικό	0,15	$f_c =$	2		
A/A	Ημερ/νία Παρασκευής	Ημερ/νία Ελέγχου	Ηλικία Δοκιμίου	Ξηρή Πυκνότητα (t/m ³)	Εργαστηριακή Πυκνότητα Διοθωμένη (t/m ³)	Ποσοστό συμπίκνωσης Δοκιμίου (%)	Φορτίο Θραύσης (KN)	Τάση Θραύσης (Mpa)
397	5/10/2011	12/10/2011	7	2,21	2,32	95,4%	39,2	2,22
398	5/10/2011	12/10/2011	7	2,23	2,32	96,1%	38	2,15
399	5/10/2011	12/10/2011	7	2,24	2,32	96,4%	37,6	2,13
400	5/10/2011	12/10/2011	7	2,25	2,32	97,0%	39,5	2,24
Μέσος Όρος 7 ημερών				Τυπική Απόκλιση				
$X_{mean} =$	2,18	Mpa	$S =$				0,05	
1ο Κριτήριο αποδοχής					2ο Κριτήριο αποδοχής			
$X_{mean} \geq f_c + 1,1 S$					$X_{min} \geq f_c - 0.25$			
Το 1ο Κριτήριο αποδοχής ικανοποιείται					Το 2ο Κριτήριο αποδοχής ικανοποιείται			
X_{mean}	2,18	\geq	2,06	$f_c + 1,1 * S$	X_{min}	2,13	\geq	1,75
η δοκιμή έγινε από τον					ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ			
Όνοματ/νο		Χρήστο Ορφανό			TRUE			
Υπόγραφή								

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ Σ.Κ 14-10-2011		ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ			
ΑΝΤΟΧΗ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ		Στοιχείο του Έργου / Περιγραφή		Διαστάσεις δοκιμίων	
		ΠΥΡΓΟΣ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ		15x15x15	
Χ.Θ. ή Αρ. Διατομής του Τεχνικού Έργου:				Κατηγορία σκυροδέματος :	C 20/25 fck = 25
Α/Α Δοκιμίων	Ημερ/μία Παρασκευής	Ημερ/μία Ελέγχου	Ηλικία Δοκιμίου	Φορτίο Θραύσης (KN)	Τάση Θραύσης (MPa)
208	16/9/2011	14/10/2011	28	864,3	38,41
209	16/9/2011	14/10/2011	28	859,2	38,19
210	16/9/2011	14/10/2011	28	854,3	37,97
8ος Κανόνας Αποδοχής			7ος Κανόνας Αποδοχής		
Χ3μέση= 38,19 Mpa			Χ36μέση= 36,7 Mpa		
Τυπική Απόκλιση			Τυπική Απόκλιση		
$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		3,1	$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		3,1
		3,1			3
Έλεγχος Συμμορφώσεως					
8ος Κανόνας	$\chi_{3\text{μέση}} > f_{ck} + 1.83S$		7ος Κανόνας	$\chi_{36} > f_{ck} + 1.70S$	
Έλεγχος	38,19	30,67	Έλεγχος	36,70	30,27
	Η δοκιμή έγινε από τον				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: TRUE
Όνοματ/νο	ΧΡΗΣΤΟΣ ΟΡΦΑΝΟΣ				
Υπογραφή					
Ημερ/μία :	14/10/2011				

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ		ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ			
Σ.Κ 27-10-2011					
ΑΝΤΟΧΗ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ		Στοιχείο του Έργου / Περιγραφή		Διαστάσεις δοκιμίων	
		ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΙΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ		15x15x15	
Χ.Θ. ή Αρ. Διατομής του Τεχνικού Έργου:				Κατηγορία σκυροδέματος :	C 16/20 fck = 20
Α/Α Δοκιμίων	Ημερ/ία Παρασκευής	Ημερ/ία Ελέγχου	Ηλικία Δοκιμίου	Φορτίο Θραύσης (KN)	Τάση Θραύσης (MPa)
211	29/9/2011	27/10/2011	28	731,5	32,51
212	29/9/2011	27/10/2011	28	765,5	34,02
213	29/9/2011	27/10/2011	28	721,9	32,08
8ος Κανόνας Αποδοχής			7ος Κανόνας Αποδοχής		
Χ3μέση= 32,87 Mpa			Χ36μέση= 29,9 Mpa		
Τυπική Απόκλιση			Τυπική Απόκλιση		
$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		2,8	$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		2,8
		3			3
Έλεγχος Συμμορφώσεως					
8ος Κανόνας	$\chi_{3\text{μέση}} > f_{ck} + 1.83S$		7ος Κανόνας	$\chi_{36} > f_{ck} + 1.70S$	
Έλεγχος	32,87	25,49	Έλεγχος	29,90	25,10
Η δοκιμή έγινε από τον				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: TRUE	
Όνοματ/νο		ΧΡΗΣΤΟΣ ΟΡΦΑΝΟΣ			
Υπογραφή					
Ημερ/ία :		27/10/2011			

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ		ΦΡΑΓΜΑ ΦΙΛΙΑΤΡΙΝΟΥ			
Σ.Κ 28-10-2011					
ΑΝΤΟΧΗ ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ		Στοιχείο του Έργου / Περιγραφή		Διαστάσεις δοκιμίων	
		ΛΕΚΑΝΗ ΗΡΕΜΙΑΣ		15x15x15	
Χ.Θ. ή Αρ. Διατομής του Τεχνικού Έργου:				Κατηγορία σκυροδέματος :	C 20/25 fck = 25
Α/Α Δοκιμίων	Ημερ/ία Παρασκευής	Ημερ/ία Ελέγχου	Ηλικία Δοκιμίου	Φορτίο Θραύσης (KN)	Τάση Θραύσης (MPa)
214	30/9/2011	28/10/2011	28	781	34,71
215	30/9/2011	28/10/2011	28	815	36,22
216	30/9/2011	28/10/2011	28	854	37,96
8ος Κανόνας Αποδοχής			7ος Κανόνας Αποδοχής		
Χ3μέση= 36,30 Mpa			Χ36μέση= 36,8 Mpa		
Τυπική Απόκλιση			Τυπική Απόκλιση		
$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		3,1	$S = \sqrt{\frac{\sum(\chi_i - \chi_{60})^2}{59}}$		3,1
		3,1			3
Έλεγχος Συμμορφώσεως					
8ος Κανόνας	$\chi_{3μέση} > f_{ck} + 1.83S$		7ος Κανόνας	$\chi_{36} > f_{ck} + 1.70S$	
Έλεγχος	36,30	30,67	Έλεγχος	36,80	30,27
	Η δοκιμή έγινε από τον				ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ: TRUE
Όνοματ/νο	ΧΡΗΣΤΟΣ ΟΡΦΑΝΟΣ				
Υπογραφή					
Ημερ/ία :	28/10/2011				

4.2.6 Στοιχεία Κατασκευής Φράγματος για τη μέθοδο Κώνου και Άμμου

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ														
E 106 - 86														
ΖΩΝΗ :	Σ.Ε. 3-10-2011			Χρήστο Ορφανό				Η δοκιμή έγινε από τον:						
ΔΑΝΕΙΟΦΑΛΛΙΟΣ :	ΣΚΛΗΡΟ ΕΠΙΧΩΜΑ							Υπογραφή						
ΤΥΠΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ :								Ημερομηνία						
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :	3/10/2011							3/10/2011						
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΕΛΕΥΣΕΩΝ :														
ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ :	15													
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :	Σ.Ε. 3-10-2011													
Αρχικό βάρος συσκευής + άμμου (gr) :	9541			Αριθμός κάψας :				k						
Τελικό βάρος συσκευής + άμμου (gr) :	4841			Υγρό βάρος υλικού +κάψας (gr) :				662						
Υγρό βάρος εξαχθέντος υλικού (gr) :	5723			Ξηρό βάρος υλικού +κάψας (gr) :				631						
Ειδικό βάρος χονδροκοκκου υλικού (gr/cm ³) :	2,67			Βάρος κάψας (gr) :				123						
Φαινόμενο ξηρό βάρος άμμου (gr/cm ³) :	1,36			Περιεχόμενη υγρασία (%) :				6,1						
Αριθμός δείγματος	Υψόμετρο	X. θ	Απόσταση από άξονα	Βάρος άμμου	Βάρος άμμου	Βάρος άμμου	Βάρος άμμου	Βάρος άμμου	Βάρος χονδροκοκκου	Ποσοστό χονδροκοκκου υλικού	Εργαστηριακή πυκνότητα	Εργαστηριακή πυκνότητα διορθωμένη	Εργαστηριακή πυκνότητα	Δείκτης συμπύκνωσης
-	m		Ανάπτυξη Κατόντη	g	Q'	Q	q	P=q100/Q	d	A=[(100-P)/d]+P/E	D=100/A	D'=Qd'/Q'	D''100/D	%
	169,3		m	1510	3190	5393,8479	719	13,3	2,25	43,51	2,30	2,30	100	

ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ
E 106 - 86

ΖΩΝΗ :		Σ.Ε. 5-10-2011		Χρήστο Ορφανό							
ΔΑΝΕΙΟΘΛΑΜΟΣ :		ΣΚΛΗΡΟ ΕΠΙΧΩΜΑ		Η δοκιμή έγινε από τον:							
ΤΥΠΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥ :				Υπογραφή							
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ :		5/10/2011		Ημερομηνία							
ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΕΛΕΥΣΕΩΝ :		15		5/10/2011							
ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ :		Σ.Ε. 5-10-2011									
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ :											
Αρχικό βάρος συσκευής + άμμου (gr) :		8463	Αριθμός κάψας :	k							
Τελικό βάρος συσκευής + άμμου (gr) :		3925	Υγρό βάρος υλικού +κάψας (gr) :	662							
Υγρό βάρος εξαχθέντος υλικού (gr) :		5399	Ξηρό βάρος υλικού +κάψας (gr) :	631							
Ειδικό βάρος χονδρόκοκκου υλικού (gr/cm ³) :		2,67	Βάρος κάψας (gr) :	123							
Φαινόμενο ξηρό βάρος άμμου (gr/cm ³) :		1,36	Περιεχόμενη υγρασία (%) :	6,1							
Αριθμός δείγματος	Υψόμετρο	Χ.θ	Απόσταση από άξονα		Εργαστηριακή πυκνότητα διορθωμένη	Εργαστηριακή πυκνότητα	D=100/A	D'=Qd'/Q'	D'100/D	Δείκτης συμπίκνωσης	
			Ανάπτυξη	Κατάπτυξη							A=[(100-P)/d]·P/E
-	m		m	m	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	gr/cm ³	%	
1	170,6				950	18,7	2,25	43,14	2,32	2,29	99

Συμπεράσματα

Στην παρούσα Μελέτη εξετάστηκε από γεωτεχνικής άποψης το έδαφος θεμελίωσης του φράγματος που πρόκειται να κατασκευαστεί στον ποταμό Φιλιατρινό στον Νομό Μεσσηνίας.

Με βάση τις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις, την τελική στάθμη της στέψεως του φράγματος (+215,20) και την λεπτομερή γεωλογική μελέτη του παρόντος σταδίου Οριστικής Μελέτης, έγινε η οριστική τοποθέτηση του άξονα του φράγματος πλησιέστερα στην περιοχή στενής κοίτης του ποταμού όπου άλλωστε αναμένεται κατά τεκμήριο περιοχή με πιο υγιές υπόβαθρο θεμελιώσεως. Η οριστική θέση του άξονα φαίνεται στην οριζοντιογραφία του Παραρτήματος Β1. Στο Παράρτημα Β2 δείχνεται η γεωτεχνική τομή στο νέο άξονα του φράγματος μετά από προβολή των ερευνών στην οριστική θέση του.

Η γεωτεχνική αξιολόγηση επικεντρώθηκε κυρίως στην περιοχή του άξονα του φράγματος όπου υπάρχουν οι απαιτήσεις ευστάθειας πρανών και φέρουσας ικανότητας. Τα περισσότερα στοιχεία προήλθαν από τις γεωτρήσεις Γ2, Γ3, Γ4 πάνω στον άξονα του φράγματος. Εν μέρει, ελήφθησαν υπόψη και τα ευρήματα των γεωτρήσεων Γ1, Γ5, Γ6, Γ7 και Γ8, οι οποίες βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη κάθετη απόσταση από τον άξονα, αφού όμως επιβεβαιώθηκε πρώτα ότι βρίσκονται σε συμφωνία με τις γεωτρήσεις Γ2, Γ3 και Γ4 που έγιναν πάνω ή πολύ κοντά στον άξονα. Κατόπιν αξιολογήσεως των διαθέσιμων στοιχείων από τις γεωτρήσεις, τις ερευνητικές στοές, τις επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές και από τις επί τόπου παρατηρήσεις, σε συνδυασμό με τα ευρήματα της γεωλογικής χαρτογράφησης της γεωλογικής μελέτης, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Κάτω από τον άξονα του φράγματος, αλλά και στην ευρύτερη περιοχή, εμφανίζονται γεωλογικοί σχηματισμοί που μπορούν να ομαδοποιηθούν με καλή προσέγγιση από τρεις Γεωτεχνικές Ενότητες. Η πρώτη (I) περιλαμβάνει φερτά υλικά από τον ποταμό και υλικά αποσάθρωσης αποτελούμενα από αργίλους χαμηλής πλαστικότητας (CL), αμμώδεις αργίλους (SC) και αργιλώδεις – ιλυώδεις χάλικες (GC) στην περιοχή της κοίτης και αργιλώδεις χάλικες (GC) στα δύο αντερείσματα.

- Στη δεύτερη (II) και την Τρίτη (III) εμφανίζεται το βραχώδες φλυσχικό υπόβαθρο με σχηματισμούς ιλυολίθου με εναλλαγές ψαμμίτη. Το υπόβαθρο αυτό χωρίστηκε σε δύο Γεωτεχνικές Ενότητες (II και III) δεδομένης της διαφορετικής μηχανικής συμπεριφοράς που αναμένεται να εμφανίσουν οι βραχώμαζες σε σχέση με την κατασκευή και λειτουργία του φράγματος, παρά το γεγονός ότι ανήκουν στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό.
- Η μικρή πάχους Ενότητα I των επιφανειακών, ανομοιογενών υλικών δεν κρίθηκε αναγκαίο να αξιολογηθεί καθώς θεωρήθηκε δεδομένο ότι θα αφαιρεθεί και το φράγμα θα θεμελιωθεί πάνω στον υποκείμενο σχηματισμό του ιλυολίθου.
- Όσον αφορά τη μηχανική συμπεριφορά της Γεωτεχνικής Ενότητας II αν και θεωρείται ότι επιτρέπει την κατασκευή φράγματος από σκληρό επίχωμα, κρίθηκε, για λόγους μεγαλύτερης ασφάλειας, ότι θα πρέπει η θεμελίωση του φράγματος να γίνει στην καλύτερη, από πλευράς μηχανικών χαρακτηριστικών, Γεωτεχνική Ενότητα III.
- Η Γεωτεχνική Ενότητα III, δεν αναμένεται να παρουσιάσει προβλήματα ευστάθειας πρανών ή φέρουσας ικανότητας, ο σχηματισμός του ιλυολίθου με τις ενστρώσεις ψαμμίτη, παρουσιάζεται μεγαλύτερης αντοχής και γενικά καλύτερης μηχανικής συμπεριφοράς.

Με βάση όλα τα ανωτέρω, ορίστηκε ελάχιστο βάθος θεμελίωσης του φράγματος Φιλιατρινού από Σκληρό Επίχωμα τα 10 m.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών σε υλικά φρεάτων για την κατασκευή του σκληρού επιχώματος, τα υλικά των εξετασθέντων δανειοθαλάμων της περιοχής Περδικονερίου κρίνονται απολύτως κατάλληλα για την κατασκευή του φράγματος.

Φυσικά χαρακτηριστικά (μέσες τιμές)

Ποσοστό λεπτόκοκκων 18-20%

Δείκτης πλαστικότητας PI=7.8

Η αναλογία τσιμέντου 70kg/m^3 είναι επαρκής για την επίτευξη ικανοποιητικής αντοχής του επιχώματος με

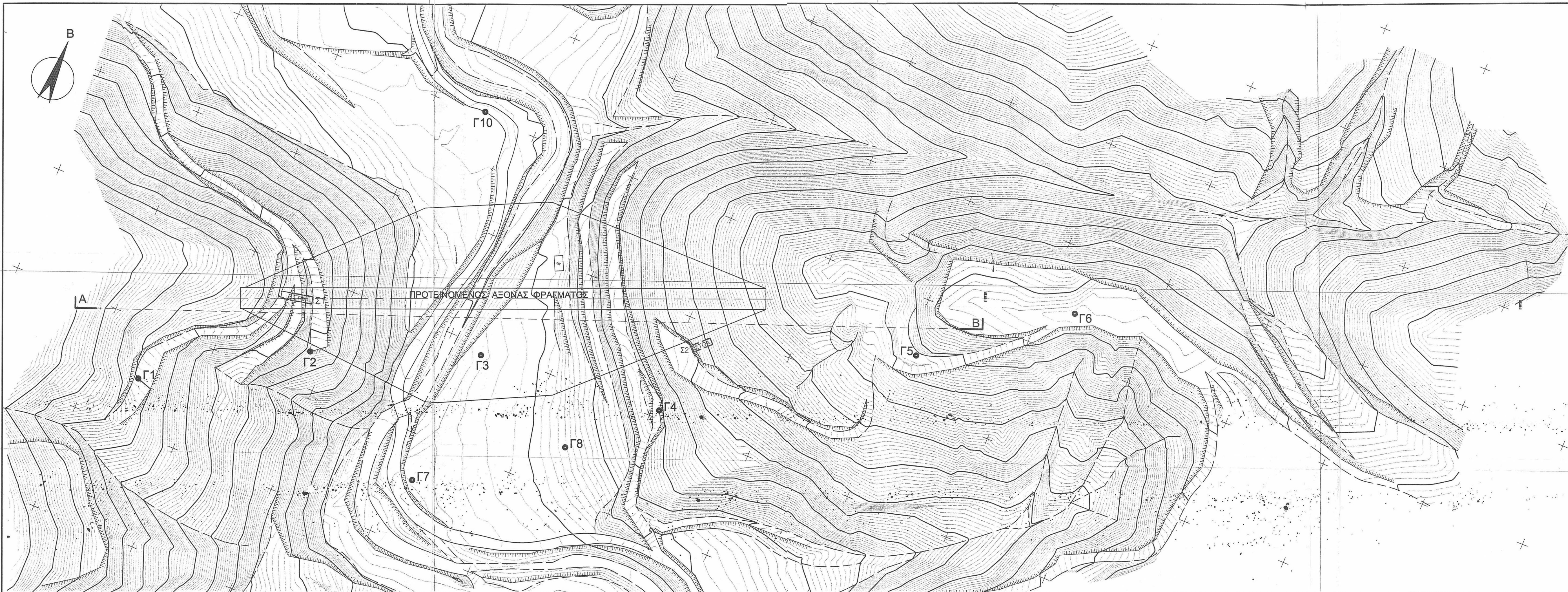
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη $\sigma_c=4.0\text{ MPa}$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Υδροδυναμικά Έργα Φράγματα, Χρήστος Ε. Τσόγκας, Ελισάβετ Χ. Τσόγκα, Εκδόσεις ΙΩΝ
- 2) Εργαστηριακές Ασκήσεις Εδαφομηχανικής Ι και ΙΙ, Δ. Παγουλάτος Δ. Παγανός, ΤΕΙ Πάτρας – Τμήμα Έργων Υποδομής
- 3) Οριστική Μελέτη Φράγματος Λεκάνης Φιλιατρινού Ποταμού Νομού Μεσσηνίας “ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ & ΕΡΕΥΝΕΣ ” Β. Παρασχούδης, Μ. Ανδρούλης, Σ. Σίμος , Παπαδημητρίου Ν. ΥΔΡΟ-ΣΥΣΤΗΜΑ Ε.Π.Ε.
- 4) Μελέτη “ ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ” Αικατερίνη Α. Δημοπούλου Ε.Π.Θ. 08’ Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
- 5) www.diocles.civil.duth.gr
- 6) www.geo.auth.gr
Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας “ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ – ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ” Βασίλης Χρηστάρας Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β1

Τοπογραφικό Διάγραμμα 1:1000



**ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ -
ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

α/α	X	Y	Z
Γ1	290322.333	4112673.800	220.02
Γ2	290392.125	4112716.586	198.76
Γ3	290469.463	4112729.808	173.42
Γ4	290556.447	4112725.739	189.33
Γ5	290667.076	4112779.540	227.97
Γ6	290715.103	4112870.283	237.93
Γ7	290459.029	4112679.292	172.67
Γ8	290519.437	4112721.085	177.12
Γ9	290511.206	4112628.765	175.56
Γ10	290424.606	4112852.075	171.41

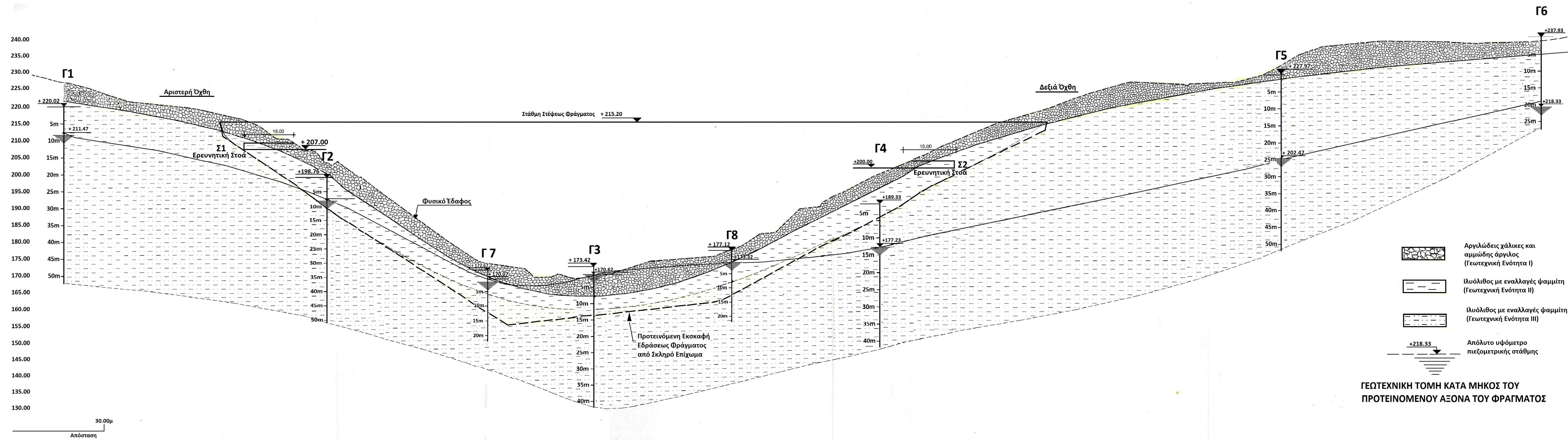
ΥΠΟΜΝΗΜΑ




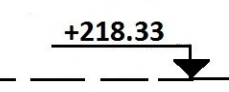
- Γi ● Ερευνητικές Γεωτρήσεις
- Σi [ΣΤΟΑ] Ερευνητικές Στοές

Θέσεις Γεωτρήσεων και Στοών
κλίμακα 1:1000

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β2

Γεωτεχνική Τομή κατά μήκος του άξονα



- 
 Αργιλώδεις χάλικες και αμμώδης άργιλος (Γεωτεχνική Ενότητα I)
- 
 Ιλυόλιθος με εναλλαγές ψαμμίτη (Γεωτεχνική Ενότητα II)
- 
 Ιλυόλιθος με εναλλαγές ψαμμίτη (Γεωτεχνική Ενότητα III)
- 
 Απόλυτο υψόμετρο πιεζομετρικής στάθμης

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟΥ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Ευχαριστίες

Τέλος, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές μας ευχαριστίες προς όλους όσους βοήθησαν στην πραγματοποίηση και στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, η οποία πολύ δύσκολα θα ολοκληρωνόταν χωρίς την πολύτιμη αρωγή τους.

Συνεργαστήκαμε με πολύ αξιόλογους ανθρώπους οι οποίοι μας πρόσφεραν αγόγγυστα γνώσεις, εμπειρίες, συμβουλές και άλλα πολύτιμα εργαλεία απαραίτητα για την επίτευξη του στόχου μας.

Ειδικότερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε:

α) Τους κύριους Γ. Ζησιμάτο και Ζ. Χρήστου καθηγητές του ΑΤΕΙ Πάτρας , οι οποίοι μας όπλισαν με τη δύναμη της μάθησης μέσα από τη φοίτησή μας στη σχολή Πολιτικών Έργων Υποδομής, μας καθοδήγησαν, μας στήριξαν και μας υποστήριξαν σε κάθε στιγμή.

β) Την Τεχνική εταιρεία Ιντρακάτ, η οποία μέσω του κυρίου Χρ. Ορφανού, μας προσέφερε την αμέριστη βοήθειά της με την προσφορά της Γεωτεχνικής μελέτης του έργου και γενικότερα κάθε τεχνική γνώση που αποτέλεσαν το θεμέλιο λίθο της εργασίας μας.

Στον Ξάδερφο που δεν πρόλαβε
να γίνει Πολιτικός Μηχανικός