

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΡΟΩΝ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΦΡΑΓΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΦΡΑΓΜΑ
ΑΣΤΕΡΙΟΥ – ΑΧΑΪΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:·
ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΟΣ
ΓΚΡΙΤΖΟΥΛΑ ANNA
ΚΟΝΤΑΡΓΥΡΗ ΙΩANNA

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:·
ΚΛΟΥΚΙΝΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ – ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ	v
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
Φράγματα – Μια συνεχής μάχη με τις δυνάμεις της φύσης.....	1
1.1 Ιστορική αναδρομή της κατασκευής φραγμάτων	2
1.2 Βασικά οφέλη από τη λειτουργία των φραγμάτων	3
1.3 Αστοχίες φραγμάτων	4
1.3.1 Η απόκτηση γνώσης μέσα από τα καταστροφικά γεγονότα.....	4
1.3.2 Στατιστικά στοιχεία Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD).....	7
1.3.3 Περιπτώσεις αστοχιών φραγμάτων από τον Ελληνικό χώρο	8
1.4 Σύνοψη.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
Περιορισμός και Έλεγχος ροών κάτω και μέσα από χωμάτινα φράγματα.....	12
2.1 Το πρόβλημα των υπόγειων ροών	12
2.2 Μονοδιάστατη Ροή – Νόμος Darcy	14
2.3 Δυνάμεις Ροής (ή δυνάμεις διήθησης).....	18
2.4 Διδιάστατη ροή – Δίκτυα ροής	19
2.5 Μέθοδοι Περιορισμού και Ελέγχου ροών (στεγάνωση και στράγγιση).....	22
2.5.1 Μέθοδοι περιορισμοί ροών (μείωση διηθούμενης παροχής)	22
2.5.2 Αριθμητικά παραδείγματα	25
2.5.1 Μέθοδοι ελέγχου ροών (στράγγιση).....	31
2.6 Συνδυασμός μέτρων στεγάνωσης και στράγγισης σε χωμάτινο φράγμα	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	36
Το φράγμα Αστερίου.....	36
3.1 Εισαγωγή.....	36
3.2 Γενικά στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής.....	36
3.2.1 Σκοπιμότητα του έργου.....	36
3.2.2 Γεωγραφική θέση - Γεωμορφολογία της περιοχής του έργου	37
3.2.3 Τεχνικά στοιχεία φράγματος Αστερίου	39
3.3 Γεωλογικές και Γεωτεκτονικές συνθήκες της περιοχής του έργου	41
3.3.1 Γενικές γεωλογικές και λιθοστρωματογραφικές συνθήκες	41
3.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής του έργου.....	43
3.3.3 Αποτύπωση γεωλογικής δομής	44
3.3.4. Πρόγραμμα γεωτεχνικής έρευνας.....	46
3.3.5 Συνθήκες Θεμελίωσης	56
3.3.6 Συμπεράσματα γεωτεχνικής έρευνας.....	56
3.4 Κατασκευαστικά στοιχεία φράγματος Αστερίου.....	60
3.4.1 Κατασκευή αργιλικού πυρήνα	61
3.4.2 Κατασκευή σωμάτων στήριξης	62

3.4.3 Κατασκευή Φίλτρων και Στραγγιστηρίων.....	63
3.5 Έλεγχοι καθιζήσεων και ευστάθειας του σώματος φράγματος.....	65
3.5.1 Προβλεπόμενες καθιζήσεις.....	65
3.5.2 Αναλύσεις ευστάθειας πρανών.....	66
3.5.3 Συμπεριφορά σε σεισμική φόρτιση.....	69
3.5.4 Εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	75
Ενέσεις εμποτισμού για ενίσχυση – βελτίωση εδάφους.....	75
4.1 Εισαγωγή.....	75
4.2 Ενέσεις Εμποτισμού.....	75
4.2.1 Εφαρμογές ενέσεων εμποτισμού.....	76
4.2.2 Ενέματα και υλικά.....	76
4.2.3 Τσιμεντενέσεις.....	81
4.3 Διαδικασία και μέθοδοι ενεμάτωσης.....	84
4.3.1 Ειδικές απαιτήσεις πριν τη διάρκεια εκτέλεσης ενεματώσεων γεωϋλικών.....	84
4.3.2 Παρασκευή ενέματος.....	87
4.3.3 Μέθοδος κατασκευής.....	88
4.4 Επιτόπου Δοκιμές διαπερατότητας ή δοκιμές εισπίεσης νερού (PUMPING IN TESTS).....	93
Δοκιμή MAAG (μεταβλητού φορτίου, για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά).....	94
Δοκιμή LEFRANC (σταθερού φορτίου, για αδρόκοκκα εδαφικά υλικά).....	97
Δοκιμή LUGEON (για βραχώδεις σχηματισμούς).....	98
4.5 Σχεδιασμός και σκοπιμότητα προγράμματος τσιμεντενέσεων για το φράγμα Αστερίου.....	103
4.5.1 Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας υποβάθρου.....	104
4.5.2 Τελικά συμπεράσματα – σκοπιμότητα μέτρων στεγανοποίησης.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	109
Παρουσίαση κατασκευής παραπετάσματος τσιμεντενέσεων και εργασιών θεμελίωσης πυρήνα.....	109
5.1 Εισαγωγή.....	109
5.2 Σχεδιασμός τσιμεντενέσεων παραπετάσματος και τσιμεντενέσεων επαφής.....	109
5.3 Παρουσίαση εκτέλεσης εργασιών θεμελίωσης αργιλικού πυρήνα.....	113
5.3.1 Εκσκαφές και διαμόρφωση της επιφάνειας έδρασης του πυρήνα.....	113
5.3.3 Εκτέλεση τσιμεντενέσεων.....	124
5.4 Σύνοψη – Τελικά Συμπεράσματα.....	130
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	138

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτελεί η εφαρμογή της μεθόδου των τσιμεντενέσεων στο φράγμα Αστερίου, για τον περιορισμό και έλεγχο πιθανών ροών κάτω από αυτό. Η δομή της εργασίας είναι η εξής:

Αρχικά, στο Κεφάλαιο 1 γίνεται μια ιστορική αναδρομή της κατασκευής φραγμάτων και η εξέλιξη τους στην πορεία του χρόνου, όπου μέσα και από συγκεκριμένα παραδείγματα, δίνεται η ευκαιρία να αναδειχτούν τα βασικά οφέλη από την λειτουργία τους αλλά και τα προβλήματα που προέκυψαν. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 2 εξετάζονται το πρόβλημα των υπόγειων ροών, η μονοδιάστατη και δισδιάστατη ροή και οι μέθοδοι περιορισμού τους. Επίσης παραθέτονται αναλυτικά αριθμητικά παραδείγματα για την πλήρη κατανόηση αυτών που αναφερόμαστε.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση του έργου και στον τρόπο κατασκευής του. Όπου μπορούμε να δούμε γενικά στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής. Επίσης την σκοπιμότητα του έργου, την γεωγραφική θέση - γεωμορφολογία της περιοχής του έργου στην οποία βρίσκεται. Εξετάζονται οι γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της περιοχής και παρατίθεται το πρόγραμμα γεωτεχνικής έρευνας. Παρουσιάζονται οι συνθήκες Θεμελίωσης και τα κατασκευαστικά στοιχεία του φράγματος Αστερίου. Η Κατασκευή του αργιλικού πυρήνα και των σωμάτων στήριξης. Ακόμη η κατασκευή Φίλτρων και Στραγγιστηρίων. Τέλος οι έλεγχοι καθιζήσεων και ευστάθειας του σώματος φράγματος, οι αναλύσεις ευστάθειας πρηνών, όπως και η συμπεριφορά σε σεισμική φόρτιση του έργου το οποίο γίνεται σε μια άκρως σεισμογενή περιοχή, στην οποία με την εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης διασφαλίζονται πιθανά προβλήματα.

Στο Κεφάλαιο 4 εξετάζονται λεπτομερώς οι εφαρμογές ενέσεων εμποτισμού για την ενίσχυση-βελτίωση του εδάφους. Ο τρόπος και η διαδικασία παρασκευής ενέματος και αναφορά στις συνθήκες και γεωτεχνικές ιδιότητες της περιοχής εκτέλεσης των ενεματώσεων. Παρουσιάζεται ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται και οι επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας ή δοκιμές εισπίεσης νερού (PUMPING IN TESTS), καθώς επίσης ο σχεδιασμός και σκοπιμότητα του προγράμματος τσιμεντενέσεων για το φράγμα Αστερίου.

Στο 5^ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της κατασκευής παραπετάσματος τσιμεντενέσεων και εργασιών θεμελίωσης πυρήνα. Η διάτρηση των

οπών τσιμεντενέσεων κουρτίνας και ο τρόπος που γίνεται ο έλεγχος τους, όπως και ο τρόπος εκτέλεσης των τσιμεντενεσεων. Τέλος γίνεται μια σύνοψη αποτελεσμάτων των εργασιών και της μεγάλης αναγκαιότητας τους.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ – ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΕΙΣ

Η εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την καταλυτική συμβολή του επιβλέποντά μας, καθηγητή κ. Παναγιώτη Κλουκίνα, τον οποίο αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε θερμά, αφενός για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε αναθέτοντάς μας να εργαστούμε πάνω σε αυτή την τόσο ενδιαφέρουσα εργασία, όσο και για την μετέπειτα διαρκή και πολύτιμη βοήθειά του.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί η πολύτιμη συμβολή του Γεωλόγου κ. Γεώργιου Αγγελόπουλου, υπεύθυνου του έργου, της εταιρείας Μηχανική. Ο οποίος μας παρείχε χρήσιμες συμβουλές και μας ανέλυσε το πρόγραμμα των εργασιών του έργου στο φράγμα. Επίσης την κ. Διαμαντοπούλου Παρασκευή, Δρ. Γεωλόγου ΕΥΔΕ-ΟΣΥΕ του ΥΠΕΧΩΔΕ, της οποίας η επιστημονική γνώση στάθηκε εξαιρετικά χρήσιμη, καθώς μας εξήγησε όλες μας τις απορίες και μας βοήθησε με πολύτιμο θεωρητικό υλικό του έργου. Την ευχαριστούμε θερμά για την προθυμία της και το τεράστιο ενδιαφέρον. Καθώς και το υπόλοιπο προσωπικό της Μηχανικής για την ποικιλότητα βοήθεια που πρόσφερε.

Ευχαριστούμε επίσης τον καθηγητή Δρ. Πολιτικό Μηχανικό Μουλίνο Γεράσιμο, του οποίου οι εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές ήταν επιζητούμενες και πάντοτε ευπρόσδεκτες, όπως και η αμέριστη βοήθειά του.

Τέλος, με την ευκαιρία της ολοκλήρωσης και αυτού του σταδίου των σπουδών μας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την οικογένειά μας για την αμέριστη στήριξη και βοήθεια, ηθική και υλική, που μας παρείχε έως τώρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Φράγματα – Μια συνεχής μάχη με τις δυνάμεις της φύσης

Σε όλη την καταγραμμένη ιστορία υπάρχουν στοιχεία ότι η ανθρωπότητα έχει φοβηθεί και σεβαστεί την καταστρεπτική δύναμη του νερού. Το νερό με την μορφή παλιρροιών και πλημμυρών είναι μια από τις ισχυρότερες δυνάμεις της φύσης. “Κρυμμένο” στις ρωγμές των βράχων και τους πόρους του εδάφους, ασκεί απίστευτες δυνάμεις που διαβρώνουν και καταστρέφουν τα «επιτεύγματα» εφαρμοσμένης μηχανικής των ανθρώπων, όπως είναι τα φράγματα.

Οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές φραγμάτων και λοιπών τεχνικών έργων, γνωρίζουν ότι όταν το υπόγειο νερό και η ροή του (διήθηση) είναι ανεξέλεγκτα, μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες οικονομικές απώλειες και να στοιχίσουν πολλές ανθρώπινες ζωές. Γι' αυτό το λόγο, στη σύγχρονη μηχανική ο περιορισμός και ο έλεγχος των υπόγειων ροών είναι κάτι πραγματικά πολύ σημαντικό αλλά και ενδιαφέρον.

Οι συνέπειες μια ανεξέλεγκτης ροής είναι σημαντικές και εν συντομία μπορούμε να τις κατηγοριοποιήσουμε σε εκείνες που πραγματοποιούνται όταν μετακινούνται τα μόρια ύδατος σε μια έξοδο διαφυγής και προκαλούν τη σπηλαίωση του εδάφους και επιμέρους σε εκείνες που προκαλούνται από την ανεξέλεγκτη πορεία διήθησης που οδηγεί σε εσωτερική πλημμυρίδα ανεβάζοντας υπερβολικά τα επίπεδα κορεσμού ή υπερβολικές υπόγειες δυνάμεις.

Έτσι λοιπόν φροντίζουν είτε να το διατηρήσουν μακριά, είτε να το ελέγχουν με διάφορες μεθόδους. Μια από αυτές τις μεθόδους εξετάζουμε εκτενέστερα παρακάτω σε αυτήν την πτυχιακή εργασία, την μέθοδο του περιορισμού των ροών, κάτω από μια ιδιαίτερα κρίσιμη κατηγορία κατασκευών που είναι τα φράγματα, με την τεχνική των τσιμεντενέσεων.

1.1 Ιστορική αναδρομή της κατασκευής φραγμάτων

Ο ρόλος των φραγμάτων είναι η ρύθμιση της ροής των ποταμών και η χρησιμοποίηση των πολύτιμων υδάτινων πόρων κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικότερο και περισσότερο ωφέλιμο.

Η κατασκευή τους ξεκίνησε πριν από πολλούς αιώνες πριν ακόμα δημιουργηθούν ερωτήματα κι ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές μεταβολές που προκαλούν και τις αντιρρήσεις για τη ωφελιμιστική σκοπιμότητά τους.

Τα πρώτα φράγματα που κατασκευάστηκαν αποσκοπούσαν κυρίως στην παροχή αντιπλημμυρικής προστασίας και την αποθήκευση νερού για αρδευτικούς και υδρευτικούς σκοπούς, ενώ στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, για ιχθυοκαλλιέργειες, για τουρισμό και αναψυχή.

Σήμερα, τα φράγματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τις άλλες κατασκευές πολιτικού μηχανικού, έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με το παρελθόν, αξιοποιούν τις γνώσεις της υδρολογίας και της υδρομηχανικής και το μέγεθος των επιπτώσεων άμεσων ή έμμεσων, οικονομικών ή μη οικονομικών έχει αυξηθεί.

Το παλαιότερο φράγμα που αναφέρεται στην Ιστορία (4η χιλιετία π.Χ.) βρίσκονταν στη Γιάβα της σημερινής Ιορδανίας και χρησίμευε για τη συλλογή πόσιμου νερού. Ένα άλλο φράγμα που κατασκευάστηκε την περίοδο 2600-2500 π.Χ., επίσης για τη συλλογή πόσιμου νερού, είναι το Sadd-el-Kafara στο Wadi Garawi της Αιγύπτου. Το γεώφραγμα στον ποταμό Ορόντες της σημερινής Συρίας κατασκευάστηκε περί το 1300 π.Χ. και χρησίμευε για συλλογή νερού προς άρδευση και πόση, και είναι ακόμα διατηρημένο, γιατί αξιοποιήθηκε και συντηρήθηκε από μεταγενέστερους λαούς.

Στα νεότερα χρόνια, σπουδαίο θεωρήθηκε το φράγμα Puentes στην Ισπανία, το οποίο κατασκευάστηκε το έτος 1753 και καταστράφηκε το 1891. Στη σύγχρονη εποχή η πλειονότητα των φραγμάτων χρησιμοποιείται για πολλαπλούς σκοπούς. Συγκεκριμένα παγκοσμίως τα φράγματα χρησιμοποιούνται για αρδευτικούς σκοπούς (37%), για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (16%), για παροχή πόσιμου νερού (12%), για αντιπλημμυρικό έλεγχο (6%), για σκοπούς αναψυχής (3%) και για λοιπούς σκοπούς (4%)

Μέχρι τη δεκαετία του '50 κατασκευάζονταν περίπου 700 μεγάλα φράγματα κάθε 10-ετία σε όλον τον κόσμο. Τα επόμενα χρόνια ο αριθμός αυτός αυξήθηκε κατακόρυφα, ενώ άρχισαν να εμφανίζονται οι πρώτες αντιδράσεις για τα πραγματικά οφέλη που προκύπτουν από τη λειτουργία τους, καθώς και απόψεις ότι προκαλούνται στο περιβάλλον καταστροφές και μακροχρόνιες αρνητικές επιδράσεις που υπερβαίνουν τα άμεσα οικονομικά οφέλη.

Έτσι, αναδείχθηκε η ανάγκη για καλύτερο σχεδιασμό των φραγμάτων και για λήψη των κατάλληλων μέτρων, ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο οι περιβαλλοντικές ή όποιες άλλες επιπτώσεις και απώλειες. Σε πολλές περιπτώσεις άλλαξε τελείως ο σχεδιασμός των φραγμάτων, με απώτερο στόχο τη βιώσιμη διαχείριση του ύδατος στην οποία θα λαμβάνονταν μέριμνα για την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη, καθώς και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.2 Βασικά οφέλη από τη λειτουργία των φραγμάτων

- (i) Έλεγχος των πλημμυρών, μείωση ή εξάλειψη των καταστροφών που προκαλούν.
- (ii) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μείωση της εξάρτησης κάθε περιοχής από την ενέργεια που παράγεται από ρυπογόνες διαδικασίες (πετρέλαιο, λιθάνθρακας, κ.λπ.).
- (iii) Πιθανά οφέλη που μπορούν να επέλθουν στην περίπτωση που ο ταμιευτήρας ευνοεί τη δημιουργία «υδάτινων οδών».
- (iv) Ύδρευση οικισμών και βελτίωση της δημόσιας υγείας λόγω της χρήσης ελεγχόμενου πόσιμου νερού.
- (v) Αύξηση του παραγόμενου γεωργικού προϊόντος λόγω της δυνατότητας άρδευσης γεωργικών εκτάσεων και αύξηση της παραγωγικότητας του αγροτικού τομέα.
- (vi) Αύξηση του εισοδήματος που προέρχεται από τις ιχθυοκαλλιέργειες που μπορούν να αναπτυχθούν εντός του ταμιευτήρα του φράγματος.
- (vii) Βελτίωση της τουριστικής ελκυστικότητας των περιοχών πέριξ του φράγματος και του ταμιευτήρα του και αύξηση του τουριστικού εισοδήματος.

1.3 Αστοχίες φραγμάτων

Τα φράγματα, όπως και άλλα μεγάλα τεχνικά έργα, ενίοτε αστοχούν. Το ποσοστό είναι ιδιαίτερα μικρό, αλλά όχι μηδενικό. Αδυναμίες σχεδιασμού, περιορισμένοι κανονισμοί, ατέλειες κατασκευής, ανεπαρκής ποιοτικός έλεγχος, κακή λειτουργία, ελλιπής ή ανύπαρκτη συντήρηση, όλα αυτά και άλλα συμμετέχουν ενεργά ή παθητικά στην ανάπτυξη συνθηκών που οδηγούν σε αστοχίες ή σε ατυχή συμβάντα.

Αστοχία φράγματος (failure στα αγγλικά και rupture στα γαλλικά), ορίζεται ως «Κατάρρευση ή μετακίνηση μέρους του φράγματος ή της θεμελίωσής του, τέτοια ώστε το φράγμα να μην μπορεί να συγκρατήσει νερό. Η αστοχία έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού, η οποία θέτει σε κίνδυνο ανθρώπους και περιουσίες κατόντη. του φράγματος».

Κατά συνέπεια η αδυναμία συγκράτησης νερού που δεν είναι επακόλουθο κατάρρευσης ή μετακίνησης του φράγματος, δεν πρέπει καταγράφεται ως αστοχία, παρότι οδηγεί σε αχρήστευση του έργου με τεράστιες οικονομικές επιπτώσεις. Επί πλέον, κατά τον ορισμό η αστοχία συνοδεύεται με 'απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων νερού', αλλά θεωρείται ότι αυτό είναι δυνητικό επακόλουθο και όχι υποχρεωτικό, για να οριστεί ένα γεγονός ως αστοχία.

1.3.1 Η απόκτηση γνώσης μέσα από τα καταστροφικά γεγονότα

Η γνώση που απαιτείται για την κατασκευή φραγμάτων σε αρκετές περιπτώσεις ήταν απόρροια μεγάλων καταστροφών. Οι μηχανισμοί που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των φραγμάτων έγιναν περισσότερο κατανοητοί μέσω της αστοχίας μερικών από αυτά. Η καταγραφή των περιπτώσεων αστοχιών και ατυχών συμβάντων με λεπτομέρειες της εξέλιξής τους, καθώς και η διερεύνηση των αιτίων εμφάνισής τους, αποτελεί σημαντική πηγή άντλησης πληροφορίας για τη συμπεριφορά και τις αδυναμίες των φραγμάτων. Στόχος είναι η συνεχής βελτίωση των παραδοχών σχεδιασμού, των μεθόδων κατασκευής και τέλος η εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης που συνοδεύει τα έργα αυτά.

Κάποιες αστοχίες είχαν τεράστιες συνέπειες κυρίως επειδή προκάλεσαν το θάνατο χιλιάδων ανθρώπων. Αστοχίες φραγμάτων έχουν καταγραφεί ήδη από το 1219 (Levi and Salvadori, 1992) και συνεχίζουν να καταγράφονται μέχρι και σήμερα.

Μεταξύ των σύγχρονων, πολύνεκρων αστοχιών φραγμάτων συμπεριλαμβάνονται εκείνες των South Fork (1889, ΗΠΑ), Malpasset (1959, Γαλλία), Vaiont (1963, Ιταλία) και Banqiao Dam (1975, Κίνα).

Το φράγμα South Fork στην Πενσυλβανία (Η.Π.Α.) ήταν ένα χωμάτινο φράγμα ύψους 21.9m και μήκους στέψης 284m. Το Μάιο 1889 μετά από εκτεταμένες πλημμύρες και αδυναμία του υπερχειλιστή να αποφορτίσει τον ταμιευτήρα, ένα κύμα ύψους 0.5m πέρασε πάνω από τη στέψη του φράγματος προκαλώντας την αστοχία του (Penman et al., 1999). Το νερό που απελευθερώθηκε έφτανε σε όγκο τους 20 εκατομμύρια τόνους και κατέληξε στην πόλη Johnstown 23km κατάντη του φράγματος καταστρέφοντάς την σχεδόν ολοκληρωτικά (Σχ. 1.3). Το αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος 2209 ανθρώπων (Penman et al., 1999) και ανυπολόγιστες υλικές ζημιές. Η αστοχία του φράγματος South Fork έκανε φανερή την ανάγκη για παρακολούθηση, συντήρηση και διασφάλιση της σωστής λειτουργίας στο μέλλον όχι μόνο του ίδιου του φράγματος αλλά και των δευτερευόντων κατασκευών του όπως π.χ. οι υπερχειλιστές,

Η πρώτη μεγάλη καταστροφή εξαιτίας αστοχίας φράγματος στον 20ο αιώνα ήταν εκείνη του φράγματος Malpasset στη Γαλλία το 1959 (Londe, 1976). Πρόκειται για ένα τοξωτό φράγμα από σκυρόδεμα ύψους 60m και μήκους στέψης 223m. Δυστυχώς ρωγμές που είχαν εμφανιστεί κοντά στο πόδι της κατάντη πλευράς δεν έτυχαν της απαιτούμενης προσοχής και εβδομάδες αργότερα μετά την εμφάνισή τους το φράγμα αστόχησε. Έρευνες έδειξαν ότι η αστοχία οφειλόταν στην παρουσία ενός ρήγματος που δεν είχε εντοπιστεί κατά τη διάρκεια μελέτης του φράγματος. Το νερό συγκεντρώνονταν κάτω από το φράγμα χωρίς να έχει δυνατότητα διαφυγής μέσα από το βράχο με αποτέλεσμα την παρουσία ασυνήθιστα μεγάλων πιέσεων κάτω από την κατασκευή (Bellier, 1967). Τελικά ολόκληρος ο τοίχος του φράγματος κατέρρευσε, απελευθερώνοντας ένα κύμα νερού ύψους 40m που κατέστρεψε τα χωριά Malpasset και Bozon, προκάλεσε το θάνατο 421 ανθρώπων και υλικές καταστροφές κόστους 68 εκατομμυρίων δολαρίων. Η περίπτωση του φράγματος Malpasset αποτέλεσε μια από τις αιτίες που οδήγησαν τελικά στην καθιέρωση της συνεχούς και συστηματικής παρακολούθησης των ήδη υπαρχόντων φραγμάτων και στη λεπτομερή μελέτη της γεωλογίας της περιοχής όπου πρόκειται να κατασκευαστεί ένα φράγμα.

Παρόλα αυτά η καταστροφή δεν έρχεται πάντα μόνο με την αστοχία του ίδιου του φράγματος. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του φράγματος Vaiont (Ιταλία), ενός τοξωτού φράγματος από σκυρόδεμα, ύψους 262m και μήκους στέψης 190m. Την αστοχία του τον Οκτώβριο 1963 προκάλεσε μια κατολίσθηση συνολικού όγκου $260 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ανάντη του φράγματος. Η κατολίσθηση ενεργοποιήθηκε κατά την διάρκεια της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα, μετά από δύο εβδομάδες συνεχούς βροχόπτωσης και παρά τα μέτρα ελέγχου που είχαν ληφθεί (Kiersch, 1964). Το νερό που εκτοπίστηκε πέρασε πάνω από τη στέψη του φράγματος στην κοιλάδα κατάντη με ένα κύμα ύψους 250m προκαλώντας το θάνατο 1909 ανθρώπων και ανυπολόγιστες υλικές ζημιές καταστρέφοντας ολοκληρωτικά τα χωριά Longarone, Pirago, Rivalta, Villanova και Fae (Graham, 1999). Παρά την καταστροφή το φράγμα δεν υπέστη σημαντικές φθορές. Ακόμη και σήμερα διατηρείται στη θέση του ακέραιο.

Η μεγαλύτερη καταστροφή από αστοχία φράγματος που έχει καταγραφεί μέχρι και σήμερα κυρίως ως προς τον αριθμό των απωλειών ανθρωπίνων ζώων είναι εκείνη που προκλήθηκε από την αστοχία του φράγματος Banqiao, ενός χωμάτινου φράγματος ύψους 118m, στην Κίνα το 1975 (Graham, 1999; McCully, 2001). Ο απολογισμός ήταν 231000 άνθρωποι νεκροί εκ των οποίων οι 145000 πέθαναν εξαιτίας των επιδημιών που ακολούθησαν τις πλημμύρες (Qing, 1998). Η αστοχία του φράγματος αποδόθηκε στη ραγδαία αύξηση της στάθμης στον ταμιευτήρα του λόγω ισχυρών και μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεων. Το ύψος της βροχής έφτασε το ένα μέτρο μέσα σε τρεις ημέρες. Η βροχή κατέστρεψε το σύστημα τηλεπικοινωνιών με αποτέλεσμα οι υπεύθυνοι του φράγματος να μην ενημερώνονται για τις καιρικές συνθήκες και τη στάθμη του νερού στα ανάντη. Αυτό σε συνδυασμό με τη μειωμένη δυνατότητα των υπερχειλιστών να διοχετεύσουν τα πλημμυρικά νερά εξαιτίας κακής συντήρησης οδήγησε στην αστοχία του φράγματος. Οι πλέον πρόσφατες σημαντικές αστοχίες φραγμάτων είναι εκείνες του φράγματος Zeyzoun στη Συρία (2002) και των φραγμάτων Campos Novos στη Βραζιλία (2006) και Gusau στη Νιγηρία (2006). Η αστοχία του πρώτου είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο 10 ανθρώπων και τεράστιες υλικές ζημιές. Η αστοχία του δεύτερου μπορεί να μην είχε απώλειες ανθρωπίνων ζώων αλλά προκάλεσε σημαντικές υλικές ζημιές καθώς 3000 άνθρωποι αναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Η αστοχία του φράγματος στη Νιγηρία προκάλεσε το θάνατο 40 ατόμων και 1000 ακόμη οικογένειες έχασαν τις περιουσίες τους.

1.3.2 Στατιστικά στοιχεία Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD)

Οι αστοχίες των φραγμάτων χαρακτηρίζονται ως γεγονότα «χαμηλής πιθανότητας, υψηλών απωλειών» (Committee on Safety of existing dams, 1983). Οι αστοχίες που έχουν σημειωθεί μέχρι σήμερα έδειξαν ότι και μόνο οι υλικές ζημιές που προκαλούνται (αγνοώντας το μεγάλο αριθμό θυμάτων) μπορεί να φτάσουν ακόμη και το κόστος κατασκευής του φράγματος (Kalustyan, 1995). Σύμφωνα με στοιχεία της ICOLD (1973) η αιτία αστοχίας ενός φράγματος εξαρτάται τόσο από τον τύπο του (χωμάτινο ή από σκυρόδεμα) όσο και από την ηλικία του. Για τα φράγματα από σκυρόδεμα, κυριότερη αιτία είναι η αστοχία στη θεμελίωση. Για τα χωμάτινα φράγματα οι διαρροές αποτελούν τη σημαντικότερη αιτία αστοχίας ιδιαίτερα για τα φράγματα στα οποία δεν υπάρχει ενίσχυση του πυρήνα με γεωσυνθετική μεμβράνη και ακολουθεί η υπερπήδηση του νερού πάνω από τη στέψη.

Η επικινδυνότητα των φραγμάτων έχει άμεση σχέση και με την ηλικία τους. Η διάρκεια ζωής τους καλύπτει μερικές δεκαετίες, για φράγματα από οπλισμένο σκυρόδεμα και μπορεί να ξεπεράσει κατά πολύ τα 100 χρόνια αν πρόκειται για χωμάτινα φράγματα. Οι χρονικές περίοδοι που χαρακτηρίζονται ως υψηλής επικινδυνότητας είναι η περίοδος κατά την πρώτη πλήρωση και η περίοδος γήρανσης που ακολουθεί αρκετά χρόνια μετά την κατασκευή.

Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται:

- Το ποσοστό μεγάλων φραγμάτων που αστόχησαν ως προς το σύνολον των φραγμάτων, μειώνεται συνεχώς, από 2,2 % για φράγματα τα οποία κατασκευάστηκαν πριν το 1950, σε λιγότερο από 0,5 % για φράγματα μετά το 1950.
- Σε απόλυτους αριθμούς, οι περισσότερες αστοχίες αφορούν φράγματα μικρού ύψους τα οποία όμως αποτελούν και το μεγαλύτερο ποσοστό των φραγμάτων σε λειτουργία. Το ποσοστό αστοχιών παραμένει πρακτικά ανεξάρτητο από το ύψος του φράγματος.
- Οι περισσότερες αστοχίες αφορούν φράγματα που τίθενται σε λειτουργία πρώτη φορά. Το 70% των αστοχιών συνέβησαν τα πρώτα δέκα χρόνια, από την πρώτη πλήρωση και κυρίως κατά τον πρώτο χρόνο.

- Στα γεωφράγματα, η πιο συχνή αιτία αστοχίας είναι α) διάβρωση λόγω υπερπήδησης (31% ως πρωτογενής και 18% ως δευτερογενής αιτία), β) διάβρωση λόγω διασωλήνωσης (15% ως πρωτογενής και 13% ως δευτερογενής αιτία) και γ) διάβρωση της θεμελίωσης (12% ως πρωτογενής και 5% ως δευτερογενής αιτία).
- Στα φράγματα βαρύτητας, η σημαντικότερη αιτία αστοχίας είναι προβλήματα θεμελίωσης λόγω α) διάβρωσης (21%) και β) ανεπαρκούς διατμητικής αντοχής (21%).
- Στα λιθόκτιστα φράγματα, η πιο συχνή αιτία αστοχίας είναι α) η υπερπήδηση (43%) και β) ή διάβρωση της θεμελίωσης (29%).
- Αστοχίες στα συναφή έργα, οφείλονται κυρίως σε ανεπαρκή διαστασιολόγηση του συστήματος υπερχειλίσης (22% ως πρωτογενής και 39% ως δευτερογενής αιτία).

1.3.3 Περιπτώσεις αστοχιών φραγμάτων από τον Ελληνικό χώρο

Με εξαίρεση τα αρχαία φράγματα των Μινύων, της Τίρυνθας και της Αλυζίας, φράγματα κατασκευάζονται στον Ελληνικό χώρο από τη δεκαετία του 1920. Εκτιμάται ότι υπάρχουν σήμερα περισσότερα από 100 μεγάλα φράγματα (σύμφωνα με τον ορισμό της ICOLD). Ο ακριβής αριθμός δεν είναι γνωστός, αφού δεν υπάρχει στη χώρα μας θεσμοθετημένος φορέας για την καταγραφή και παρακολούθηση των φραγμάτων.

Τα περισσότερα από τα υπάρχοντα φράγματα βρίσκονται σήμερα σε κανονική λειτουργία. Περιορισμένος αριθμός αστοχιών ή ατυχών συμβάντων έχει καταγραφεί στην Ελλάδα τα τελευταία 90 χρόνια. Μερικά, είτε κατά την κατασκευή τους είτε κατά ή μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα, εμφάνισαν σοβαρά προβλήματα και αδυναμία λειτουργίας, ώστε να ανταποκριθούν στους στόχους για τους οποίους σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν.

- *Φράγμα Περδίκια [1962]*

Η λεκάνη κατάκλισης και η θεμελίωση του φράγματος διαμορφώνονται μέσα σε αργιλομαργαίικους σχηματισμούς, σχετικά χαμηλής διαπερατότητας. Κάτω από το σχηματισμό αυτό απαντώνται τριαδικό - ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, με έντονα

φαινόμενα καρστικοποίησης. Στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, ο ασβεστολιθικός σχηματισμός απαντάται σε βάθος της τάξης των 100 m. Ανάντη του φράγματος έχει καταγραφεί παρακατακόρυφο ρήγμα που ανυψώνει τους ασβεστολίθους κοντά στην επιφάνεια. Στην κοίτη του ποταμού εμφανίζονται προσχώσεις.

Κατά την πρώτη πλήρωση του ταμιευτήρα και όταν η στάθμη του ταμιευτήρα είχε ανέλθει περίπου στα δύο τρίτα του ύψους του φράγματος, αναπτύχθηκαν έντονες διαρροές, με αποτέλεσμα την ουσιαστική εκκένωση του ταμιευτήρα σε μικρό χρονικό διάστημα. Λόγω της αδυναμίας του ταμιευτήρα να συγκρατήσει νερό για το σκοπό που κατασκευάστηκε το φράγμα, το γεγονός αυτό θεωρείται ως αστοχία, επειδή συνυπάρχει και το στοιχείο 'μετακίνησης της θεμελίωσης', με διασωλήνωση, διάπλυση και τελικά διάβρωση. Κατά την αστοχία αυτή δεν τέθηκαν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές ή περιουσίες.

Κατά συνέπεια η αστοχία οφείλεται σε ανεπαρκή έρευνα και ανεπαρκή ή ελλιπή σχεδιασμό του έργου.

- *Φράγμα Καμαρών Ν. Σίφνου [2003]*

Η κατασκευή του φράγματος άρχισε το 2002 και στις αρχές Φεβρουαρίου 2003, το σώμα του φράγματος είχε φθάσει στο ύψος ~42, δηλαδή 6 m κάτω από την τελική του στέψη, ενώ οι εξωτερικοί τοίχοι ήταν ελαφρώς υψηλότερα.

Στα μέσα Φεβρουαρίου άρχισαν έντονες βροχοπτώσεις. Εκτιμάται ότι το θυρόφραγμα στον αγωγό εκτροπής ήταν κλειστό και έτσι δεν ήταν δυνατόν να διοχετευτεί μέρος του πλημμυρικού όγκου στα κατάντη του φράγματος. Όπως είχε συμβεί και παλαιότερα, η άνοδος της στάθμης στον ταμιευτήρα, ανέπτυξε ροή νερού μέσα στο σώμα του φράγματος και εκφόρτισή της σε θέσεις του κατάντη πρσανούς. Η ροή αυτή υποδηλώνει ότι το σώμα του φράγματος είναι σχετικά υψηλής διαπερατότητας, γεγονός που επιβεβαιώθηκε όταν αποκαλύφθηκε το εσωτερικό του φράγματος με τις εργασίες αποκατάστασης.

Ο ταμιευτήρας σταδιακά πληρώθηκε και το φράγμα τελικά υπερπηδήθηκε στις 18 Φεβρουαρίου. Η θεμελίωση του φράγματος στο δεξιό αντέρεισμα διαβρώθηκε καθ' όλο το ύψος του φράγματος, δημιουργώντας διάκενο ανοίγματος της τάξης των 2 m.

Λόγω της ιδιαίτερα χαμηλής εφελκυστικής αντοχής του υλικού του φράγματος (όπως προέκυψε εκ των υστέρων), επήλθε τελικά θραύση με τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής καθ' όλο το ύψος του φράγματος, ανοίγματος ~10 cm στη στέψη και τελικά αποκοπή τριγωνικού τμήματος, με περιστροφή.

Στην παρούσα περίπτωση η αστοχία οφείλεται σε:

- ∅ Περιορισμένο ή ανεπαρκή σχεδιασμό (επιλογή όχι του πλέον ενδεδειγμένου τύπου φράγματος και εκτίμηση της αντοχής του),
- ∅ περιορισμένη ή ελλιπή αξιολόγηση των γεωλογικών στοιχείων (εκτεταμένες ζώνες υλικού εδαφικής δομής στην κοίτη και τα αντερείσματα),
- ∅ ανεπαρκή αντοχή υλικών θεμελίωσης (θεμελίωση φράγματος βαρύτητας σε υλικά εδαφικής δομής και κατά συνέπεια μειωμένης αντοχής),
- ∅ ανεπαρκή αντοχή υλικών φράγματος (διαμόρφωση τμημάτων του φράγματος με λιθορριπή και όχι λιθόκτιστο),
- λανθασμένοι χειρισμοί (έμφραξη του αγωγού εκτροπής πριν από την ολοκλήρωση του φράγματος και ιδιαιτέρως κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου).

Στη συνέχεια αναφέρονται δύο περιπτώσεις αστοχίας λόγω υπερπήδησης. Και στις δύο περιπτώσεις, η υπερπήδηση κατέληξε σε τοπική διάβρωση και κατολίσθηση μέρους του κατάντη πρανούς του αναχώματος,

- *Φράγμα Αγίας Χανίων, Ν.Κρήτης [1968], [2000]*

Αστοχία με τοπική υπερπήδηση του φράγματος λόγω αδυναμίας του υπερχειλιστή να ανταποκριθεί στις εισρέουσες πλημμυρικές παροχές.

- *Φράγμα Μυλοποτάμου Ν.1ου [2003]*

Τον Ιανουάριο 2003 καταγράφηκαν ακραίες βροχοπτώσεις στο νησί, που κατέληξαν σε υψηλή πλημμυρική παροχή εισροής στον ταμιευτήρα. Η λειτουργία του υπερχειλιστή ήταν σχετικά άμεση. Η στάθμη στον ταμιευτήρα έφθασε στη στέψη του φράγματος και στη συνέχεια ακολούθησε υπερπήδηση. Από σημάδια που άφησε η

πλημμύρα στη στέψη του φράγματος, καταγράφεται ότι η στάθμη του νερού έφθασε σε ύψος μεγαλύτερο του 0.4 m πάνω από τη στέψη. Το ατυχές συμβάν εκτιμάται ότι οφείλεται σε λανθασμένη επιλογή της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή

Συνοψίζοντας τα στοιχεία που παρατέθηκαν, οι δύο αστοχίες που αναφέρονται, οφείλονται σε αδυναμίες σχεδιασμού και ατελείς ή λανθασμένες ενέργειες κατά την κατασκευή. Καμία όμως δεν οφειλόταν σε επιλογές βασισμένες σε υδρολογικά στοιχεία. Αντιθέτως, όλα τα ατυχή συμβάντα που αναφέρονται, συνδέονται με υπερπήδηση φράγματος ή προφράγματος και ήταν αποτέλεσμα λανθασμένων επιλογών στις παροχές σχεδιασμού των επιμέρους τεχνικών έργων, δηλαδή των συστημάτων υπερχειλίσης και εκτροπής.

Εμφανίζεται επομένως ότι οι παράγοντες ‘εκτίμηση παροχών’ και ‘επιλογή παροχών σχεδιασμού’ είναι κομβικής σημασίας στο σχεδιασμό και στην υλοποίηση των μεγάλων έργων που καλύπτονται από το γενικό τίτλο ‘φράγματα’.

1.4 Σύνοψη

Η κατασκευή φραγμάτων, αποτελεί ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα της προσπάθειας του ανθρώπου να ελέγξει μια από τις ισχυρότερες δυνάμεις της φύσης, τη δύναμη του νερού. Μέσα από την πολυετή πείρα μας σε αυτό το αντικείμενο και μετά από έναν σημαντικό αριθμό «βιβλικών» καταστροφών που συνέβησαν, είναι πλέον κοινή πεποίθηση η τεράστια σημασία που έχει η ασφαλής λειτουργία του έργου και η πρόληψη των κινδύνων, των άμεσων και των μακροχρόνιων. Ο βασικότερος παράγοντας που το εξασφαλίζει αυτό, είναι ο αποτελεσματικός περιορισμός και έλεγχος των υπόγειων ροών, στα πλαίσια του οποίου εντάσσεται και το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Περιορισμός και Έλεγχος ροών κάτω και μέσα από χωμάτινα φράγματα

2.1 Το πρόβλημα των υπόγειων ροών

Το πρόβλημα της υδατικής ροής διαμέσου του εδάφους υπεισέρχεται σε όλα σχεδόν τα γεωτεχνικά έργα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η υδατική ροή διαμέσου του εδάφους είναι επιθυμητή (π.χ. αντλήσεις για προμήθεια νερού από τον υπόγειο ορίζοντα), ενώ σε άλλες όχι (π.χ. υδατική ροή διαμέσου του πυρήνα φράγματος).

Όλα τα εδαφικά υλικά είναι διαπερατά, αφού οι πόροι τους επικοινωνούν και σχηματίζουν συνεχείς διόδους. Οι διαφορές που εμφανίζουν τα διάφορα εδαφικά υλικά ως προς τη διαπερατότητά τους είναι καθαρά ποσοτικές, δηλαδή άλλα υλικά έχουν μεγάλη διαπερατότητα (π.χ. χαλίκια και χονδρόκοκκες άμμοι), ενώ άλλα έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα (π.χ. άργιλοι). Ορισμένα από τα προβλήματα στα οποία υπεισέρχεται η ανάλυση της υδατικής ροής σε εδαφικά υλικά, είναι:

- Η υδατική ροή διαμέσου της περιμέτρου ενός ταμιευτήρα και του σώματος του φράγματος.
- Ο βαθμός σφράγισης (στεγάνωσης) ταμιευτήρων στους οποίους αποθηκεύονται τοξικά απόβλητα. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουν οι τρόποι στεγάνωσης, οι πιθανές απώλειες κατά τη συνήθη λειτουργία και οι συνέπειες από την ατελή λειτουργία της σφραγιστικής στρώσης (π.χ. μόλυνση του υπόγειου ορίζοντα, μεταφορά των αποβλήτων με τα υπόγεια νερά προς τα κατάντη, μόλυνση κατάντη πηγών και λοιπές περιβαλλοντικές επιπτώσεις). Ειδική περίπτωση τέτοιων ταμιευτήρων είναι οι υπόγειοι αποθηκευτικοί χώροι πυρηνικών αποβλήτων. Στην περίπτωση αυτή το πρόβλημα είναι περισσότερο πολύπλοκο, λόγω της θερμότητας που εκλύεται και συνεπώς του φαινομένου ταυτόχρονης ροής ρευστών και διάχυσης θερμότητας.
- Η ποσότητα του νερού που διηθείται προς το εσωτερικό εκσκαφών κάτω από το φρεάτιο ορίζοντα. Στην περίπτωση αυτή τα διηθούμενα νερά, εκτός από το

γεγονός ότι παρεμποδίζουν τις εργασίες στο εσωτερικό της εκσκαφής, χαλαρώνουν το έδαφος, με συνέπεια να εμφανίζονται καταπτώσεις των παρειών της εκσκαφής, χαλάρωση του πυθμένα κλπ.

- Ο σχεδιασμός συστημάτων αντλήσεων για την προμήθεια νερού από υπόγειους φυσικούς ταμιευτήρες, την αποστράγγιση λιμνών και ελών και, τέλος, για τον καταβιβασμό της στάθμης των υπογείων υδάτων σε περιπτώσεις εκσκαφών κάτω από τον υπόγειο ορίζοντα. Στις περιπτώσεις αυτές ζητείται να σχεδιασθούν τα απαραίτητα έργα (διάμετρος, βάθος και απόσταση των φρεάτων, ισχύς των αντλιών κλπ.), ώστε να κατέλθει η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα ή να αντληθεί ορισμένη ποσότητα νερού.
- Η βελτίωση του βαθμού ευστάθειας φυσικών πρηνών ή πρηνών εκσκαφών με τον καταβιβασμό της Στάθμης του Υπόγειου Ορίζοντα.
- Η εκτίμηση της χρονικής εξέλιξης των υποχωρήσεων των κατασκευών στα κορεσμένα εδάφη. Όπως αναφέρεται στα επόμενα, η υποχώρηση των κατασκευών που προκύπτει από τη συμπίεση του εδάφους απαιτεί τη μείωση του όγκου των κενών. Επειδή, όμως, τα κενά είναι πληρωμένα με νερό, η μείωση του όγκου τους δημιουργεί την ανάγκη διαφυγής του νερού, άρα υδατική ροή.
- Η υδατική ροή διαμέσου του εδάφους μπορεί να έχει ποικίλα χαρακτηριστικά. Στην περίπτωση π.χ. της πρώτης πλήρωσης του ταμιευτήρα που δημιουργείται με την κατασκευή ενός φράγματος, το νερό διεισδύει στους πόρους του υλικού του φράγματος και βαθμιαία εκτοπίζει τον αέρα από τους πόρους. Συγχρόνως, όμως, η στάθμη του ταμιευτήρα ανέρχεται, οι υδατικές πιέσεις στο φράγμα αυξάνονται και ταυτόχρονα αυξάνονται οι ποσότητες του διηθούμενου νερού. Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο για τους ακόλουθους λόγους:
- Λόγω της άγνωστης και χρονικά μεταβαλλόμενης θέσης της ελεύθερης υδατικής επιφάνειας της ροής στο εσωτερικό του φράγματος.
- Λόγω της αποθήκευσης νερού στο εσωτερικό του φράγματος (στους πόρους), με συνέπεια το νερό που εξέρχεται από την κατάντη παρειά του φράγματος να είναι λιγότερο από αυτό που διηθείται από τον ταμιευτήρα προς το εσωτερικό του φράγματος.

- Λόγω της άγνωστης κατανομής των υδατικών πιέσεων στο εσωτερικό του φράγματος. Οι πιέσεις προσαρμόζονται διαρκώς στις χρονικά μεταβαλλόμενες συνθήκες ροής στο εσωτερικό του φράγματος και στις ανάντη συνοριακές συνθήκες (μεταβαλλόμενη στάθμη ταμιευτήρα).
- Επειδή, με τη μεταβολή των υδατικών πιέσεων στο εσωτερικό του φράγματος (χωρίς να μεταβάλλονται πάντοτε εξίσου και οι ολικές τάσεις), μεταβάλλονται οι ενεργές τάσεις που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του φράγματος. Η μεταβολή των ενεργών τάσεων προκαλεί ογκομετρικές παραμορφώσεις του υλικού του φράγματος (διόγκωση ή συμπίεση), δηλαδή μεταβολές του όγκου των πόρων του εδαφικού υλικού, με συνέπεια την πρόσθετη αποθήκευση νερού (ή τη μείωση του αποθηκευμένου όγκου νερού) στους πόρους του υλικού του φράγματος.
- Λόγω της εναλλαγής πολύ διαπερατών με λιγότερο διαπερατές εδαφικές στρώσεις, της παρουσίας διόδων του νερού μέσα από ρωγμές στο εσωτερικό του φράγματος, της δημιουργίας φαινομένων διασωλήνωσης (ripping) στο κατάντη πρανές του φράγματος κλπ.

Από όλα τα προηγούμενα καθίσταται σαφής η πολυπλοκότητα του προβλήματος της υδατικής ροής διαμέσου του εδάφους και η ανάγκη απλοποιητικών παραδοχών για την ανάλυσή του. Η κυριότερη παραδοχή που γίνεται στο Κεφάλαιο αυτό είναι η μονιμότητα της ροής, δηλαδή ότι η ταχύτητα της υδατικής ροής σε οποιοδήποτε σημείο του εδάφους δεν μεταβάλλεται χρονικά. Η κατάσταση της μόνιμης ροής είναι αρκετά συνήθης στη φύση: αν οι συνοριακές συνθήκες παραμείνουν αμετάβλητες για αρκετό χρονικό διάστημα, η υδατική ροή στο έδαφος βαθμιαία θα προσεγγίσει ικανοποιητικά τις συνθήκες μόνιμης ροής (ιδιαίτερα στην περίπτωση ροής χωρίς ελεύθερη επιφάνεια, η προσαρμογή στις συνθήκες μόνιμης ροής είναι ταχεία).

2.2 Μονοδιάστατη Ροή – Νόμος Darcy

Για να αναλύσουμε το μηχανικό φαινόμενο της ροής των υπογείων υδάτων, χρειάζεται να ξέρουμε το αίτιο της κίνησής τους. Είναι σκόπιμο να αναζητήσουμε το μέγεθος εκείνο το οποίο αν γνωρίζαμε σε κάθε σημείο του πεδίου ροής θα ξέραμε πώς κινείται το νερό. Για την ανάλυση φυσικών φαινομένων ροής (μάζα ή όγκος

ρευστού, μάζα ρύπου, θερμότητα, ηλεκτρισμός), συνήθως ορίζουμε μια κλίση δυναμικού, ορίζουμε δηλαδή ένα μέγεθος (δυναμικό) του οποίου η αλλαγή στο χώρο (κλίση) προκαλεί ροή της ποσότητας που μας ενδιαφέρει. Για τα προβλήματα ροής ρευστών, το μέγεθος του οποίου η αλλαγή προκαλεί ροή είναι η συνολική μηχανική ενέργεια ανά μονάδα μάζας ρευστού. Εφαρμόζοντας την εξίσωση ενέργειας, και λαμβάνοντας την ατμοσφαιρική πίεση αναφοράς $p_0 = 0$ και για αγνοώντας τον όρο της κινητικής ενέργειας ως αμελητέο (V^2 είναι πολύ μικρό) γιατί στα προβλήματα της υπόγειας ροής οι ταχύτητες είναι μικρές. Έτσι η έκφραση για το δυναμικό απλοποιείται (με απαλοιφή της επιτάχυνσης της βαρύτητας) στην ακόλουθη μορφή:

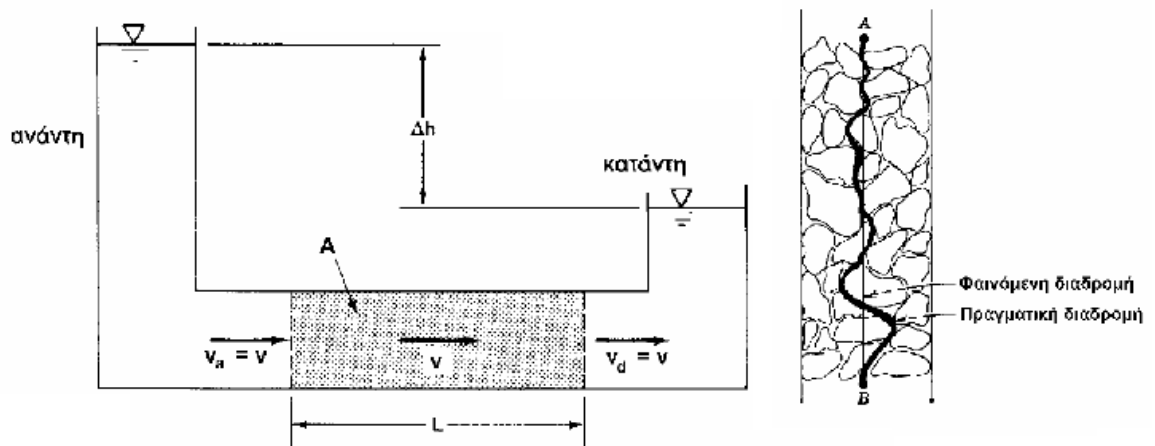
$$h = z + p/\gamma_w \quad (2.1)$$

Η εξίσωση (2.1) μας επιτρέπει να υπολογίζουμε το υδραυλικό φορτίο h , σε κάθε σημείο του πεδίου ροής, ως το άθροισμα του υψομετρικού φορτίου, z , από κάποιο αυθαίρετο επίπεδο αναφοράς και του πιεζομετρικού φορτίου, p/γ_w . Σημειώνεται ότι το υδραυλικό φορτίο έχει μονάδες μήκους [L], όπως βέβαια και κάθε μέλος της εξίσωσης. Το υδραυλικό φορτίο, h , που είναι το μέτρο της μηχανικής ενέργειας, ή, ισοδύναμα, το μέτρο δυναμικού. Η διαφορά του υδραυλικού φορτίου είναι το μέγεθος που μας επιτρέπει να αποφανθούμε αν το νερό κινείται ή όχι. Η προκύπτουσα κίνηση ρευστού (ροή) πραγματοποιείται από τα σημεία υψηλού δυναμικού σε σημεία χαμηλού δυναμικού.

Όταν το νερό στους πόρους του εδάφους ηρεμεί (οπότε η ταχύτητα ροής είναι μηδέν), οι υδατικές πιέσεις είναι υδροστατικές, η πιεζομετρική συνάρτηση είναι σταθερή (ίση με τη στάθμη της ελεύθερης επιφάνειας) και συνεπώς η υδραυλική κλίση είναι μηδέν, τιμή που ικανοποιεί το νόμο Darcy.

Το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει τη μονοδιάστατη υδατική ροή διαμέσου εδαφικού στρώματος μήκους L . Εφόσον η στάθμη στις ανάντη και κατάντη δεξαμενές παραμένει σταθερή, σε μικρό σχετικά χρόνο θα αποκατασταθούν συνθήκες μόνιμης ροής στο εσωτερικό του εδαφικού στρώματος. Το ζητούμενο στην περίπτωση αυτή είναι η διηθούμενη παροχή Q (η ποσότητα του νερού που διηθείται στη μονάδα του χρόνου, μετρούμενη σε m^3/sec) και η εξάρτηση της από τη διαφορά της στάθμης Δh

των δύο δεξαμενών (διαφορά δυναμικού), το μήκος L και το εμβαδόν A της διατομής του εδαφικού στρώματος.



Σχήμα 2.1 Μελέτη μονοδιάστατης ροής

Το πρόβλημα αυτό μελετήθηκε για αμμώδεις εδαφικούς σχηματισμούς από το Γάλλο Μηχανικό Darcy (1856), που κατέληξε στην έκφραση (νόμος Darcy):

$$Q = kA \frac{\Delta h}{L} = kAi$$

Η ποσότητα $i = \Delta h / L$ ονομάζεται υδραυλική κλίση ή κλίση της πιεζομετρικής συνάρτησης. Ο συντελεστής k (που έχει μονάδες ταχύτητας, π.χ. m/sec) ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας και χαρακτηρίζει το εδαφικό υλικό. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχетеυτικότητα του εδαφικού υλικού, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη παροχή θα διέλθει διαμέσου του εδαφικού υλικού αν τα υπόλοιπα μεγέθη διατηρηθούν σταθερά.

Η υδραυλική αγωγιμότητα εκφράζει συνδυασμένα τις ιδιότητες του πορώδους μέσου και του ρευστού, δηλ. του εδάφους και του νερού στα προβλήματα υπόγειας ροής. Η συμβολή του μέσου και του ρευστού μπορεί να διαχωριστεί με την πιο κάτω έκφραση για την υδραυλική αγωγιμότητα:

$$k = K \rho g / \mu$$

όπου K είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, που χαρακτηρίζει το έδαφος, ενώ ρ και μ είναι η πυκνότητα και το ιξώδες του ρευστού, αντίστοιχα. Προφανώς, ο

συντελεστής διαπερατότητας εξαρτάται από το μέγεθος των πόρων του εδαφικού υλικού το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων (ιδιότητα του υλικού) αλλά και από το βαθμό συμπύκνωσής του (κατάσταση του υλικού), αλλά και από τις ιδιότητες του ρευστού.

Για παράδειγμα, μια συγκεκριμένη άμμος έχει πολύ μεγαλύτερη διαπερατότητα όταν είναι χαλαρή παρά αφού συμπυκνωθεί και αποκτήσει πυκνότερη δομή. Τυπικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για διάφορους εδαφικούς σχηματισμούς δίνονται στον επόμενο Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1 Τυπικές τιμές διαπερατότητας για όλα τα κλάσματα του εδάφους

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	k (m/sec)
χάλικες	$1 - 10^{-2}$
καθαρές άμμοι	$10^{-2} - 10^{-5}$
λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις άμμοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
ιλείς, αργιλώδεις ιλείς	$10^{-6} - 10^{-9}$
άργιλοι	$10^{-8} - 10^{-11}$

Η ποσότητα:

$$v = Q / A = ki$$

(με διαστάσεις ταχύτητας, π.χ. m/sec) ονομάζεται φαινόμενη ταχύτητα ροής και εκφράζει την ευθύγραμμη απόσταση που διανύεται από τη ροή. Η πραγματική ταχύτητα της υδατικής ροής διαμέσου του εδάφους είναι μεγαλύτερη από τη φαινόμενη ταχύτητα, επειδή η πραγματική διαδρομή της ροής δεν είναι ευθύγραμμη και συνεπώς έχει μεγαλύτερο μήκος (βλέπε Σχήμα 2.1). Ορίζουμε επομένως και μια δεύτερη ταχύτητα, μεγαλύτερη από την φαινόμενη, την οποία ονομάζουμε ταχύτητα διήθησης,

$$v_s = \frac{v}{n} = \frac{ki}{n}$$

και εκφράζει την πραγματική ταχύτητα κίνησης του ρευστού μέσα στους πόρους του εδάφους.

2.3 Δυνάμεις Ροής (ή δυνάμεις διήθησης)

Κατά την υδατική ροή διαμέσου του εδάφους το νερό διέρχεται από τους πόρους του εδάφους και λόγω των (αναπόφευκτων) τριβών, χάνει ενέργεια η οποία εκφράζεται με τη μείωση της τιμής της πιεζομετρικής συνάρτησης, h . Η ύπαρξη τριβών, όμως, μεταξύ του νερού και των κόκκων του εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα και την εξάσκηση δυνάμεων επί των κόκκων. Οι δυνάμεις αυτές ονομάζονται δυνάμεις διήθησης και προκαλούν τη μεταβολή των ενεργών τάσεων (δηλαδή των δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των κόκκων). Ανά μονάδα όγκου εδάφους, ασκείται στους στερεούς κόκκους που εδάφους, παράλληλα με τη διεύθυνση ροής, δύναμη ίση με το γινόμενο της υδραυλικής κλίσης i , επί το ειδικό βάρος του νερού:

$$F_{ροήV} = i g_w$$

Εκτός από τη δύναμη ροής, στους εδαφικούς κόκκους ασκείται η δύναμη της βαρύτητας και η δύναμη της άνωσης, οι οποίες ορίζουν το υπό άνωση ειδικό βάρος, $\gamma_{av} = \gamma_{ολ} - \gamma_w$. Ανάλογα με την κατεύθυνση που κινείται η δύναμη ροής, μπορεί να αυξάνει ή να μειώνει τις ενεργές τάσεις και συνεπώς επηρεάζει τη μηχανική συμπεριφορά του εδάφους.

Στην ειδική περίπτωση που το νερό αναβλήζει από το υπέδαφος, δηλαδή η ροή γίνεται από κάτω προς τα πάνω (αντίρροπα της βαρύτητας), η δύναμη ροής εξουδετερώνει εντελώς την δύναμη της βαρύτητας, όταν η υδραυλική κλίση πάρει την κρίσιμη τιμή:

$$i_{cr} = \frac{g_{av}}{g_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

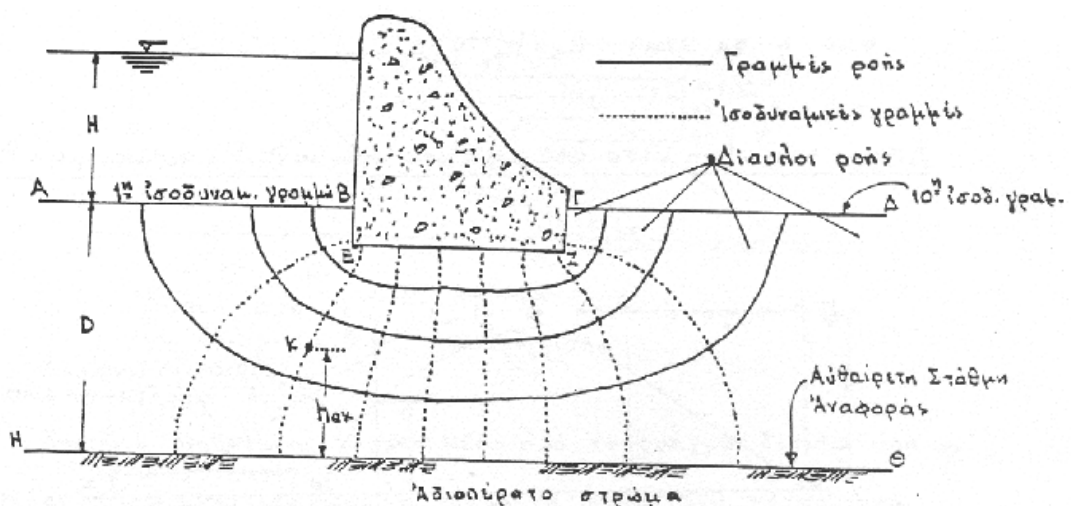
Στην περίπτωση αυτή έχουμε το φαινόμενο της ρευστοποίησης, κατά το οποίο οι ενεργές τάσεις και συνεπώς η αντοχή του εδάφους μηδενίζεται, και το έδαφος συμπεριφέρεται σαν ρευστό.

2.4 Διδιάστατη ροή – Δίκτυα ροής

Όταν έχουμε συνθήκες διδιάστατης ροής, δεν μπορεί να εφαρμοστεί ο νόμος του Darcy στην απλή του μορφή. Η μεταβολή του δυναμικού πραγματοποιείται και στις δύο διαστάσεις, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη διαφορική εξίσωση που ακολουθεί (εξίσωση Laplace).

$$\frac{\partial^2 h}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 h}{\partial^2 z} = 0$$

Η παραπάνω εξίσωση μπορεί να επιλυθεί με διάφορες μεθόδους (αναλυτικές ή υπολογιστικές). Ιδιαίτερα δημοφιλής είναι η μέθοδος γραφικής επίλυσης (προσεγγιστικά) με τη χάραξη του λεγόμενου δικτύου ροής, δηλαδή ενός συστήματος δύο οικογενειών ορθογωνικών καμπύλων: των καμπύλων ροής (καμπύλες κατά τη διεύθυνση της ταχύτητας ροής) και των ισοδυναμικών καμπύλων (καμπύλες σταθερής τιμής της πιεζομετρικής συνάρτησης). Εκτός από την απλότητά της, η μέθοδος παρέχει και καλή εποπτεία του προβλήματος, δηλαδή παίρνουμε μια γραφική απεικόνιση της ροής στο συγκεκριμένο πρόβλημα, όπως φαίνεται και στα Σχήματα 2.2 και 2.3 που ακολουθούν και αφορούν το πρόβλημα ροής κάτω και μέσα από χωμάτινο φράγμα αντίστοιχα.



Σχήμα 2.2 Δίκτυο ροής κάτω από φράγμα

Στο παραπάνω δίκτυο ροής διακρίνονται:

- Αριθμός διαύλων ροής: $n_f = 4$
- Αριθμός βαθμίδων υδραυλικού φορτίου: $n_d = 9$

Παραδοχές δικτύου ροής:

- Από τον κάθε δίαυλο ροής διέρχεται η ίδια παροχή $\Delta Q = Q / n_f = Q / 4$
- Σε κάθε βαθμίδα υδραυλικού φορτίου συμβαίνει η ίδια απώλεια δυναμικού $\Delta h = H / n_d = H / 9$

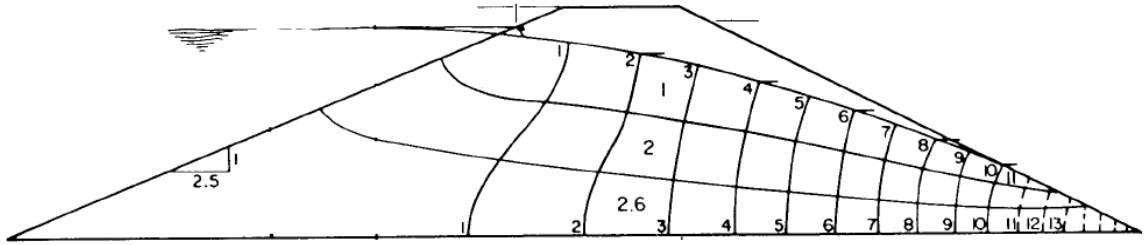
Όπου H το συνολικό υδραυλικό φορτίου που κινεί την ροή, ενώ Q η συνολική διηθούμενη παροχή που δίνεται από τη σχέση:

$$Q = kH \frac{n_f}{n_d}$$

όπου k ο συντελεστής διαπερατότητας του εδάφους. Επιλέγοντας σαν αυθαίρετη στάθμη αναφοράς την γραμμή $H\Theta$, μπορούμε σε κάθε σημείο στο υπέδαφος να υπολογίζουμε το υδραυλικό φορτίο και την πίεση του νερού των πόρων. Για παράδειγμα, αν θεωρήσουμε το σημείο K , το οποίο βρίσκεται στην τρίτη ισοδυναμική γραμμή, τότε υπολογίζουμε το ολικό δυναμικό στο K , $h_{ολ,K}$, ως άθροισμα του πιεζομετρικού ύψους $h_{p,K}$ και του γεωμετρικού ύψους, $h_{υψ,K}$, που είναι η απόσταση από την στάθμη αναφοράς: $h_{ολ,K} = h_{p,K} + h_{υψ,K}$

Ταυτόχρονα, το ολικό δυναμικό στο K , προκύπτει από το ολικό δυναμικό στο επίπεδο AB ($h_{ολ,AB} = H + D$), αφαιρώντας τις απώλειες δυναμικού στις δύο υδραυλικές βαθμίδες που ακολουθούν: $h_{ολ,K} = h_{ολ,AB} - 2 \Delta h$. Η πίεση του νερού των πόρων στο σημείο K θα είναι επομένως: $u_K = \gamma_w h_{p,K}$

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται το δίκτυο ροής μέσα από ομοιογενές, χωμάτινο φράγμα. Από τη μορφή του δικτύου ροής παρατηρούμε ότι η ροή συγκεντρώνεται και εξέρχεται από τον πόδα του κατάντη πρηνούς.



Σχήμα 2.3 Ροή μέσα από χωμάτινο φράγμα

Και στις δύο περιπτώσεις, δύο είναι τα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν: Το πρώτο αφορά στην παροχή διαφεύγει από το φράγμα, το οποίο σημαίνει απώλεια νερού από τον ταμιευτήρα και το δεύτερο αφορά την διάβρωση που προκαλεί η ροή, ειδικά στα σημεία της εξόδου στα κατάντη (βλ. σχήμα 2.4), όπου συνήθως η υδραυλική κλίση είναι μεγάλη, ενώ οι ενεργές τάσεις λόγω βαρύτητας είναι μικρές, που σημαίνει ότι μπορούν εύκολα να παρασυρθούν κόκκοι εδάφους (υποσκαφή) ή να προκληθούν αστοχίες στο πρανές.



Σχήμα 2.4 Απειρισμός της υδραυλικής κλίσης εξόδου λόγω ανεξέλεγκτης ροής

2.5 Μέθοδοι Περιορισμού και Ελέγχου ροών (στεγάνωση και στράγγιση)

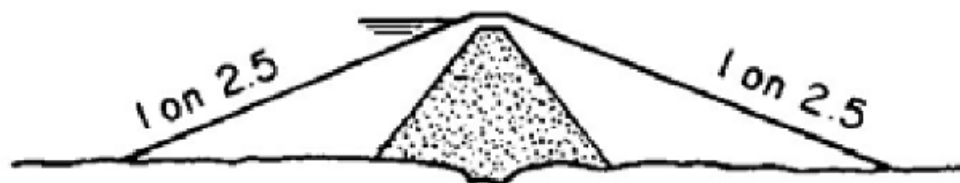
Με την χρήση των δικτύων ροής ή και άλλων μεθόδων, είμαστε σε θέση να υπολογίζουμε την προβλεπόμενη παροχή δια μέσω του φράγματος και του υπεδάφους. Το πρόβλημα που ανακύπτει είναι ο τρόπος αντιμετώπισης της προβλεπόμενης ροής. Οι διάφορες μέθοδοι που υπάρχουν χωρίζονται σε δύο μεγάλες, βασικές κατηγορίες: 1) Σε αυτές με τις οποίες προσπαθούμε να αποκόψουμε τη ροή ή έστω να μειώσουμε την διηθούμενη παροχή και, 2) Σε αυτές με τις οποίες προσπαθούμε να συγκεντρώσουμε και να ελέγξουμε την ροή που είναι αναπόφευκτο να γίνει. Συνήθως, σε όλα τα έργα χρησιμοποιούνται συνδυασμοί μεθόδων και από τις δύο κατηγορίες.

2.5.1 Μέθοδοι περιορισμοί ροών (μείωση διηθούμενης παροχής)

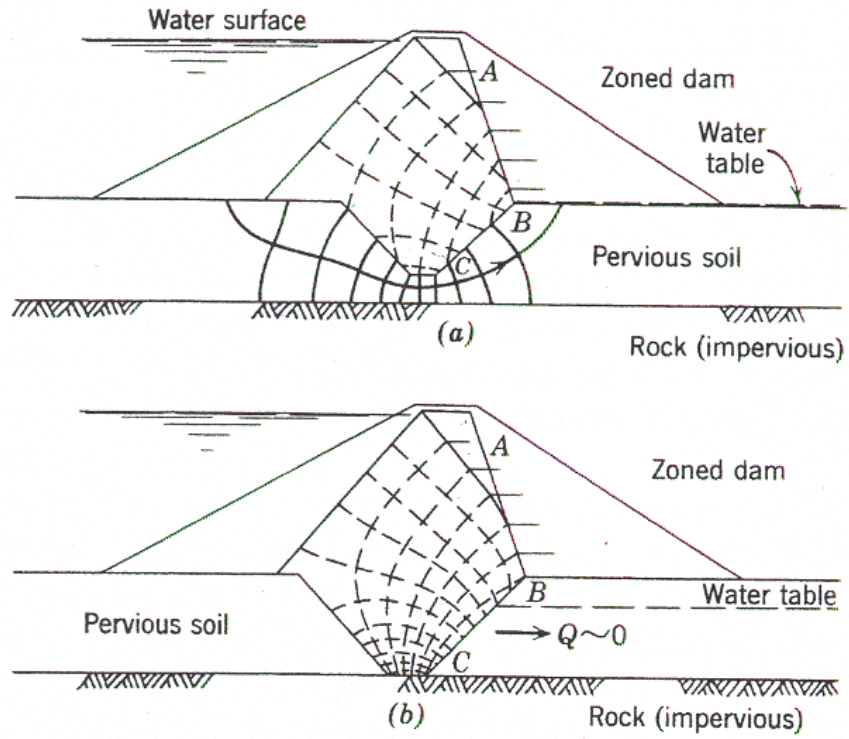
Στις μεθόδους της πρώτης κατηγορίας ανήκουν:

- Κατασκευή αργιλικού (αδιαπέρατου) πυρήνα (Σχήμα 2.5)
- Τάφος αποκοπής (Σχήμα 2.6)
- Διάφραγμα (κουρτίνα) ενέσεων (Σχήμα 2.7)
- Διαφραγματικοί τοίχοι με πασσαλοσανίδες ή άλλες τεχνικές
- Αδιαπέρατη ανάντη οριζόντια στρώση (Σχήμα 2.8)
- Ανάντη κεκλιμένα διαφράγματα (Γεωμεμβράνη ή σκυρόδεμα)- (Σχήμα 2.9)

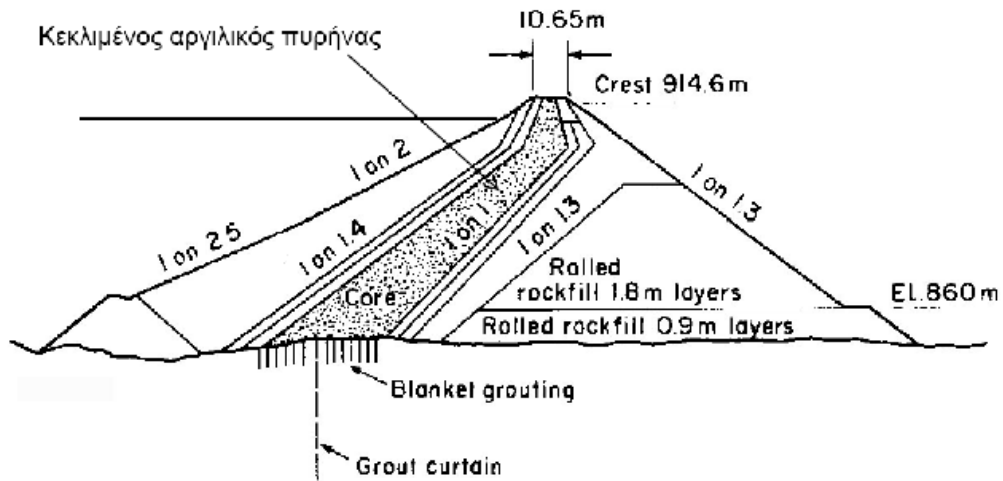
Συνήθως, οι παραπάνω μέθοδοι δεν καταφέρνουν να αποκόψουν πλήρως τη ροή, απλώς την δυσκολεύουν, καθώς αναγκάζουν το νερό να ρέει με μεγαλύτερες απώλειες, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι διηθούμενες παροχές.



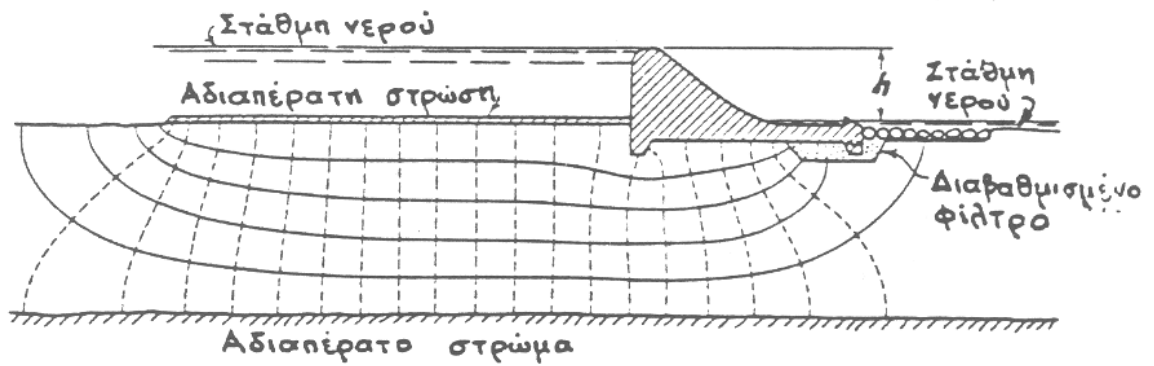
Σχήμα 2.5 Φράγμα με αργιλικό πυρήνα



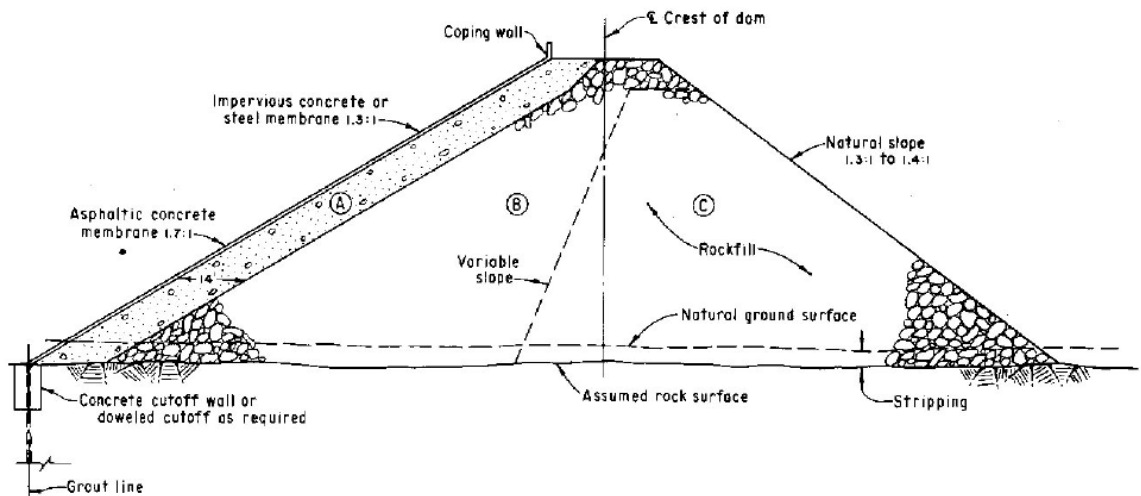
Σχήμα 2.6 Τάφος αποκοπής (α) μερικής και (β) ολικής



Σχήμα 2.7 Φράγμα με διάφραγμα ενέσεων



Σχήμα 2.8 Αδιαπέρατη οριζόντια ανάντη στρώση



Σχήμα 2.9 Κεκλιμένο ανάντη διάφραγμα

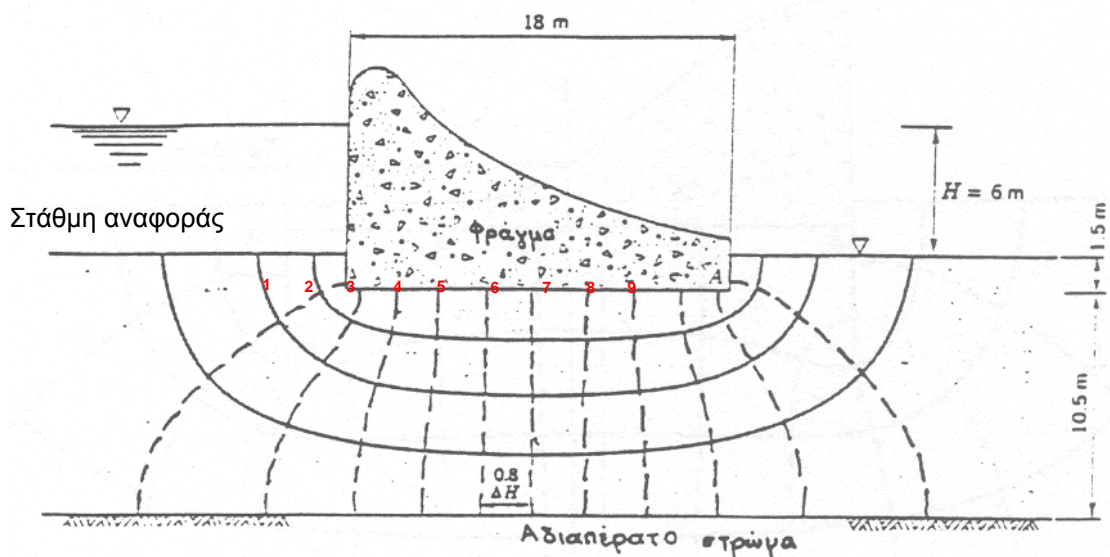
Σχολιάζοντας την αποτελεσματικότητα των παραπάνω μέτρων, όσον αφορά τη στεγάνωση, μπορούμε να πούμε ότι αυτή είναι μικρή, όταν δεν μπορεί να εξασφαλιστεί πλήρης αποκοπή της ροής (πχ με χρήση μεμβρανών, ή με συνεχή διαφράγματα που φτάνουν μέχρι κάποιο αδιαπέρατο υπόστρωμα). Αυτό επηρεάζει και την αποτελεσματικότητα της μεθόδου κατασκευής διαφραγμάτων με ενέσεις, για τις οποίες γνωρίζουμε ότι δεν είναι δυνατό να φτάσουν σε όλα τα κενά του εδάφους, ειδικά στα μικρά. Αποδεικνύεται ότι ακόμα και ένα μικρό ποσοστό των κενών (της τάξεως του 10%) κάτω από το φράγμα να μείνει ακάλυπτο, τότε το ποσοστό ροής που θα περάσει μπορεί να ξεπεράσει το 50% της αρχικής, της ροής δηλαδή που θα γινόταν έτσι και αλλιώς, χωρίς κανένα μέτρο προστασίας!

2.5.2 Αριθμητικά παραδείγματα

Για καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των διαφραγμάτων ενέσεων, παρουσιάζονται τρία λυμένα αριθμητικά παραδείγματα, για την περίπτωση ροής κάτω από φράγμα, α) για ελεύθερη ροή, χωρίς μέτρα μείωσης, β) για περιορισμένη ροή με ανάντη διάφραγμα και γ) για περιορισμένη ροή με κατάντη διάφραγμα. Αυτό που εξετάζεται είναι η επίδραση του διαφράγματος στην μείωση της παροχής και την μείωση της κατανομής του υδραυλικού φορτίου (και των πιέσεων) κάτω από το φράγμα, όπως επίσης και της υδραυλικής κλίσης εξόδου. Αναλυτικά για την κάθε περίπτωση έχουμε:

α) Ροή χωρίς μέτρα περιορισμού

Στο Σχήμα 2.10 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά δεδομένα του προβλήματος της ροής διαμέσου ενός διαπερατού στρώματος με συντελεστή διαπερατότητας k .



Σχήμα 2.10 Δίκτυο ροής χωρίς μέτρα περιορισμού (διάφραγμα)

Το υδραυλικό φορτίο που κινεί τη ροή είναι το ύψος $H = 6$ m του νερού πίσω από το φράγμα. Από το δίκτυο ροής προκύπτει:

Υπολογισμός παροχής:

$$n_f = 4 \text{ και } n_d = 12$$

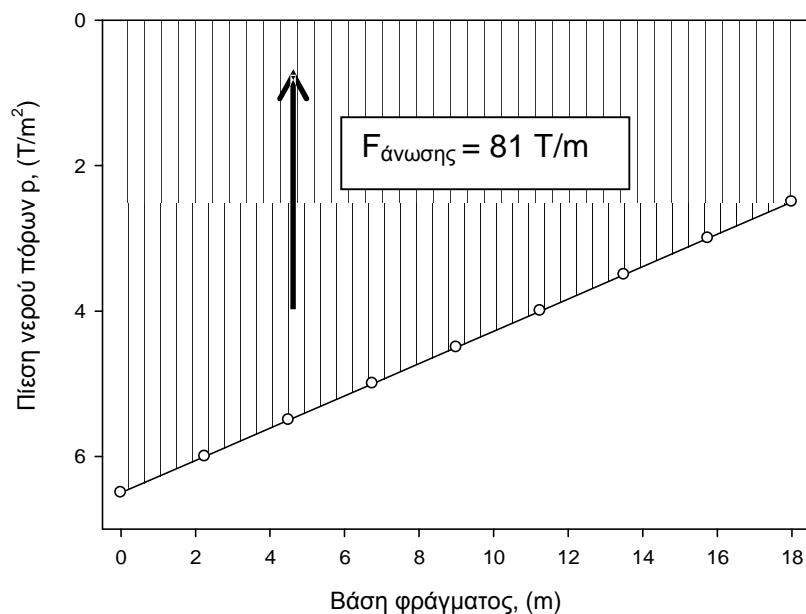
$$Q = kH n_f / n_d = 0.333 kH$$

Υπολογισμός πιέσεων κάτω από το φράγμα:

Σε κάθε βαθμίδα υδραυλικού φορτίου σημειώνεται απώλεια δυναμικού ίση με $\Delta h = H / n_d = 0.5 \text{ m}$.

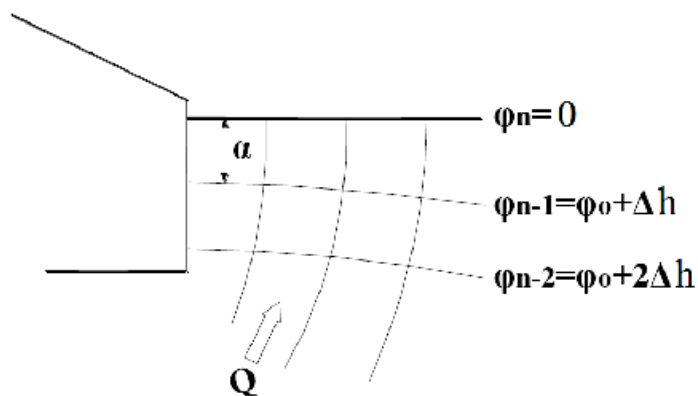
Επομένως, σε καθένα από τα σημεία 1-9 στη βάση του φράγματος, η πίεση υπολογίζεται από την πράξη $h_p = h_i - h_{\text{υψομετρ}}$ και τα αποτελέσματα καταγράφονται και απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα και σχήμα που ακολουθούν. Το εμβαδό του διαγράμματος μας δίνει την συνολική δύναμη άνωσης που ασκείται στο φράγμα ανά τρέχον μέτρο μήκους, η οποία προκύπτει ίση με 81 T/m.

Σημείο	$h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)	h_i (m)	$h_p = h_i - h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)
1	- 1.5	5	6,5
2	- 1.5	4.5	6
3	- 1.5	4	5,5
4	- 1.5	3.5	5
5	- 1.5	3	4,5
6	- 1.5	2.5	4
7	- 1.5	2	3,5
8	- 1.5	1.5	3
9	- 1.5	1	2,5



Υπολογισμός υδραυλικής κλίσης εξόδου:

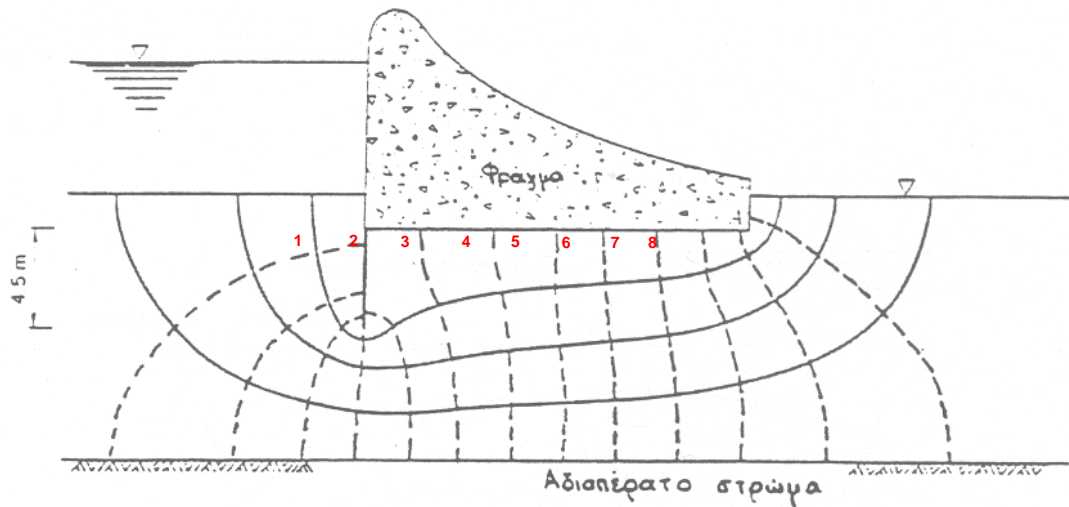
Ο τρόπος υπολογισμού της υδραυλικής κλίσης εξόδου παρουσιάζεται στο παρακάτω σκαρίφημα.



Εξετάζεται το η ροή στο τελευταίο τετραγωνίδιο του δικτύου ροής. Η υδραυλική κλίση ορίζεται ως το πηλίκο $i_{εξ} = \Delta h / \alpha$. Στην περίπτωση μας εκτιμάται ότι $\alpha = 1.2$ m, οπότε $i_{εξ} = 0.42$

β) περιορισμένη ροή με ανάντη διάφραγμα

Στο Σχήμα 2.11 παρουσιάζεται το νέο δίκτυο ροής, όπως τροποποιείται λόγω της παρουσίας του διαφράγματος, το οποίο προκαλεί μεγαλύτερες απώλειες στη ροή (μεγαλύτερες γραμμές ροής). Αυτό αποδεικνύεται και από τους υπολογισμούς



Σχήμα 2.11 Δίκτυο ροής με διάφραγμα στα ανάντη

Υπολογισμός παροχής:

$$n_f = 4 \text{ και } n_d = 14$$

$$Q = kH n_f / n_d = 0.285 kH \text{ (μείωση 14\% σε σχέση με την ελεύθερη ροή)}$$

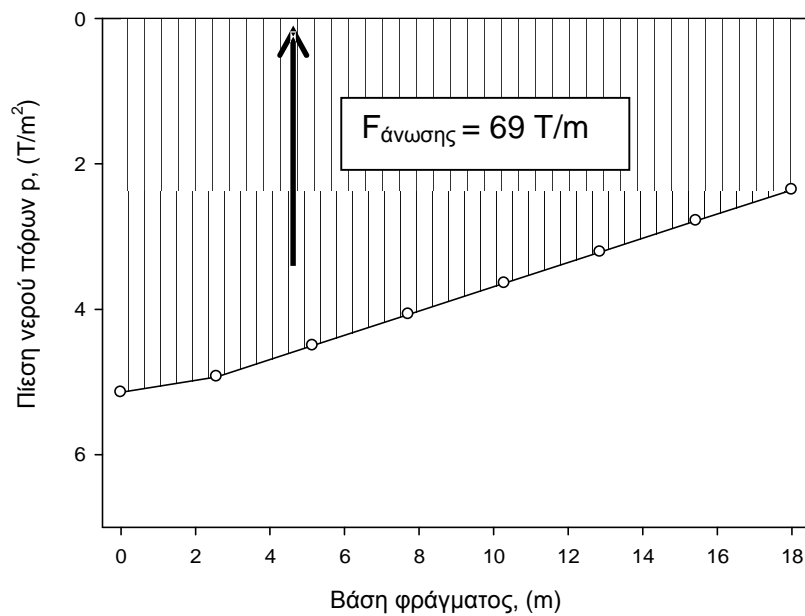
Υπολογισμός πιέσεων κάτω από το φράγμα:

Σε κάθε βαθμίδα υδραυλικού φορτίου σημειώνεται απώλεια δυναμικού ίση με $\Delta h = H / n_d = 0.43 \text{ m}$. Επομένως η κατανομή των πιέσεων στη βάση, όπως φαίνεται από τον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθούν είναι μειωμένη. Η συνολική δύναμη άνωσης προκύπτει 69 T/m (μείωση 15%)

Υπολογισμός υδραυλικής κλίσης εξόδου:

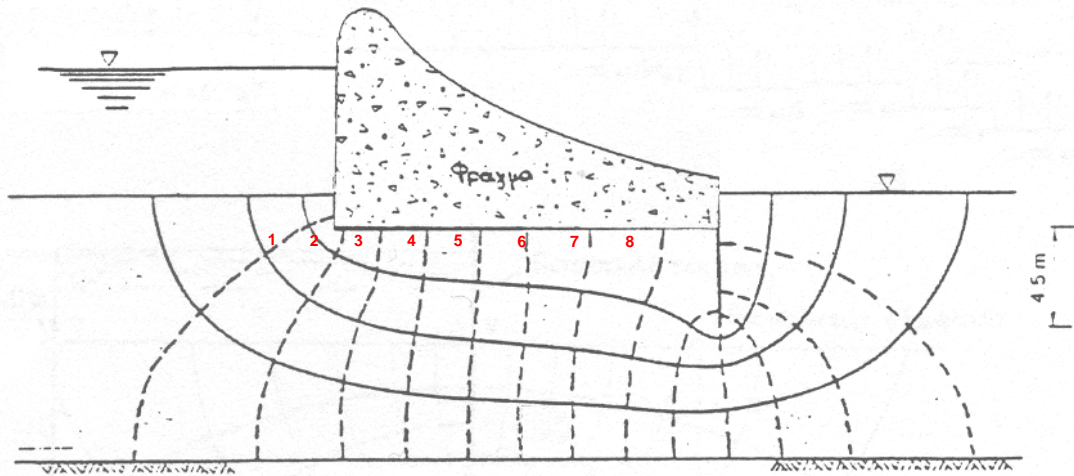
Τέλος, η υδραυλική κλίση εξόδου υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με πριν και προκύπτει ίση με $i_{εξ} = \Delta h / \alpha = 0.43 / 1.20 = 0.36$ (μείωση 14%)

Σημείο	$h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)	h_i (m)	$h_p = h_i - h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)
1	- 1.5	3,64	5,14
2	- 1.5	3,43	4,93
3	- 1.5	3,00	4,50
4	- 1.5	2,57	4,07
5	- 1.5	2,14	3,64
6	- 1.5	1,71	3,21
7	- 1.5	1,29	2,79
8	- 1.5	0,86	2,36



γ) περιορισμένη ροή με κατάντη διάφραγμα

Από το Σχήμα 2.12 παρατηρούμε ότι σε αυτή την περίπτωση το δίκτυο ροής είναι ακριβώς όμοιο με την περίπτωση β), αλλά είναι αντεστραμμένο. Αυτό σημαίνει ότι η παροχή και οι απώλειες υδραυλικού φορτίου είναι ακριβώς οι ίδιες, απλώς μετατοπίζονται στα κατάντη, ακολουθούν δηλαδή το διάφραγμα.



Σχήμα 2.12 Δίκτυο ροής με διάφραγμα στα κατάντη

Υπολογισμός παροχής:

$$n_f = 4 \text{ και } n_d = 14$$

$$Q = kH n_f / n_d = 0.285 kH \text{ (μείωση 14\% σε σχέση με την ελεύθερη ροή)}$$

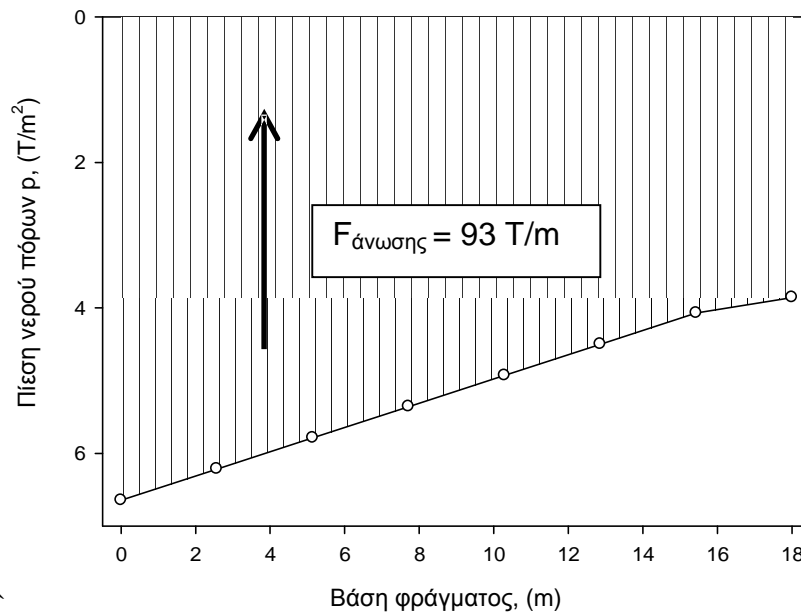
Υπολογισμός πιέσεων κάτω από το φράγμα:

Στην περίπτωση αυτή οι πιέσεις αυξάνονται και η συνολική δύναμη άνωσης γίνεται 93 T/ m που σημαίνει αύξηση 15% σε σχέση με το α) και 35% σε σχέση με το β)

Υπολογισμός υδραυλικής κλίσης εξόδου:

Το μόνο πλεονέκτημα του κατάντη διαφράγματος είναι η αισθητή μείωση της υδραυλικής κλίσης εξόδου που γίνεται ίση με $i_{εξ} = \Delta h / \alpha = 0.43 / 2.20 = 0.19$ που σημαίνει μείωση 55% σε σχέση με το α) και 47% σε σχέση με το β)

Σημείο	$h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)	h_i (m)	$h_p = h_i - h_{\text{υψομετρ.}}$ (m)
1	- 1.5	5,14	6,64
2	- 1.5	4,71	6,21
3	- 1.5	4,29	5,79
4	- 1.5	3,86	5,36
5	- 1.5	3,43	4,93
6	- 1.5	3,00	4,50
7	- 1.5	2,57	4,07
8	- 1.5	2,36	3,86



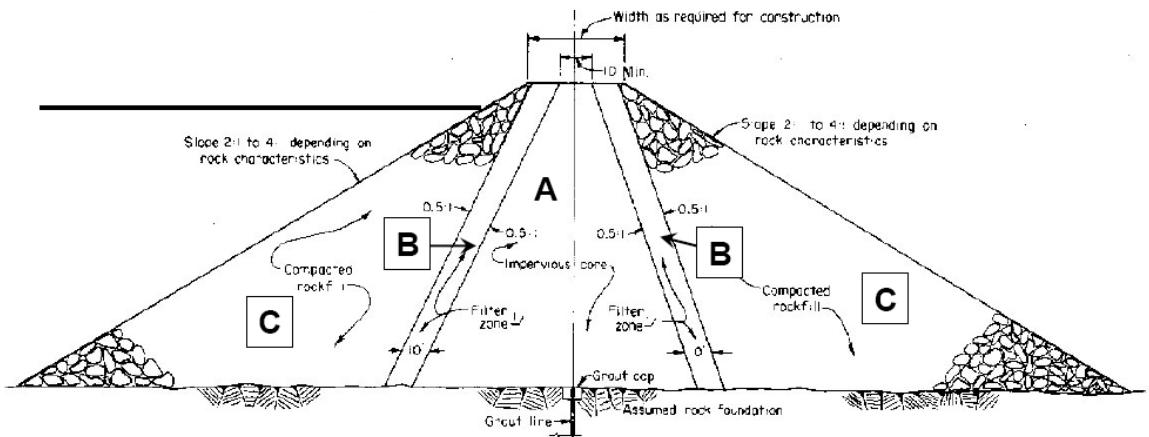
2.5.1 Μέθοδοι ελέγχου ροών (στράγγιση)

Στις μεθόδους της κατηγορίας αυτής ανήκουν:

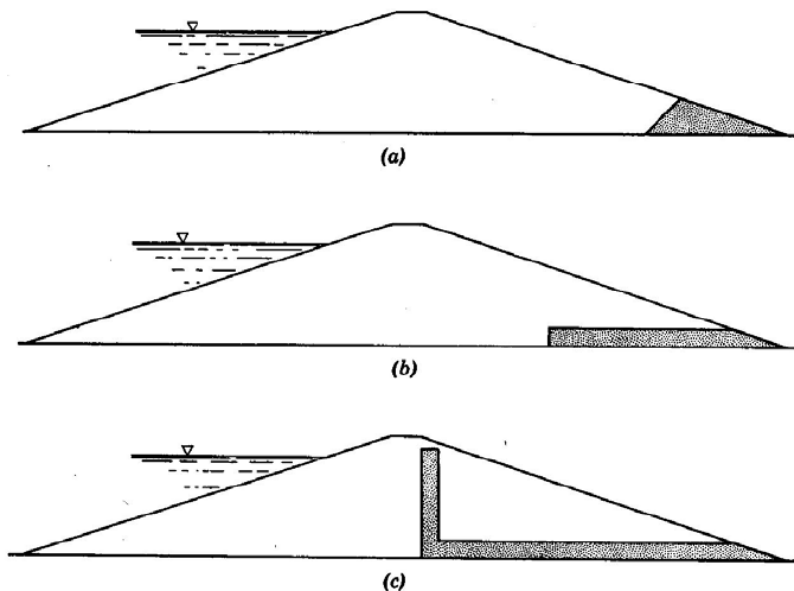
- Φράγματα πολλαπλών ζωνών (Σχήμα 2.13)
- Οριζόντιες στραγγιστικές ζώνες (Σχήμα 2.14)

- Κατακόρυφα εσωτερικά στραγγιστήρια (Σχήμα 2.14)
- Φίλτρα – Στραγγιστήρια ποδός (Σχήματα 2.14 και 2.15)
- Φρέατα εκτόνωσης (Σχήμα 2.16)

Με τις παραπάνω μεθόδους επιτυγχάνουμε την συλλογή και ασφαλή παροχέτευση του νερού έξω από το σώμα του φράγματος και την ασφαλή έξοδο του από το υπέδαφος.

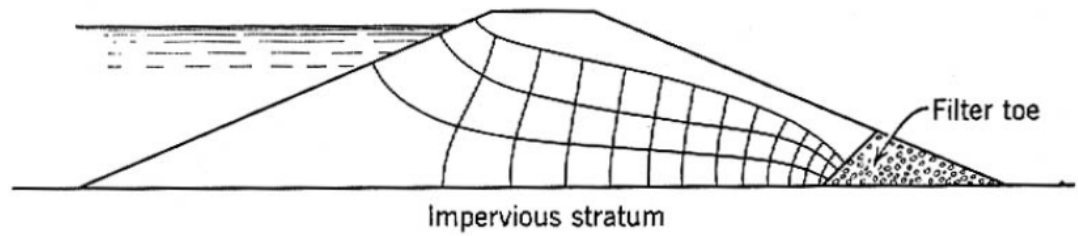


Σχήμα 2.13 Φράγμα με πολλαπλές ζώνες

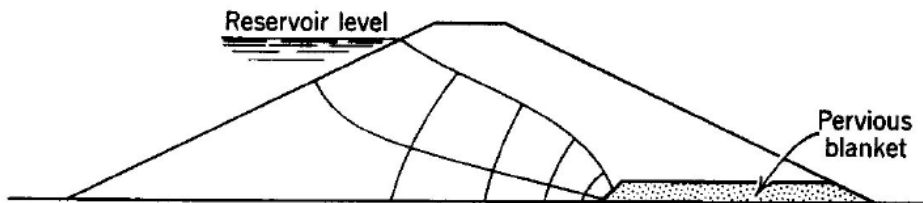


- (a) Στραγγιστήριο ποδός (toe drain)
- (b) Στραγγιστήριο βάσης (blanket drain)
- (c) Εσωτερικό στραγγιστήριο (chimney drain)

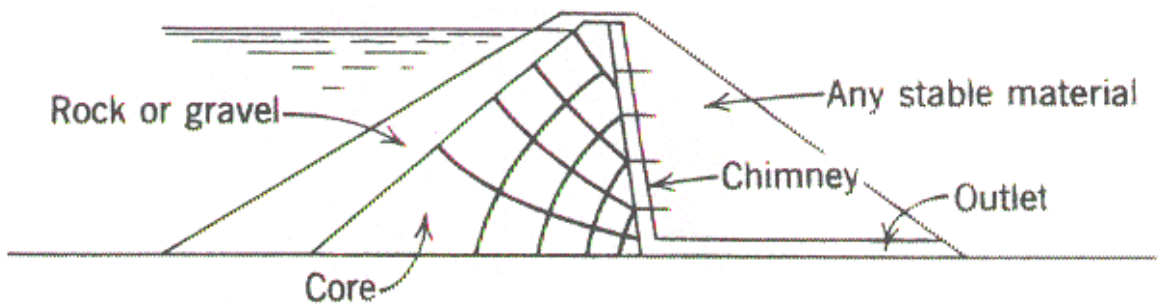
Δίκτυο ροής προς στραγγιστήριο ποδός :



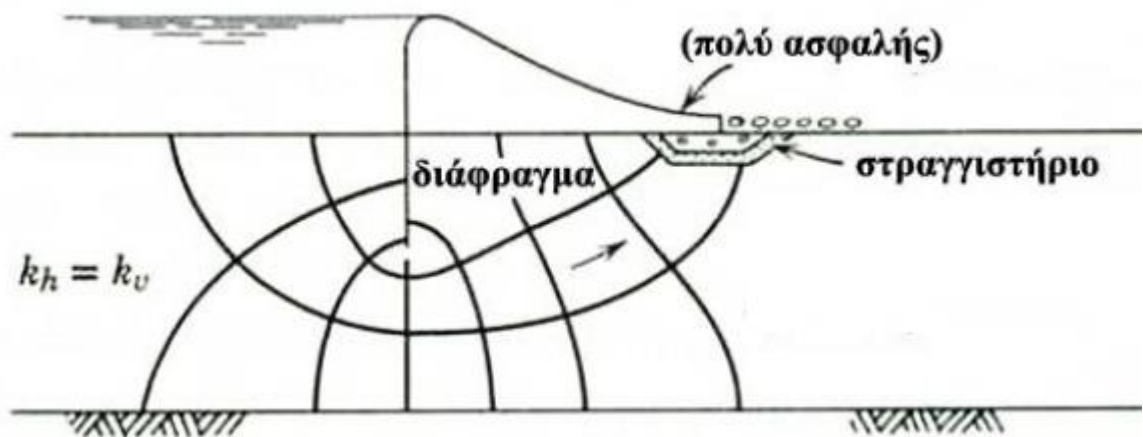
Δίκτυο ροής προς στραγγιστήριο βάσης :



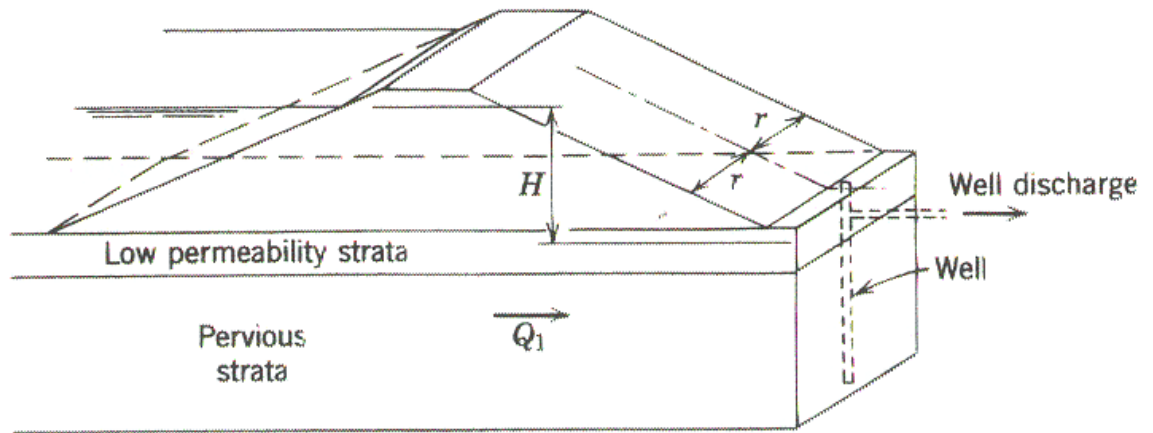
Δίκτυο ροής προς κατακόρυφο εσωτερικό στραγγιστήριο:



Σχήμα 2.14 Κατακόρυφα και οριζόντια στραγγιστήρια



Σχήμα 2.15 Δίκτυο ροής κάτω από φράγμα προς στραγγιστήριο ποδός (μηδενισμός υδραυλικής κλίσης εξόδου)

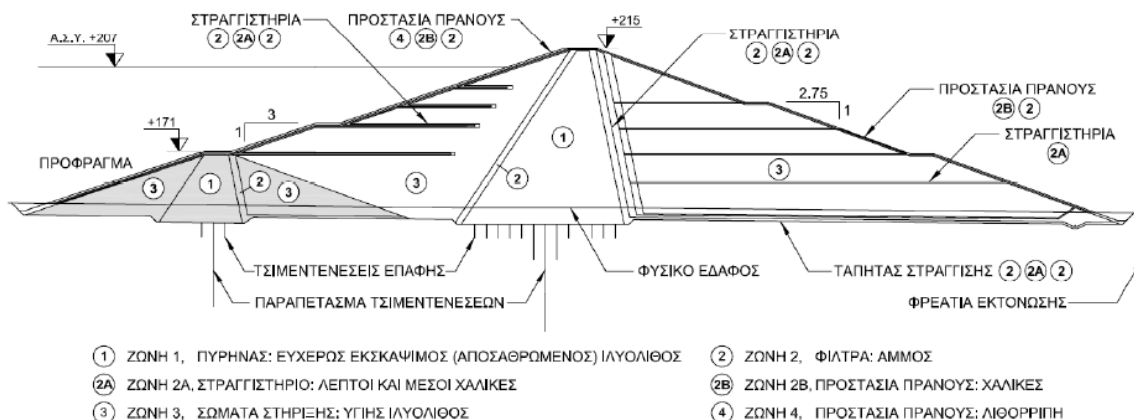


Σχήμα 2.16 Φρέατα εκτόνωσης στα κατάντη

Σχολιάζοντας την αποτελεσματικότητα των μεθόδων στράγγισης μπορούμε να πούμε ότι ίσως είναι τα πιο σημαντικά μέτρα προστασίας των φραγμάτων, από τη στιγμή που, όπως είδαμε και προηγουμένως, δεν μπορούμε πάντα να σταματήσουμε πλήρως τις ροές. Αποκτάει επομένως μεγάλη σημασία να εξασφαλιστεί ότι η ροή θα γίνεται με απολύτως ελεγχόμενο τρόπο. Με τα στραγγιστήρια διευκολύνουμε την ροή να διαφεύγει εύκολα, έτσι ώστε να μειώνονται αισθητά οι πιέσεις και οι δυνάμεις ροής στο σώμα του φράγματος και στο υπέδαφος. Το μειονέκτημα από αυτή την διευκόλυνση είναι η αύξηση των απωλειών νερού από τον ταμιευτήρα, καθώς οι παροχές αυξάνονται.

2.6 Συνδυασμός μέτρων στεγάνωσης και στράγγισης σε χωμάτινο φράγμα

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, σε ένα φράγμα εφαρμόζονται διάφοροι συνδυασμοί μεθόδων και από τις δύο κατηγορίες (μέτρα στεγάνωσης και μέτρα στράγγισης). Στο Σχήμα 2.17 παρουσιάζεται μια χαρακτηριστική τομή του χωμάτινου φράγματος Αστερίου, η περίπτωση του οποίου μας απασχολεί στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 2.17 Συστήματα περιορισμού και ελέγχου των ροών στο φράγμα Αστερίου

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, το φράγμα Αστερίου είναι ένα φράγμα με παχύ αργιλικό πυρήνα και πολλαπλές ζώνες. Κάτω από τον αργιλικό πυρήνα υπάρχει διάφραγμα τσιμεντενέσεων, το οποίο εξασφαλίζει τη στεγάνωση του υπεδάφους.

Για την αποφυγή ανάπτυξης σημαντικών πιέσεων πόρων στο κατάντη κέλυφος, που μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την ευστάθειά του φράγματος, προβλέπεται στην κατάντη παρειά του πυρήνα στραγγιστήριο (chimney drain) που θα εκτονώνεται σε περίπου οριζόντιο στραγγιστικό τάπητα στην βάση του κατάντη σώματος στήριξης.

Για την εκτόνωση των πιέσεων πόρων προβλέπονται επίσης οριζόντια στραγγιστήρια στα ανάντη και κατάντη σώματα στήριξης του φράγματος. Τα κατάντη οριζόντια στραγγιστήρια προβλέπονται για να παροχευτεύουν την ροή που θα περνάει πιθανά από τον πυρήνα και από τα όμβρια ύδατα. Τα ανάντη στραγγιστήρια προβλέπονται για να συλλέγουν ροές που προκύπτουν από τον καταβιβασμό της στάθμης του ταμιευτήρα ανά περιόδους και από τα όμβρια ύδατα επίσης. Το στραγγιστήριο αυτά αποτελούνται από λεπτούς και μέσους χάλικες (ζώνη 2Α), ενώ τα σχετικά φίλτρα προβλέπονται από άμμο (ζώνη 2). Για την κατασκευή των στραγγιστηρίων και φίλτρων δεν προβλέπεται συμπύκνωση, προκειμένου να έχουν κατά το δυνατόν ανοιχτή δομή (άλλωστε κάποια συμπύκνωση θα επέλθει από την κίνηση των μηχανημάτων κατά την κατασκευή).

Στον κατάντη πόδα του πρανούς, προβλέπεται κατασκευή φίλτρου ποδός και ανακουφιστικών φρεάτων (πηγαδιών). Τέλος, στα πλευρικά αντερείσματα του φράγματος προβλέπεται η κατασκευή αποστραγγιστικών σηράγγων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Το φράγμα Αστερίου

3.1 Εισαγωγή

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται μια εκτενής παρουσίαση του συγκεκριμένου έργου, της κατασκευής δηλαδή, του χωμάτινου φράγματος στον ποταμό Παραπίρο, στη θέση Αστέρι του Νομού Αχαΐας. Αρχικά αναφέρονται συνοπτικά, κάποια γενικά στοιχεία που αφορούν τον σχεδιασμό και την κατασκευή του φράγματος και στη συνέχεια παρουσιάζονται πιο αναλυτικά οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής του έργου, που έχουν άμεση σχέση με τη θεμελίωση και την υδατοστεγανότητα του φράγματος, η οποία αποτελεί και αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής.

3.2 Γενικά στοιχεία σχεδιασμού και κατασκευής

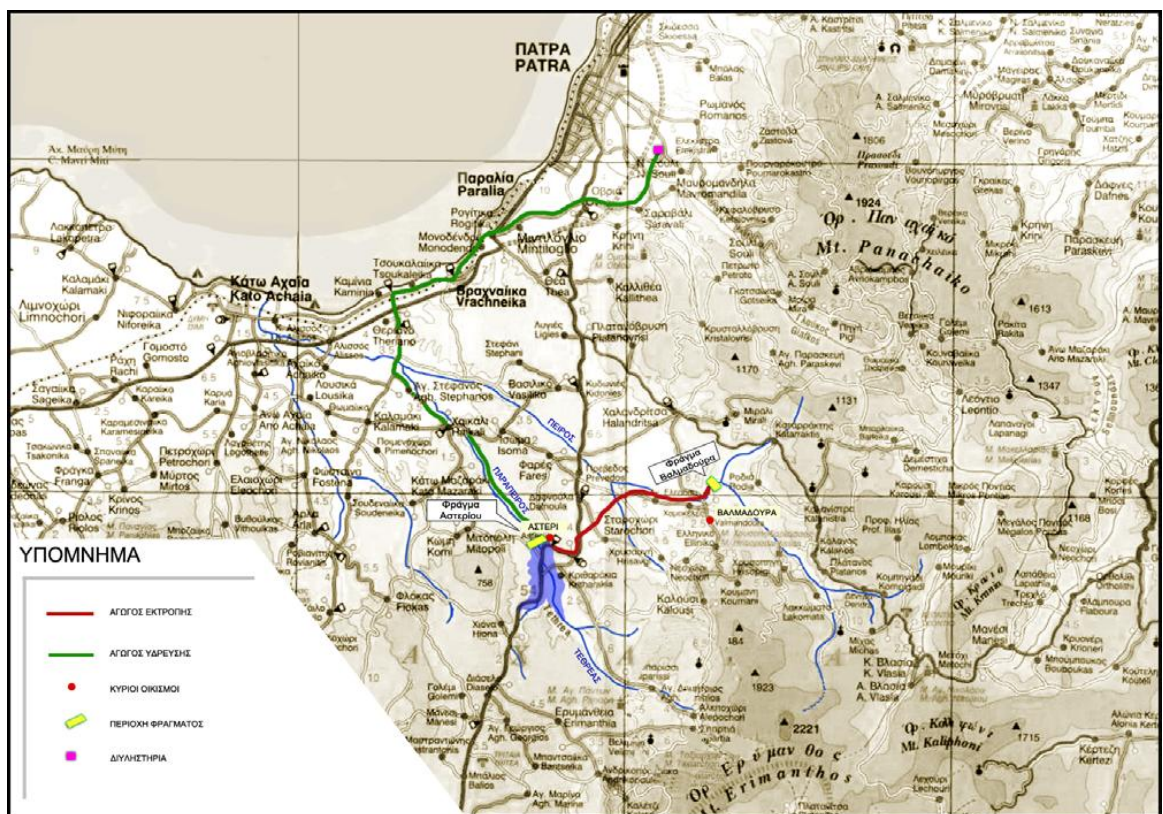
Το φράγμα Αστερίου κατασκευάζεται πλησίον του ομώνυμου χωριού, περί τα 20 χιλιόμετρα νότια της Πάτρας, στον ποταμό Παραπίρο. Μετά την ολοκλήρωσή του και σε συνεργασία με το φράγμα εκτροπής - υδροληψίας στη θέση Βαλμαδούρα, στον ποταμό Πείρο, θα δημιουργηθεί ταμιευτήρας έκτασης 6,5 τετραγωνικών χιλιομέτρων και συνολικής χωρητικότητας περίπου 44 εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού.

3.2.1 Σκοπιμότητα του έργου

Το έργο αποσκοπεί στην κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών ύδρευσης της πόλης της Πάτρας και της Βιομηχανικής Περιοχής της, καθώς και των γύρω κοινοτήτων της ΒΔ Αχαΐας τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση των καλλιεργούμενων γεωργικών εκτάσεων. Στα κατάντη του Φράγματος θα κατασκευαστούν δύο υδραγωγεία, από τα οποία το ένα θα παροχετεύει τις απαραίτητες ποσότητες νερού προς τα διυλιστήρια Ριγανόκαμπου στην Πάτρα και το δεύτερο προς τη ΒΙ.ΠΕ. Πάτρας και τις Κοινότητες της περιοχής.

3.2.2 Γεωγραφική θέση - Γεωμορφολογία της περιοχής του έργου

Η περιοχή του έργου, που απεικονίζεται στον χάρτη του Σχήματος 3.1, οριοθετείται από τα βουνά του Ερύμανθου στα Ν και ΝΑ, την κοιλάδα του ποταμού Πείρου στα Α, ενώ στα βόρεια καταλήγει στην πεδινή έκταση της Κάτω Αχαΐας. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο, με τα υψηλότερα υψόμετρα στις κορυφές του Ερύμανθου (+2.221m) και τις απολήξεις του στα νότια της περιοχής ενδιαφέροντος. Γενικά, το ανάγλυφο είναι πιο ορεινό και έντονο στο νότιο τμήμα της περιοχής, ενώ προς Βορά μεταπίπτει σταδιακά σε πεδινό και ομαλό.



Σχήμα 3.1 Η περιοχή του έργου

Στα πλαίσια των προγενέστερων μελετών, οι οποίες έχουν εκπονηθεί το 1972 και το 1997, είχε προκριθεί, με κριτήρια υδραυλικά, γεωμορφολογικά και γεωλογικά ως καταλληλότερη θέση για την κατασκευή φράγματος, η στενωπός της κοιλάδας του ποταμού Παραπείρου, η οποία βρίσκεται σε απόσταση περίπου 1.0km ΝΔ του οικισμού Αστερίου. Η προβλεπόμενη θέση του φράγματος Αστερίου και του ταμιευτήρα, απέχουν σε ευθεία γραμμή, περίπου 12.5km από την παραλία Καμινίων-

Τσουκαλαΐικων και βρίσκεται περί τα 20km νότια της πόλης της Πάτρας. Γενικά η πρόσβαση στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα εξασφαλίζεται από την Ε.Ο. Πάτρας- Τρίπολης. Στον Πίνακα 3.1 παρατίθενται τα πιο σημαντικά τεχνικά στοιχεία του ταμιευτήρα.

Πίνακας 3.1. Τεχνικά στοιχεία ταμιευτήρα φράγματος Αστερίου.

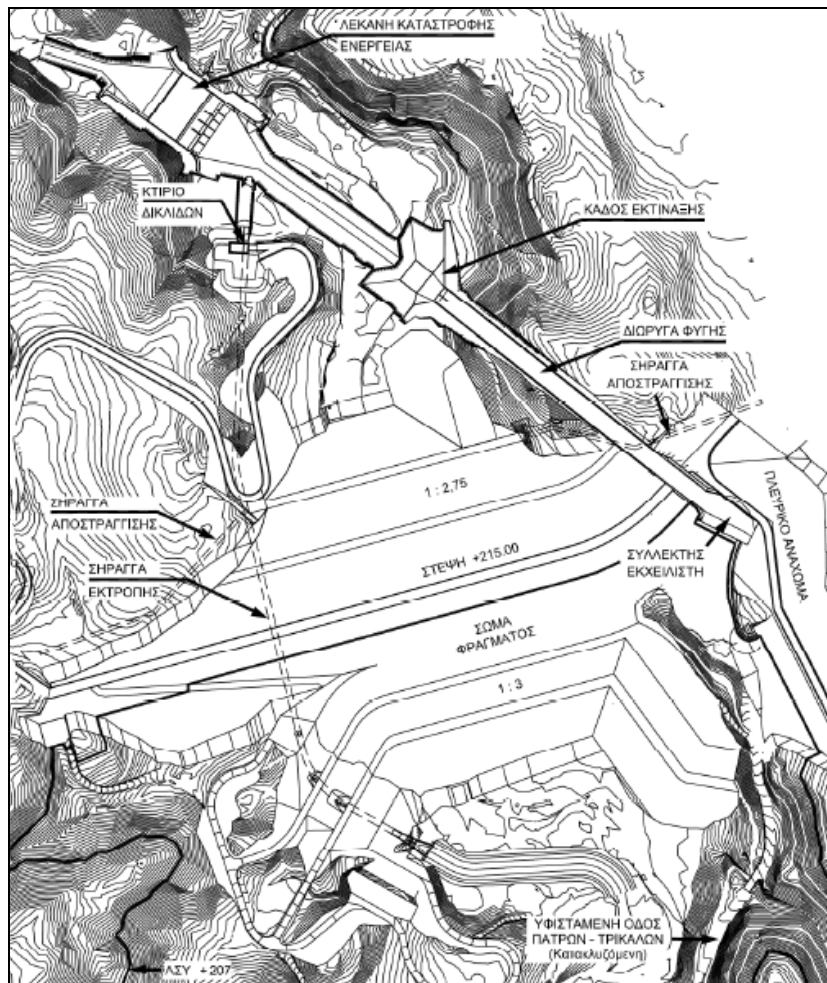
Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα	38,85 x 10 ⁶ m ³
Συνολικός όγκος ταμιευτήρα	44,06 x 10 ⁶ m ³
Μέγιστο βάθος από την κοίτη	59 m
Ανωτάτη Στάθμη Λειτουργίας ταμιευτήρα	+207 m
Μέσο ετήσιο ύψος εξάτμισης	1137 mm
Μήκος	~3,7 km
Επιφάνεια	6,5 km ²

Η λεκάνη κατάκλισης οριοθετείται από την ισοϋψή των 207.0m και έχει έκταση περίπου 6.5 km². Το νότιο τμήμα της διαχωρίζεται σε δύο κλάδους, ακολουθώντας τους δύο κλάδους του ποταμού Παραπείρου προς τα ανάντη. Οι δύο κλάδοι χωρίζονται από μία νησίδα με υψόμετρα μεγαλύτερα των 207.0m και με κυριότερη κορυφή τον Πρ. Ηλία (+310.94m). Το βόρειο τμήμα της λεκάνης κατάκλισης, πλησίον του φράγματος Αστερίου, είναι λοφώδης και χαρακτηρίζεται από ημιορεινό ανάγλυφο. Τοπικά στην περιοχή του ταμιευτήρα και ειδικότερα στον ανατολικό κλάδο του ποταμού Παραπείρου, το ανάγλυφο γίνεται αρκετά απότομο, λόγω της τεκτονικής και γεωλογικής δομής της περιοχής, καθώς και της βαθιάς διάβρωσης του ποταμού. Δυτικά της θέσης του φράγματος και της λεκάνης κατάκλισης ορθώνεται ο ορεινός όγκος του Κομποβουνίου με υψόμετρο +800m.

Στη θέση αυτή, προκρίθηκε η κατασκευή χωμάτινου φράγματος με αργιλικό πυρήνα, με στέψη στο υψόμετρο +215m και ανώτατη στάθμη λειτουργίας της λίμνης στο υψόμετρο +207m. Στον άξονα του φράγματος το πλάτος της ευρύτερης κοίτης, στο υψόμετρο +148m έως +150m, ανέρχεται στα 200m περίπου, ενώ το πλάτος της κοιλάδας στο υψόμετρο της στέψης του φράγματος (+215m), ανέρχεται στα 750m περίπου.

3.2.3 Τεχνικά στοιχεία φράγματος Αστερίου

Το φράγμα είναι χωμάτινο, με πολλαπλές ζώνες και κεντρικό αργιλικό πυρήνα. Θα έχει μέγιστο ύψος (από στην στάθμη θεμελίωσης του πυρήνα) 75 m. Ο άξονας του φράγματος είναι ευθύγραμμος κατά το μεγαλύτερο μέρος του μήκους του, προς το δεξιό, όμως, αντέρεισμα, σχηματίζει καμπύλη η οποία στρέφει τα κοίλα προς τα κατάντη. Η στέψη προβλέπεται με πλάτος 14 m και έχει διαμορφωθεί κατάλληλα για την διέλευση της οδού Πάτρας-Τρίπολης μέχρι την κατασκευή της προβλεπόμενης νέας χάραξής της. Οι κλίσεις των πρανών είναι 3 (οριζόντιο) προς 1 (κατακόρυφο) στο ανάντη πρανές και 2,75:1 στο κατάντη, ενώ προβλέπονται 2 αναβαθμοί στο ανάντη και 3 αναβαθμοί στο κατάντη πρανές. Μια τυπική κάτοψη του φράγματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Κάτοψη φράγματος Αστερίου

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα, το αριστερό αντέρεισμα κατασκευάζεται σήραγγα εκτροπής του ποταμού κατά την κατασκευή του έργου. Μετά την ολοκλήρωση του έργου, η σήραγγα θα φιλοξενεί τα έργα εκκένωσης του ταμιευτήρα και υδροληψίας. Για την διαμόρφωση της υδροληψίας κατασκευάζονται στο αριστερό αντέρεισμα αναβαθμοί οι στάθμες των οποίων είναι ίδιες με αυτές των παγγινών του σώματος του φράγματος.

Στο δεξιό αντέρεισμα κατασκευάζεται το έργο υπερχειίλισης. Από τα ανάντη προς τα κατόντη αποτελείται από ελεύθερο πλευρικό υπερχειλιστή, διώρυγα, κάδο αναπήδησης και λεκάνη αποτόνωσης. Κατόντη του φράγματος και εντός της κοίτης του ποταμού κατασκευάζεται χαμηλός αναβαθμός για τη διατήρηση ικανής στάθμης νερού στη λεκάνη αποτόνωσης. Για την ενίσχυση της ευστάθειας του δεξιού αντερείσματος κάτω από το έργο υπερχειίλισης προβλέπεται η κατασκευή, τόσο ανάντη όσο και κατόντη του φράγματος, πλευρικών επιχώσεων από προϊόντα εκσκαφής.

Τέλος, λόγω των σχετικά χαμηλών υψομέτρων στο δεξιό αντέρεισμα ανάντη του έργου υπερχειίλισης κατέστη αναγκαία η πρόβλεψη πλευρικού αναχώματος με διατομή ανάλογη αυτής του σώματος του φράγματος.

Τα κυριότερα τεχνικά στοιχεία του φράγματος και των συνοδών έργων, παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2, που ακολουθεί.

Πίνακας 3.2: Τεχνικά στοιχεία φράγματος Αστερίου

Μέγιστο ύψος από επίπεδο θεμελίωσης	76,5 m
Μήκος στέψης	920 m
Πλάτος στέψης	14,0 m
Ύψος ασφαλείας	1.90 m
Όγκος Φράγματος	~6.000.000 m ³
Υπερχειλιστής:	
Συνολική Παροχή	1550 m ³
Μήκος έργου εισόδου	40,0 m

Πλάτος διώρυγας φυγής	20,0 m
Σήραγγα Εκτροπής/ Υδροληψίας:	
Μήκος Σήραγγας	597,0 m
Εσωτερική Διάμετρος	4,50 m

3.3 Γεωλογικές και Γεωτεκτονικές συνθήκες της περιοχής του έργου

Στα πλαίσια της γεωλογικής μελέτης της περιοχής του φράγματος Αστερίου και της λίμνης κατάκλυσης, συντάχθηκαν σε διάφορα στάδια μελέτης γεωλογικές οριζοντιογραφίες και γεωλογικές τομές σε θέσεις ιδιαίτερου τεχνικογεωλογικού ενδιαφέροντος, θεματικοί χάρτες και τεκτονικά διαγράμματα. Επίσης πραγματοποιήθηκαν γεωλογικές έρευνες σε πολλές θέσεις στην ευρύτερη περιοχή του έργου για τον εντοπισμό κοιτασμάτων υλικών κατασκευής του έργου, καθώς και ένας αριθμός δειγματοληψιών νερού για την εκτέλεση χημικών- μικροβιολογικών αναλύσεων, στα πλαίσια ελέγχου της ποιότητας του νερού του ποταμού Παραπείρου.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι επικρατούσες γεωλογικές/γεωτεχνικές συνθήκες τόσο στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος Αστερίου και των συνοδών έργων, καθώς επίσης και στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης, βάσει των αποτελεσμάτων των γεωλογικών/γεωτεχνικών ερευνών που εκτελέστηκαν σε προηγούμενες φάσεις αλλά και στην παρούσα φάση της Οριστικής μελέτης.

3.3.1 Γενικές γεωλογικές και λιθοστρωματογραφικές συνθήκες

Με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα και τις προσωπικές μας επί τόπου παρατηρήσεις, η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος και συγκεκριμένα της ΝΝΔ περιοχής του Νομού Αχαΐας δομείται από τους σχηματισμούς (α) της ζώνης Τριπόλεως- Γαβρόβου και (β) της ζώνης Ωλονού- Πίνδου. Οι σχηματισμοί των ζωνών αυτών, καλύπτονται τοπικά και ασύμφωνα από (γ) Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα. Η ζώνη Τριπόλεως- Γαβρόβου συμμετέχει στη γεωλογική δομή της περιοχής του φράγματος Αστερίου και τμήματος του αγωγού μεταφοράς νερού, μόνο με την

ιζηματογενή σειρά του φλύσχη. Το υποκείμενο ημιμεταμορφωμένο υπόβαθρο της ιζηματογενούς σειράς, εμφανίζεται σε μεγάλες αποστάσεις από τα έργα και δεν αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερης εξέτασης. Συγκεκριμένα στην περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα, καθώς και σε ένα τμήμα της ζώνης διελεύσεως του Αγωγού Προσαγωγής, εντοπίζονται τα ανώτερα λιθostrωματογραφικά τμήματα της ιζηματογενούς σειράς της ζώνης Τριπόλεως- Γαβρόβου και ειδικότερα τα ιζήματα του φλύσχη, που ανήκουν στο Αν. Ηώκαινο έως Ολιγόκαινο.

Η ιζηματογενής σειρά της ζώνης Ωλονού-Πίνδου, καταλαμβάνει μεγάλη εξάπλωση, κυρίως ΝΝΑ του Νομού Αχαΐας και εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος Βαλμαδούρας. Από τεκτονική άποψη, η εν λόγω ζώνη αποτελεί ένα επωθησιγενές κάλυμμα πάνω στους σχηματισμούς της ζώνης Τριπόλεως-Γαβρόβου. Η επώθηση είναι αποτέλεσμα συμπιεστικού γεγονότος του Τριτογενούς, κατά το οποίο μετακινήθηκαν οι σχηματισμοί της ζώνης Ωλονού-Πίνδου από Α-ΒΑ προς Δ-ΝΔ και τοποθετήθηκαν πάνω στα ιζήματα της ζώνης Τριπόλεως-Γαβρόβου και Ιονίου πιο εξωτερικά. Η έντονη τεκτονική δράση, έχει προκαλέσει τη δημιουργία επάλληλων τεκτονικών λεπίων, κυρίως στη μετωπική περιοχή του καλύμματος, τα οποία χαρακτηρίζουν από πλευράς τεκτονικής τη ζώνη αυτή.

Όσον αφορά τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, από τα οποία καλύπτονται τοπικά και ασύμφωνα οι προαναφερόμενοι σχηματισμοί της ζώνης Τριπόλεως-Γαβρόβου και της ζώνης Ωλονού- Πίνδου, με βάση βιβλιογραφικά δεδομένα και προσωπικές παρατηρήσεις, διακρίνονται σε:

- i. Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα
- ii. Διλουβιακούς σχηματισμούς
- iii. Ολοκαινικές αποθέσεις

Τα Πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα (i) αποτελούνται από αδιαίρετους θαλάσσιους, υφάλμυρους ή και λιμναίους σχηματισμούς, οι οποίοι λιθostrωματογραφικά συνίστανται από υποκίτρινες έως τεφρές μάργες, αργίλους, ψαμμούχες αργίλους κίτρινου χρώματος, εύθρυπτους ψαμμίτες, άμμους και χαλαρά έως συνεκτικά κροκαλοπαγή, εναλλασσόμενα συχνά από μάργες, αδρομερείς άμμους, εύθρυπτους ψαμμίτες και σπανιότερα από αργίλους. Στη ζώνη διελεύσεως του Αγωγού Προσαγωγής, παρουσιάζονται κυρίως πολύμικτα κροκαλοπαγή,

εναλλασσόμενα συχνά κατά την κατακόρυφο και οριζόντια διεύθυνση με στρώματα εύθρυπτων ψαμμιτών, άμμων, μαργών και ερυθρών αργίλων.

Οι Διλουβιακοί σχηματισμοί (ii) αποτελούνται από πολυγενή, χαλαρά κροκαλοπαγή με ερυθρογή και κατά θέσεις παρεμβολές αργιλομιγούς άμμου. Εμφανίζουν σχεδόν οριζόντια ψευδόστρωση. Τέλος, πάνω από όλους τους προαναφερθέντες σχηματισμούς, εμφανίζονται οι Ολοκαινικές αποθέσεις (iii), με περιορισμένα γενικά πάχη. Τα ιζήματα αυτά, περιλαμβάνουν σύγχρονες προσχώσεις (αλλουβιακές αποθέσεις κοίτης και ποτάμιας αναβαθμίδες), αποτελούμενες από αργιλοαμμώδη υλικά, ερυθρογή, χάλικες και κροκάλες ασύνδετες, ποικίλης διαβάθμισης. Περιλαμβάνουν επίσης τα αποσαθρώματα και κορήματα του υποβάθρου, αποτελούμενα κυρίως από αργιλοαμμώδη υλικά και θραύσματα των πετρωμάτων του υποβάθρου, τα οποία εμφανίζονται κυρίως στους πρόποδες των πρανών και σε περιοχές με επιπεδοποιημένο ανάγλυφο.

3.3.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της περιοχής του έργου

Γενικά, η σημερινή μορφολογία της υπό μελέτη περιοχής του ταμιευτήρα, είναι αποτέλεσμα των διεργασιών της διάβρωσης και της αποσάθρωσης, από κοινού με γεωλογικούς-τεκτονικούς παράγοντες, όπως η λιθολογία, η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων και η αντίστασή τους στη διάβρωση, στους εποχιακούς κύκλους υγρών και ξηρών περιόδων. Οι κλίσεις των πρανών, τοπικά, είναι αρκετά απότομες και η ευστάθειά τους ελέγχεται από τα συστήματα επιφανειών ασυνεχειών της βραχώμαζας, που επικρατεί στην περιοχή. Βασικό ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου παίζει και η εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών φάσεων του φλύσχη, που αντιστοιχεί και σε διαφορετική αντίσταση στη διάβρωση. Έτσι οι χαράδρες που διαμορφώνονται μέσα στα στρώματα του ιλυολίθου έχουν πολύ απότομα πρανή, ενώ οι κορυφές των λόφων, σε αρκετές περιπτώσεις, καλύπτονται από τα ανθεκτικά στην αποσάθρωση μέρη του φλύσχη (κροκαλοπαγή ή/και ψαμμίτες).

Οι πλαγιές των λόφων και γενικά όλη η έκταση με ημιορεινό ανάγλυφο είναι καλυμμένη από δάσος, κατά θέσεις πυκνό, αποτελούμενο κυρίως από θάμνους και ψηλά κωνοφόρα δέντρα. Αντίθετα οι πεδινές εκτάσεις εκατέρωθεν της οδού Πάτρας-Τρίπολης και κυρίως οι εκτάσεις εκατέρωθεν του δυτικού κλάδου του Παραπεύρου, αποτελούνται κατά κύριο λόγο από εντατικά καλλιεργούμενες γαίες.

3.3.3 Αποτύπωση γεωλογικής δομής

Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της ερευνητικής αυτής εργασίας, προέκυψε ότι η γεωλογική δομή και η τεκτονική παρουσιάζεται σχετικά απλή.

Αναλυτικότερα, στη λεκάνη κατάκλυσης έχουν καταγραφεί οι ακόλουθοι σχηματισμοί με στρωματογραφική σειρά από τους παλαιότερους προς τους νεότερους:

α. Άνω Ηώκαινο – Ολιγόκαινο

Πρόκειται ουσιαστικά για το φλύσχη της ενότητας Γαβρόβου- Τρίπολης, το σχηματισμό που κυριαρχεί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης και αποτελεί το βραχώδες υπόβαθρο. Αποτελείται από τρεις λιθολογικές φάσεις (ιλυόλιθοι- κροκαλοπαγή- ψαμμίτες). Από αυτές τις φάσεις, τη μεγαλύτερη εξάπλωση παρουσιάζει ο ιλυόλιθος. Ανάλογα με τη σύστασή τους και το βαθμό αποσάθρωσής τους, τα ιλυολιθικά στρώματα παρουσιάζουν γκρίζο ή σκούρο γκρίζο χρώμα. Σε πολλές θέσεις εμφανίζεται έντονα αποσαθρωμένος, ειδικά όπου έρχεται σε επαφή με το νερό (π.χ. μισγάγγειες χειμάρρων).

Τα κροκαλοπαγή, έχουν σαφώς περιορισμένη εξάπλωση στην περιοχή του ταμειυτήρα κι εμφανίζονται ως στρώματα ποικίλου πάχους σε εναλλαγές με την κυριαρχούσα ιλυολιθική και ψαμμιτική φάση. Τα στρώματα των ψαμμιτών έχουν πάχος συνήθως από 10- 20cm. Ενίοτε εμφανίζονται με μεγαλύτερα πάχη και σχηματίζουν ενότητες με ιδιαίτερα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Τα στρώματα των κροκαλοπαγών φτάνουν σε πάχη από 1.0 έως και 3.0m και αποτελούνται από ποικίλης διαμέτρου κροκάλες ψαμμιτικής, ασβεστολιθικής και κερατολιθικής σύστασης, με ψαμμιτο-αργιλική και ασβεστολιθική, συνδετική ύλη. Παρουσιάζονται κυρίως στις εξάρσεις των λόφων και τις μορφολογικές ράχες, λόγω της εντονότερης αντίστασής τους στις διαβρωτικές διεργασίες. Σημειώνεται όμως ότι σε πολλές θέσεις στις κλιτύες, εμφανίζονται ως μετακινημένοι ογκόλιθοι. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη ασυνεχειών μέσα στη βραχώμαζα των κροκαλοπαγών, αλλά και στην ευκολία αποσάθρωσης των ιλυολιθικών στρωμάτων, που τα περιβάλλουν. Κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώθηκαν, μόνο τα ορατά στρώματα κροκαλοπαγών, που βρίσκονται στη θέση τους και όχι οι μετακινημένοι ογκόλιθοι, προκειμένου να σχεδιαστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής. Οι ψαμμίτες, εμφανίζονται λεπτο- έως μεσόκοκκοι, γκρίζου έως τεφροπράσινου χρώματος και με

μικρό βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού. Λόγω της μικρής εξάπλωσης των ψαμμιτικών στρωμάτων και της συχνής εναλλαγής με τα στρώματα των ιλυολίθων, δεν χαρτογραφήθηκαν ως ξεχωριστός σχηματισμός, αλλά ενσωματώθηκαν στα στρώματα του ιλυολιθικού φλύσχη, με εξαίρεση ένα ψαμμιτικό ορίζοντα στην περιοχή εισόδου της σήραγγας εκτροπής και υδροληψίας, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας που παρουσιάζει για το σχεδιασμό της εισόδου της σήραγγας.

β. Τεταρτογενές

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις της περιοχής, αποτελούνται από τα υλικά των ποτάμιων αποθέσεων στη σημερινή κοίτη και τις αναβαθμίδες, τις κορηματικές αποθέσεις και τα αποσαθρώματα του φλύσχη στις κλιτύες και τα ισώματα της περιοχής. Οι αναβαθμίδες καλύπτουν την ευρύτερη κοίτη του ποταμού και των χειμάρρων και η εξάπλωσή τους υποδεικνύει τις παλαιότερες κοίτες των ποταμών αυτών. Αποτελούνται κυρίως από αργιλο-ιλύες και αμμο-ιλύες, ποικίλης διαβάθμισης. Σε ορισμένες θέσεις όμως, παρατηρήθηκε ότι τα λεπτόκοκκα υλικά των αναβαθμιδών επικάθονται σε αποθέσεις κροκαλών και αμμοχαλίκων, οι οποίες προφανώς αντιστοιχούν σε παλαιότερες πλημμυρικές παροχές. Το μέσο πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 4.5- 5.0m και επικάθονται ασύμφωνα στα στρώματα του φλύσχη ή αλληλοσυμπλέκονται με τα αποσαθρώματα του φλύσχη. Λόγω της σύστασής τους αποτελούν σήμερα (μαζί με τις θέσεις του αποσαθρωμένου φλύσχη) τις κυριότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις της περιοχής έρευνας.

Οι κορηματικές αποθέσεις και τα αποσαθρώματα του φλύσχη, καλύπτουν σημαντική έκταση κι είναι σε άμεση σχέση με τη μορφολογία της περιοχής. Καταλαμβάνουν δηλαδή τις περιοχές με ήπιο ανάγλυφο, τους πόδες των απότομων πρηνών και τις πλαγιές των κοιλάδων. Αποτελούνται από τα υλικά αποσάθρωσης του φλύσχη και κυρίως της ιλυολιθικής φάσης του. Συνίσταται επομένως από αργιλο-ιλύες, με ποικίλα ποσοστά άμμου και κατά θέσεις τεμάχια ιλυολίθου ή κροκαλοπαγούς ή διάσπαρτων κροκαλών. Παρουσιάζονται σε χαρακτηριστικές μορφές σωρών, κώνων κορημάτων και μανδύα αποσάθρωσης. Το πάχος του σχηματισμού ποικίλει, ανάλογα με τη θέση στην οποία εμφανίζεται, αλλά γενικά δεν υπερβαίνει τα 7.0m (γεωτρήσεις B-16, B-28). Υπέρεται των στρωμάτων του φλύσχη και στους πόδες των απότομων πρηνών επικαλύπτει κατά θέσεις και τα υλικά των αναβαθμιδών.

Οι αλλουβιακές αποθέσεις περιορίζονται στις σύγχρονες κοίτες των ποταμών και των χειμάρρων. Αποτελούνται από αδρόκοκκα υλικά, κυρίως ογκόλιθους, κροκάλες, χάλικες και άμμους, σύστασης κυρίως ψαμμιτικής και ασβεστολιθικής και σε πολύ μικρότερο βαθμό κερατολιθικής. Το πάχος τους, βάσει και των αποτελεσμάτων της γεωτεχνικής και γεωφυσικής έρευνας, ανέρχεται στα 5.0m περίπου. Πρόκειται για τις πλέον πρόσφατες αποθέσεις, οι οποίες επικάθονται ασύμφωνα όλων των προαναφερθέντων σχηματισμών.

3.3.4. Πρόγραμμα γεωτεχνικής έρευνας

Συνολικά ανορύχθηκαν 28 ερευνητικές γεωτρήσεις, συνολικού μήκους 872m. Για το σκοπό αυτό διατέθηκαν δύο αυτοκινούμενα γεωτρητικά μηχανήματα τύπου BOYLES. Σε όλες τις γεωτρήσεις, το ποσοστό πυρηνοληψίας ήταν περί το 100%. Για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στον άξονα του φράγματος, για τον καθορισμό του βάθους εκσκαφών και θεμελιώσεως του πυρήνα του φράγματος, καθώς επίσης και για τη μελέτη στεγανοποίησης των πετρωμάτων κάτω και γύρω από το φράγμα, εκτελέστηκαν οι γεωτρήσεις B-4, B-17, B-1, B-5, B-6, B-26, B-9, B-19 και B-20. Επιπλέον εκτελέστηκαν οι γεωτρήσεις B-15, B-21, B-22 και B-24 στην ευρύτερη κοίτη του ποταμού για τον προσδιορισμό του πάχους των αλλουβιακών προσχώσεων, της σύστασης των γεωυλικών καθώς και για την εξέταση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών των υποκείμενων πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου. Τα αποτελέσματα των εν λόγω γεωτρήσεων παρουσιάζονται παρακάτω συνοπτικά στον Πίνακα 3.3. Στον πίνακα αυτό, παρουσιάζονται επίσης και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων A-7, A-8, A-1, A-4, A-5, A-2 και A-6, καθώς και των Γ-8, Γ-4, Γ-6, Γ-1, Γ-2, Γ-3 και Γ-10, που εκτελέστηκαν στην περιοχή θεμελίωσης του άξονα και των σωμάτων στήριξης του φράγματος, κατά τις φάσεις της Προκαταρκτικής Μελέτης και της Προμελέτης, αντίστοιχα.

Στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα διανοίχθηκαν συνολικά 92 ερευνητικά φρέατα, 2 ερευνητικές στοές και τέσσερα ερευνητικά ορύγματα, σε τρία ερευνητικά προγράμματα. Σκοπός αυτών των ερευνητικών εργασιών, ήταν η διερεύνηση του πάχους και της σύστασης των χαλαρών υλικών του καλύμματος (αλλουβιακές προσχώσεις, κορηματικές αποθέσεις, αποσαθρώματα κ.λ.π.), ο προσδιορισμός του λιθολογικού τύπου που θα αποκαλυπτόταν κάτω από

το κάλυμμα, καθώς και η απόληψη δειγμάτων για την εργαστηριακή εξέταση της καταλληλότητας και της επάρκειας των υλικών για την κατασκευή του φράγματος. Τα στοιχεία που προέκυψαν από τα ερευνητικά φρέατα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω γεωτεχνικών ερευνών προκύπτει ότι το γεωλογικό υπόβαθρο στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος, δομείται από το φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου, του οποίου το βασικό γνώρισμα είναι η ετερογένεια. Συγκεκριμένα αποτελείται από ιλυόλιθους, εναλλαγές ιλυολίθων, ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Οι ιλυόλιθοι συνήθως είναι έντονα τεκτονικά καταπονημένοι κι έχουν χρώμα σκούρο γκρι. Σποραδικά περιέχουν μεγάλες, καλοστρογγυλεμένες κροκάλες, κυρίως ψαμμιτικές. Αποσαθρώνονται χαρακτηριστικά σε επάλληλους συγκεντρικούς φλοιούς και στην επιφάνεια δίνουν ήπιες μορφολογικές γραμμές. Οι ψαμμίτες είναι σκούροι, γκριζοπράσινοι, λέπτο- έως μεσόκοκκοι, ενώ τα κροκαλοπαγή παρουσιάζονται σε στρώματα πάχους 1-3m.

Τοπικά η αποσάθρωση του φλύσχη είναι έντονη και προχωρεί σε βάθος μέχρι 7m περίπου από την επιφάνεια (γεωτρήσεις B-16 και B-28). Στις θέσεις αυτές, ο φλύσχη συμπεριφέρεται από γεωτεχνικής άποψης σαν έδαφος. Οι εναλλαγές των λιθολογικών τύπων του φλύσχη είναι συχνές και δεν επιτρέπουν τη ξεχωριστή αποτύπωσή τους. Γι' αυτό στους γεωλογικούς χάρτες και στις αντίστοιχες τομές, παρουσιάζεται ως ενιαίος σχηματισμός. Μόνο τοπικά και όπου τα κροκαλοπαγή ή οι ψαμμίτες εμφανίζονται ως οριζόντες σημαντικού πάχους, αποτυπώνονται ξεχωριστά και δείχνονται στα αντίστοιχα σχέδια. Αναλογικά οι ιλυόλιθοι συνιστούν το κυρίαρχο πετρολογικό τύπο. Ακολουθεί η ενότητα των εναλλαγών λεπτοστρωματωδών ψαμμιτών και ιλυολίθων, οι ψαμμίτες και τελευταία τα κροκαλοπαγή, τα οποία στη συγκεκριμένη θέση του φράγματος αποτελούνται από κροκάλες ασβεστολιθικής, ψαμμιτικής και κερατολιθικής σύστασης. Η συνδετική ύλη των κροκαλοπαγών είναι ψαμμιτική, αργιλική και ασβεστολιθική. Ως διακριτοί οριζόντες τα κροκαλοπαγή, εμφανίζονται πιο συχνά στο αριστερό αντέρεισμα.

Στο δεξιό αντέρεισμα, παρουσιάζονται εναλλαγές αργιλικών ιλυολίθων και ψαμμιτών, ενώ δεν εντοπίστηκαν τα κροκαλοπαγή. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί η περίπτωση να συναντηθούν κροκαλοπαγή στα αντερείσματα και στην ευρεία κοίτη, κάτω από τα καλύμματα των χαλαρών υλικών. Σε όλες τις ερευνητικές

γεωτρήσεις κατά μήκος του άξονα του φράγματος, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή, συναντήθηκαν οι εν λόγω σχηματισμοί του φλύσχη.

Πίνακας 3.3: Διατρηθείσα λιθολογία ανά γεώτρηση, κατά μήκος του άξονα του φράγματος Αστερίου

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΘΕΣΗ	ΦΑΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΒΑΘΟΣ (m)		ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	Μ.Ο. ΔΕΙΚΤΗ RQD (%)
			ΑΠΟ	ΕΩΣ		
ΑΞΟΝΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ						
B-4	Άξονας φράγματος & Υπερχειλιστής	Οριστική Μελέτη	0,00	3,00	Αποσαθρωμένος Φλύσχης (αμμώδης ιλύς με τεμάχια ιλυόλιθου)	
			3,00	5,00	Κυρίως Ψαμμίτες κατακερματισμένοι	~30%
			5,00	9,00	Κυρίως Ιλυόλιθος κερματισμένος	72
			9,00	20,00	Αργιλικός ιλυόλιθος με υψηλό RQD	73
			20,00	21,00	Ιλυόλιθος υγιής, με ανορθωμένες στρώσεις και γι αυτό δίνει χαμηλό RQD	75
			21,00	35,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, υγιής, με υψηλό RQD, άριστης ποιότητας (από 26.00- 27.00m ανορθωμένες επιφάνειες στρώσεις)	99
Γ-8	Άξονας φράγματος - Δεξί αντέρεισμα	Προμελέτη	0,00	4,50	Μανδύας αποσαθρωμένου φλύσχη (άργιλος και κατακερματισμένος αργιλικός ιλυόλιθος)	0
			4,50	25,20	Αργιλικός ιλυόλιθος μέτρια/ έντονα κερματισμένος	50-100
Γ-4	Άξονας φράγματος- Δεξί αντέρεισμα- Ανάντη κατολίθωση	Προμελέτη	0,00	2,50	Καστανή αριλο-ιλύς	
			2,50	6,00	Θρυμματισμένος αργιλικός ιλυόλιθος	14
			6,00	12,30	Αργιλικός ιλυόλιθος κατακερματισμένος, τοπικά οξειδωμένος	22
			12,30	16,50	Αργιλικός ιλυόλιθος μέτρια κερματισμένος	65
			16,50	20,00	Κατακερματισμένο ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές με αργιλο-ιλυολιθικό συνδετικό	62
			20,00	22,10	Αργιλικός ιλυόλιθος έντονα κερματισμένο έως κατακερματισμένος	>50%
			22,10	25,00	Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές με αργιλο- ιλυολιθικό συνδετικό	>50%
25,00	26,30	Ψαμμίτης	>50%			
			26,30	30,50	Εναλλαγές κροκαλοπαγών – ψαμμιτών – ιλυολιθων (επικρατούν τα κροκαλοπαγή)	>50%
A-7	Άξονας φράγματος- Δεξί αντέρεισμα	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	1,00	Επιφανειακές προσχώσεις – Άμμοι, χάλικες, κροκάλες	
			1,00	7,90	Άμμος με άργιλο και χάλικες	
			7,90	9,50	Αποσαθρωμένος τεφροκύανος αργιλικός ιλυόλιθος	
			9,50	17,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, με πιθανή απότμηση από το υποκείμενο, λόγω κατολίθωσης	
			17,00	51,00	Τεφροκύανος αργιλικός ιλυόλιθος, με ενστρώσεις από διάσπαρτες ασβεστολιθικές κροκάλες	

B-17	Άξονας Φράγματος - Δεξί Αντέρεισμα - Ανάντη Κατολίσηση	Οριστική Μελέτη	0,00	1,50	Αποσαθρωμένος Φλύσχης (ιλύς και τεμάχια ιλυολίθου)	
			1,50	4,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, έντονα κερματισμένος	5
			4,00	30,00	Εναλλαγές αργιλικού ιλυολίθου, ψαμμίτη και κροκαλοπαγών - RQD>50%	43
B-1	Άξονας Φράγματος - Δεξί Αντέρεισμα - Ανάντη Κατολίσηση	Οριστική Μελέτη	0,00	7,50	Υλικά κατολίσησης - Αργιλικό υλικό	
			7,50	10,00	Αργιλικός ιλυόλιθος in situ, αποσαθρωμένος και κερματισμένος	50
			10,00	15,00	Αργιλικός ιλυόλιθος ελαφρά αποσαθρωμένος. Από 14.80- 15.30m κατακόρυφη επιφάνεια με δευτερογενές ασβεστικό υλικό πλήρωσης και αργιλο-ιλύ. Πιθανή δίοδος- αυξημένη διαπερατότητα	96
			15,00	25,00	Αργιλικός ιλυόλιθος τοπικά με δευτερογενή ορυκτά πλήρωσης ασυμμετρικών (ασβεστίτης). Οι γωνίες κλίσης των επιφανειών στρώσης κυμαίνονται γύρω στις 50°. Δεν υπάρχουν ενδείξεις κυκλοφορίας νερού.	96
	25,00	30,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, υγής, τοπικά με δευτερογενή ορυκτά πλήρωσης ασυμμετρικών (ασβεστίτης). Σαφώς καλύτερος βράχος. Δεν υπάρχουν ενδείξεις κυκλοφορίας νερού.	94		
B-5	Άξονας Φράγματος - Δεξί Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	6,00	Άμμο-ιλύες και βρώμικα αμμοχάλικα (υλικά αναβαθμίδας)	
			6,00	6,60	Αργιλικός ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος	100
			6,60	20,00	Αργιλικός ιλυόλιθος άριστης ποιότητας	96
			20,00	40,00	Αργιλικός ιλυόλιθος καλής ποιότητας. Γωνία κλίσης στρώσης περίπου στις 50-70°.	88
			40,00	45,00	Αργιλικός ιλυόλιθος άριστης ποιότητας	92

B-6	Άξονας Φράγματος - Κοίτη	Οριστική Μελέτη	0,00	4,80	Άμμο-ιλύες και βρώμικα αμμοχάλικα (υλικά αναβαθμίδας)	
			4,80	5,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος	
			5,00	15,00	Αργιλικός ιλυόλιθος πολύ καλής ποιότητας	96
			15,00	23,40	Αργιλικός ιλυόλιθος έντονα κερματισμένος. Πιθανώς αυξημένη διαπερατότητα.	68
			23,40	45,00	Αργιλικός ιλυόλιθος έντονα αποσαθρωμένος και κερματισμένος. Τοπικά δευτερογενή ορυκτά μέσα σε διακλάσεις με γωνία>80° και ενδείξεις κυκλοφορίας νερού στα 25.00- 40.00m. Κλίση στρώσης~50-60°.	88
	45,00	70,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, υγής - RQD>50% και >75% από τα 55.00- 70.00m. Δεν υπάρχουν ενδείξεις κυκλοφορίας νερού. Κλίση στρώσης~50-60°.	88		
B-26	Άξονας Φράγματος - Αριστερό Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	5,80	Αποσαθρώματα και κορήματα (αργιλο-ιλύς ασύνδετη έως τα 3.10m και συνεκτική μετά τα 3.10m)	
			5,80	10,40	Αργιλικός ιλυόλιθος, γκριζοπράσινος, μέτρια αποσαθρωμένος κι έντονα κερματισμένος (μετά τα 7.00m, μαλακός βράχος με συνεχόμενα καρότα)	33
			10,40	23,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, γκριζός, υγής, με επιφάνειες στρώσεις στις 70° περίπου και κατά τόπους δευτερογενή ασβεστίτη	57
			23,00	25,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, υγής, καλής ποιότητας	98
B-9	Άξονας Φράγματος - Σήραγγα Εκτροπής	Οριστική Μελέτη	0,00	5,00	Αποσαθρώματα	
			5,00	10,00	Ιλυόλιθος, καστανοπράσινος, αποσαθρωμένος, οξειδωμένος και κατακερματισμένος, πιθανή στρώση στις 60-70°.	0
			10,00	18,90	Ιλυόλιθος, τεφρός, καλής ποιότητας, επιφάνειες στρώσης στις 80-90°.	27
			18,90	28,50	Ψαμμίτης, καθαρός, επιφάνειες στρώσης στις 60-90°.	62
			28,50	36,00	Εναλλαγές ψαμμίτη- τεφρού ιλυολίθου	70
			36,00	54,00	Ψαμμίτης τεφρός	38
	54,00	55,00	Ψαμμίτης τεφρός, κατακερματισμένος	0		
B-19	Άξονας Φράγματος - Αριστερό Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	4,50	Αποσαθρώματα Φλύσχη	
			4,50	6,00	Ιλυόλιθος, γκριζός, υγής/ μέτρια αποσαθρωμένος, κατακερματισμένος	10
			6,00	20,00	Ιλυόλιθος, γκριζός, υγής, ελαφρά κερματισμένος	65
			20,00	21,50	Ψαμμίτης	80
	21,50	30,00	Ιλυόλιθος, υγής, RQD= 30% και μετά τα 28.00m, RQD= 70%	44		

B-20	Άξονας Φράγματος - Αριστερό Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	1,00	Αποσαθρώματα Φλύσχη	
			1,00	4,20	Αργιλικός ιλυόλιθος, μέτρια/ έντονα αποσαθρωμένος, οξειδωμένος, κατακερματισμένος	5
			4,20	7,00	Κροκαλοπαγές με ενστρώσεις ιλυολίθου	32
			7,00	8,00	Εναλλαγές ψαμμίτη - ιλυολίθου	28
			8,00	14,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, γκρίζος, ελαφρά αποσαθρωμένος	55
			14,00	15,00	Ιλυόλιθος με ασβεστολιθικές, ψαμμιτικές και κερατολιθικές κροκάλες	70
ΣΩΜΑΤΑ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ						
B-22	Ανάντη σώμα στήριξης- Δεξιό Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	4,70	Υλικά αναβαθμίδας - Αργιλο-ιλύες	0
			4,70	6,00	Ψαμμίτης σε εναλλαγές με κροκαλοπαγές με ασβεστολιθικές κροκάλες	30
			6,00	11,00	Κροκαλοπαγές με γκρίζο ιλυολιθικό συνδετικό και ευμεγέθεις κροκάλες (έως 3"), σύστασης ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής	40
			11,00	12,00	Κυριαρχεί ο ψαμμιτικός ιλυόλιθος	72
			12,00	20,00	Κροκαλοπαγές με γκρίζο ιλυολιθικό συνδετικό και ευμεγέθεις κροκάλες (έως 3"), σύστασης ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής	77
Γ-6	Ανάντη σώμα στήριξης- Δεξιό Αντέρεισμα	Προμελέτη	0,00	4,40	Μανδύας αποσαθρωμάτων φλύσχη (άργιλος, ιλύες, χάλικες)	
			4,40	8,10	Αργιλικός ιλυόλιθος κατακερματισμένος	0
			8,10	25,10	Αργιλικός ιλυόλιθος κερματισμένος (καλή ποιότητα βραχώμαζας)	75
A-8	Ανάντη σώμα στήριξης- Δεξιό Αντέρεισμα	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	6,00	Επιφανειακές προσχώσεις – Αμμώδης άργιλος με χάλικες και κροκάλες	
			6,00	15,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, αποσαθρωμένος, τεφροκάστανος	
			15,00	18,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, τεφρός, ελαφρά αποσαθρωμένος	
			18,00	66,00	Αργιλικός ιλυόλιθος του φλύσχη	

B-24	Ανάντη σώμα Στήριξης- Αριστερό Αντέρεισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	7,00	Υλικά αναβαθμίδας (Αμμο-ιλύες και ευμεγέθεις κροκάλες)	
			7,00	9,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος έως εδαφοποιημένος και έντονα κερματισμένος	15
			9,00	10,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, με δευτερογενή ορυκτά πλήρωσης των επιφανειών στρώσης, που εμφανίζονται ανορθωμένες (στις 80-90°).	75
			10,00	20,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, έντονα κερματισμένος, λόγω της συχνής παρουσίας επιφανειών ασυνχειών στρώσης, σχεδόν κατακόρυφων	79
A-1	Καπάντη σώμα στήριξης / Υπερχειλιστής	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	6,80	Τεφροκίτρινος ιλυολιθικός Ψαμμίτης, έντονα αποσαθρωμένος (συντρίμματα καρότου μεγέθους έως 10 cm)	
			6,80	9,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος, με ενστρώσεις πλαστικής αργίλου (μέγεθος καρότου έως 10 cm)	
			9,00	15,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος (μέγεθος καρότου έως 30 cm)	
			15,00	28,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος (μέγεθος καρότου από 30 cm έως 1.5m)	
			28,00	40,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος, με ενστρώσεις αργιλικής μάργας	
A-4	Καπάντη σώμα στήριξης- Δεξιό αντέρεισμα	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	4,00	Τεφροκίτρινος ιλυολιθικός Ψαμμίτης, έντονα αποσαθρωμένος (συντρίμματα καρότου μεγέθους έως 10 cm)	
			4,00	8,50	Τεφροκίτρινος ιλυολιθικός Ψαμμίτης, μέτρια αποσαθρωμένος, με στρώσεις πλαστικής αργίλου (συντρίμματα καρότου μεγέθους έως 10 cm)	
			8,50	30,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος, σε λεπτές επικλινείς στρώσεις (μέγεθος καρότου 30 - 80cm)	
Γ-9	Δεξιό αντέρεισμα- Πόδας Κατολισθήσης	Προμελέτη	0,00	3,30	Μανδύας αποσαθρωμένου φλύσχη	
			3,30	12,00	Κατακερματισμένος αργιλικός ιλυόλιθος	50
A-5	Καπάντη σώμα στήριξης- Δεξιό αντέρεισμα	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	4,50	Προσχώσεις άμμων και χαλίκων, με αποσαθρώματα υποκειμένου πετρώματος φλύσχη	
			4,50	11,00	Αποσαθρωμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	
			11,00	19,50	Αργιλικός Ιλυόλιθος, αποσαθρωμένος	
			19,50	24,50	Αργιλικός Ιλυόλιθος, λιγότερο αποσαθρωμένος	
			24,50	30,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, υγιής	

A-2	Κατάνη σώμα στήριξης- Δεξί αντέρισμα	Προκαταρ- κτική Μελέτη	0,00	6,00	Φερτές ύλες του ποταμού – Άμμος, χάλικες, κροκάλες (ασβεστολιθικές και φλύσχη)	
			6,00	8,00	Τεφροκίτρινος ιλυολιθικός Ψαμμίτης, μέτρια αποσαθρωμένος (συντρίμματα καρότου μεγέθους έως 10 cm)	
			8,00	25,00	Τεφροκύανος αργιλικός Ιλυόλιθος, σε λεπτές επικλινείς στρώσεις (μέγεθος καρότου 30 - 40cm)	
Γ-1	Κατάνη σώμα στήριξης- Δεξί αντέρισμα	Προμελέτη	0,00	3,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος – Καστανή Άργιλος	
			3,00	5,00	Κατακερματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	0
			5,00	8,90	Κερματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	51
			8,90	12,20	Κατακερματισμένος έως θρυμματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος, με φλέβα ασβεστίτη κατακόρυφη στα 11,00-11,20 και 11,80-12,00m	60
			12,20	13,80	Συμπαγής τεφρός αργιλικός Ιλυόλιθος ή ψαμμίτης ?	85
			13,80	20,00	Μέτρια κερματισμένος τεφρός αργιλικός Ιλυόλιθος (ανορθωμένα στρώματα - διάτρηση παράλληλα στη στρώση)	79
			20,00	28,25	Θρυμματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος με πυρήνες αργιλικής σύστασης τοπικά	74
			28,25	36,00	Εναλλαγές συμπαγούς ψαμμιτών / Ιλυόλιθου	85
36,00	45,50	Κατακερματισμένος – θρυμματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος (τοπικά Ιλυολιθικός ψαμμίτης και εμφανίσεις ασβεστίτη κατά θέσεις)	73			
Γ-2	Κατάνη σώμα στήριξης- Κοίτη	Προμελέτη	0,00	2,40	Καστανή πλαστική άργιλος αναμεμιγμένη με ψαμμιτικά και Ιλυολιθικά χαλίκια	
			2,40	45,00	Μέτρια – έντονα κερματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	66
B-21	Κατάνη σώμα στήριξης- Δεξιά Αντέρισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	5,20	Υλικά αναβαθμίδας (Άργιλο-Ιλύες και κροκάλες μετά τα 4.00m)	
			5,20	5,70	Αργιλικός Ιλυόλιθος εδαφοποιημένος	0
			5,70	9,60	Αργιλικός Ιλυόλιθος, υγιής	93
			9,60	11,30	Αργιλικός Ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος (μαλακός βράχος)	85
			11,30	13,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, καλής ποιότητας	93
			13,00	15,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, κερματισμένος - Στρώματα ανορθωμένα	93
15,00	20,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, υγιής	88			

A-6	Κατάνη σώμα στήριξης- Αριστερό αντέρισμα	Προκαταρ- κτική Μελέτη	0,00	8,50	Φερτά υλικά της κοίτης – Άμμοι, Χάλικες, Κροκάλες	
			8,50	10,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος	
			10,00	15,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, αποσαθρωμένος	
			15,00	27,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος	
Γ-10	Κατάνη σώμα στήριξης- Σήραγγα εκτροπή	Προμελέτη	0,00	3,35	Μανδύας αποσαθρωμένου φλύσχη (άργιλος)	
			3,35	21,70	Κατακερματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	18
			21,70	27,50	Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές με αργιλικό υλικό πλήρωσης, σε εναλλαγές με Ιλυόλιθους	32
Γ-3	Κατάνη σώμα στήριξης- Σήραγγα εκτροπή	Προμελέτη	0,00	3,10	Μανδύας αποσαθρωμένου φλύσχη (άργιλος)	
			3,10	7,80	Έντονα κερματισμένος αργιλικός Ιλυόλιθος	29
			7,80	45,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, συμπαγής	83
B-15	Κατάνη σώμα στήριξης- Αριστερό Αντέρισμα	Οριστική Μελέτη	0,00	5,00	Άμμο-Ιλύες και κροκάλες διαφόρων μεγεθών (Υλικά αναβαθμίδας)	
			5,00	10,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, έντονα αποσαθρωμένος (μαλακός βράχος), καλής ποιότητας	90
			10,00	20,00	Αργιλικός Ιλυόλιθος, ελαφρά έως καθόλου αποσαθρωμένος - RQD>50% και μετά τα 15.00m RQD>50%	94

Πίνακας 3.4: Λιθολογία ανά ερευνητικό φρέαρ ή όρυγμα, στην περιοχή του φράγματος Αστερίου, σε όλα τα στάδια της μελέτης

ΦΡΕΑΡ/ ΟΡΥΓΜΑ	ΦΑΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΒΑΘΟΣ		ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΔΑΦΟΥΣ
		ΑΠΟ	ΕΩΣ	
ΚΑΤΑΝΤΗ ΘΕΣΗΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ				
ΦΑ18	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	2,00	Άμμος, με άργιλο και χάλικες
		2,00	5,00	Αργιλώδης άμμος με κροκάλες
ΦΑ19	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	1,20	Άργιλος με ιλύ
		1,20	2,50	Αποσαθρωμένος αργιλικός σχιστόλιθος
ΦΑ20	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	1,00	Σαθρός αργιλικός σχιστόλιθος
		1,00	1,50	Αργιλικός σχιστόλιθος
ΦΑ21	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	1,00	Αποσαθρωμένος αργιλικός σχιστόλιθος
		1,00	2,20	Αργιλικός σχιστόλιθος
		2,20	2,80	Αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις ψαμμίτη
Φ19	Προμελέτη	0,00	3,00	Καστανό, αργιλώδες αμμοχάλικο
Φ30	Προμελέτη	0,00	1,20	Καστανοπράσινη, μαλακή αργιλοίλυς
		1,20	4,00	Καστανό αμμοχάλικο, λίγο αργιλώδες
Φ31	Προμελέτη	0,00	1,00	Καστανή Αμμοίλυς
		1,00	3,50	Καστανό αμμοχάλικο
Φ32	Προμελέτη	0,00	2,00	Καστανό αμμοχάλικο
ΦΝ23	Οριστική Μελέτη	0,00	0,30	Ιλύς και αποσαθρωμένα ιλυολιθικά τεμάχια μικρού μεγέθους, χωρίς δομή (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,30	1,80	Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, τεφρού χρώματος με υποκίτρινη απόχρωση
		1,80	5,00	Ιλυόλιθος, λεπτο- μεσοστρωματώδης, γκριζού χρώματος, πολύ κερματισμένος, διατηρημένος

ΦΝ24	Οριστική Μελέτη	0,00	0,30	Ιλύς αργιλώδης και αποσαθρωμένα ιλυολιθικά τεμάχια μικρού μεγέθους, χωρίς δομή (ανώτερος εδαφικός ορίζοντας)
		0,30	2,10	Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, χαλαρωμένος, εύκολα εκσκάψιμος με γεωλογικό σφυρί
		2,10	6,00	Ιλυόλιθος, λεπτοστρωματώδης, γκριζού χρώματος, μέτρια κερματισμένος από άλλες ασυνέχειες πλην της στρώσης
ΦΝ25	Οριστική Μελέτη	0,00	0,20	Ιλύς και αποσαθρωμένα ιλυολιθικά τεμάχια μικρού μεγέθους, χωρίς δομή (ανώτερος εδαφικός ορίζοντας)
		0,20	1,70	Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, τεφρού χρώματος με υποκίτρινη απόχρωση
		1,70	6,50	Ιλυόλιθος, λεπτοστρωματώδης, γκριζού χρώματος, αρκετά κερματισμένος από άλλες ασυνέχειες πλην της στρώσης
ΦΝ26	Οριστική Μελέτη	0,00	0,20	Ιλύς και αποσαθρωμένα ιλυολιθικά τεμάχια μικρού μεγέθους, χωρίς δομή (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,20	0,90	Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, τεφρού χρώματος με υποκίτρινη απόχρωση
		0,90	7,50	Ιλυόλιθος, λεπτοστρωματώδης, γκριζού χρώματος, με αραιές, λεπτές ενδιαστρώσεις ψαμμίτη κιτρινέρυθρου χρώματος. Μέτρια κερματισμένος από άλλες ασυνέχειες πλην της στρώσης
ΦΝ27	Οριστική Μελέτη	0,00	0,20	Ιλύς και αποσαθρωμένα ιλυολιθικά τεμάχια μικρού μεγέθους, χωρίς δομή (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,20	0,80	Αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, τεφρού χρώματος με υποκίτρινη απόχρωση
		0,80	4,00	Ιλυόλιθος, λεπτοστρωματώδης, γκριζού χρώματος, με αραιές, λεπτές ενδιαστρώσεις ψαμμίτη κιτρινέρυθρου χρώματος. Μέτρια κερματισμένος από άλλες ασυνέχειες πλην της στρώσης

ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΟΔΩΝ ΕΡΓΩΝ				
ΦΑ1	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	2,00	Άμμος, χάλικες, κροκάλες
ΦΑ2	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	2,80	Άμμος, χάλικες, κροκάλες
ΦΑ3	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	1,00	Επιφανειακές γαίες
		1,00	5,10	Αμμώδης ιλύς με λίγη άργιλο (αποσαθρωμένος φλύσχης)
ΦΑ4	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	2,20	Άμμος, χάλικες, κροκάλες
ΦΑ5	Προκαταρκτική Μελέτη	0,00	2,50	Άμμος, χάλικες, κροκάλες
Φ1	Προμελέτη	0,00	2,00	Καστανή ιλυώδης άργιλος, με ιλυολιθικούς χάλικες
		2,00	4,50	Καστανό αμμοχάλικο
Φ2	Προμελέτη	0,00	2,60	Καστανό αμμοχάλικο
		2,60	3,30	Ιλυώδης άμμος
		3,30	4,50	Καστανό αμμοχάλικο
ΦΝ1	Οριστική Μελέτη	0,00	0,25	Άμμος- Ιλύς- Χάλικες (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,25	4,00	Άμμος- Χάλικες με μικρό ποσοστό ιλύος
ΦΝ2	Οριστική Μελέτη	0,00	0,60	Ιλύς αμμούχος/ αργιλούχος, με διάσπαρτους χάλικες (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,60	1,10	Άργιλος – Ιλύς, αμμώδης, με διάσπαρτες κροκάλες και ψηφίδες
		1,10	5,20	Άργιλος ιλυώδης, με μικρό ποσοστό άμμου και διάσπαρτες κροκάλες και ψηφίδες
ΦΝ3	Οριστική Μελέτη	0,00	0,30	Ιλύς αργιλούχος, με διάσπαρτους χάλικες (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,30	1,50	Ιλύς, αργιλώδης, με ποσοστά λεπτής άμμου, με διάσπαρτες κροκάλες
		1,50	2,00	Ιλύς – Χάλικες, αργιλώδης, με ποσοστά λεπτής άμμου
		2,00	3,90	Άργιλος ιλυώδης, με διάσπαρτες κροκάλες και ψηφίδες
		3,90	5,00	Χάλικες - Άμμος, ιλυώδης, με πυκνή διάταξη χαλίκων

ΦΝ4	Οριστική Μελέτη	0,00	0,20	Άμμος με φυτικά υπολείμματα (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,20	1,50	Άμμος, λεπτόκοκκη, ομοιόμορφη, χαλαρή
		1,50	4,00	Άμμοι- Χάλικες, χαλαροί έως μέτρια συνεκτικοί, με φακούς πλούσιους σε οργανικά
ΦΝ5	Οριστική Μελέτη	0,00	0,10	Άμμος ιλυώδης, με φυτικά υπολείμματα (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,10	0,60	Άμμος, λεπτόκοκκη, ιλυώδης, χαλαρή έως μέτρια συνεκτική
		0,60	1,15	Άμμος- Ψηφίδες, με λεπτές κροκάλες, χαλαρή
		1,15	5,10	Άμμοι- Χάλικες, χαλαροί έως μέτρια συνεκτικοί, με φακούς πλούσιους σε οργανικά, με ορατή στρωμάτωση (κλίση προς ΝΑ)
ΦΝ6	Οριστική Μελέτη	0,00	0,15	Άμμος, λεπτή, ιλυώδης, με φυτικά υπολείμματα (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,15	1,50	Ιλύς, λεπτοαμμώδης, αργιλούχος, μέτρια συνεκτική
		1,50	2,00	Ιλύς – Χάλικες, με μικρή περιεκτικότητα σε άργιλο και άμμο
		2,00	2,80	Άμμος – Ψηφίδες - Χάλικες, με μικρή περιεκτικότητα σε ιλύ, χαλαρή
ΦΝ7	Οριστική Μελέτη	2,80	5,10	Άμμος – Χάλικες, υπογωνιώδεις έως αποστρωγγυλωμένοι, ασβεστολιθικοί, ψαμμικοί, κερατολιθικοί και σπανιότερα κροκαλοπαγούς (μέγιστο μέγεθος 60cm)
		0,00	0,25	Ιλύς αργιλώδης, λεπτοαμμώδης (ανώτερος εδαφικός- φυτικός ορίζοντας)
		0,25	2,00	Ιλύς, λεπτοαμμώδης, αργιλούχος, με λίγες διάσπαρτες κροκάλες, μέτρια συνεκτική
T-1	Οριστική Μελέτη	2,00	5,10	Άμμος- Χάλικες, με μικρό ποσοστό ιλύος, πολύ αδρόκοκοι, χαλαροί. Χάλικες υπογωνιώδεις έως αποστρωγγυλωμένοι, ασβεστολιθικοί, ψαμμικοί, και κερατολιθικοί (μέγεθος από ψηφίδα έως 90cm)
		0,00	0,40	Ανώτερος εδαφικός ορίζοντας, καστανού σκούρου χρώματος
0,40		2,00	Αμμοίλυς, ανοικτοκάστανου χρώματος, με κροκάλες- λατύπες, ασβεστολιθικής, κερατολιθικής σύστασης	
2,00		3,60	Αργιλικός ιλυόλιθος, καστανού χρώματος, έντονα αποσαθρωμένος/ εδαφοποιημένος, χωρίς δομή	
		3,60	4,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, μελανότεφρου χρώματος, ελαφρά αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος

T-2	Οριστική Μελέτη	0,00	2,00	Αποσαθρωμένος φλύσχης, ανοικτοκάστανου χρώματος, σε μορφή αμμοιούλων, με όγκους συνεκτικών κροκαλοπαγών και διάσπαρτες κροκάλες, ποικίλου μεγέθους, ασβεστολιθικής κυρίως σύστασης
		2,00	3,50	Αργιλικός ιλυόλιθος, καστανοπράσινου χρώματος, μέτρια έως έντονα αποσαθρωμένος, έντονα κερματισμένος, οξειδωμένος, με χαλαρή δομή
T-3	Οριστική Μελέτη	0,00	0,40	Ανώτερος εδαφικός ορίζοντας, καστανού σκούρου χρώματος, αποτελούμενος από αργιλοαμμώδη υλικά, με μικρής διαμέτρου κροκάλες
		0,40	2,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, αποσαθρωμένος, κατακερματισμένος, ανοικτού καστανού χρώματος. Στα κατώτερα μέρη διατηρεί τη δομή του
		2,00	4,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, μελανότεφρου χρώματος, ελαφρά αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος.
T-4	Οριστική Μελέτη	0,00	0,40	Ανώτερος εδαφικός ορίζοντας, καστανού σκούρου χρώματος, αποτελούμενος από αργιλοαμμώδη υλικά, με μικρής διαμέτρου κροκάλες
		0,40	3,10	Αργιλικός ιλυόλιθος, αποσαθρωμένος, κατακερματισμένος, καστανοπράσινου χρώματος, τοπικά με φακούς συνεκτικών κροκαλοπαγών
		3,10	4,00	Αργιλικός ιλυόλιθος, καστανού χρώματος, αποσαθρωμένος, μέτρια κερματισμένος, με φακούς συνεκτικών κροκαλοπαγών.

Όσον αφορά τους σχηματισμούς του χαλαρού καλύμματος (επιφανειακές αποθέσεις), η σημερινή κοίτη και η ευρύτερη κοίτη της κοιλάδας καλύπτονται από αλλουβιακές προσχώσεις. Από άποψη ηλικίας και σύστασης, διακρίνονται δύο διαφορετικές ζώνες. Η πρώτη ζώνη εντοπίζεται κατά μήκος της σημερινής κοίτης του ποταμού και συνίσταται από αλλουβιακές αποθέσεις (A1). Πρόκειται για αδιαβάθμιστα αμμοχάλικα ποταμού, αποτελούμενα από χαλίκια, άμμους, κροκάλες, λατύπες και ογκόλιθους (σε μεγάλο ποσοστό), κυρίως ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής σύστασης. Το πάχος στη θέση του φράγματος ανέρχεται στα 5m περίπου. Αμέσως πάνω από τα γεωυλικά της σημερινής κοίτης, ακολουθούν τα υλικά των ποτάμιων αναβαθμιδών (t). Αποτελούνται κυρίως από αργιλοϊλυώδη υλικά, με κροκάλες, χάλικες και ογκόλιθους, κυρίως στις κατώτερες βαθμίδες. Συνιστούν χαλαρό και ασύνδετο σχηματισμό. Το πάχος του σχηματισμού αυτού στη θέση του φράγματος είναι της τάξης των 6-7m (γεώτρηση B-6).

Στις μορφολογικά επιπεδωμένες περιοχές του αριστερού αντερείσματος, που έχουν αποφιλωθεί από τα δάση, εντοπίζονται εδαφικά υλικά τα οποία συνιστούν τα αποσαθρώματα του φλύσχη και τα κορήματα πλαγιάς (Sc). Πρόκειται για σχηματισμό χαλαρής δομής, που συνίσταται από καστανόφαια αμμοϊλυώδη υλικά με ψαμμικά και ιλυολιθικά τεμάχια και διάσπαρτους μετακινημένους όγκους κροκαλοπαγούς. Ο σχηματισμός αυτός εντοπίζεται στο δεξιό αντέρεισμα, από το υψόμετρο +155m έως το υψόμετρο +180m, όπου αναπτύσσονται υλικά παλιάς κατολίσθησης και από το υψόμετρο +180m έως το υψόμετρο +200m, όπου αναπτύσσονται κορηματικές αποθέσεις και αποσαθρώματα των πετρωμάτων του υποβάθρου, ενώ στο αριστερό αντέρεισμα η εξάπλωση του σχηματισμού αυτού εντοπίζεται από το υψόμετρο +150m έως το υψόμετρο +170m περίπου. Το πάχος τοπικά υπερβαίνει τα 7m

(γεωτρήσεις B-1, B-16 και B-28). Τοπικά διαπιστώθηκαν στο σχηματισμό αυτό επιφανειακοί ερπυσμοί, κατολισθήσεις και εδαφικές θραύσεις, μικρής όμως έκτασης.

3.3.5 Αποσαθρωσιμότητα των σχηματισμών

Οι λιθολογικοί τύποι του γεωλογικού υποβάθρου, που επικρατούν στη θέση του φράγματος, παρουσιάζουν αυξημένη επιδεκτικότητα στους μηχανισμούς και τις διεργασίες της αποσάθρωσης. Ωστόσο τα κροκαλοπαγή και οι ψαμμιτικοί πάγκοι, που παρουσιάζονται στις λοφώδεις εξάρσεις και τις μορφολογικές ράχες μεταξύ των κοιλάδων, είναι γενικά λιγότερο επιρρεπή στην επιφανειακή και βάθους αποσάθρωση.

Αναλυτικότερα το φαινόμενο της αποσάθρωσης παρατηρείται:

α. Στους ιλυολίθους: Ο σχηματισμός αυτός κυριαρχεί στο φλύσχη Γαβρόβου της περιοχής. Λόγω της ασθενούς συνοχής των κόκκων και της τεκτονικής καταπόνησης, ο σχηματισμός αυτός είναι έντονα επιδεκτικός στις διεργασίες-μηχανισμούς κυρίως της επιφανειακής αποσάθρωσης. Στο δεξιό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, η αποσάθρωση αυτή έχει μετατρέψει τους ιλυολίθους σε αργιλόμορφο υλικό, το οποίο είναι επιρρεπές σε κατολισθήσεις (γεωτρήσεις B-1, Γ-4, Γ-9). Επίσης στο αριστερό αντέρεισμα, τα ιλυολιθικά πετρώματα εμφανίζονται έντονα αποσαθρωμένα. Η αποσάθρωση βάθους, τοπικά, στο αριστερό αντέρεισμα, επεκτείνεται μέχρι 7.0m περίπου (γεωτρήσεις B-16 και B-28).

β. Στους ψαμμίτες: Οι ψαμμίτες εναλλάσσονται με τους ιλυολίθους. Παρουσιάζονται ως λέπτο- έως παχυστρωματώδεις, λέπτο- έως μεσόκοκκοι. Λόγω της σχετικά ισχυρής συνδετικής ύλης, δεν είναι έντονα επιδεκτικά στις διεργασίες της αποσάθρωσης και ως εκ τούτου παρουσιάζουν επιφανειακή μόνο αποσάθρωση. Σε μικρό βάθος από την επιφάνεια τα πετρώματα εμφανίζονται σε υγιή κατάσταση. Η διαπίστωση αυτή επιβεβαιώθηκε σχεδόν σε όλες τις ερευνητικές γεωτρήσεις.

γ. Στα κροκαλοπαγή: Τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται ως αραιά στρώματα, ανάμεσα στα στρώματα των ιλυολίθων και των ψαμμιτών. Αποτελούνται κυρίως από ασβεστολιθικές, ψαμμιτικές και κερατολιθικές κροκάλες, προερχόμενες από τη ζώνη Ωλονού- Πίνδου. Η συνδετική ύλη των κροκαλοπαγών είναι ψαμμιτική, αργιλική και ασβεστολιθική. Στην πρώτη περίπτωση, τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται σκληρά και λιγότερο επιρρεπή στις διεργασίες της αποσάθρωσης, ενώ στις άλλες δύο, εμφανίζονται

ιδιαίτερα επιδεκτικά στις διεργασίες- μηχανισμούς της αποσάθρωσης. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, η αποσάθρωση μπορεί να προχωρήσει μέχρι πλήρους καταστροφής της δομής των κροκαλοπαγών και τη μετατροπή τους σε ασύνδετη κοκκώδη μάζα. Σε άλλες περιπτώσεις, η διαδικασία της αποσάθρωσης μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία ψευδοκαρστικών, μικρών εγχοίλων ή διευρυμένων ρωγμών. Στη φάση των εκσκαφών για τη θεμελίωση του φράγματος και των βοηθητικών έργων, πιστεύεται ότι λόγω της αποφόρτισης των πετρωμάτων και της μεταβολής των συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας, θα επέλθει χαλάρωση της δομής, κυρίως των ιλυολιθικών πετρωμάτων και επιπλέον σταδιακή αποφλοιώση. Τα φαινόμενα αυτά, μπορούν να αντιμετωπιστούν με την άμεση επικάλυψη των αποκαλυφθέντων πετρωμάτων με μία στρώση από κονίαμα.

3.3.5 Συνθήκες Θεμελίωσης

Η θεμελίωση του πυρήνα του φράγματος, προβλέπεται να γίνει κατά το πλείστον πάνω στους υγιείς σχηματισμούς του φλύσχη, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από ικανοποιητικές τιμές φέρουσας ικανότητας και διατμητικής αντοχής. Το προτεινόμενο βάθος θεμελίωσης του στεγανού πυρήνα του φράγματος, ποικίλει ανάλογα με τη γεωλογική μηκοτομή του φράγματος. Η θεμελίωση θα γίνει στο βάθος των 8m περίπου από την επιφάνεια και ύστερα από ένα σχολαστικό καθαρισμό της επιφάνειας εδράσεως. Στην περίπτωση που αποκαλυφθούν στρώματα κροκαλοπαγών με ψευδοκαρστικά έγκοιλα, προτείνεται να εκπλυθούν τα έγκοιλα από τα υλικά πληρώσεως και να πληρωθούν με ενέματα καταλλήλων συνθέσεων, πριν την έναρξη κατασκευής της κουρτίνας τσιμεντενέσεων και ασφαλώς πριν την έναρξη διάστρωσης και συμπύκνωσης της στεγανής ζώνης του φράγματος. Στην επιφάνεια εδράσεως των σωμάτων στήριξης, οι εκσκαφές θα περιοριστούν σε έναν καθαρισμό των επιφανειακών, χαλαρών υλικών και ομαλοποίηση της επιφάνειας εδράσεως των σωμάτων στήριξης. Εκτιμάται ότι το βάθος αυτό δεν θα απαιτηθεί να υπερβεί τα 2m.

3.3.6 Συμπεράσματα γεωτεχνικής έρευνας

Από την αξιολόγηση των γεωλογικών χαρτογραφήσεων και των γεωτεχνικών ερευνών, που εκτελέστηκαν στην περιοχή του φράγματος Αστερίου και του ταμιευτήρα, προκύπτουν τα ακόλουθα:

Η περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα, δομείται από τα στρώματα του φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου που αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων ιλυολίθων, ψαμμιτών και πιο αραιά κροκαλοπαγών. Τα στρώματα των ιλυολίθων, είναι το κυρίαρχο πέτρωμα της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος. Το πεδινό τμήμα της λεκάνης, καλύπτεται από τις νεότερες τεταρτογενείς ιλυοαμμώδεις και αμμοχαλικώδεις αποθέσεις. Στις κοίτες των ποταμών και των ρεμάτων, παρουσιάζονται κατά το πλείστον κροκάλες, ογκόλιθοι και αμμοχάλικα.

Η πτυχογόνος τεκτονική υπήρξε έντονη στην περιοχή και σ' αυτήν οφείλεται η παρουσία αρκετών πτυχώσεων, ρηγμάτων και διακλάσεων. Τα στρώματα του φλύσχη παρουσιάζουν γενικά μικρή υδροπερατότητα, με εξαίρεση περιοχές στις οποίες ο φλύσχη εμφανίζεται κατακερματισμένος και περιλαμβάνει στρώματα κροκαλοπαγούς, τα οποία απολήγουν σε ελεύθερες επιφάνειες. Με τις δοκιμές υδροπερατότητας, που εκτελέστηκαν μετρήθηκαν μικρές υδροπερατότητες, που κυμαίνονται από 10^{-4} έως 10^{-7} cm/sec. Με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας και των μετρήσεων των πιεζομέτρων, κρίθηκε σκόπιμο να προταθεί η κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων κάτω και γύρω από το φράγμα, προκειμένου να περιοριστούν στο ελάχιστο επιτρεπτό όριο οι διαφυγές νερού.

Η περιοχή του έργου, από άποψη σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας κατατάσσεται στη ζώνη III (ΕΑΚ 2000). Τα διάφορα υλικά κατασκευής του ζωνικού φράγματος, θα αποληφθούν από τη γειτονική περιοχή του έργου και εξετάστηκαν από γεωλογική άποψη, ως προς τη σύνθεση και την εξάπλωσή τους. Τα λεπτόκοκκα υλικά των ποτάμιων αναβαθμιδών και των αποσαθρώματων του φλύσχη, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή της στεγανής ζώνης του φράγματος. Τα κατακερματισμένα και ελαφρώς αποσαθρωμένα πετρώματα του φλύσχη, που ακολουθούν τον μανδύα αποσαθρωμάτων, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των σωμάτων στήριξης του φράγματος. Για τις ζώνες στράγγισης, φίλτρων και αδρανών σκυροδεμάτων, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν τα αμμοχάλικα της σημερινής και της παλαιάς κοίτης, κάτω από τις αναβαθμιδες, κατόπιν διαλογής. Οι κροκάλες και τα πιο ευμεγέθη υλικά, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν στην ανάντη ζώνη κυματοπροστασίας του φράγματος.

Οι διαθέσιμες ποσότητες των υλικών που μπορούν να ληφθούν επιτόπου για να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του φράγματος είναι:

1. Ο υγιής ιλυόλιθος, που καταλαμβάνει πρακτικά όλη την έκταση του ταμιευτήρα, είναι διαθέσιμος σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Μια περιοχή ανάντη του φράγματος, μεταξύ του Παραπεύρου και ενός παραποτάμου του, εκτιμάται ότι περιέχει τουλάχιστον $4.000.000 \text{ m}^3$.

2. Ο αποσαθρωμένος ιλυόλιθος, που απαντάται σε μικρό βάθος σε όλη την έκταση του ταμιευτήρα είναι διαθέσιμος σε περιορισμένες ποσότητες στην άμεση περιοχή των έργων, της τάξης των $1.900.000 \text{ m}^3$. Η απόληψη του αποσαθρωμένου ιλυολίθου θα πρέπει να γίνει σε μεγάλη έκταση, μετά από την αποψίλωση και εκχέρσωση όλης της επιφάνειας της λεκάνης κατάκλυσης, και θα απαιτήσει ανάλογο εξοπλισμό (π.χ. rippers)

3. Οι αργιλικές στρώσεις, που απαντώνται κυρίως στις αναβαθμίδες και στην ευρεία κοίτη του Παραπεύρου, είναι διαθέσιμες σε περιορισμένες ποσότητες στην περιοχή των έργων, της τάξης των $1.700.000 \text{ m}^3$. Η απόληψη των αργιλικών υλικών από την ευρεία κοίτη θα απαιτήσει, λόγω της ανομοιομορφίας των στρώσεων, υψηλής στάθμης διαχείριση και επίβλεψη των εκσκαφών - προκειμένου κατά περίπτωση τα υλικά να διαχωρίζονται και χρησιμοποιούνται ή απορρίπτονται.

4. Τα αμμοχάλικα απαντώνται σε περιορισμένες ποσότητες στην περιοχή του έργου, αμιγώς στην ενεργό κοίτη του Παραπεύρου, αλλά και σε ενστρώσεις στην ευρεία του κοίτη. Οι ποσότητες στην ευρεία κοίτη του έργου εκτιμώνται ότι είναι τουλάχιστον $2.000.000 \text{ m}^3$, αλλά η απόληψη των υλικών αυτών θα απαιτήσει, λόγω της ανομοιομορφίας των στρώσεων, υψηλής στάθμης διαχείριση και επίβλεψη των εκσκαφών. Αντίθετα, οι ποσότητες αμμοχάλικων στην ενεργό κοίτη, με μήκος περί τα 8 Km στην περιοχή κατάληψης των έργων, είναι περί τα $400.000 - 800.000 \text{ m}^3$, ενώ στην κατάντη του φράγματος κοίτη εκτιμάται μακροσκοπικά ότι πρέπει να περιέχονται περί τα 200 m^3 αμμοχάλικων ανά τρέχον μέτρο.

Στις παραπάνω διαθέσιμες ποσότητες μπορεί να προστεθούν οι ποσότητες που θα παραχθούν από τις εκσκαφές των λοιπών έργων του φράγματος και ειδικότερα:

- τις εκσκαφές (υγιούς ως επί το πλείστον) ιλυολίθου στην σήραγγα εκτροπής και τις σήραγγες αποστράγγισης, και
- τις εκσκαφές (υγιούς και αποσαθρωμένου) ιλυολίθου για την θεμελίωση του υπερχειλιστή.

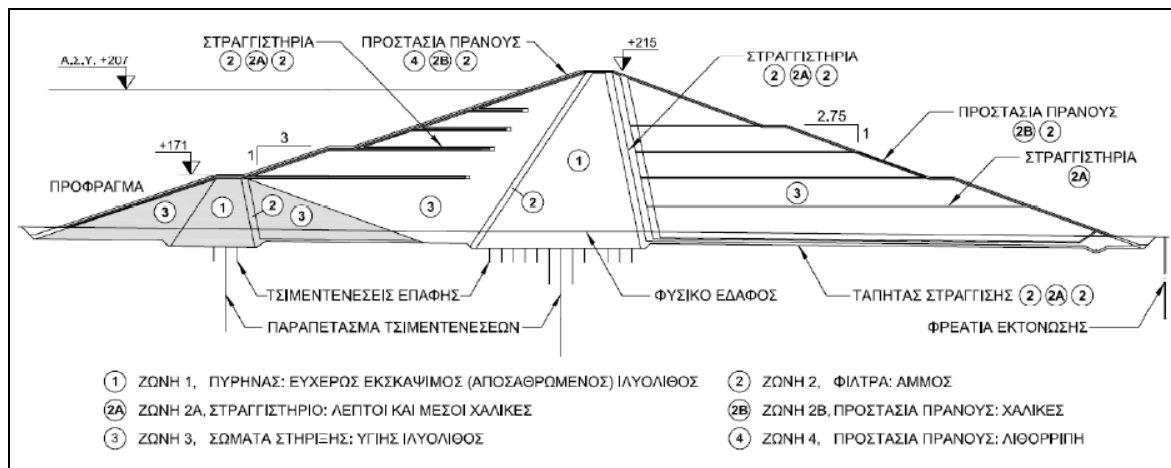
Οι παραπάνω επι-τόπου διαθέσιμες ποσότητες, συγκρινόμενες με τις απαιτούμενες για την κατασκευή του φράγματος, κρίνεται ότι γενικώς επαρκούν για τις ανάγκες της κατασκευής. Αναλυτικότερα:

1. Οι διαθέσιμες ποσότητες αργιλικών υλικών επαρκούν, με μικρά περιθώρια ασφαλείας, για την κατασκευή του πυρήνα - αλλά η απόληψή τους παρουσιάζει σημαντικές δυσχέρειες λόγω της ανομοιομορφίας των στρώσεων
2. Οι διαθέσιμες ποσότητες αποσαθρωμένου ιλυολίθου επαρκούν, με σχετικά μικρά περιθώρια ασφαλείας, για την κατασκευή του πυρήνα.
3. Οι διαθέσιμες ποσότητες του υγιούς ιλυολίθου επαρκούν για την κατασκευή των σωμάτων στήριξης του φράγματος.
4. Οι διαθέσιμες ποσότητες αμμοχάλικων στην ευρεία κοίτη επαρκούν για την κατασκευή στραγγιστηρίων και φίλτρων, αλλά η απόληψή τους παρουσιάζει σημαντικές δυσχέρειες λόγω της ανομοιομορφίας των στρώσεων
5. Οι διαθέσιμες ποσότητες αμμοχάλικων στην ενεργό κοίτη της περιοχής κατάληψης των έργων δεν επαρκούν για την κατασκευή των στραγγιστηρίων και φίλτρων. Έτσι, θα απαιτηθεί απόληψη υλικών από την ενεργό κοίτη κατάντη του φράγματος σε μήκος μέχρι 5 Km.

Τέλος, εκτιμήθηκε ότι οι τρόχμολοι της κοίτης δεν θα επαρκέσουν για την κατασκευή της ζώνης θωράκισης του φράγματος. Ενδεχομένως να απαιτηθεί η μεταφορά θραυστών αδρανών από λατομεία της ευρύτερης περιοχής, που βέβαια εκτινάσσει το κόστος κατασκευής.

3.4 Κατασκευαστικά στοιχεία φράγματος Αστερίου

Στο ακόλουθο Σχήμα 3.3, παρουσιάζεται η τομή του φράγματος στη θέση της μέγιστης διατομής, στην οποία απεικονίζονται ο κεντρικός αργιλικός πυρήνας, τα σώματα στήριξης ανάντη και κατόντη του πυρήνα και οι ενδιάμεσες ζώνες, καθώς και τα προβλεπόμενα μέτρα για την ορθή στεγάνωση και στράγγιση, τόσο για τις ροές κάτω, όσο και για τις ροές μέσα από το σώμα του χωμάτινου φράγματος.



Σχήμα 3.3 Σχηματική τομή φράγματος Αστερίου (θέση μέγιστης Διατομής)

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο παραπάνω σχήμα, στο ανάντη άκρο του σώματος του φράγματος, κατασκευάστηκε πρόφραγμα, του οποίου ο σκοπός είναι η προστασία, από τα νερά του ποταμού, της περιοχής όπου εκτελούνται οι εργασίες για τη θεμελίωση και κατασκευή της ανωδομής του φράγματος έως ότου η στάθμη της ανωδομής φθάσει το υψόμετρο στέψης του προφράγματος, δηλαδή μέχρι την στάθμη +170,25. Το πρόφραγμα με τη σήραγγα εκτροπής αποτελούν τα κύρια έργα ελέγχου του ποταμού κατά τη φάση της κατασκευής του φράγματος.

Το πρόφραγμα τελικά θα ενσωματωθεί στο ανάντι αντέρεισμα του φράγματος. Η διατομή του αποτελεί μια απλοποιημένη μορφή της διατομής του κυρίως φράγματος, με σώματα στήριξης από υγιή ιλυόλιθο και πυρήνα από αποσαθρωμένο ιλυόλιθο, φίλτρο στην κατόντη πλευρά του πυρήνα και προστασία στην ανάντη πλευρά με λιθορριπή. Λειτουργεί με αυτόν τον τρόπο και ως δοκιμαστικό επίχωμα για τον τρόπο προετοιμασίας, διάστρωσης και συμπύκνωσης των στρώσεων – και ιδίως των σωμάτων στήριξης και του πυρήνα που παρουσιάζουν σχετική ιδιομορφία.

Για την κατασκευή του φράγματος χρησιμοποιούνται υλικά διαθέσιμα επιτόπου, από τα υλικά των εκσκαφών στην περιοχή του έργου και από τους προβλεπόμενους γειτονικούς δανειοθαλάμους. Οι ποσότητες που απαιτούνται για την κατασκευή του φράγματος είναι:

- περίπου 4.100.000 m³ για τα σώματα στήριξης
- περίπου 1.300.000 m³ για τον πυρήνα, και
- περίπου 1.000.000 m³ για τα στραγγιστήρια και φίλτρα.

Συγκεκριμένα, ο πυρήνας του φράγματος προβλέπεται να κατασκευαστεί από αποσαθρωμένο ιλυόλιθο. Σε περίπτωση έλλειψης υλικών, προβλέπεται η χρήση αργιλικών υλικών, ιδίως στις ανώτερες στρώσεις του πυρήνα, εφόσον αυτά πληρούν τις προδιαγραφές. Τα σώματα στήριξης του φράγματος θα πρέπει να κατασκευαστούν από συμπυκνωμένο υγιή ιλυόλιθο, που υπάρχει σε αφθονία στην περιοχή και είναι κατάλληλος για τον σκοπό αυτό. Τα υλικά της ευρείας κοίτης δεν είναι σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του φράγματος λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας τους, που θα καταστήσει αναγκαία την κατά περίπτωση αποδοχή ή απόρριψη των εκσκαπόμενων υλικών ή/και εκτεταμένες εργασίες διαχωρισμού π.χ. λεπτόκοκκων από αμμοχάλικα. Τα στραγγιστήρια και φίλτρα του φράγματος προβλέπεται να κατασκευαστούν από τα αμμοχάλικα της ενεργού κοίτης της περιοχής κατάληψης των έργων και μερικών χιλιομέτρων κατάντη ή εναλλακτικά από τον Πείρο. Η θωράκιση του φράγματος (λιθορριπή), ελλείψη των απαραίτητων ποσοτήτων επιτόπου, είχε προταθεί να κατασκευαστεί από υλικά από το λατομείο Αράξου ή από άλλο ασβεστολιθικό λατομείο που μπορεί να ανοιχθεί για την κατασκευή του έργου. Ωστόσο, στην πορεία διαπιστώθηκε ότι τα επιτόπου στρώματα του φλύσχη και των κροκαλοπαγών μπορούν να παράξουν την απαιτούμενη ποσότητα λιθορριπής.

Αναλυτικότερα, ο τρόπος κατασκευής των επιμέρους τμημάτων του φράγματος περιγράφεται στις παρακάτω υπο-ενότητες.

3.4.1 Κατασκευή αργιλικού πυρήνα

Ο πυρήνας του φράγματος (Σχήμα 3.3 - ζώνη 1) προβλέπεται να κατασκευαστεί από αποσαθρωμένο ιλυόλιθο, που ορίζεται ως ο σχηματισμός

ιλυολίθου που έχει αλλοιωμένο χρώμα έναντι του φυσικού και είτε δεν έχει καθόλου βραχώδη δομή (είναι δηλαδή τελείως εξαλλοιωμένος σε εδαφικό υλικό) είτε παρουσιάζει μόνο υπολειμματική δομή και μεγάλο βαθμό κερματισμού. Τα υλικά κατασκευής του πυρήνα θα διαβρέχονται στους δανειοθαλάμους ώστε να αποκτούν την απαιτούμενη υγρασία συμπίκνωσης, με περιθώρια για απώλειες κατά την φορτοεκφόρτωση, μεταφορά και διάστρωση και θα αναμοχλεύονται για την ομοιόμορφη ύγρανση των υλικών.

Η διάστρωση θα γίνεται σε στρώσεις πάχους 15 cm μετά από την συμπίκνωση και έτσι το μέγιστο μέγεθος λίθων είναι 8 cm. Η υγρασία θα πρέπει να είναι ίση με την βέλτιστη, όπως προέκυψε από την Πρότυπη Δοκιμή Συμπύκνωσης (10,80% κατά μέσον όρο) ή και μέχρι 3% πάνω από αυτήν. Τα υλικά θα αναμοχλεύονται επί τόπου με δισκόσβαρα για την ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας.

Τα υλικά προβλέπεται να συμπυκνωθούν με κυλίνδρους λειτουργικού βάρους τουλάχιστον 15 t ή ισοδυνάμου με αιχμές (peg foot rollers) για την θραύση των μεγαλύτερων κλασμάτων με 10 τουλάχιστον διελεύσεις. Η μέση ξηρή πυκνότητα θα πρέπει να είναι κατά μέσον όρο τουλάχιστον 97% της μέγιστης που επιτυγχάνεται με την Πρότυπη Δοκιμή Συμπύκνωσης και η ελάχιστη πάνω από το 95% αυτής,

Για τον προσδιορισμό του τρόπου προετοιμασίας και συμπίκνωσης των υλικών του πυρήνα (και των σωμάτων στήριξης) του φράγματος προβλέπεται το πρόφραγμα να κατασκευαστεί ως δοκιμαστικό επίχωμα. Έτσι, με βάση τις δοκιμές, παρατηρήσεις και μετρήσεις κατά την διάρκεια κατασκευής του, θα προσδιοριστεί η διαδικασία προετοιμασίας των υλικών στους δανειοθαλάμους και ο αριθμός των απαιτούμενων διελεύσεων σε συνδυασμό με τον εξοπλισμό συμπίκνωσης

Ο πυρήνας προβλέπεται με μικρότερη κλίση στα ανάντη, προκειμένου να αξιοποιηθεί για την ευστάθεια και στεγανότητά του η πίεση των υπερκείμενων γαιών.

3.4.2 Κατασκευή σωμάτων στήριξης

Τα σώματα στήριξης του φράγματος (Σχήμα 3.3 - ζώνες 3) προβλέπεται να κατασκευαστούν από υγιή ιλυόλιθο, που ορίζεται ως ο ιλυόλιθος που έχει το φυσικό χρώμα του σχηματισμού, βραχώδη υφή και περιορισμένο βαθμό κερματισμού. Η διάστρωση των υλικών κατασκευής των σωμάτων στήριξης θα γίνεται σε στρώσεις

πάχους 40 cm μετά από την συμπύκνωση και έτσι το μέγιστο μέγεθος λίθων έχει οριστεί σε 25 cm. Τα υλικά προβλέπεται να συμπυκνωθούν προκειμένου να περιοριστούν οι μετέπειτα συνιζήσεις των σωμάτων στήριξης. Η συμπύκνωση προβλέπεται:

- με κυλίνδρους λειτουργικού βάρους τουλάχιστον 20 t ή ισοδύναμου με αιχμές (spike or peg foot rollers) για την θραύση των μεγαλύτερων κλασμάτων με 8 τουλάχιστον διελεύσεις, και
- μετά από διαβροχή με τουλάχιστον 300 lt/m³ επί τόπου – και παραπάνω κατά τους καλοκαιρινούς μήνες – ώστε να εξασφαλιστεί η θραύση των αιχμών των λίθων.

Για το προσδιορισμό του απαιτούμενου αριθμού των διελεύσεων σε συνδυασμό με τον εξοπλισμό συμπύκνωσης προβλέπεται το πρόφραγμα να κατασκευαστεί ως δοκιμαστικό επίχωμα. Λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγή λεπτόκοκκων κατά την συμπύκνωση του ιλυολίθου και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών σε υγιή ιλυόλιθο, αναμένεται ότι η διαπερατότητα των σωμάτων στήριξης μπορεί να κυμανθεί από 10⁻³ cm/sec μέχρι 10⁻⁸ cm/sec.

Η κλίση της επιφάνειας του ανάντη σώματος στήριξης προβλέπεται 1:3 με δύο μπαγγίνες (αναβαθμούς). Η πρώτη μπαγγίνα, έχει προβλεφτεί στην στάθμη +171, όπου είναι η στέψη του προφράγματος ώστε να παρέχει την δυνατότητα κυκλοφορίας και η δεύτερη έχει προβλεφτεί για την ενίσχυση της ευστάθειας του ανάντη πρανούς στο +183. Η κλίση της επιφάνειας του κατάντη σώματος στήριξης προβλέπεται 1:2,75 με δύο μπαγγίνες, στις στάθμες +192 και +170.

3.4.3 Κατασκευή Φίλτρων και Στραγγιστηρίων

Για την αποφυγή ανάπτυξης σημαντικών πιέσεων πόρων στο κατάντη κέλυφος, που μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς την ευστάθειά του φράγματος, προβλέπεται στην κατάντη παρειά του πυρήνα στραγγιστήριο (chimney drain) που θα εκτονώνεται σε περίπου οριζόντιο στραγγιστικό τάπητα στην βάση του κατάντη σώματος στήριξης.

Για την εκτόνωση των πιέσεων πόρων προβλέπονται επίσης οριζόντια στραγγιστήρια στα ανάντη και κατάντη σώματα στήριξης του φράγματος. Η ανάγκη

κατασκευής των στραγγιστηρίων αυτών καθώς και η τελική τους μορφή (επιφανειακά όπως έχουν προβλεφτεί ή λωρίδων) θα οριστικοποιηθεί μετά από την κατασκευή του προφράγματος με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων διαπερατότητας των σωμάτων.

Το στραγγιστήριο στο φράγμα αποτελούνται από λεπτούς και μέσους χάλικες (Σχήμα 3.3 - ζώνη 2^A), ενώ τα σχετικά φίλτρα προβλέπονται από άμμο (Σχήμα 3.3 - ζώνη 2). Για την κατασκευή των στραγγιστηρίων και φίλτρων δεν προβλέπεται συμπύκνωση, προκειμένου να έχουν κατά το δυνατόν ανοιχτή δομή (άλλωστε κάποια συμπύκνωση θα επέλθει από την κίνηση των μηχανημάτων κατά την κατασκευή).

Όπως προαναφέρθηκε, η διαπερατότητα του υγιούς ιλυολίθου στον οποίο θεμελιώνεται το φράγμα είναι γενικά περιορισμένη. Μπορεί όμως να εκδηλωθούν τάσεις ροής στην θεμελίωση και στα αντερείσματα του φράγματος λόγω:

- της διεύθυνσης των πτυχώσεων του αντικλίνου του φλύσχη που είναι παράλληλη με την διεύθυνση της κοιλάδας στην οποία προβλέπεται το έργο
- σε στρώσεις τοπικά αυξημένης διαπερατότητας, όπως στρώσεις έντονου κατακερματισμού κροκαλοπαγών, ιλυολίθων ή ψαμμιτών.

Για τον περιορισμό των ροών αυτών που θα μπορούσαν να επιδράσουν και δυσμενώς στην ευστάθεια του έργου λόγω διασωληνώσεων, κρίθηκε σκόπιμη η κατασκευή παραπετάσματος τσιμεντενέσεων για την ανάσχεση ροής, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5. Επίσης, κατάντη του φράγματος προβλέπεται η κατασκευή:

- αποστραγγιστικών σηράγγων στα αντερείσματα, και
- φρεάτων εκτόνωσης των πιέσεων στον κατάντη πόδα του φράγματος

για την ελεγχόμενη παραλαβή τυχόν διαρροών και την μείωση των πιέσεων πόρων.

Οι αποστραγγιστικές σήραγγες έχουν διαταχθεί στα αντερείσματα κατάντη του φράγματος. Αποτελούνται από δύο τμήματα:

- ένα τμήμα προσπέλασης από τα κατάντη του φράγματος, και

- ένα τμήμα κάθετο στην διεύθυνση των πτυχώσεων του αντικλίνου του φλύσχη.

Οι σήραγγες προβλέπεται να υλοποιηθούν σε στάθμη περίπου +170, που αντιστοιχεί περίπου στο 35% του ύψους του φράγματος. Η διάμετρος των σηράγγων μετά από τις κατά περίπτωση απαιτούμενες αντιστηρίξεις, προβλέπεται 4,1 m. Η διάμετρος αυτή επελέγη προκειμένου να είναι εφικτή η διέλευση των σύγχρονων οχημάτων μεταφοράς υλικών εκσκαφής.

Τα φρέατα εκτόνωσης μπορεί να κατασκευαστούν σε οποιονδήποτε χρόνο. Για τον σκοπό αυτό προβλέπεται ότι θα κατασκευαστούν εφόσον οι μετρούμενες πιέσεις πόρων στην θεμελίωση του φράγματος είναι σχετικά μεγάλες.

3.5 Έλεγχοι καθιζήσεων και ευστάθειας του σώματος φράγματος

Το σώμα του φράγματος ως γεωκατασκευή, οφείλει να ικανοποιεί τις ελαχιστες απαιτήσεις αναφορικά με την ευστάθεια των πρανών, τόσο σε φόρτιση υπό το ίδιο βάρος, όσο και για την περίπτωση της σεισμικής επιβάρυνσης. Δεδομένου ότι το φράγμα θα είναι κορεσμένο κατά τη φάση λειτουργίας, η δυσμενής επίδραση της πίεσης του νερού των πόρων και τυχόν υπερπιέσεων λόγω ροών, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη. Επίσης, επειδή το φράγμα θα κατασκευαστεί με συμπύκνωση λεπτόκοκκων υλικών, πρέπει να ελεγχθεί η συμπιεστότητα (ή και διογκωσιμότητά τους), η οποία μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, σε συνδυασμό με το μεγάλο ύψος του επιχώματος, που ξεπερνά τα 75 m. Τέλος, λόγω του βραχώδους υπόβαθρου, δεν αναμένονται προβλήματα καθιζήσεων και αστοχιών στη θεμελίωση του φράγματος.

3.5.1 Προβλεπόμενες καθιζήσεις

Ο υπολογισμός των καθιζήσεων γίνεται στον πυρήνα του φράγματος όπου και λόγω του σχετικά μεγάλου πλάτους του αναχώματος και της σχετικά συμμετρικής του διάταξης θεωρείται ότι επικρατούν συνθήκες μονοδιάστατης στερεοποίησης.

Με την συμπύκνωση του πυρήνα κατά στρώσεις επέρχεται μια προστεροποίηση των εδαφών με ενεργό τάση που εκτιμήθηκε, με βάση τα χαρακτηριστικά αντιπροσωπευτικού κυλινδροσυμπιεστή, ότι είναι της τάξης των 250

kPa. Κατά συνέπεια, για τον υπολογισμό των καθιζήσεων θεωρείται, μέχρι τουλάχιστον την τάση αυτή, ότι λαμβάνει χώρα επαναφόρτιση του υλικού.

Με βάση τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα μέτρα στραγγισμένης μονοδιάστατης συμπίεσης, εκτιμάται ότι οι καθιζήσεις που θα λάβουν χώρα μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του φράγματος θα είναι της τάξης του 1,5% του ύψους του και προβλέφθηκε υπερύψωση στο μεγαλύτερο ύψος του φράγματος ίση με 2% του ύψους του.

3.5.2 Αναλύσεις ευστάθειας πρανών

Για τις αναλύσεις ευστάθειας των πρανών χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα αριθμητικά μοντέλα. Οι μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση βασίστηκαν στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών σε συμπυκνωμένα σύνθετα δείγματα αντίστοιχων υλικών. Ειδικότερα:

- για τον πυρήνα του φράγματος θεωρήθηκαν παράμετροι αντοχής $c_u=150$ kPa/ $\varphi_u=0^\circ$ για τις αναλύσεις με ολικές τάσεις και $c'=10$ kPa / $\varphi'=25^\circ$ για αναλύσεις με ενεργές τάσεις, και
- για τα σώματα στήριξης του φράγματος θεωρήθηκαν παράμετροι αντοχής αντίστοιχα $c=10$ kPa / $\varphi=28^\circ$ τόσο για τις αναλύσεις με ολικές τάσεις όσο και για αυτές με ενεργές τάσεις (λόγω της χονδροκόκκης φύσης των υλικών και της παρουσίας των στραγγιστηρίων).

Η ευστάθεια του φράγματος ελέγχθηκε για τρεις διαφορετικές φάσεις κατασκευής και λειτουργίας:

A) Τέλος κατασκευής

B) Κατάσταση κανονικής λειτουργίας - στάθμη νερού στην ανώτατη προβλεπόμενη +207, και

Γ) Ταχής καταβιβασμός της στάθμης από το +207 στο +173.

Αναλυτικότερα, οι παραδοχές και τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την καθεμία είναι:

A) Τέλος κατασκευής

Στην περίπτωση αυτή η κατασκευή του φράγματος έχει συντελεστεί και ο ταμιευτήρας δεν έχει ακόμα γεμίσει με νερό. Έτσι, το ειδικό βάρος των γαιών είναι το υγρό ειδικό βάρος ενώ στον πυρήνα και εν μέρει στα σώματα στήριξης έχουν αναπτυχθεί υπερπιέσεις πόρων λόγω του βάρους των υπερκειμένων γαιών. Οι αναλύσεις για την περίπτωση αυτή έγιναν τόσο με ολικές όσο και με ενεργές τάσεις, για το κατάντη πρηνές του φράγματος που είναι δυσμενέστερο λόγω των πλέον απότομων κλίσεων του.

Το μέγεθος των υπερπιέσεων πόρων που θα αναπτυχθούν κατά την κατασκευή εξαρτώνται κυρίως από την διαπερατότητα των σωμάτων στήριξης και την ταχύτητα της κατασκευής. Όπως προαναφέρθηκε, η διαπερατότητα των σωμάτων στήριξης αναμένεται ότι μπορεί να κυμανθεί από 10^{-3} cm/sec μέχρι 10^{-8} cm/sec, ανάλογα με το ποσοστό των λεπτοκόκκων που θα παραχθεί κατά την συμπύκνωση. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω:

- έγιναν συντηρητικές εκτιμήσεις για τις παραμένουσες υπερπιέσεις πόρων μετά την κατασκευή ($r_u=0,50$ για τον πυρήνα και $r_u=0,20$ για τα σώματα στήριξης), και
- έγινε έλεγχος και με πιέσεις πόρων αυξημένες κατά 50% έναντι των εκτιμώμενων.

Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας που προέκυψε για την περίπτωση αυτή είναι 1,4 - ήτοι μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου 1,3 (προσωρινές συνθήκες χωρίς σεισμό κατά DIN 4084).

Κατά την κατασκευή του προφράγματος προβλέπεται να τοποθετηθούν πιεζόμετρα για την συστηματική μέτρηση των υπερπιέσεων πόρων που θα αναπτυχθούν κατά την κατασκευή. Έτσι, οι εκτιμήσεις για τις υπερπιέσεις των πόρων θα είναι δυνατόν να ελεγχθούν με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

B) Λειτουργία στην ανώτατη προβλεπόμενη στάθμη

Στην περίπτωση αυτή η κατασκευή του φράγματος ο ταμιευτήρας είναι πλήρης, με την στάθμη νερού στην Α.Σ.Υ. +207, οπότε μέσα από το φράγμα υπάρχει

βραδεία ροή. Έτσι, το ειδικό βάρος των γαιών είναι υπό άνωση και οι πιέσεις πόρων μέσα στο φράγμα είναι αυτές που αντιστοιχούν στις συνθήκες ροής.

Η κρίσιμη πλευρά του φράγματος που εξετάζεται από πλευράς ευστάθειας σ' αυτή την περίπτωση, είναι και πάλι η κατάντη, διότι αφενός η μέση κλίση των πρανών είναι μεγαλύτερη και αφετέρου διότι το κατάντη σώμα, που αποτελεί κινητήριο δύναμη για την ολίσθηση, δεν είναι υπό άνωση όπως το ανάντη, ενώ οι αναπτυσσόμενες πιέσεις πόρων στην βάση του μειώνουν την τριβή που αντίστασης στην ολίσθηση.

Η ανάλυση ευστάθειας σ' αυτή την περίπτωση γίνεται μόνο με ενεργές τάσεις, με πιέσεις πόρων που αντιστοιχούν στη φρεατική γραμμή που θα δημιουργήσει η ροή του νερού μέσα από το σώμα του φράγματος.

Στην περίπτωση αυτή έγιναν παραμετρικές αναλύσεις για τις παραμέτρους αντοχής του σώματος στήριξης. Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας που υπολογίσθηκε για την περίπτωση αυτή είναι 1,9 - ήτοι μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου στην παρούσα 1,5 (>1,4 κατά DIN 4084).

Γ) Ταχύς καταβιβασμός στάθμης

Στην περίπτωση αυτή θεωρείται ότι ο ταμιευτήρας εκκενώνεται από την ανωτάτη μέχρι την κατάντη στάθμη νερού σε πολύ μικρό χρόνο. Έτσι, το ειδικό βάρος των γαιών είναι το υγρό ειδικό βάρος, ενώ οι πιέσεις πόρων είναι περίπου αυτές που αντιστοιχούν στην κατάσταση λειτουργίας.

Η ανάλυση ευστάθειας σ' αυτή την περίπτωση γίνεται μόνο με ενεργές τάσεις. Η κρίσιμη πλευρά του φράγματος, που εξετάζεται από πλευράς ευστάθειας σ' αυτή την περίπτωση, είναι η ανάντη, λόγω των πιέσεων πόρων που δημιουργούνται από την παραμένουσα στάθμη του νερού εντός του ανάντη τμήματος του φράγματος, χωρίς την παρουσία νερού εξωτερικά των πρανών.

Η παραπάνω προσέγγιση δεν λαμβάνει ουσιαστικά υπόψη την ευνοϊκή δράση των στραγγιστηρίων που έχουν προβλεφεί στο ανάντη πρανές για την εκτόνωση των υπερπιέσεων στην περίπτωση του ταχέως καταβιβασμού της στάθμης του ταμιευτήρα, που προσδίδει ένα πρόσθετο περιθώριο ασφαλείας. Στην περίπτωση αυτή οι αναλύσεις έχουν γίνει και πάλι για όλες τις εναλλακτικές περιπτώσεις παραμέτρων διατμητικής αντοχής των σωμάτων στήριξης και ο ελάχιστος

συντελεστής ασφαλείας είναι 1,4 - ήτοι μεγαλύτερος του ελάχιστου απαιτούμενου 1,3 (προσωρινές συνθήκες).

3.5.3 Συμπεριφορά σε σεισμική φόρτιση

Η αστοχία πρανών φραγμάτων υπό την επενέργεια σεισμού λαμβάνει χώρα σε (περιορισμένους σε αριθμό) κύκλους με σημαντική σεισμική επιτάχυνση. Έτσι, το αποτέλεσμα μιας σημαντικής σεισμικής φόρτισης στο φράγμα είναι ουσιαστικά μια παραμόρφωση των πρανών του.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω:

- η ανάλυση ευστάθειας των πρανών υπό την επενέργεια σεισμού με την ψευδοστατική μέθοδο δεν ανταποκρίνεται στον πραγματικό (παρατηρούμενο) τρόπο αστοχίας, και
- είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της απόκρισης του φράγματος στον σεισμό η δυναμική του ανάλυση. Στα πλαίσια της μελέτης του έργου πραγματοποιήθηκαν μόνο ψευδοστατικές και όχι πραγματικές δυναμικές αναλύσεις. Δυναμικές αναλύσεις παρόλα αυτά είναι διαθέσιμες στη βιβλιογραφία από μεταγενέστερες έρευνες (Γκαζέτας κ.α. 2008)

Για τον κατ' αρχήν έλεγχο του φράγματος σε κατάσταση λειτουργίας υπό σεισμική φόρτιση έγιναν στα πλαίσια της παρούσας ψευδοστατικές αναλύσεις με οριζόντιο σεισμικό συντελεστή ίσο με 0,26. Ο συντελεστής αυτός προκύπτει κατά ΕΑΚ-2000 με βάση την εκτιμώμενη επιτάχυνση στην βάση του φράγματος που είναι 0,30g για περίοδο επαναφοράς 475 ετών.

Για τις προσωρινές συνθήκες φόρτισης του φράγματος και συγκεκριμένα:

- για τη κατάσταση μετά το πέρας κατασκευής (εκτιμάται σε 1-2 χρόνια από την κατασκευή), και
- για τη κατάσταση ταχέως καταβιβασμού της στάθμης του ταμιευτήρα (για διάστημα 20 ημερών τον χρόνο για 50 χρόνια)

προσδιορίζεται ότι ο σεισμικός συντελεστής που αντιστοιχεί σε πιθανότητα εμφάνισης 10% στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα των παραπάνω καταστάσεων είναι 0,10.

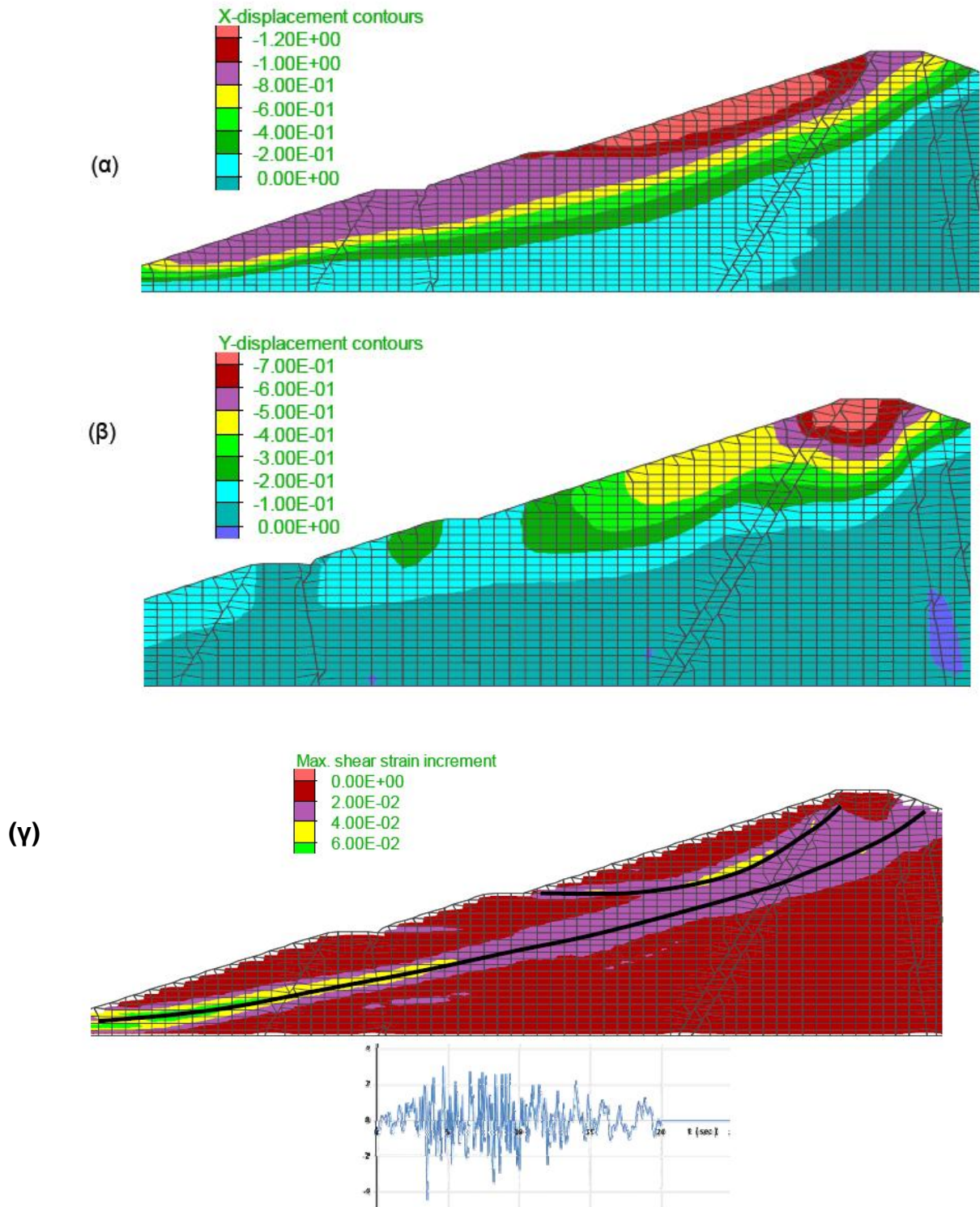
Με την εφαρμογή των παραπάνω σεισμικών συντελεστών προκύπτει ότι οι αντίστοιχοι ελάχιστοι συντελεστές ασφαλείας είναι:

- κατά το πέρας κατασκευής 1,55
- κατά τη λειτουργία (ταμιευτήρας πλήρης) 1,0
- για τον ταχύ καταβιβασμό της στάθμης 1,0

που είναι όλοι μέσα σε αποδεκτά πλαίσια.

Όσον αφορά τις δυναμικές αναλύσεις, αυτές πραγματοποιήθηκαν με κατάλληλα αριθμητικά μοντέλα σε κώδικες πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών, τα οποία υποβλήθηκαν σε πραγματικές σεισμικές κινήσεις, καταγεγραμμένες στον Ελλαδικό χώρο, φιλτραρισμένες κατάλληλα, έτσι ώστε τα αντίστοιχα φάσματα αποκρίσεως τους να είναι συμβιβαστά με το φάσμα σχεδιασμού του έργου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν: (i) το επιταχυνσιογράφημα Αιγίου, από τον ομώνυμο σεισμό του 1995 μεγέθους $M_s = 6.4$, (ii) το επιταχυνσιογράφημα Λευκάδας, από τον ομώνυμο σεισμό του 2003, μεγέθους $M_s = 6.4$, και (iii) το επιταχυνσιογράφημα Νομαρχίας Καλαμάτας, από τον σεισμό του 1986, μεγέθους $M_s = 6.2$.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3....) απεικονίζονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των αναλύσεων για το ανάντη σώμα στήριξης, που προέκυψαν για τη διέγερση με τον σεισμό της Λευκάδας, με την μορφή χρωματικών ισουψών για τις μετατοπίσεις και τις διατμητικές παραμορφώσεις.



Σχήμα 3.4 Αποτελέσματα δυναμικών αναλύσεων για το ανάντη σώμα στήριξης για την καταγραφή του σεισμού της Λευκάδας: (α) Ισουψείς οριζόντιων μετακινήσεων, με μέγιστη τιμή 1,22 m (β) Ισουψείς κατακόρυφων μετακινήσεων, με μέγιστη τιμή 0,73 m και (γ) Ισοϋψείς διατμητικών παραμορφώσεων - με έντονη μαύρη γραμμή οι δύο δυσμενέστερες ζώνες πιθανής ολίσθησης.

Οι παρατηρούμενες κρίσιμες ζώνες ολισθήσεως αναπτύσσονται σε βάθη τα οποία ποικίλλουν από 15 m έως 30 m. Οι ρηχές διατμητικές ζώνες εντοπίζονται στην περιοχή μεταξύ του αναβαθμού και του κυρίου πυρήνα, οι δε βαθιές ζώνες εκτείνονται σε όλο το ανάντη αντέρεισμα του φράγματος, ακόμα και στην περιοχή του προ-φράγματος.

Συμπερασματικά, οι υπολογισθείσες ολισθητικές μετακινήσεις τής τάξεως του 1,0 – 1,5 μέτρου κρίνονται ως όχι μεν ασήμαντες, αλλά ασφαλώς ανεκτές για την ασφαλή λειτουργία του φράγματος, δεδομένου του σημαντικά μεγαλύτερου περιθωρίου ασφαλείας του υψομέτρου της στέψης, και δεδομένης της φύσεως των υλικών.

3.5.4 Εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης

Η εγκατάσταση οργάνων παρακολούθησης στο φράγμα κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να μπορεί να ελέγχεται η πραγματική συμπεριφορά του έργου και κατά συνέπεια, η ακρίβεια των παραδοχών και των θεωρητικών ορίων ασφαλείας. Η ύπαρξη πραγματικών δεδομένων επιτρέπει την έγκαιρη λήψη μέτρων και αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων, σε περίπτωση που η πραγματική συμπεριφορά είναι πολύ κρισιμότερη από αυτά που προέβλεπαν οι μελέτες.

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του προφράγματος, κυρίως κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, προβλέπεται η τοποθέτηση, σε καθορισμένες θέσεις, οργάνων και κατασκευών για τη διεξαγωγή μετρήσεων:

- των πιέσεων του νερού των πόρων, στον πυρήνα, στα σώματα στήριξης αλλά και στο υπέδαφος θεμελιώσεώς του, και
- των επιφανειακών παραμορφώσεων του προφράγματος.

Τα όργανα που προβλέπεται να εγκατασταθούν είναι:

1. Πιεζόμετρα δονούμενης χορδής για τις μετρήσεις των πιέσεων πόρων, με φορητή συσκευή ανάγνωσης των μετρήσεων.
2. Βάθρα ελέγχου των επιφανειακών παραμορφώσεων στην στέψη του προφράγματος.

Προβλέπεται η διεξαγωγή των μετρήσεων σε 2 πλήρεις διατομές του προφράγματος.

Για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του αναχώματος, τόσο κατά τη διάρκεια της κατασκευής όσο και κατά την μετέπειτα λειτουργία του έργου, προβλέπεται η τοποθέτηση, σε καθορισμένες θέσεις, οργάνων και κατασκευών για τη διεξαγωγή μετρήσεων:

- των πιέσεων του νερού των πόρων, στον πυρήνα, στα σώματα στήριξης καθώς και στο υπέδαφος θεμελιώσεως κατόντη του παραπετάσματος τσιμεντενέσεων.
- των καθιζήσεων και αποκλίσεων του αναχώματος
- των επιφανειακών παραμορφώσεων του αναχώματος
- ενδεχομένων διηθήσεων κατόντη του φράγματος, και
- της σεισμικής δραστηριότητας της θέσης του έργου.

Τα όργανα που προβλέπεται να εγκατασταθούν είναι:

1. Πιεζόμετρα δονούμενης χορδής για τις μετρήσεις των πιέσεων πόρων στο σώμα του φράγματος και το υπέδαφος θεμελίωσής του.
2. Κύτταρα πίεσης για την μέτρηση των ολικών τάσεων στον πυρήνα. Τα κύτταρα πίεσης προβλέπονται δίπλα στα πιεζόμετρα και είναι και αυτά τύπου δονούμενης χορδής.
3. Πιεζόμετρα Casagrande για τις μετρήσεις πιέσεων πόρων κατόντη του κατόντη πόδα του φράγματος, για λόγους μακροχρόνιας αξιοπιστίας. Οι μετρήσεις σε αυτά θα γίνονται με ηλεκτρικό σταθμήμετρο.
4. Σωλήνες μετρήσεως των πλευρικών αποκλίσεων και καθιζήσεων.
5. Βάθρα ελέγχου των επιφανειακών παραμορφώσεων σε διάφορες θέσεις στην επιφάνεια του φράγματος αλλά και στα αντερείσματα για παρακολούθηση της απόκρισής τους στην φόρτιση του νερού.
6. Διάταξη τριγωνικού εκχειλιστή στο φρεάτιο μέτρησης παροχών διηθήσεως μέσα από το φράγμα.

7. Σύστημα επιταχυνσιογράφων με δύο συσκευές, μια στην στέψη του φράγματος και μια στο αριστερό αντέρεισμα, για την καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας στη θέση του έργου.

Προβλέπεται η διεξαγωγή των μετρήσεων σε 3 πλήρεις διατομές του αναχώματος, που φαίνονται στο σχετικό σχέδιο και δύο πλευρικές, όπου θα μετρώνται μόνο πιέσεις πόρων και ολικές πιέσεις στον πυρήνα καθώς και επιφανειακές παραμορφώσεις.

Παράλληλα, προβλέπεται σε κάθε μια από τις πλήρεις διατομές η εγκατάσταση ενός πιεζομέτρου δονούμενης χορδής μέσα στο φίλτρο του ανάντη πρανούς για την μέτρηση της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, για συσχέτισμό με τις υπόλοιπες μετρήσεις μετά από την πλήρωση του ταμιευτήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ενέσεις εμποτισμού για ενίσχυση – βελτίωση εδάφους

4.1 Εισαγωγή

Η χρήση ενέσεων θεωρείται σήμερα μία από τις πλέον διαδεδομένες και αποτελεσματικές μεθόδους για τη βελτίωση των ιδιοτήτων και της μηχανικής συμπεριφοράς εδαφών. Με τον όρο ένεση εννοείται η διοχέτευση, υπό πίεση ενός ρευστού υλικού στο απαιτούμενο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Το υλικό της ένεσης, που είναι είτε αιώρημα στερεών κόκκων σε νερό είτε διάλυμα χημικών ουσιών, εκτοπίζει το νερό των πόρων του εδάφους και πήζει ή στερεοποιείται σε μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. Γενικά, με τις ενέσεις επιδιώκεται η αύξηση της διατμητικής αντοχής, η αύξηση της πυκνότητας, η αύξηση της ακαμψίας, η μείωση της συμπιεστότητας, ή η μείωση της διαπερατότητας του εδάφους. Ένα κατάλληλο πρόγραμμα ενέσεων μπορεί (α) να εκτελεστεί σαν μέρος των προκαταρκτικών εργασιών πεδίου πριν από την έναρξη κατασκευής ενός έργου, (β) να αποτελεί τμήμα της κατασκευής του κυρίως έργου, ή (γ) να σχεδιαστεί και να εκτελεστεί σαν “θεραπευτική αγωγή” όταν εμφανίζονται απρόβλεπτες συνθήκες κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός έργου.

4.2 Ενέσεις Εμποτισμού

Οι ενέσεις χωρίζονται σε δύο μεγάλες υπο-κατηγορίες: α) Τις ενεματώσεις χωρίς εκτόπιση του εδάφους και β) τις ενεματώσεις με εκτόπιση του εδάφους. Στην πρώτη υπο-κατηγορία ανήκουν οι ενέσεις πλήρωσης και εμποτισμού. Η μέθοδος των ενέσεων εμποτισμού βασίζεται στην αντικατάσταση του νερού ή του αέρα των πόρων του εδάφους ή των ασυνεχειών της βραχώμαζας από ένεμα που εισπιέζεται υπό σχετικά χαμηλή πίεση ώστε να μην προκαλείται διαταραχή του εδαφικού σχηματισμού. Αποτελεί την παλαιότερη μέθοδο ενέσεων και συνήθως εφαρμόζεται σε εδαφικές ζώνες σχετικά μικρού όγκου που βρίσκονται σε απόσταση από κάποιο σημείο προσιτό στον άνθρωπο και τα μηχανήματα.

4.2.1 Εφαρμογές ενέσεων εμποτισμού

Με τις ενέσεις εμποτισμού επιδιώκουμε τη βελτίωση των ιδιοτήτων και της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται για έναν ή για περισσότερους από τους παρακάτω λόγους:

- (α) Έλεγχος υπόγειων ροών και δημιουργία "αδιαπέρατων" ζωνών: μείωση της διαπερατότητας του εδάφους γύρω από μια εκσκαφή και, κατά συνέπεια, μείωση της διηθούμενης παροχής προς την εκσκαφή. Δημιουργία αδιαπέρατου διαφράγματος στην περιοχή ή κάτω από ένα φράγμα, όπως στην περίπτωση του έργου που εξετάζεται στην παρούσα πτυχιάκη.
- (β) Αύξηση της αντοχής εδαφικού σχηματισμού: αύξηση φέρουσας ικανότητας εδάφους θεμελίωσης νέας κατασκευής ή παλαιάς κατασκευής της οποίας το φορτίο αυξάνεται.
- (γ) Μείωση των παραμορφώσεων ή καθιζήσεων: προστασία υπάρχουσών κατασκευών από τη συμπύκνωση χαλαρού αμμώδους υλικού θεμελίωσης λόγω δονήσεων. Μείωση των απαιτήσεων για πλευρική στήριξη (αντιστήριξη) των παρειών εκσκαφών που συνορεύουν με υπάρχουσες κατασκευές.
- (δ) Πλήρωση κενών: γύρω από κατασκευές (ενέσεις επαφής). Μείωση υπερβολικών καθιζήσεων ή αποτροπή αστοχίας στην περίπτωση υπόγειων ανοιγμάτων-εγκοίλων.

4.2.2 Ενέματα και υλικά

Με τον όρο ένεμα χαρακτηρίζεται το ρευστό το οποίο εισπνέζεται στα κενά του εδάφους. Σήμερα διατίθενται διάφοροι τύποι ενεμάτων και τεράστια ποικιλία υλικών, από τα οποία ο μηχανικός έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τα πλέον κατάλληλα, ανάλογα με τις ειδικές απαιτήσεις του έργου που τον απασχολεί. Η επιλογή του κατάλληλου ενέματος γίνεται με βάση τα εξής κριτήρια: α) τη μέθοδο ενεμάτωσης, β) το είδος της εφαρμογής και του φυσικού εδάφους και γ) το κόστος και την ευκολία εφαρμογής.

Τα ενέματα, ανάλογα με τον τρόπο σύνθεσής τους, διακρίνονται σε:

- Αιωρήματα : είτε στερεών σωματιδίων είτε κολλοειδή αιωρήματα
- Διαλύματα : είτε αληθή είτε κολλοειδή διαλύματα

- Κονιάματα

Τα αιωρήματα παρασκευάζονται με διάχυση των σωματιδίων του υλικού (ή μείγματος υλικών) και αιώρηση στο μέσο διασποράς (νερό). Στη δεύτερη κατηγορία, η υγρή φάση του ενέματος προκύπτει με διάλυση του υλικού σε κάποιον ανόργανο ή οργανικό διαλύτη, ενώ τα κονιάματα παρασκευάζονται με μίξη αδρανών υλικών και κάποιας συγκολλητικής ουσίας. Τα συστατικά υλικά των ενεμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν τις προδιαγραφές των έργων καθώς επίσης και τις απαιτήσεις των σχετικών ευρωπαϊκών προτύπων EN ή των εθνικών προτύπων.

Οι ιδιότητες των ενεμάτων, που αποτελούν αντικείμενο διερεύνησης και αξιολόγησης, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: α) σε εκείνες που χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του ρευστού ενέματος κατά την διαδικασία εισπίεσης του στο έδαφος (πριν την πήξη) και β) στις ιδιότητες του σκληρημένου ενέματος στην τελική του θέση στο έργο (μετά την πήξη). Οι κυριότερες από αυτές, για τους τρεις τύπους ενεμάτων, συνοψίζονται στον Πίνακα 3.1 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.1 Παράμετροι που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες των ενεμάτων

	Αιωρήματα	Διαλύματα	Κονιάματα
Πριν την πήξη	χρόνος πήξης, πυκνότητα, pH, κοκκομετρική διαβάθμιση, ιξώδες, συνοχή, διαρροή, θιξοτροπία* και ικανότητα κατακράτησης νερού	χρόνος πήξης, πυκνότητα, pH, επιφανειακή τάση εφελκυσμού, χρόνος πήγματος, ιξώδες, συνοχή και θιξοτροπία	χρόνος πήξης, πυκνότητα, pH, κοκκομετρική διαβάθμιση, ιξώδες, εργασιμότητα και ικανότητα κατακράτησης νερού
Μετά την πήξη	χρόνος σκλήρυνσης, τελική αντοχή, παραμορφωσιμότητα ανθεκτικότητα, συστολικότητα,	σκλήρυνση, τελική αντοχή, pH, παραμορφωσιμότητα ανθεκτικότητα, συστολικότητα, διασταλτικότητα,	χρόνος σκλήρυνσης, τελική αντοχή, παραμορφωσιμότητα, ανθεκτικότητα, συστολικότητα και διασταλτικότητα

* Το φαινόμενο μετατροπής μιας πηχτής σε ρευστότητα ύλης, σε κολλοειδές διάλυμα, μετά από ανάδευση.

	διασταλτικότητα, πυκνότητα και διατμητική αντοχή	διατμητική αντοχή και συναίρεση** (πυριπικά διαλύματα)	
--	--	---	--

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα πιο συνηθισμένα υλικά και οι τρόποι σύνθεσης για κάθε κατηγορία ενέματος:

Αιωρήματα

Τα αιωρήματα είναι μείγματα νερού και στερεών, με μέγεθος κόκκων που ποικίλλει σημαντικά. Αποτελούν την πιο οικονομική λύση σε σύγκριση με άλλα ενέματα εμποτισμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για βελτίωση τόσο της υδραυλικής όσο και της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών. Το ιξώδες αυτών των αιωρημάτων είναι σχετικά υψηλό και αυξάνεται σημαντικά με το χρόνο. Απαιτούνται λίγες ώρες ως και μερικές ημέρες για να αποκτήσουν ικανοποιητική αντοχή και έχουν γενικώς αρκετά μεγάλους χρόνους πήξης. Για το λόγο αυτό, οι πρώτες ύλες αναμειγνύονται στην επιφάνεια του εδάφους και διατηρούνται σε κατάλληλα δοχεία με συνεχή ανάδευση ώστε να αποφεύγεται καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων. Ενέματα τέτοιου τύπου, εκτός από αιωρήματα τσιμέντου Portland και λεπτόκοκκων τσιμέντων, είναι τα αιωρήματα αργίλου και μπεντονίτη και τα αιωρήματα μείγματος μπεντονίτη–τσιμέντου ή μείγματος ποζολανών–τσιμέντου.

Τα αιωρήματα χαρακτηρίζονται από :

- την κοκκομετρική διαβάθμιση των στερεών σωματιδίων
- την αναλογία νερού/στερεών σωματιδίων
- το ρυθμό ιζηματοποίησης
- την ικανότητα κατακράτησης νερού
- τις ρεολογικές τους ιδιότητες και την εν γένει συμπεριφορά τους με το χρόνο.

** Η καταστροφή (ή κατάρρευση) του κolloειδούς πήγματος (Silica Gel), η οποία μπορεί να οφείλεται στην πάροδο του χρόνου, είτε σε μηχανική και χημική καταπόνηση.

Ο προσδιορισμός της καμπύλης κοκκομετρικής διαβάθμισης των στερεών σωματιδίων στα λεπτόκοκκα αιωρήματα θα πρέπει να γίνεται με κατάλληλα όργανα μεγάλης ακρίβειας. Η τάση κροκκίδωσης των αιωρούμενων στερεών (ειδικά σε λεπτόκοκκα αιωρήματα) θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη. Επιπλέον η τάση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων να επικάθονται εξαιτίας της βαρύτητας θα πρέπει να εξετάζεται σε συνάρτηση με τη φύση και με τις ιδιότητες του υπό ενεμάτωση γεωυλικού.

Η απαραίτητη επεξεργασία των κolloειδών αργιλικών αιωρημάτων πριν την ενεμάτωση αφορά στην σχολαστική αποκροκκίδωση των αργιλικών σωματιδίων.

Η πιο συνηθισμένη κατηγορία αιωρημάτων είναι τα λεγόμενα υδραυλικά συγκολλητικά και τσιμεντοκονιάματα. Με τον όρο υδραυλικά συγκολλητικά εννοούνται όλα τα τσιμεντοκονιάματα και τα παρόμοια προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ενεμάτων με τη μορφή υδατίνου αιωρήματος. Τα πολύ λεπτόκοκκα υδραυλικά συγκολλητικά ή τσιμεντοκονιάματα χαρακτηρίζονται από μέγεθος κόκκου $d_{95} < 20 \text{ mm}$, και η κοκκομετρική τους καμπύλη θα πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένη.

Επισημαίνεται ότι κατά την επιλογή του τύπου του υδραυλικού συγκολλητικού για το ένεμα, η κοκκομετρική του σύνθεση θα πρέπει να επιλέγεται σε απόλυτη συνάρτηση με τις διαστάσεις των υπάρχουσών ρωγμών ή των υπάρχόντων κενών του υπό ενεμάτωση γεωυλικού. Τα τσιμεντοκονιάματα θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των EN 197-1:2000 και EN 197-2:2000, ενώ οι δοκιμές των υπόκεινται στο EN 196 .

Διαλύματα

Η χρήση μερικών τύπων πυριτικών ενεμάτων θα πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτική εκτίμηση της συμπεριφοράς τους με το χρόνο. Επισημαίνεται ότι ενεματώσεις γεωυλικών με οργανικά πυριτικά πήγματα (gel) είναι δυνατόν να έχουν δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (π.χ. εξάπλωση βακτηρίων εντός των γεωυλικών).

Οι μακροχρόνιες επιδράσεις της συναίρεσης στις ιδιότητες των υπό ενεμάτωση γεωυλικών (αλλά και στο περιβάλλον γενικότερα) θα πρέπει να εκτιμώνται πριν την έναρξη των εργασιών ενεμάτωσης.

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση των υπαρκτών θερμοκρασιακών διαφορών κατά την παραγωγή και τοποθέτηση του ενέματος στη συμπεριφορά του.

Τονίζεται ότι απαιτείται να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή :

- Στην τοξικότητα των μεμονωμένων ρητινικών συστατικών των ενεμάτων.
- Στον κίνδυνο διάλυσης του μίγματος του ενέματος στο υπόγειο νερό, οδηγώντας σε παράταση του χρόνου πήξης ή ακόμη και σε αναστολή εκδήλωσης της χημικής αντίδρασης.
- Στην τοξικότητα οποιασδήποτε ουσίας που απελευθερώνεται εντός του υπογείου ύδατος, στις περιπτώσεις όπου εντός του υπό ενεμάτωση γεωυλικού η χημική αντίδραση δεν πραγματοποιείται επιτυχώς.

Οι χρήσεις των διφόρων τύπων ρητινικών ενεμάτων παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα που ακολουθεί :

Πίνακας 4.2 Χρήση ρητινικών διαλυμάτων

Τύπος ρητίνης	Τύπος εδάφους	Χρήση/ Εφαρμογή
Ακρυλική	Κοκκώδες έδαφος, λεπτορηγματωμένος βράχος	Μείωση διαπερατότητας Βελτίωση της αντοχής
Πολυουρεθάνη	Μεγάλα κενά	Δημιουργία αφρού για την παρεμπόδιση εισροής νερού Σταθεροποίηση ή πλήρωση τοπικών κενών (ρητίνες δύο συστατικών)
Φενολική	Λεπτόκοκκη άμμος και αμμοχάλικα	Σύσφιγξη δομής
Εποξική	Ρηγματωμένος βράχος	Βελτίωση της αντοχής Μείωση διαπερατότητας

Για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας ενός διαλύματος, σε σχέση με τις ανάγκες ενός έργου, είναι απαραίτητη η τεκμηρίωση των ιδιοτήτων του. Για την επιλογή υλικό ένεσης λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές ιδιότητες (μηχανική

αλλοίωση, μήκος διείδυσης, αντοχή), οι χημικές ιδιότητες(χημική αλλοίωση, έλεγχος χρόνου πήξης, ευαισθησία, τοξικότητα) και οικονομικοί παράγοντες (κόστος, διαθέσιμη ποσότητα).

Κονιάματα

Κονιάματα τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλή εσωτερική τριβή χρησιμοποιούνται για ενεματώσεις συμπύκνωσης ή για την πλήρωση των κενών. Η εργασιμότητα των κονιαμάτων θα προσδιορίζεται μέσω δοκιμών κάθισης σε καταλλήλως επιλεγμένους κώνους ροής. Η τοποθέτηση κονιαμάτων εντός των γεωυλικών μέσω βαρύτητας συνδυάζεται με τις ανάγκες πλήρωσης κοιλοτήτων, μεγάλων και ανοικτών ρωγμών καθώς επίσης και κενών (σε κοκκώδη εδάφη). Ειδικότερα σε κονιάματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε ενεματώσεις συμπύκνωσης, το ελάχιστο ποσοστό λεπτόκοκκων που διέρχεται από κόσκινο 0.1 θα πρέπει να είναι 15%.

4.2.3 Τσιμεντενέσεις

Δείξαμε νωρίτερα ότι ενέματα τύπου αιωρήματος μπορούν να είναι ακόμα και μείγματα εδάφους–νερού, τα οποία αποτελούν και την πιο οικονομική λύση, αλλά παράλληλα εμφανίζουν πολλά και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως χαμηλή αντοχή και δυσκολία διείδυσης στους προς βελτίωση εδαφικούς σχηματισμούς. Για τις ενέσεις ενίσχυσης – βελτίωσης εδάφους, έχει επικρατήσει ο όρος «τσιμεντενέσεις» για το λόγο ότι τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα ενέματα τύπου αιωρήματος είναι εκείνα που έχουν ως βάση το κοινό τσιμέντο Portland. Ανάλογα με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής (π.χ. υψηλή αρχική αντοχή, αντίσταση σε χημικό περιβάλλον) είναι δυνατό αντί κοινού τσιμέντου να χρησιμοποιηθούν διαφορετικού τύπου τσιμέντα (αλουμινικά, σκωριακά κ.α).

Επιπλέον, είναι δυνατό να προστεθούν στα ενέματα ορισμένα στερεά (άμμος, άργιλος) με στόχο, κυρίως, τη μείωση του κόστους των ενέσεων και την επίτευξη της μεταβολής της μηχανικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας τους. Η χρήση των φυσικών άμμων ή χαλίκων ως πρόσθετων υλικών των ενεμάτων θα γίνεται υπό την προϋπόθεση ότι αυτές δεν περιλαμβάνουν επικίνδυνα συστατικά. Επιπλέον η κοκκομετρική τους σύνθεση θα έχει εξετασθεί επαρκώς.

Η χρήση άλλων προσμίκτων όπως η ιπτάμενη τέφρα, η σκωρία και η πυριτική παιπάλη, καθώς και η προσθήκη χημικών βελτιωτικών (υπερρρευστοποιητές, μειωτές νερού, επιταχυντές πήξης κ.α) έχει ως στόχο την βελτίωση κάποιων ιδιοτήτων των αιωρημάτων. Είναι δυνατή η χρήση ασβεστικών και πυριτικών υλικών, κονιοποιημένης καύσιμης τέφρας (pfa-pulverized fuel ash), ποζολάνων και ιπτάμενης τέφρας (από εργοστάσια θερμοηλεκτρικής ενέργειας) ως συστατικών ενεμάτων υπό την προϋπόθεση ότι είναι χημικώς συμβατά μεταξύ τους και ότι επιπλέον ικανοποιούν άμεσες αλλά και μακροπρόθεσμες περιβαλλοντικές απαιτήσεις. Οι δοκιμές της ιπτάμενης τέφρας πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του EN 451 - 1:2003. Η χρήση υπερπλαστικοποιητών, μέσων συγκράτησης νερού, διαλυτών αέρα και άλλων, θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις των pr EN 934 και EN 480-1:1997 έως EN 480-12:1997.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ορισμένες τυπικές συνθέσεις ενεμάτων με κύριο συστατικό το τσιμέντο.

Άμμος / Τσιμέντο.

Υλικά, Αναλογία: Ο λόγος άμμου προς τσιμέντο που χρησιμοποιείται είναι από 2:1 ως 10:1 (υλικά ξηρά κατ' όγκο σε χαλαρή κατάσταση) και νερού προς τσιμέντο από 2:1 ως 5:1 (κατ' όγκο). Η προσθήκη μπετονίτη ή ιπτάμενης τέφρας μειώνει το διαχωρισμό των αδρανών και διευκολύνει την άντληση του μείγματος.

Διαδικασία: Κατά τη διαδικασία της ένεσης χρησιμοποιούνται αντλίες με μεγάλη διάμετρο ανοίγματος βαλβίδων. Το σύστημα ανάμειξης των υλικών έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα από το σύστημα που χρησιμοποιείται για ενέσεις τσιμέντου.

Πεδίο εφαρμογής: Αυτός ο τύπος ένεσης βρίσκει εφαρμογή στην πλήρωση εγκοίλων στο έδαφος (πέτρωμα) θεμελίωσης καθώς, και οι ενέσεις “επαφής” στην περίμετρο κατασκευών ή σηράγγων. Επίσης, στην κάλυψη ανωμαλιών της βραχώδους επιφάνειας φραγμάτων (με μικρή ή μηδενική πίεση) και στον εμποτισμό χαλικωδών εδαφών, ανάλογα με την κοκκομετρία της άμμου στο μείγμα D_{10} χαλίκων $\approx 20\text{mm}$. Η αντοχή της κυμαίνεται από 10 έως 50Kg/cm^2 ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό.

Άργιλος / Τσιμέντο.

Υλικά, Αναλογία: Συνήθως χρησιμοποιείται άργιλος CH με λόγο αναλογίας προς τσιμέντο Portland από 3:1 ως 8:1 (υλικά ξηρά, κατ' όγκο, σε χαλαρή κατάσταση) και λόγο νερού προς αργίλου από 3:1 ως 10:1 κατ' όγκο.

Διαδικασία: Ο μεγάλος χρόνος πήξης της ένεσης επιτρέπει τη συνεχή ή διακεκομμένη εκτέλεσή της σε μια γεώτρηση χωρίς κίνδυνο αστοχίας. Η άργιλος πρέπει να κοσκινίζεται πριν από την ανάμειξη των υλικών για να αφαιρούνται τυχόν μεγάλης διαμέτρου κόκκοι.

Πεδίο εφαρμογής: Χρησιμοποιείται για να εμποτίσει άμμους με περίπου την ίδια κοκκομετρία που εμποτίζονται από ενέσεις τσιμέντου. Για σχετικά μεγάλα κενά, πλεονεκτεί επειδή η άργιλος βελτιώνει την οικονομία (κόστος) της ένεσης. Η αντοχή της υπολογίζεται περίπου στα 10Kg/cm^2 και εξαρτάται σε κάποιο βαθμό από την αναλογία νερού προς τσιμέντο (N/T).

Τσιμέντο / Μπετονίτης.

Υλικά, Αναλογία: Γίνεται χρήση αιωρήματος τσιμέντου και μπετονίτη, ο οποίος χρησιμοποιείται για να μειώνει το ρυθμό καθίζησης των κόκκων του τσιμέντου. Οι αναλογίες ρυθμίζονται ανάλογα με τις απαιτήσεις αντοχής, διαπερατότητας και αντλησιμότητας.

Διαδικασία: Για τη διαδικασία της ένεσης προστίθεται μείγμα ξηρού τσιμέντου και μπετονίτη στο νερό και αναμειγνύονται.

Πεδίο εφαρμογής: Ο τύπος αυτός ένεσης παρουσιάζει σχετικά μικρή αντοχή και βοηθά στη μείωση της διαπερατότητας των χονδρόκοκκων εδαφών και ρηγματωμένων βράχων. Τέλος, βρίσκει εφαρμογή στην κατασκευή αδιαπέρατων διαφραγμάτων.

Τσιμέντο Portland.

Υλικά, Αναλογία: Ο λόγος νερού προς τσιμέντο που χρησιμοποιείται είναι 1:1 ως 4:1. Χρησιμοποιούνται επίσης, διάφορα πρόσθετα όπως μπετονίτης, πυριτικές ενώσεις, ποζολάνες (για μείωση του διαχωρισμού και περιορισμό της εξίδρωσης),

χλωριούχο ασβέστιο (για ταχύτερη πήξη) και τέλος, θειολιγνίνη (για βελτίωση της αντλησιμότητας).

Διαδικασία: Κατά τη διαδικασία της ένεσης παρουσιάζονται από χαμηλές έως πολύ υψηλές πιέσεις ανάλογα με το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι αναλογίες νερού προς τσιμέντο (N/T) και οι ποσότητες πρόσθετων στοιχείων είναι μεταβλητές, ανάλογα με τις αλλαγές συνθηκών στο πεδίο. Για την αύξηση του μήκους του εμποτισμού χρησιμοποιείται λεπτό τσιμέντο τύπου III (κόκκοι μικρότεροι των 0,03mm).

Πεδίο εφαρμογής: Αυτός ο τύπος ένεσης βρίσκει εφαρμογή σε χονδρόκοκκα εδάφη με $D_{10} \geq 1$ mm και έχει μεγαλύτερο μήκος εμποτισμού σε χαλαρές από ότι σε πυκνές άμμους. Εμποτίζονται επίσης, ρωγμές βράχων με άνοιγμα από 0,01mm έως 0,06mm ανάλογα με την πίεση, το λόγο νερού προς τσιμέντο και τον τύπο του τσιμέντου. Είναι τέλος, ακατάλληλο για μεγάλα ανοίγματα με υπόγειες ροές μεγάλης ταχύτητας.

4.3 Διαδικασία και μέθοδοι ενεμάτωσης

Η διαδικασία κατά την οποία ρευστό υλικό εισάγεται με εισπίεση εντός του γεωυλικού με ταυτόχρονο έλεγχο και ρύθμιση των χαρακτηριστικών ροής και των παραμέτρων εισπίεσης (πίεση, όγκος και ρυθμός ροής), είναι αυτό που ονομάζουμε με το όρο ενεμάτωση. Η διαδικασία της ενεμάτωσης ξεκινάει πρώτα από όλα από την ορθή επιλογή ενέματος με βάση τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας που έχει προηγηθεί.

4.3.1 Ειδικές απαιτήσεις πριν τη διάρκεια εκτέλεσης ενεματώσεων γεωυλικών

Οι ειδικές απαιτήσεις πριν την διάρκεια εκτέλεσης των ενεματώσεων γεωυλικών περιλαμβάνουν :

1. Επαρκή στοιχεία εκ της γεωτεχνικής διερεύνησης των απαντώμενων στην περιοχή εκτέλεσης των εν λόγω εργασιών.
2. Γνώση των επικρατουσών συνθηκών στην περιοχή εκτέλεσης των ενεματώσεων, δηλ. έκταση και όρια της περιοχής, τοπογραφική

αποτύπωση της περιοχής με αναφορά στις επικρατούσες κλίσεις και στους περιορισμούς προσβασιμότητάς της.

3. Πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη, την ακριβή θέση και την κατάσταση παρακείμενων υφιστάμενων κατασκευών (π.χ. κτίρια, δρόμοι, δίκτυα κοινής ωφέλειας), υπόγειων κατασκευών και στοιχείων θεμελίωσης, αρχαιολογικών αντικειμένων κλπ.)
4. Πληροφορίες σχετικά με οποιαδήποτε υπόγεια μόλυνση ή κίνδυνο, που θα μπορούσε να επηρεάσει τη μέθοδο εκτέλεσης ή την ασφάλεια του περιβάλλοντος της εργασίας.
5. Πληροφορίες σχετικά με ταυτόχρονες ή μεταγενέστερες δραστηριότητες οι οποίες είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις εργασίες ενεματώσεων (π.χ αποστραγγίσεις υπογείων υδάτων, επαναφόρτιση υπογείων υδάτων, υπόγειες εκσκαφές, ανοικτές βαθιές εκσκαφές κλπ.)
6. Συγκεκριμένες διαδικασίες και κριτήρια για την επιβεβαίωση, τον έλεγχο και την αποδοχή των εργασιών ενεματώσεων.
7. Οποιαδήποτε προγενέστερη εμπειρία στην εκτέλεση ενεματώσεων υπό παρόμοιες συνθήκες.
8. Σαφής διαχωρισμός των καθηκόντων σε σχέση με την εκπόνηση της μελέτης, την εκτέλεση και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των εργασιών.

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στις ακόλουθες συνθήκες και γεωτεχνικές ιδιότητες της περιοχής εκτέλεσης των ενεματώσεων :

1. Τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών.
2. Τη θέση, το επίπεδο θεμελίωσης και την κατάσταση υπαρχουσών ή μελλοντικών κατασκευών.
3. Την παρουσία τυχόν ανισότροπων ή διαπερατών οριζόντων, οι οποίοι είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις εργασίες των ενεματώσεων.
4. Τον προσανατολισμό, τη συχνότητα και το πλάτος των ασυνεχειών των βραχών, καθώς επίσης τη σύσταση και τη φύση των τυχόν υλικών πλήρωσής τους.

5. Τη θέση και τη φύση πληρωμένων ή κενών εγκοιλών.
6. Την ύπαρξη εμποδίων, τα οποία απαιτούν την εφαρμογή ειδικών τεχνικών διάτρησης και εκτέλεσης των ενεματώσεων (δηλ. τη χρήση ειδικού εξοπλισμού).
7. Την παρουσία και τα χαρακτηριστικά των γεωυλικών, των οποίων η συμπεριφορά είναι δυνατόν να επηρεασθεί εξαιτίας των εργασιών διάτρησης ή ενεματώσεων με πιθανή εμφάνιση φαινομένων χαλάρωσης, αστάθειας, κατάρρευσης της δομής ή διόγκωσής τους.
8. Τις μεταβολές με το χρόνο της στάθμης των υπογείων νερών (εφόσον υπάρχει).
9. Την ύπαρξη στρώσεων εντός των οποίων είναι δυνατόν να αναπτυχθεί καθεστώς υπόγειας ροής με μεγάλες υδραυλικές κλίσεις.
10. Την εξέταση της χημικής σύστασης, της οργανικής και βακτηριολογικής περιεκτικότητας των υπογείων νερών ή των γεωυλικών, εφόσον αναμένονται προβλήματα.

Χρήσιμες πληροφορίες είναι δυνατόν να αποκτηθούν κατά την εκτέλεση των αναγκαίων διατρήσεων και συνεπώς θα πρέπει καθ' όλη τη διάρκεια τους να καταγράφονται συστηματικά οι παρακάτω συγκεκριμένες πληροφορίες :

- Θέση και αιτία απωλειών του ενέματος.
- Ζώνες αστάθειας και ληφθέντα μέτρα σταθεροποίησης.
- Περιοχές απωλειών και εισροών νερού, μετρήσεις του επιστρεφόμενου νερού, το χρώμα του νερού και πιθανές αλλαγές του.
- Χαρακτηριστικά της κίνησης των στελεχών διάτρησης (δηλ. σπασμωδική, απότομη, στρωτή, σταθερή κίνηση)
- Καταγραφή των παραμέτρων διάτρησης στην περίπτωση «καταστροφικών» γεωτρήσεων.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται κατά τη διερεύνηση περιοχών, όπου πρόκειται να εκτελεσθούν εργασίες ενεμάτωσης γεωυλικών, και οι οποίες χαρακτηρίζονται είτε από επικράτηση συνθηκών μόλυνσης των γεωυλικών, είτε από την ύπαρξη υψηλών τάσεων. Πιο συγκεκριμένα : (α) πριν την εκτέλεση ενεματώσεων οργανικών

πηγμάτων (GEL), θα πρέπει να έχει προηγηθεί βακτηριολογική εξέταση των υπό στενεμάτων γεωυλικών, αλλά και των υπογείων υδάτων και (β) το καθεστώς υψηλών τάσεων θα πρέπει να έχει πλήρως διερευνηθεί πριν την εκτέλεση ενεματώσεων.

4.3.2 Παρασκευή ενέματος

Η αποθήκευση των συστατικών υλικών των ενεμάτων θα πρέπει να γίνεται κατά τρόπο ώστε αυτά να προστατεύονται ικανοποιητικά από τις καιρικές συνθήκες (ειδικά από τη θερμοκρασία και την υγρασία), αλλά και από πιθανές μολύνσεις.

Η αποθήκευση των προετοιμασμένων ενεμάτων στους ειδικούς χώρους αποθήκευσης των,(δεξαμενές) θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι οι ρεολογικές και οι υπόλοιπες ιδιότητες τους δεν πρόκειται να διαφοροποιηθούν σημαντικά.

Οι μετρήσεις των δόσεων των επιμέρους συστατικών υλικών των ενεμάτων θα πρέπει να εκτελούνται με τη βοήθεια ρυθμίσεων μετρητικών συσκευών, σε πλήρη συμφωνία με τις προδιαγεγραμμένες σχετικές ενοχές.

Η επιλογή των κατάλληλων αναμικτήρων θα βασίζεται κυρίως στην απαίτηση ότι το τελικό μείγμα θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιογενές.

Για την αδιάκοπτη παράδοση ενεμάτων με στερεά σωματίδια εν αιωρήματι, απαιτείται μια δεξαμενή συγκράτησης, η οποία θα είναι τοποθετημένη μεταξύ των δεξαμενών ανάμιξης και του αντλητικού συγκροτήματος. Το μίγμα εντός της δεξαμενής συγκράτησης θα πρέπει να αναδεύεται συνεχώς για την αποφυγή διαχωρισμού ή/ και πρόωρης πήξης.

Ενέματα με ελάχιστο χρόνο πήξης θα πρέπει να αναμιγνύονται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο της εισπίεσης των εντός των γεωυλικών.

Τα συστήματα άντλησης και εισπίεσης των ενεμάτων θα πρέπει να επιλέγονται σύμφωνα με την ακολουθούμενη τεχνική εισπίεσης. Ειδικότερα για την επιλογή των αντλιών εισπίεσης θα πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω :

- ο προσδιοριζόμενος ρυθμός παράδοσης του ενέματος
- η ρύθμιση της ταχύτητας εισπίεσης του ενέματος
- η ευκολία καθαρισμού και συντήρησης των εν λόγω αντλιών

- οι διάμετροι των βαλβίδων σύμφωνα με τις απαιτήσεις ιξώδους του εισπνεζόμενου ενέματος.

Η πίεση τοποθέτησης των ενεμάτων εντός των γεωϋλικών θα πρέπει να μετράται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο σημείο έγχυσης.

Επισημαίνεται ότι τα χρησιμοποιούμενα συστήματα εισπίεσης των ενεμάτων θα πρέπει να εξομαλύνουν πιθανές μεταβολές των επιβαλλόμενων πιέσεων, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο πρόκλησης ανεπιθύμητων και μη αντιληπτών υδραυλικών θράυσεων των γεωϋλικών.

Οι σωληνώσεις παροχέτευσης των ενεμάτων θα πρέπει να αντέχουν τη μέγιστη αναμενόμενη πίεση εκ της άντλησης με έναν επαρκή συντελεστή ασφαλείας.

Το εσωτερικό των σωλήνων εισπίεσης θα πρέπει να καθαρίζεται στο τέλος της κάθε φάσης έγχυσης των ενεμάτων.

Η ανάδευση των αιωρημάτων είναι αναγκαία μέχρι την εισπίεση τους εντός των γεωϋλικών με σκοπό την αποφυγή ιζηματοποίησης των. Επιπλέον και τα διαλύματα που τείνουν να διαχωρίζονται θα πρέπει να αναδεύονται μέχρι την εισπίεση τους εντός των γεωϋλικών.

4.3.3 Μέθοδος κατασκευής

Εξοπλισμός

Η εκτέλεση των ενεματώσεων θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό.

Για την εκτέλεση των ενεματώσεων γεωϋλικών είναι απαραίτητος ο παρακάτω εξοπλισμός :

- Εξοπλισμός διάτρησης και έμπηξης
- Εξοπλισμός ανάμιξης και ανάδευσης
- Εξοπλισμό άντλησης
- Σωληνώσεις εισπίεσης
- Παρεμβύσματα
- Εξοπλισμός καταγραφών και ελέγχου των ιδιοτήτων των ενεμάτων

Ειδικότερα επισημαίνεται ότι ο εξοπλισμός διαχείρισης των ενεμάτων θα πρέπει να αντέχει με ασφάλεια τη μέγιστη αναμενόμενη να ασκηθεί πίεση ενεμάτωσης.

Η συντήρηση του προαναφερθέντος εξοπλισμού κατά την διάρκεια των εργασιών ενεματώσεων θα πρέπει να γίνεται από καταλλήλως ειδικευμένο και έμπειρο προσωπικό.

- Διάτρηση

Η διάνοιξη των οπών των ενεματώσεων είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με:

- περιστροφική διάτρηση
- κρουστική διάτρηση (με ή χωρίς σωλήνωση)
- διατρητικά εξαρτήματα όπως τρυπάνια, αρπάγες κλπ.

Η επιτυχής διάνοιξη οπών σε ασταθή γεωυλικά προϋποθέτει τη στήριξη των τοιχωμάτων τους με εναλλακτική χρήση :

- στηριζόντων διατρητικών υγρών (π.χ. μπετονίτη, νερού, αφρών κλπ.)
- προσωρινής σωλήνωσης
- τεχνικών προοδευτικής στήριξης των τοιχωμάτων των οπών κατά τη διάνοιξη

Επισημαίνεται ότι οι διατρήσεις κάτω από την επιφάνεια του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα (με ή χωρίς αρτεσιανισμό) πρέπει να γίνεται με διατήρηση αντίθετης σταθερής υπερπίεσης ύδατος ή άλλου στηρίζοντος διατρητικού υγρού. Σε κάθε περίπτωση η επιλογή των τεχνικών διάτρησης των οπών ενεματώσεων θα πρέπει να γίνεται με κριτήριο την μη παρεμπόδιση της μετέπειτα εκτέλεσης ενεματώσεων (ειδικά όσων αφορά τις πιθανές μεταβολές της αρχικής διαπερατότητας των γεωυλικών στο σημείο της ενεμάτωσης).

Κατάλληλες τοπικές ρυθμίσεις στον προσανατολισμό και στη διάνοιξη των οπών ενεμάτωσης θα πρέπει να γίνονται όπου κρίνονται αναγκαίες.

Η διάνοιξη νέων οπών είναι απαραίτητη σε αντικατάσταση όσων έχουν φραχθεί πρόωρα και όσων εμφανίζουν ανεπίτρεπτες γεωμετρικές αποκλίσεις από τις προβλεπόμενες θέσεις τους.

Οι οπές ενεματώσεων βράχου θα πρέπει να «πλένονται», αμέσως μετά τη διάνοιξη τους, με σκοπό την απομάκρυνση συντριμμάτων και άλλων χαλαρών υλικών, αλλά και την περαιτέρω χαλάρωση των υπάρχουσών ρωγμών και διακλάσεων, εφόσον η εν λόγω βραχομάζα δεν είναι δυνατόν να επηρεαστεί δυσμενώς από την προαναφερθείσα διαδικασία.

Ø Εισπίεση του ενέματος

Η μέθοδος εισπίεσης των ενεμάτων θα καθορίζεται με βάση την κατάσταση του υπό ενεμάτωση γεωυλικού, τις απαιτήσεις των εργασιών ενεμάτωσης, αλλά και τον τύπο του χρησιμοποιούμενου ενέματος. Οι βασικές μέθοδοι τοποθέτησης των ενεμάτων είναι οι παρακάτω :

- Εισπίεση εντός διανοιχθεισών οπών σε ευσταθή γεωυλικά με ανυποστήρικτα τοιχώματα.
- Εισπίεση μέσω σωλήνων, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί προηγουμένως σε προσωρινά σωληνωμένες οπές, οι οποίες έχουν διανοιχθεί σε ασταθή γεωυλικά.
- Εισπίεση μέσω κατάλληλης διάταξης του τρυπανιού διάνοιξης των οπών. Η εν λόγω φάση θεωρείται γενικώς ως φάση προ-ενεμάτωσης και είναι δυνατόν να ακολουθείται από τις παραπάνω μεθόδους.
- Εισπίεση διαμέσου σωλήνωσης που ανακτάται κατά τα ανιόντα βήματα.

Η έννοια του βήματος ορίζεται ως το προκαθορισμένο μήκος εισπίεσης του ενέματος, του οποίου τα δύο όρια προσδιορίζονται είτε με χρήση δύο παρεμβυσμάτων σε συγκεκριμένες (κάθε φορά) θέσεις, είτε με τη χρήση ενός παρεμβύσματος προχωρώντας συνεχώς από τον πυθμένα της οπής προς το στόμιο της. Οι ενεματώσεις εδαφικών υλικών μπορούν να επιτευχθούν με τη βοήθεια σωληνώσεων, στηριζόντων υγρών και βαλβιδωτών σωλήνων.

Οι βαλβιδωτοί σωλήνες, των οποίων οι βαλβίδες «σφραγίζονται» εντός του εδάφους με τη χρήση στηριζόντος υγρού (π.χ. μπεντονικό αιώρημα), επιτρέπουν

την επαναλαμβανόμενη εισπίεση ενέματος, εξαιτίας της μικρής αντοχής της δημιουργούμενης στρώσης φίλτρου στην διεπιφάνεια μεταξύ αυτών των σωλήνων και των τοιχωμάτων των οπών.

Κατά τη διάρκεια ενεματώσεων σε εδαφικές συνθήκες, θα πρέπει να γίνεται εισπίεση νερού μέσω των παρακείμενων βαλβιδωτών σωλήνων για να αποφεύγεται η διαρροή του ενέματος.

Μεγάλα ανοίγματα (κενά, έγκοιλα, κτλ.) είναι δυνατόν να πληρωθούν με ενέματα δια βαρύτητας, είτε άμεσα, είτε μέσω ενός σωλήνα έγχυσης, εκτεινόμενου έως το πέρας των εν λόγω ανοιγμάτων.

Παρεμβύσματα χρησιμοποιούνται για την απομόνωση του κάθε βήματος ενεματώσεων. Τονίζεται ότι τα παρεμβύσματα μπορεί να είναι παθητικά, μηχανικά, πνευματικά και πρέπει να έχουν αρκετό μήκος για τον περιορισμό του κινδύνου παράκαμψης του ενέματος διαμέσου του υπό ενεμάτωση γεωυλικού. Επιπλέον τα παρεμβύσματα θα πρέπει να εξασφαλίζουν απόλυτο «σφράγισμα» μεταξύ των τοιχωμάτων της οπής και του σωλήνα εισπίεσης κατά την εφαρμογή της μέγιστης πίεσης ενεματώσεων. Το μέγιστο μήκος βήματος ενεματώσεων σε βράχο δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 10 m. Ωστόσο σε συνθήκες έντονα κερματισμένης και διαταραγμένης βραχομάζας, το προαναφερθέν μήκος πρέπει να ρυθμίζεται καταλλήλως. Το μέγιστο μήκος βήματος ενεματώσεων σε εδαφικές συνθήκες δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 1 m.

Κατά τη διάρκεια ενεματώσεων σε συνθήκες υπογείου ροής, θα πρέπει να λαμβάνονται ειδικά μέτρα, έτσι ώστε να παρεμποδίζονται φαινόμενα σημαντικής αραίωσης ή ολικής απώλειας του ενέματος. Τα μέτρα αυτά εξαρτώνται από : (α) το υπό ενεμάτωση γεωυλικό, (β) τον σκοπό της ενεμάτωσης και (γ) την παροχή της υπόγειας ροής και είναι :

- Η χρήση ενέματος με πολύ μικρό χρόνο πήξης (όπως ρητίνες που αντιδρούν με το νερό, ή τσιμεντενέματα με πυριτικό νάτριο).
- Η χρήση ενέματος μεγάλου ιξώδους.
- Η χρήση προσθετικών για τον περιορισμό της αραίωσης του ενέματος.

Συνήθως οι παράμετροι εισπίεσης των ενεμάτων (π.χ. πίεση, όγκος και παροχή) θα πρέπει να ρυθμίζονται κατά την εκτέλεση των ενεματώσεων για την

αποφυγή ανεπιθύμητων μετακινήσεων και παραμορφώσεων του υπό ενεμάτωση γεωυλικών, εκτός εάν αυτό αποτελεί επιδίωξη της όλης διαδικασίας. Επισημαίνεται ότι ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται σε περιοχές γειννίασης με ευπαθείς κατασκευές.

Η παροχή του χρησιμοποιούμενου ενέματος κατά την εκτέλεση ενεματώσεων στεγανοποιήσεως πολλαπλών βημάτων εξαρτάται από τα ιξώδες του και τα μήκη των βημάτων.

Ø Αλληλουχία ενεματώσεων

Ο γενικός σχεδιασμός των ενεματώσεων είναι μία συνεχής διαδικασία, καθ' όλη τη διάρκεια των οποίων απαιτείται επιτόπου παρακολούθηση. Πιθανές αποφάσεις που σχετίζονται με αλλαγές στη μέθοδο ενεματώσεων ή στις παραμέτρους των εκτελούμενων ενεματώσεων, όπως και με τη συνέχιση ή τον τερματισμό των ενεματώσεων, θα πρέπει να λαμβάνονται από κοινού με την υπηρεσία η οποία θα έχει και την τελική έγκριση όλων των προαναφερομένων.

Οι ενεματώσεις σε κατιόντα βήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για την βελτίωση ασταθούς βραχομάζας. Εφόσον εκτελούνται ενεματώσεις σε κατιόντα βήματα μέσω διαφορετικών οπών, το ανώτερο στάδιο σε όλες τις οπές διανοίγεται και ενεματώνεται πριν διατρηθεί και ενεματωθεί το επόμενο στάδιο σε όλες τις γειτονικές οπές.

Οι ενεματώσεις σε ανιόντα βήματα χρησιμοποιούνται μόνο σε ανοικτές οπές σε σταθερό βράχο ή εφόσον ο στόχος είναι η υλοποίηση ενεματώσεων συμπύκνωσης.

Ενεματώσεις πολλαπλών σταδίων με χρήση βαλβιδωτών σωλήνων χρησιμοποιούνται συνήθως σε εδάφη και μερικές φορές σε ασταθείς βραχομάζες.

Η εκτέλεση ενεματώσεων με τη μέθοδο σταδιακού διαχωρισμού της απόστασης μεταξύ των οπών εισπίεσης συνοψίζεται ως εξής :

1. Αρχικά διανοίγονται και ενεματώνονται οι πρωτογενείς οπές.
2. Στη συνέχεια διανοίγονται ενδιάμεσως των πρωτογενών οπών οι δευτερογενείς οπές δια μέσου των οποίων εκτελούνται εργασίες ενεμάτωσης.

3. Η πύκνωση του δικτύου των προαναφερθεισών οπών ενεμάτωσης περιλαμβάνει τις διανοίξεις τριτογενών ή και τεταρτογενών οπών, μέσα από τις οποίες εκτελούνται εκ νέου εργασίες ενεμάτωσης.

Η προαναφερθείσα μέθοδος είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί :

- για την εξασφάλιση ομοιόμορφης ενεμάτωσης μίας ζώνης και
- για τον καθορισμό, με βάση την αποκτηθείσα εμπειρία, ζωνών, όπου για την επιτυχή ενεμάτωση τους απαιτούνται πολύ κοντινά τοποθετημένες οπές.

Η διάταξη των πρωτογενών οπών εισπίεσης θα πρέπει να αποφασίζεται με βάση την εμπειρία ή τα αξιολογημένα αποτελέσματα δοκιμών ενεματώσεων. Σε περιπτώσεις εφαρμογής της προαναφερθείσας μεθόδου του σταδιακού διαχωρισμού της απόστασης των οπών εισπίεσης, η επιλεγμένη ως πρωτογενής οπή θα αποτελεί και διερευνητική οπή ενέματος (εκτός των περιοχών όπου έχουν προηγηθεί δοκιμές ενεματώσεως), με σκοπό :

- Την καλύτερη περιγραφή των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών,
- Την τελική επιλογή του βάθους της οπής ενέματος και για τις υπόλοιπες πρωτογενείς οπές.

Για τον περιορισμό της πλευρικής επέκτασης του ενέματος, εκτός των ορίων της προκαθορισμένης περιοχής ενεμάτωσης, οι εισπίεσεις θα πρέπει να ξεκινούν στην περίμετρο της υπό εξυγίανση ζώνης και να προχωρούν προοδευτικά προς το εσωτερικό της. Ωστόσο επισημαίνεται ότι αυτή η διαδικασία δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται εφόσον υπάρχει κίνδυνος εγκλωβισμού του υπογείου νερού ή αν ο στόχος των σχετικών εργασιών είναι η εξαγωγή του νερού από τη ζώνη ενεμάτωσης.

4.4 Επιτόπου Δοκιμές διαπερατότητας ή δοκιμές εισπίεσης νερού (PUMPING IN TESTS)

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού (*Pumping in tests*), αποτελούν τον καταλληλότερο τρόπο εκτίμησης του k και κυρίως για το τμήμα του υπεδάφους που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή στην ακόρεστη ζώνη, στην περίπτωση των γεωτεχνικών μελετών και χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα εκτέλεσης, τη

δυνατότητα συχνής επανάληψης αυτών κατά τη διάρκεια της διάτρησης, αλλά και για την καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Δεν θα πρέπει πάντως να λησμονείται ότι η περατότητα ακόμα και σε ένα ομοιόμορφο σχηματισμό μεταβάλλεται από το ένα σημείο στο άλλο ή ότι η παρουσία στρωσιγένειας υποδηλώνει συνήθως διαφορετική περατότητα κατά την οριζόντια και την κατακόρυφο. Έτσι συνήθως μετράται η περατότητα του πλέον υδροπερατού οριζοντα. Εν τούτοις, καθώς δεν υπάρχει ικανοποιητική μέθοδος διαφοροποίησης της οριζόντιας από την κατακόρυφη διαπερατότητα, οι τιμές που λαμβάνονται στην ύπαιθρο θεωρούνται αντιπροσωπευτικές του εδαφικού στρώματος σαν σύνολο.

Κατά τις δοκιμές αυτές, είτε εισάγεται μέσα στη δειγματοληπτική γεώτρηση ποσότητα νερού και μετράται το επιβαλλόμενο φορτίο κάτω από δεδομένη πίεση είτε η στάθμη του νερού ανυψώνεται και καταγράφεται ο βαθμός πτώσης μέχρι τη στάθμη του υδροφόρου οριζοντα. Στη πρώτη περίπτωση πρόκειται για δοκιμές σταθερού φορτίου (Constant head test), ενώ στη δεύτερη για δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Falling head test). Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρεις κυριότερες δοκιμές που χρησιμοποιούνται στην πράξη:

Δοκιμή MAAG (μεταβλητού φορτίου, για λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά)

Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή υδροπερατότητας είναι η *δοκιμή Maag*, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με χαμηλή υδροπερατότητα.

Σύμφωνα με τη δοκιμή αυτή, παροχετεύεται νερό στη γεώτρηση και μετριέται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει η νέα στάθμη που δημιουργήθηκε σε μια πιο χαμηλή θέση. Αν το πρόσθετο υδραυλικό φορτίο σε σχέση με την υδροστατική στάθμη του υδροφόρου είναι σε ένα ύψος περισσότερο από 2 μέτρα, οι μετρήσεις χρόνου - στάθμης γίνονται κάθε φορά που η στάθμη πέφτει περίπου 10 εκατοστά. Αν το φορτίο είναι σε ύψος λιγότερο από ένα μέτρο, οι αναγνώσεις της πτώσεως της στάθμης θα γίνονται κάθε 2,5-5 εκατοστά. Οι μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι το φορτίο να μη είναι περισσότερο από 1/5 του αρχικού.

Στο Σχήμα 4.1 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού (πίπτοντος) φορτίου για τις περιπτώσεις που το δοκιμαζόμενο τμήμα βρίσκεται είτε πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου οριζοντα (περίπτωση a) είτε κάτω από αυτήν (περίπτωση b).

Γενικά ο συντελεστής k υπολογίζεται με βάση το γενικό τύπο:

$$k = \frac{A}{Ft}$$

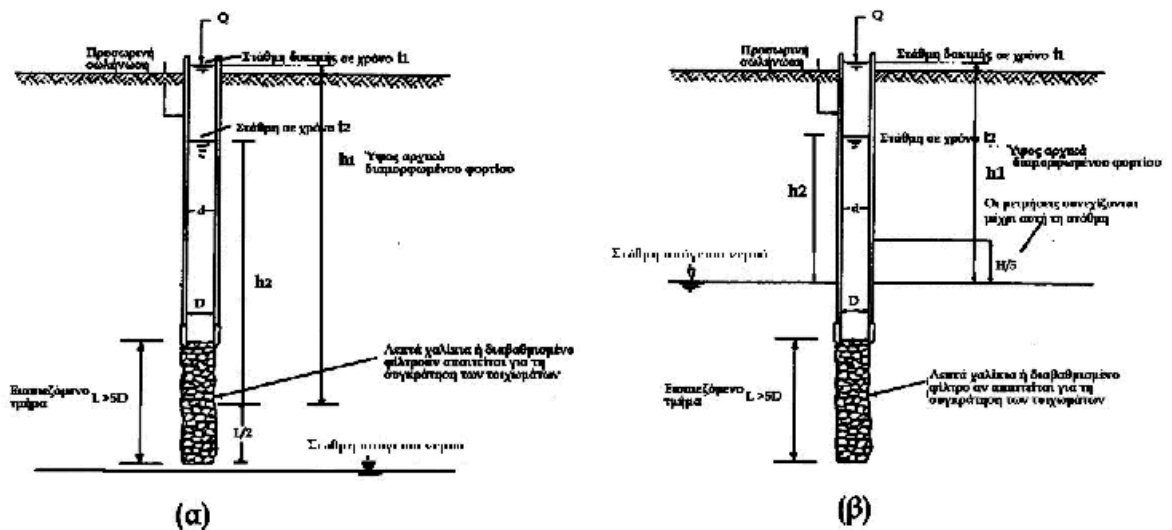
όπου:

A = η διατομή της γεώτρησης στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής,

F = αδιάστατος παράγοντας σχετιζόμενος με τη γεωμετρία της δοκιμής,

t = ο χρόνος εκτέλεσης της δοκιμής.

Ο παράγοντας F υπολογίζεται με τη βοήθεια διαγραμμάτων, που σχετίζουν τους λόγους F/D και L/D .



Σχήμα 4.1 Τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού (πίπτοντος) φορτίου (δοκιμή Maag) με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού, (α) κάτω από το εισπνεζόμενο τμήμα της γεώτρησης και (β) πάνω από αυτό.

Υπάρχουν διάφορες εκφράσεις του γενικού τύπου υπολογισμού του συντελεστή υδροπερατότητας, όπως

$$k = \frac{A}{ct} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

όπου

A = η διατομή της στήλης του νερού μέσα στη γεώτρηση (πr^2 σε cm^2),

c = συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, δηλαδή:

c = $4\pi r$ για σφαιρικού σχήματος δοκιμαζόμενο τμήμα, ακτίνας r ,

c = $2,75d$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι η κυκλική επιφάνεια του πυθμένα της γεώτρησης, με d την εσωτερική διάμετρο της προσωρινής σωλήνωσης στο βάθος της δοκιμής,

c = $2d$ όταν η δοκιμή γίνεται στην επαφή υδροστεγανού – υδροπερατού σχηματισμού,

c = $2\pi L/\ln(2L/D)$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$, και τέλος,

c = $2\pi L/\sin^{-1}(L/D)$ όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $5D > L > D/2$.

t = ο χρόνος πτώσης της στάθμης του νερού σε cm ,

h_1 = το αρχικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς,

h_2 = το τελικό ύψος της στάθμης πάνω από το επίπεδο αναφοράς.

Σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται η υδροστατική στάθμη, όταν η δοκιμή γίνεται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (βλέπε Σχήμα 5-3β).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και προκειμένου για δοκιμαζόμενο τμήμα είναι διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$, ο υπολογισμός μπορεί να γίνει βάσει του παρακάτω τύπου:

$$k = \left[\frac{D}{L} \ln\left(\frac{4L+4D}{D}\right) \right] \times \left[\frac{1}{8} \frac{D}{T_i} \ln \frac{h_0}{h_1} \right]$$

όπου **k** = συντελεστής υδροπερατότητας σε cm/sec

D = εσωτερική διάμετρος σωλήνα (cm)

L = ασωλήνωτο τμήμα (cm)

T_i = χρόνος (sec)

h_0 = υδροστατική στάθμη (cm)

$h_1(h_0-E)$ =υπέρ ή υποπίεση (cm), όπου E = η δυναμική στάθμη στο τέλος της δοκιμής (cm).

Από όλες τις παραπάνω αναφορές και σχολιασμούς διαπιστώνεται ότι τα αποτελέσματα της δοκιμής εξαρτώνται κύρια από την καλή γνώση της υδροστατικής στάθμης του υπόγειου νερού, αλλά και των ορίων των υδροφόρων και των μη υδροφόρων στρωμάτων. Γι' αυτό είναι προτιμότερο οι δοκιμές να εκτελούνται αφού έχει προηγηθεί η διερεύνηση της στρωματογραφίας της περιοχής έρευνας.

Δοκιμή LEFRANC (σταθερού φορτίου, για αδρόκοκκα εδαφικά υλικά)

Σύμφωνα με τη μέθοδο *Lefranc*, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση αδρόκοκκων εδαφικών υλικών, δηλαδή υλικών με αυξημένη υδροπερατότητα, διοχετεύεται με τη βοήθεια αντλίας νερό στη γεώτρηση έτσι ώστε να διατηρείται η στάθμη σε επιθυμητό ύψος και μετριέται η παροχή σε ορισμένο, προδιαγεγραμμένο χρόνο (π.χ. 5-20 min). Γενικά ο υπολογισμός του συντελεστή υδροπερατότητας εξαρτάται και εδώ από τη σχέση του εισπνεζόμενου τμήματος της γεώτρησης με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού.

Στο Σχήμα 4.2 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου για τις περιπτώσεις που το δοκιμαζόμενο τμήμα βρίσκεται είτε πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (περίπτωση α) είτε κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (περίπτωση β).

Γενικά ο συντελεστής k υπολογίζεται με βάση το γενικό τύπο:

$$k = \frac{Q}{ch}$$

όπου:

Q = η παροχή του νερού σε cm^3/sec ,

c = συντελεστής σχετιζόμενος με τη γεωμετρία του δοκιμαζόμενου τμήματος, ακριβώς όπως αναφέρθηκε στη δοκιμή Maag,

h = το ύψος της φορτίζουσας στήλης, σε cm.

Μια εφαρμόσιμη μορφή του τύπου αυτού για τη συνήθη περίπτωση όπου το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι κυλινδρικό διαμέτρου D και μήκους L με σχέση $L \geq 5D$, είναι η ακόλουθη:

$$k = \frac{Q}{2p \times L \times H} \times \ln \frac{L}{r}$$

όπου

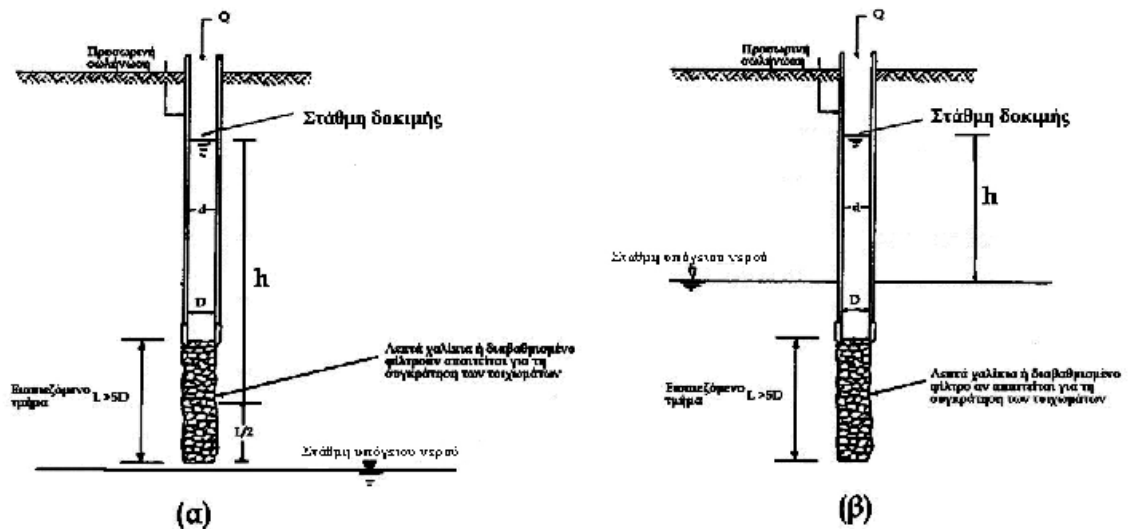
k = συντελεστής υδροπερατότητας σε cm/sec

Q = παροχή (lit/min)

L = ασωλήνωτο τμήμα (cm)

H = πρόσθετο υδραυλικό φορτίο (cm)

r = εσωτερική ακτίνα του σωλήνα (cm).



Σχήμα 4.2. Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου (δοκιμή Lefranc) με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού, (a) κάτω από το εισπνεζόμενο τμήμα της γεώτρησης και (b) πάνω από αυτό.

Δοκιμή LUGEON (για βραχώδεις σχηματισμούς)

Για τους βραχώδεις σχηματισμούς χρησιμοποιούνται οι δοκιμές παρεμβυσμάτων (Packer tests). Πρόκειται για τις δοκιμές που είναι γνωστές με το όνομα Lugeon tests, από το όνομα Γάλλου ερευνητή.

Στη δοκιμή *Lugeon* το δοκιμαζόμενο τμήμα, μήκους συνήθως 3-5m, πάνω από τον πυθμένα της γεώτρησης, απομονώνεται από πάνω με κατάλληλο παρέμβυσμα (racker) το οποίο διογκούμενο με ειδική τεχνική, εφάπτεται ερμητικά με τα τοιχώματα της γεώτρησης, έτσι ώστε κατά τη διάρκεια της δοκιμής να μην επιτρέπεται διαφυγές νερού. Μετά την απομόνωση, εισπνέζεται νερό από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια αντλίας.

Ένα μανόμετρο, ένας υδρομετρητής και μία βαλβίδα ανακούφισης, προσαρμοσμένα σε κατάλληλο αεριοφυλάκιο (πιεστικό καζανάκι), επιτρέπουν την μέτρηση της ποσότητας νερού που απορροφήθηκε, για κάθε πίεση που εφαρμόστηκε. Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή πίεσης κατά βαθμίδες. Για κάθε σταθερή πίεση, η ποσότητα που απορροφάται μετριέται σε μια διάρκεια 5 ή καλύτερα 10min. Η δοκιμή γίνεται με την εφαρμογή κατάλληλα επιλεγμένων πιέσεων για το συγκεκριμένο τεχνικό έργο, σε αύξουσα σειρά μέχρι μια μέγιστη τιμή πίεσης και συνεχίζεται κατά φθίνουσα σειρά με πιέσεις αντίστοιχες της αύξουσας σειράς.

Στην πρόσθετη πίεση που εφαρμόζεται προστίθεται και η πίεση που δημιουργεί η στήλη της δοκιμής (για παράδειγμα δοκιμή σε βάθος 10 μέτρων επιφέρει αύξηση πίεσης κατά μία (1) ατμόσφαιρα), ενώ πρέπει να αφαιρούνται και οι απώλειες πίεσης λόγω τριβών στην κίνηση του νερού μέσω του δικτύου της δοκιμής. Η τελευταίες είναι συνήθως πολύ μικρές και δύσκολο να μετρηθούν, οπότε και δεν λαμβάνονται υπόψη. Στο Σχήμα 4.3 δίνεται τυπική διάταξη δοκιμής *Lugeon*.

Η δοκιμή μπορεί να εκτελεστεί και σε ανιόντα βήματα μέσα σε γεώτρηση που έχει ήδη ανορυχθεί, με τη βοήθεια διπλών παρεμβυσμάτων (Packers), που διογκώνονται με τη βοήθεια παροχέτευσης σε αυτά πεπιεσμένου αέρα. Ακόμα, για να μην αντιμετωπίζονται προβλήματα απωλειών σε πολύ κερματισμένα πετρώματα, χρησιμοποιούνται συστήματα πολλαπλών παρεμβυσμάτων.

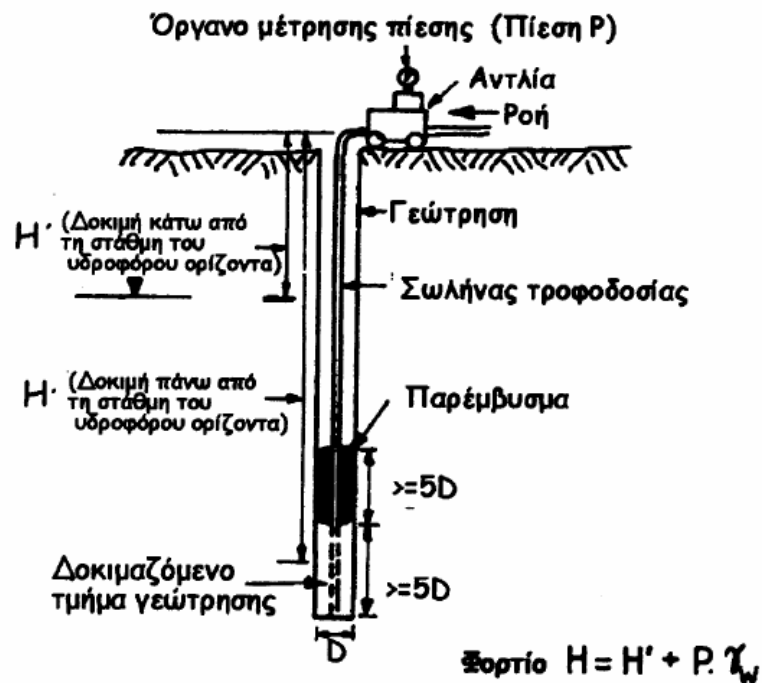
Συνήθως στα αποτελέσματα δίνεται η σχέση των απωλειών νερού από το δοκιμαζόμενο τμήμα και των εφαρμοζόμενων βαθμίδων πίεσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, ενώ οι μετρήσεις της υδροπερατότητας γίνονται σε μονάδες *Lugeon*.

Μια μονάδα *Lugeon*, είναι η υδροπερατότητα που έχει μια βραχύδης μάζα κάτω από πίεση 10 Atm (φορτίο 100m πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα), όταν ένα (1) m γεώτρησης διαμέτρου NX (76 mm) σε αυτή τη βραχομάζα επιτρέπει απώλειες ενός (1) λίτρου νερού ανά λεπτό.

Εξυπακούεται ότι είναι πολύ δύσκολο η μέγιστη πίεση να ξεπεράσει τις 10 Atm για να έχουμε τις μονάδες Lugeon για το σχηματισμό που εξετάζεται, αλλά και η μετατροπή των μονάδων αυτών σε τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας k είναι πολύ δύσκολη λόγω των στοιχείων τυποποίησης της δοκιμής (δεν λαμβάνεται υπόψη πλήρως η γεωμετρία του εισπιεζόμενου τμήματος κλπ). Επί πλέον η έλλειψη ομοιογένειας στις κερματισμένες βραχομάζες μπορεί να οδηγήσει σε λάθος υπολογισμό του k . Εν τούτοις, για πρακτικούς λόγους εφαρμογής έχει καθιερωθεί ένας παράγοντας μετατροπής των μονάδων Lugeon σε τιμές συντελεστή k που εξισώνει ένα (1) Lugeon με 10^{-5} cm/sec (10^{-7} m/sec).

Γενικά, έχουν διαμορφωθεί διάφοροι τύποι υπολογισμού του συντελεστή k , όπως αυτός που ακολουθεί:

$$k(\text{cm/sec}) = \frac{Q}{2p \times L \times P} \times \ln \frac{2L}{D}, \text{ όπου } L \geq 5D$$



Σχήμα 4.3. Τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon απλού παρεμβύσματος με τη στάθμη του υπεδαφικού νερού είτε πάνω από το εισπιεζόμενο τμήμα της γεώτρησης είτε κάτω από αυτό.

και: $Q =$ οι απώλειες σε cm^3/sec (lit/min),

$L =$ το μήκος του εισπνεζόμενου τμήματος σε cm,

$P =$ η πίεση της δοκιμής σε cm (atm),

$D =$ η διάμετρος της οπής της γεώτρησης σε cm.

Τύποι σαν τον παραπάνω για τη μέτρηση του k χρησιμοποιούνται κυρίως για πορώδη πετρώματα ή πετρώματα με πολύ πυκνό δίκτυο λεπτών ρωγμών και δεν διαφέρουν από αυτούς της μεθόδου Lefranc, καθώς το πέτρωμα εξομοιώνεται με έδαφος αυξημένης περατότητας, αλλά εφαρμόζονται κατ' επέκταση και στις άλλες περιπτώσεις στην πράξη.

Γενικά η υδροπερατότητα που μετράται κατά τη δοκιμή Lugeon σχετίζεται με τον αριθμό, το εύρος και το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών, αλλά και με τη συμπεριφορά αυτών κατά τη διάρκεια της δοκιμής, δηλαδή αν ξεπλένονται, αποφράσσονται, διαστέλλονται κλπ. Επιπρόσθετα υπάρχουν πέντε τιμές k για κάθε δοκιμή, δηλαδή όσες και τα βήματα αυτής.

Για το λόγο αυτό είναι πολύ χρήσιμο κατ' αρχήν από τις τιμές Lugeon για κάθε βήμα δοκιμής να καθορίζεται ο τύπος ροής και να περιγράφονται τα αποτελέσματα της δοκιμής. Έτσι, μπορεί να βρεθεί ο καλύτερος τρόπος υπολογισμού του συντελεστή υδροπερατότητας. Στο Σχήμα 4.4 δίνονται διαγραμματικά οι πιθανοί τύποι ροής που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεση μιας δοκιμής Lugeon, και ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή υδροπερατότητας σύμφωνα με τον Houltsby, (1976). Σύμφωνα με το συγγραφέα αυτό η τιμή Lugeon μπορεί να υπολογιστεί κατ' αρχήν από τη σχέση:

$1\text{Lugeon} =$ οι απώλειες νερού στη δοκιμή (σε lit/min m) \times 10Atm/πίεση της δοκιμής (Atm).

ΠΙΕΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΤΙΜΕΣ LUGEON ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΟΚΙΜΗ	ΤΥΠΟΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ
		<p>Ομαλή ροή (Laminar flow): Όλες οι τιμές Lugeon είναι περίπου ίδιες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των πέντε τιμών</p>
		<p>Τυρβώδης ροή (Turbulent flow): Οι τιμές Lugeon μειώνονται καθώς η πίεση αυξάνει: Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται η τιμή Lugeon που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη πίεση. Παρ/ση: Η ροή είναι πολύ σπάνια πλήρως τυρβώδης.</p>
		<p>Ροή διαστολής (Dilatation): Προκαλείται από το άνοιγμα των ασυνεχειών του πετρώματος στις υψηλές πιέσεις. Αυτό κρίνεται σαν προσωρινή εικόνα και όχι συνθησιαμένη ιδιότητα σε τυπικές πιέσεις του υπεδασφικού νερού. Συνεπώς χρησιμοποιείται η μέση τιμή των δύο χαμηλών ή των δύο μέσων πιέσεων</p>
		<p>Απόπλυση (Wash-out): Τα υλικά πλήρωσης των ασυνεχειών ξεπλένονται από τη ροή του νερού. Εκτιμάται ότι η απόπλυση αυτή είναι σταθερή και χωρίς ανάκαμψη στα πετρώματα. Χρησιμοποιείται η μέγιστη (τελική) τιμή. Παρ/ση: Η κατάσταση αυτή μπορεί να σημαίνει ότι οι τιμές πίεσεως της δοκιμής είναι πολύ υψηλές.</p>
		<p>Πλήρωση ρωγμών (Void filling): Η περίπτωση αυτή προκαλείται με την πλήρωση των κενών από το νερό σε ένα μερικά κορεσμένο βραχυώδη σχηματισμό. Εδώ, λαμβάνεται υπόψη η τελική τιμή ή κατά προτίμηση πραγματοποιείται μια δεύτερη δοκιμή για την επιβεβαίωση του κορεσμού.</p>

Σχήμα 4.4 Τύποι ροής, περιγραφή αποτελεσμάτων από τη δράση αυτών και καθορισμός του τρόπου προσδιορισμού της υδροπερατότητας.

Οι μονάδες Lugeon ή και οι τιμές του k που προκύπτουν από αυτές για μια βραχομάζα αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην εκτίμηση των διαρροών κάτω από ένα τεχνικό έργο π.χ. φράγμα και κατ' επέκταση στον καθορισμό των μεθόδων περιορισμού των διαφυγών. Σημειώνεται ότι ο χαρακτηρισμός της υδροπερατότητας γίνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 4.4 Στον πίνακα 4.5 δίνεται το εύρος κύμανσης του συντελεστή υδροπερατότητας k για μερικές από τις πλέον σημαντικές κατηγορίες εδαφών ή και βραχωδών μαζών.

Πίνακας 4.4 Κατηγορίες υδροπερατότητας με βάση το συντελεστή k

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	cm/sec	m/sec
Πολύ Υψηλής Υδροπερατότητας	> 1	$> 10^{-2}$
Υψηλής Υδροπερατότητας	$1 - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-4}$
Μέσης Υδροπερατότητας	$10^{-2} - 10^{-3}$	$10^{-4} - 10^{-5}$
Χαμηλής Υδροπερατότητας	$10^{-3} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-7}$
Πολύ Χαμηλής Υδροπερατότητας	$10^{-5} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-9}$
Πρακτικά Αδιαπέρατος	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$

Πίνακας 4.5 Κύμανση του συντελεστή υδροπερατότητας (σε cm/sec) για διάφορες κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών

100	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	
Καθαρά χαλίκια	Καθαρές άμμοι & αμμο-χάλικα		Πολύ λεπτόκοκκες άμμοι, ιλύες & φυλλώδεις αργιλο-ιλύες.		Μη ρωγματομένες άργιλοι & αργιλοϊλύες (με άργιλο >20%)		Συνεκτικές άργιλοι & χωρίς ρωγμάτωση				
	Ξηρές και ρωγματομένες άργιλοι										
Βραχομάζα πορωδών και σπηλαιωδών βασαλτών ή και σπηλαιωδών ανθρακικών πετρωμάτων		Βραχομάζα ψαμμιτών και κερματισμένων και εκρηξιγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων		Βραχομάζα αργιολίθων, ιλυολιθικών σχιστολίθων		Μαζώδη σχιστολιθικών & γρανιτικών πετρωμάτων					
Σχηματισμοί πολύ υψηλής έως υψηλής υδροπερατότητας				Σχηματισμοί υδροπερατότητας			πτωχής		Πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί		
1 Μονάδα Lugeon (1UL) πρακτικά ισοδυναμεί με $k = 1 \times 10^{-5}$ cm/sec											

4.5 Σχεδιασμός και σκοπιμότητα προγράμματος τσιμεντενέσεων για το φράγμα Αστερίου

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες του γεωλογικού υπόβαθρου στον άξονα του φράγματος καθορίζονται κύρια από τη λιθολογία και την κατανομή στο χώρο των επιφανειών ασυνεχειών (επιφάνειες στρώσης, διακλάσεων, ρηγμάτων). Μέσω των επιφανειών ασυνεχειών και των πιθανών ρηγμάτων στην ευρύτερη κοίτη του ποταμού και εξ αιτίας των υδροστατικών πιέσεων, που δημιουργούνται από τα νερά της λίμνης, αναμένονται απώλειες νερού κάτω και γύρω από το φράγμα, αν δεν εφαρμοστούν μέτρα στεγανοποίησης κάτω από το φράγμα. Η εξέταση της διαπερατότητας των σχηματισμών στη θέση του άξονα του φράγματος, έγινε με βάση τη συγκέντρωση και αξιολόγηση στοιχείων που αφορούσαν:

- α. Δεδομένα από δοκιμές υδατοπερατότητας και αξιολόγηση των στοιχείων αυτών προκειμένου να εκτιμηθεί η διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών της υπό έρευνα περιοχής

β. Μετρήσεις πιεζομετρίας στις γεωτρήσεις του άξονα του φράγματος και της γύρω περιοχής και συσχέτιση αυτών με την εκτιμώμενη διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών

γ. Καταγραφή πηγών ή σημείων εμφάνισης νερού στην περιοχή του άξονα του φράγματος./Σε ότι αφορά την εμφάνιση πηγών, διαπιστώθηκε ότι στη θέση θεμελίωσης του φράγματος και των βοηθητικών έργων, δεν παρουσιάζονται πηγές, λόγω της πολύ χαμηλής υδατοπερατότητας των σχηματισμών του φλυσικού υποβάθρου.

4.5.1 Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας υποβάθρου

Τα αποτελέσματα των δοκιμών υδατοπερατότητας, που εκτελέστηκαν επί τόπου σε όλες τις ερευνητικές γεωτρήσεις, στον άξονα του φράγματος, με τις μεθόδους του πίπτοντος φορτίου (Maag) και εισπίεσεως ύδατος (Lugeon), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6 που ακολουθεί

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα δοκιμών υδατοπερατότητας στις ερευνητικές γεωτρήσεις στον άξονα του φράγματος Αστερίου.

Γεώτρη-ση	Στάδιο Μελέτης	Δοκιμή	Βάθος (m)	Συντελεστής Υδατοπερατότητας k (cm/sec)	Γεώτρη-ση	Στάδιο Μελέτης	Δοκιμή	Βάθος (m)	Συντελεστής Υδατοπερατότητας k (cm/sec)		
Γ-1	Προμελέτη	Lugeon	4,00 – 8,10	<1 x 10 ⁻⁷	Γ-2	Προμελέτη	Maag	5,50	1,5 x 10 ⁻³		
		Lugeon	8,10 – 12,00	1,5 x 10 ⁻⁷			Lugeon	7,00 – 10,90	3 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	12,20 – 15,90	5,1 x 10 ⁻⁶			Lugeon	10,90 – 15,10	1,30 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	15,90 – 20,20	1,05 x 10 ⁻⁷			Lugeon	15,10 – 19,15	6,50 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	20,20 – 24,20	5,0 x 10 ⁻⁶			Lugeon	19,15 – 23,00	2,10 x 10 ⁻⁸		
		Lugeon	24,20 – 28,25	3,1 x 10 ⁻⁶			Lugeon	23,00 – 27,00	2,70 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	28,25 – 32,30	3,1 x 10 ⁻⁶			Lugeon	27,00 – 31,45	3,20 x 10 ⁻⁶		
		Lugeon	32,30 – 36,50	2,8 x 10 ⁻⁶			Lugeon	31,45 – 36,10	1,30 x 10 ⁻⁸		
		Lugeon	36,50 – 40,70	3,7 x 10 ⁻⁶			Lugeon	36,10 – 40,60	1,80 x 10 ⁻⁶		
		Lugeon	40,70 – 45,50	3,1 x 10 ⁻⁶	Lugeon	40,60 – 45,00	4,20 x 10 ⁻⁶				
Γ-3	Προμελέτη	Lugeon	4,00 – 7,80	8,00 x 10 ⁻⁸	Γ-4	Προμελέτη	Lugeon	2,00 – 6,00	3,60 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	8,00 – 12,00	1,30 x 10 ⁻⁵			Lugeon	6,00 – 10,10	6,70 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	12,00 – 16,00	<1 x 10 ⁻⁸			Lugeon	10,00 – 14,10	5,60 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	16,00 – 20,20	6,20 x 10 ⁻⁷			Lugeon	14,00 – 18,15	1,80 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	20,00 – 24,15	2,00 x 10 ⁻⁶			Lugeon	18,00 – 22,10	1,90 x 10 ⁻⁶		
		Lugeon	24,00 – 28,15	3,40 x 10 ⁻⁸			Lugeon	22,00 – 25,90	5,70 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	28,00 – 32,10	1,50 x 10 ⁻⁶			Lugeon	27,00 – 30,50	2,60 x 10 ⁻⁶		
		Lugeon	32,00 – 35,85	3,90 x 10 ⁻⁶			Γ-8	Προμελέτη	Lugeon	4,00 – 8,00	8,00 x 10 ⁻⁴
		Lugeon	36,00 – 40,50	2,50 x 10 ⁻⁶					Lugeon	8,00 – 11,80	1,30 x 10 ⁻⁴
Lugeon	40,50 – 45,00	3,05 x 10 ⁻⁷	Lugeon	11,80 – 15,70	1,45 x 10 ⁻⁵						
Γ-6	Προμελέτη	Lugeon	3,00 – 6,00	9,20 x 10 ⁻³	Γ-10	Προμελέτη	Lugeon	15,70 – 20,40	1,70 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	6,00 – 10,00	2,30 x 10 ⁻⁴			Lugeon	20,40 – 25,20	6,80 x 10 ⁻⁶		
		Lugeon	10,00 – 14,00	3,50 x 10 ⁻⁵			Maag	2,45	<1,00 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	14,00 – 18,10	3,20 x 10 ⁻⁴			Lugeon	4,00 – 7,00	3,80 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	18,10 – 22,30	2,80 x 10 ⁻⁴			Lugeon	7,00 – 11,00	7,30 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	15,50 – 22,30	2,30 x 10 ⁻⁴			Lugeon	11,00 – 15,00	9,90 x 10 ⁻⁵		
Γ-9	Προμελέτη	Maag	2,95	<1,00 x 10 ⁻⁴	Lugeon	15,00 – 18,50	3,25 x 10 ⁻³				
		Lugeon	4,00 – 7,75	2,20 x 10 ⁻⁵	Lugeon	18,50 – 22,10	3,00 x 10 ⁻⁴				
		Lugeon	7,75 – 12,00	1,80 x 10 ⁻⁴	Lugeon	22,10 – 27,50	3,25 x 10 ⁻⁴				
B-1	Οριστική Μελέτη	Maag	5,00 – 6,00	3,39 x 10 ⁻⁶	B-4	Οριστική Μελέτη	Maag	3,00 – 4,50	1,47 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	9,00 – 12,00	1,89 x 10 ⁻⁷			Lugeon	5,50 – 10,00	1,40 x 10 ⁻⁴		
		Lugeon	12,00 – 15,00	2,76 x 10 ⁻⁷			Lugeon	10,00 – 14,00	3,24 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	17,00 – 20,00	6,72 x 10 ⁻⁶			Lugeon	14,00 – 18,00	3,58 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	21,00 – 24,00	7,59 x 10 ⁻⁶			Lugeon	18,50 – 23,00	7,17 x 10 ⁻⁶		
		Maag	24,00 – 25,00	3,30 x 10 ⁻⁶			Lugeon	24,50 – 29,00	1,28 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon	25,00 – 28,00	1,10 x 10 ⁻⁶			Lugeon	27,50 – 32,00	1,31 x 10 ⁻⁵		
		Lugeon			Lugeon	30,50 – 35,00	1,97 x 10 ⁻⁵				

B-5	Οριστική	Lugeon	7,00 – 10,00	$3,34 \times 10^{-7}$	B-6	Οριστική	Maag	5,00 – 6,50	$3,95 \times 10^{-6}$	
		Μελέτη	Lugeon	14,00 – 17,00			$6,70 \times 10^{-7}$	Μελέτη	Lugeon	8,00 – 11,00
		Lugeon	17,00 – 20,00	$1,05 \times 10^{-6}$				Lugeon	10,00 – 13,00	$3,64 \times 10^{-7}$
		Lugeon	21,00 – 24,00	$3,07 \times 10^{-6}$				Lugeon	15,00 – 18,00	$2,60 \times 10^{-5}$
		Lugeon	27,00 – 30,00	$2,32 \times 10^{-7}$				Lugeon	20,00 – 23,00	$2,34 \times 10^{-5}$
		Lugeon	32,00 – 35,00	$1,29 \times 10^{-6}$				Lugeon	24,00 – 27,00	$2,85 \times 10^{-5}$
		Lugeon	37,00 – 40,00	$5,93 \times 10^{-7}$			Lugeon	31,00 – 34,00	$3,00 \times 10^{-5}$	
		Lugeon	42,00 – 45,00	$3,42 \times 10^{-6}$			Lugeon	36,00 – 39,00	$3,31 \times 10^{-5}$	
B-9	Οριστική	Maag	5,00 – 6,40	$1,39 \times 10^{-4}$			Maag	41,00 – 43,00	$2,54 \times 10^{-5}$	
		Μελέτη	Lugeon	10,00 – 13,00	$1,11 \times 10^{-5}$			Lugeon	42,00 – 45,00	$2,47 \times 10^{-5}$
		Lugeon	16,00 – 19,00	$1,93 \times 10^{-6}$			Lugeon	47,00 – 50,00	$2,12 \times 10^{-5}$	
		Lugeon	22,00 – 25,00	$3,68 \times 10^{-8}$			Lugeon	53,00 – 56,00	$2,20 \times 10^{-5}$	
		Lugeon	28,00 – 31,00	$1,65 \times 10^{-7}$			Lugeon	57,00 – 60,00	$2,51 \times 10^{-5}$	
		Lugeon	33,00 – 36,00	$1,35 \times 10^{-5}$			Lugeon	62,00 – 65,00	$1,18 \times 10^{-5}$	
	Lugeon	39,00 – 42,00	$5,43 \times 10^{-6}$			Lugeon	67,00 – 70,00	$1,20 \times 10^{-5}$		
	Lugeon	45,00 – 48,00	$5,16 \times 10^{-6}$		B-15	Οριστική	Maag	4,00 – 5,00	$2,81 \times 10^{-6}$	
	Lugeon	51,00 – 54,00	$4,00 \times 10^{-6}$				Μελέτη	Lugeon	8,00 – 11,00	$2,73 \times 10^{-5}$
B-17	Οριστική	Maag	4,00 – 5,00	$5,50 \times 10^{-4}$			Lugeon	12,00 – 15,00	$3,02 \times 10^{-5}$	
		Μελέτη	Maag	24,00 – 25,00	$3,94 \times 10^{-5}$			Lugeon	16,00 – 19,00	$4,67 \times 10^{-5}$
		Maag	26,00 – 27,00	$1,61 \times 10^{-5}$		B-19	Οριστική	Maag	5,00 – 6,00	$3,03 \times 10^{-5}$
	Lugeon	4,00 – 7,00	$7,72 \times 10^{-7}$		Μελέτη			Lugeon	6,00 – 9,00	$2,83 \times 10^{-7}$
B-20	Οριστική	Lugeon	11,00 – 14,00	$3,87 \times 10^{-7}$			Lugeon	12,00 – 15,00	$4,33 \times 10^{-7}$	
		Μελέτη	Maag	5,00 – 6,00	$5,94 \times 10^{-3}$			Lugeon	17,00 – 20,00	$1,98 \times 10^{-7}$
B-24	Οριστική	Maag	8,00 – 9,00	$7,42 \times 10^{-5}$			Lugeon	22,00 – 25,00	$8,53 \times 10^{-7}$	
		Μελέτη	Lugeon	10,00 – 13,00	$2,89 \times 10^{-5}$			Lugeon	27,00 – 30,00	$2,30 \times 10^{-6}$
		Lugeon	13,00 – 16,00	$8,25 \times 10^{-6}$		B-21	Οριστική	Maag	5,00 – 6,50	$5,16 \times 10^{-6}$
		Lugeon	17,00 – 20,00	$3,80 \times 10^{-6}$				Μελέτη	Lugeon	7,00 – 10,00
		Lugeon	6,00 – 7,00	$1,99 \times 10^{-5}$			Lugeon	11,00 – 14,00	$1,09 \times 10^{-6}$	
B-26	Οριστική	Μελέτη	Lugeon	12,00 – 15,00	$1,41 \times 10^{-6}$			Lugeon	17,00 – 20,00	$3,22 \times 10^{-6}$
		Lugeon	17,00 – 20,00	$2,71 \times 10^{-7}$		B-22	Οριστική	Maag	6,00 – 7,50	$1,27 \times 10^{-5}$
	Μελέτη	Lugeon	22,00 – 25,00	$5,77 \times 10^{-7}$				Μελέτη	Maag	13,50 – 15,00
							Maag	16,00 – 17,00	$1,50 \times 10^{-6}$	

Από την αξιολόγηση των δοκιμών αυτών, προέκυψε ότι η λειτουργική υδατοπερατότητα της βραχώμαζας κυμαίνεται από 10^{-4} έως 10^{-7} cm/sec. Μεγαλύτερες υδατοπερατότητες (10^{-3} cm/sec) καταγράφηκαν σε δύο γεωτρήσεις (Γ-1 και Γ-2) και μόνο στα επιφανειακά, χαλαρά υλικά, τα οποία προβλέπεται να απομακρυνθούν από την τάφρο θεμελίωσης του στεγανού πυρήνα του φράγματος και γι αυτό θεωρούνται άνευ σημασίας για το έργο. Εκτιμάται ότι οι σχετικά μεγάλες υδατοπερατότητες (10^{-4} - 10^{-5} cm/sec), σημειώνονται σημειακά στα πετρώματα του υποβάθρου, καθώς και στα βάθη εκείνα, στα οποία εντοπίζονται στρώματα αποσαθρωμένα και χαλαρωμένα ή στρώματα κροκαλοπαγών.

Στα κροκαλοπαγή της ζώνης Γαβρόβου, είναι δυνατό να αναπτυχθούν ψευδοκαρστικές διεργασίες και να επιτρέψουν την κίνηση του νερού, από τον ταμειυτήρα προς τα κατάντη, κάτω και γύρω από το φράγμα, εφόσον τα κροκαλοπαγή απολήγουν σε ελεύθερα πρηνή. Η περίπτωση αυτή δεν μπορεί να αποκλειστεί, διότι η γεωμετρία των κύριων επιφανειών ασυνεχειών (στρώσεις), όλων των σχηματισμών, ευνοεί την κίνηση του νερού από τα ανάντη προς τα κατάντη, κάτω και γύρω από το φράγμα. Επιπρόσθετα, στο σύστημα των επιφανειών ασυνεχειών στρώσης, υπάρχει στην περιοχή της κοίτης και ένα δεύτερο σύστημα επιφανειών ασυνεχειών διακλάσεων, παράλληλα στον άξονα του αντικλίνου, το

οποίο επίσης μπορεί να επιτρέψει την κίνηση του νερού από τα ανάντη προς τα κατόντη, εάν δεν κατασκευαστεί κουρτίνα τσιμεντενέσεων, σε κατάλληλο βάθος.

Επίσης, με την τοποθέτηση πιεζομέτρων σε επιλεγμένες γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της διακύμανσης της στάθμης των υπόγειων υδάτων, για ένα αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα. Από την αξιολόγηση των μετρήσεων των πιεζομέτρων, προκύπτει ότι η στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, αναπτύσσεται στα αντερείσματα παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους και σε ένα βάθος 10 – 12m. Το στοιχείο αυτό, θεωρείται θετικό, διότι υποδηλώνει ότι τόσο στην κοίτη, όσο και στα αντερείσματα, παρουσιάζονται σχηματισμοί μικρής σχετικά υδροπερατότητας, χωρίς παρεμβολές ιδιαίτερα υδροπερατών σχηματισμών, με εξαίρεση μία μόνο θέση στην οποία παρατηρείται έντονη πτώση της πιεζομετρίας που αποδίδεται σε πιθανή παρουσία ρήγματος. Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών σε υδρολιθολογικές κατηγορίες ανάλογα με την υδροπερατότητά τους, όπως αυτή προέκυψε από την αξιολόγηση των προαναφερθέντων στοιχείων (επί τόπου δοκιμές υδροπερατότητας και μετρήσεις στάθμης) παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.7 που ακολουθεί.

Πίνακας 4.7 Υδρολιθολογική κατηγοριοποίηση των σχηματισμών της περιοχής θεμελίωσης του φράγματος Αστερίου.

ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ k (cm/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
Αλλουβιακές αποθέσεις κοίτης (Al)	$k \geq 10^{-3}$	ΥΨΗΛΗ
Αποσαθρώματα, κορηματικές αποθέσεις (Sc) και αποθέσεις ποτάμιων αναβαθμιδών (t)	$10^{-5} \leq k < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ
Κροκαλοπαγή του φλύσχη (fl-cg)	$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΧΑΜΗΛΗ
Ίλυόλιθοι και Ψαμμίτες του φλύσχη (fl)	$10^{-9} \leq k < 10^{-7}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών υδατοπερατότητας με το βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού των σχηματισμών, όπως προκύπτει από τις περιγραφές των πυρήνων των γεωτρήσεων, η περιοχή θεμελίωσης του φράγματος διαχωρίστηκε σε τρεις επιμέρους περιοχές, κατά την κατακόρυφη διεύθυνση:

- Η περιοχή Α εκτείνεται από την επιφάνεια και μέχρι βάθους περίπου 27m και περιλαμβάνει τα χαλαρά επιφανειακά γεωυλικά και από το υπόβαθρο, τους έντονα αποσαθρωμένους σχηματισμούς, με τιμές υδατοπερατότητας από 10^{-4} έως 10^{-5} cm/sec. Τοπικά (γεωτρήσεις B-4, B-9, B-6), καταγράφηκαν υδροπερατότητες της τάξης του 10^{-5} cm/sec, μέχρι βάθους 35m, 36m και 70m από την επιφάνεια, αντιστοίχως.
- Η περιοχή Β εκτείνεται έως βάθους περίπου 54m από την επιφάνεια και περιλαμβάνει μέτρια κερματισμένους σχηματισμούς, με τιμές υδατοπερατότητας από 10^{-6} έως 10^{-7} cm/sec.
- Η περιοχή Γ εκτείνεται σε βάθος μεγαλύτερο των 54m και περιλαμβάνει υγιείς σχηματισμούς, με τιμές υδατοπερατότητας μικρότερες από 10^{-7} cm/sec, με εξαίρεση τη θέση της γεώτρησης B-6, όπου η υδροπερατότητα ανέρχεται σε 10^{-5} cm/sec. Παρόλο που τα προαναφερθέντα στοιχεία είναι θετικά και υποδηλώνουν σχηματισμούς μικρής υδροπερατότητας, εντούτοις, προτείνεται η κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων κάτω και γύρω από το φράγμα, για να αποκλεισθούν πιθανές διαρροές, μετά την ανύψωση της στάθμης της λίμνης κατά 60m περίπου και την αύξηση της πίεσης κατά 6 Atm. Εκτιμάται ότι με την κατασκευή της κουρτίνας στο βάθος των 45m από την επιφάνεια και τοπικά (περιοχή γεώτρησης B-6) μέχρι τα 75m, θα εξακολουθούμε να βρισκόμαστε με βεβαιότητα στην ασφαλή πλευρά, ως προς την οικονομική ευστάθεια και λειτουργία του έργου, διότι οι συνολικές εκτιμώμενες διαρροές δεν θα ξεπερνούν τα λίγα λίτρα το λεπτό. Στο δεξιό αντέρεισμα και στο ύψος της στέψης του φράγματος, προτείνεται η στεγανή κουρτίνα κάτω από το φράγμα, να συνδεθεί με μία εγκάρσια κουρτίνα τσιμεντενέσεων με διεύθυνση προς τα ανάντη, για τη στεγανοποίηση του ταμιευτήρα, λόγω της στενής μορφολογικής ράχης και του μορφολογικού αυχένα με υψόμετρο χαμηλότερο από +207m.

4.5.2 Τελικά συμπεράσματα – σκοπιμότητα μέτρων στεγανοποίησης

Η περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα, δομείται από τα στρώματα του φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου. Ο φλύσχος της ζώνης Γαβρόβου, αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων ιλυολίθων, ψαμμιτών και πιο αραιά κροκαλοπαγών. Τα στρώματα των ιλυολίθων, είναι το κυρίαρχο πέτρωμα της ευρύτερης περιοχής

ενδιαφέροντος. Το πεδινό τμήμα της λεκάνης, καλύπτεται από τις νεότερες τεταρτογενείς ιλυοαμμώδεις και αμμοχαλικώδεις αποθέσεις. Στις κοίτες των ποταμών και των ρεμάτων, παρουσιάζονται κατά το πλείστον κροκάλες, ογκόλιθοι και αμμοχάλικα. Η πτυχογόνος τεκτονική υπήρξε έντονη στην περιοχή και σ' αυτήν οφείλεται η έντονη παρουσία πτυχώσεων, ρηγμάτων και διακλάσεων.

Ειδικά σε μια περιοχή έντονης τεκτονικής δραστηριότητας, όπως η περιοχή της Αχαΐας, αποκτά ιδιαίτερη σημασία η λήψη προληπτικών μέτρων έναντι σεισμικών βλαβών, κατά τον σχεδιασμό των μέτρων στεγάνωσης και στράγγισης. Αν και το ίδιο το φράγμα, ως ογκώδης κατασκευή που είναι δεν διατρέχει κίνδυνο αστοχίας κατά το σεισμό, ωστόσο, η διεθνής πείρα καταγράφει μεγάλο αριθμό αστοχιών σε φράγματα οι οποίες ξεκίνησαν από σεισμικά γεγονότα. Μετατοπίσεις ρηγμάτων του υπεδάφους και μικρορωγμές στο σώμα του φράγματος μπορούν να δημιουργήσουν διόδους διαφυγής για το νερό, το οποίο οδηγεί στη διάβρωση και πιθανά στην αστοχία του φράγματος. Στην περίπτωση αυτή, η μοναδική αποτελεσματική άμυνα είναι ο σχεδιασμός ενός ικανού αποστραγγιστικού συστήματος το οποίο να μπορεί να παραλάβει μεγάλες ποσότητες ροών και να μην επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων υπερπίεσεων που ενδέχεται να προκαλέσουν ρευστοποίηση και διατμητική αστοχία των πρανών του φράγματος.

Τα στρώματα του φλύσχη παρουσιάζουν γενικά μικρή υδροπερατότητα, με εξαίρεση περιοχές στις οποίες ο φλύσχος εμφανίζεται κατακερματισμένος και περιλαμβάνει στρώματα κροκαλοπαγούς, τα οποία απολήγουν σε ελεύθερες επιφάνειες. Με τις δοκιμές υδροπερατότητας, που εκτελέστηκαν μετρήθηκαν μικρές υδροπερατότητες, που κυμαίνονται από 10^{-4} έως 10^{-7} cm/sec. Με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας και των μετρήσεων των πιεζομέτρων, κρίθηκε σκόπιμο να προταθεί η κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων κάτω και γύρω από το φράγμα, προκειμένου να περιοριστούν στο ελάχιστο επιτρεπτό όριο οι διαφυγές νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Παρουσίαση κατασκευής παραπετάσματος τσιμεντενέσεων και εργασιών θεμελίωσης πυρήνα

5.1 Εισαγωγή

Από τα αποτελέσματα της υδρογεωλογικής έρευνας που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, παρά το γεγονός ότι η διαπερατότητα του υγιούς ιλυολίθου του υποβάθρου είναι γενικά περιορισμένη (10^{-4} με 10^{-7} cm/sec), προκύπτει η ανάγκη ενίσχυσης με τσιμεντενέσεις της θεμελίωσης και των αντρεισμάτων του φράγματος. Ειδικά σε στρώσεις τοπικά αυξημένης διαπερατότητας, όπως στρώσεις έντονου κατακερματισμού κροκαλοπαγών, ιλυολίθων ή ψαμμιτών, αναμένεται να εκδηλωθούν ροές που θα μπορούσαν να επιδράσουν και δυσμενώς στην ευστάθεια του έργου λόγω διασωληνώσεων. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η προτεινόμενη λύση και το πως αυτή εκτελέστηκε στην πράξη. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η πορεία των εργασιών θεμελίωσης του αργιλικού πυρήνα, όπως αυτή καταγράφηκε κατά τις επισκέψεις που πραγματοποιήσαμε στο φράγμα Αστερίου, κατά τον Μάιο-Ιούνιο του 2009.

5.2 Σχεδιασμός τσιμεντενέσεων παραπετάσματος και τσιμεντενέσεων επαφής

Ο τελικός σχεδιασμός που προτάθηκε για την εκτέλεση τσιμεντενέσεων για την κουρτίνα κάτω και γύρω από το φράγμα, όπως προέκυψε από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου δοκιμών υδατοπερατότητας και από τις μετρήσεις της πιεζομετρίας της περιοχής του φράγματος, διαμορφώθηκε ως εξής:

Η κατασκευή του παραπετάσματος τοποθετήθηκε περί το μέσον του πυρήνα και κατά συνέπεια ανάντη του άξονα του φράγματος. Το προβλεπόμενο βάθος του παραπετάσματος τσιμεντενέσεων από την στάθμη θεμελίωσης του πυρήνα προέκυψε λαμβάνοντας υπόψη τις προτάσεις της γεωλογικής μελέτης και γεωτεχνικής αξιολόγησης και είναι:

- 45 m στην περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος

- 35 m στα χαμηλά σημεία των αντρερισμάτων, και
- 30 m στα ψηλότερα σημεία των αντρερισμάτων.

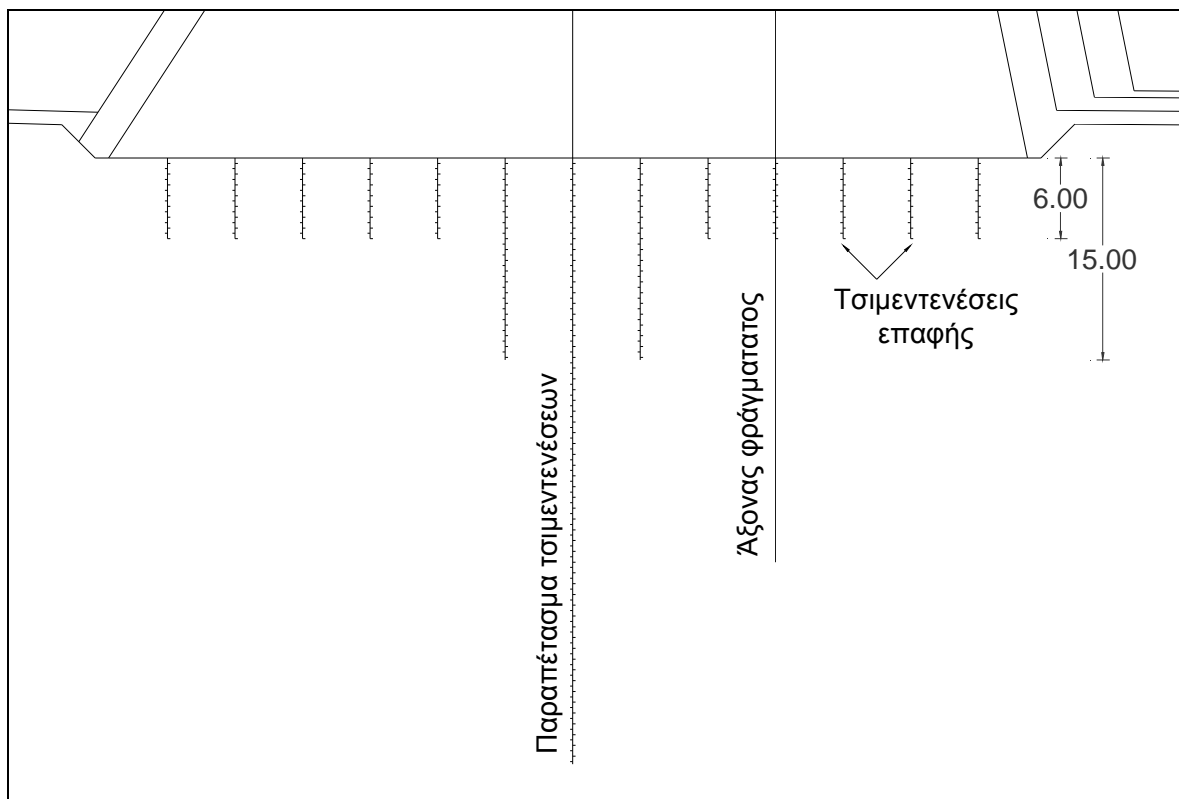
όπως και απεικονίζεται στο σχέδιο της κατά μήκος τομής που παρουσιάζεται στο Παράρτημα. Η διάταξη των τσιμεντενέσεων περιλαμβάνει:

- Μία σειρά οπών τσιμεντενέσεων (P) στον άξονα, σε βάθος 45m από την επιφάνεια και σε αποστάσεις μεταξύ τους 10m. Τοπικά (περιοχή γεώτρησης B-6) και σε όλο το πλάτος της κοίτης, οι οπές της σειράς αυτής, θα επεκταθούν μέχρι βάθους 75m.
- Ακολουθεί μία νέα σειρά οπών τσιμεντενέσεων (δευτερεύουσες S) στον άξονα του φράγματος, βάθους επίσης 45m στο μέσο των αποστάσεων, μεταξύ των διαδοχικών οπών της πρώτης σειράς, ώστε οι αποστάσεις μεταξύ των οπών να μειωθούν στα 2,5m. Η διάτρηση δευτερευουσών οπών κρίνεται επιβεβλημένη εάν η απορρόφηση ενέματος σε οποιοδήποτε στάδιο κάποιας πρωτεύουσας τσιμεντένεσης είναι μεγαλύτερη από 40 kg τσιμέντου ανά μέτρο μήκους οπής. Τότε διανοίγονται οι εκατέρωθεν δευτερεύουσες τσιμεντενέσεις στα 2/3 του βάθους των πρωτευουσών αλλά τουλάχιστον ένα στάδιο (5μ) βαθύτερα από αυτό στο οποίο παρατηρήθηκε η ανωτέρω υπέρβαση. Τα ίδια κριτήρια θα ισχύσουν και για την πιθανή διάτρηση τριτευουσών οπών.
- Μία τρίτη σειρά οπών τσιμεντενέσεων, ώστε η πύκνωση μεταξύ των διαδοχικών οπών να φθάσει το 1.25m, θα γίνουν σε επιλεγμένες περιοχές για τις οποίες ισχύουν τα ίδια κριτήρια με το προηγούμενο βήμα. Πρόσθετες, κεκλιμένες οπές τσιμεντενέσεων και ελέγχου, πιθανόν να απαιτηθούν στην κοίτη, όπου σημειώθηκαν μεγάλες υδροπερατότητες μέχρι βάθους 70m. Σε όλες τις οπές θα εκτελούνται δοκιμές εισπίεσεως ύδατος σε πεντάμετρα τμήματα και σε τρεις βαθμίδες πίεσης.

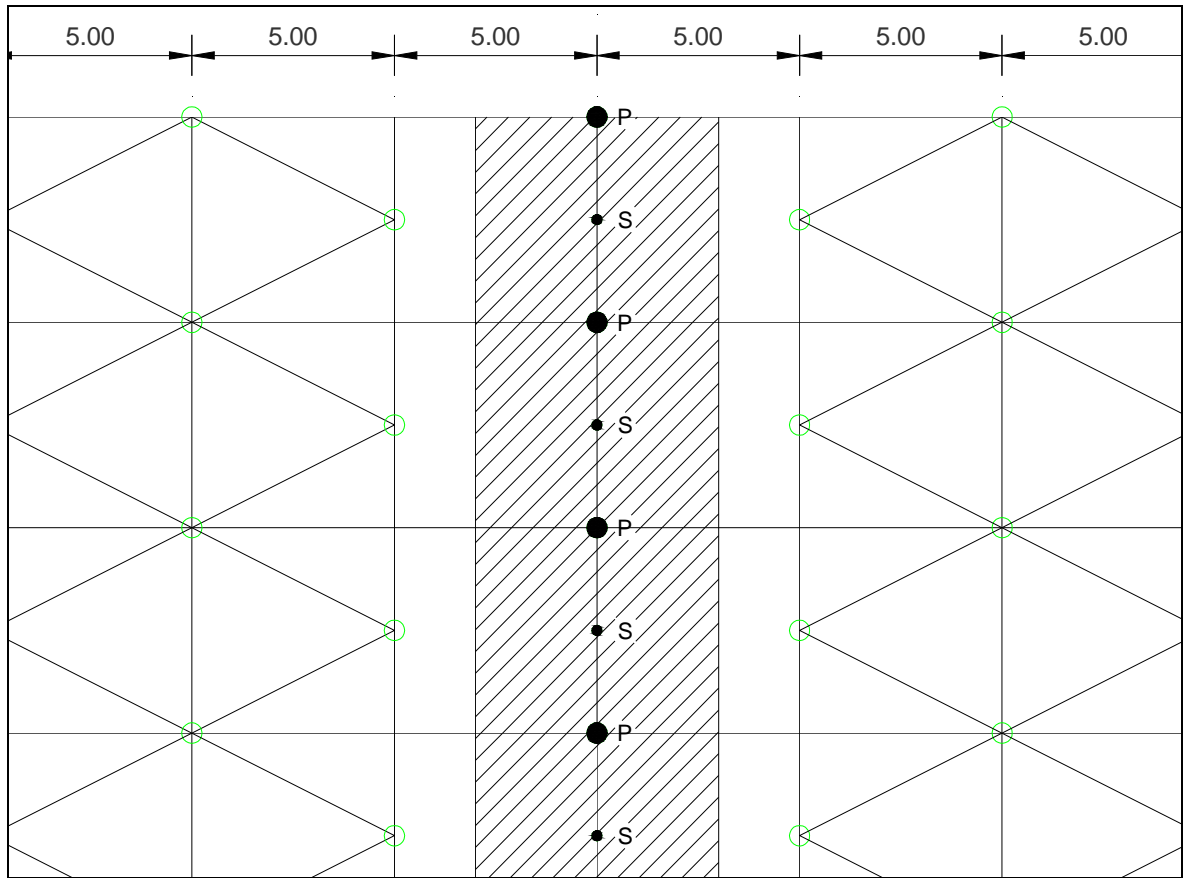
Για την πλήρη αποκατάσταση της επαφής του πυρήνα με την θεμελίωση προβλέπονται τσιμεντενέσεις επαφής (contact grouting) σε όλο το πλάτος του πυρήνα. Τα βάθη των τσιμεντενέσεων αυτών προβλέπονται 6 m, εκτός αυτών που είναι εκατέρωθεν του άξονα του παραπετάσματος τσιμεντενέσεων, των οποίων το βάθος είναι 15 m ώστε να ενισχύεται το παραπέτασμα και να περιορίζονται οι πιθανότητες διαρροών στην περιοχή αυτή. Οι τσιμεντενέσεις επαφής προβλέπονται

σε κάναβο 5 m από τον άξονα του φράγματος. Ο κάναβος αυτός είναι απόλυτα συμβατός με την κατά τα ανωτέρω διάταξη του παραπετάσματος τσιμεντενέσεων.

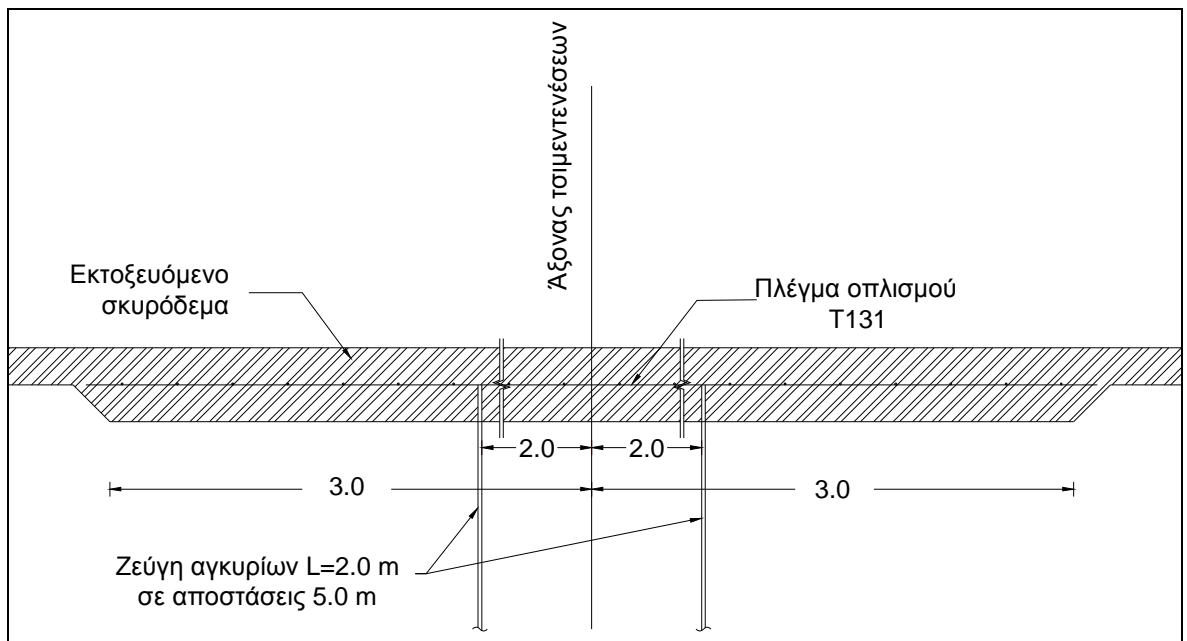
Τα παραπάνω στοιχεία απεικονίζονται στο σχέδιο της εγκάρσιας τομής και της κάτοψης που βρίσκεται στο Παράρτημα, ενώ σε σμίκρυνση παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.1 και 5.2. Για την καλύτερη σύνδεση της κουρτίνας τσιμεντενέσεων με τον αργιλικό πυρήνα, προβλέπεται η επιφάνεια των τσιμεντενέσεων να καλυφθεί με την κατασκευή της αγκυρωμένης πλάκας σκυροδέματος που φαίνεται στο σχήμα 5.3, σε μία ζώνη πλάτους 3 μέτρων εκατέρωθεν του άξονα του παραπετάσματος. Τελικώς, όπως θα δείξουμε στην επόμενη ενότητα, η συγκεκριμένη διαμόρφωση της επιφάνειας των τσιμεντενέσεων κρίθηκε μη απαραίτητη και η κατασκευή της παραλήφθηκε.



Σχήμα 5.1 Διάταξη τσιμεντενέσεων κατά την εγκάρσια τομή του φράγματος.



Σχήμα 5.2 Κάνναβος τσιμεντενέσεων σε κάτοψη



Σχήμα 5.3 Πλάκα σκυροδέματος για τη σύνδεση του παραπετάσματος τσιμεντενέσεων με τον αργιλικό πυρήνα

5.3 Παρουσίαση εκτέλεσης εργασιών θεμελίωσης αργιλικού πυρήνα

5.3.1 Εκσκαφές και διαμόρφωση της επιφάνειας έδρασης του πυρήνα

Η θεμελίωση της στεγανής ζώνης του φράγματος (πυρήνα), θα γίνει πάνω στα στρώματα του υγιούς φλύσχη και σε βάθος περίπου 8m από την επιφάνεια. Ο υγιής φλύσχος ορίζεται στην σχετική προδιαγραφή ως ο φλύσχος που έχει το φυσικό χρώμα του σχηματισμού, βραχώδη υφή και περιορισμένο βαθμό κερματισμού. Τα σώματα στήριξης του φράγματος προβλέπεται για λόγους περιορισμού παραμορφώσεων και ευστάθειας να θεμελιωθούν σε αποσαθρωμένο βραχώδη φλύσχη – τόσο στην κοιλάδα όσο και στα αντερείσματα. Ως αποσαθρωμένος βραχώδης φλύσχος ορίζεται ως ο φλύσχος που έχει αλλοιωμένο χρώμα έναντι του φυσικού και μεγάλο βαθμό κερματισμού, παρουσιάζει όμως τουλάχιστον στοιχειωδώς βραχώδη υφή που χαρακτηρίζεται από υπολειμματική δομή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα αποτελέσματα όλων των μέχρι σήμερα γεωτεχνικών ερευνών στην περιοχή, εκτιμήθηκε συντηρητικά ότι το μέσο βάθος εκσκαφής για την θεμελίωση των σωμάτων στήριξης θα είναι 5 m, προκειμένου να απομακρυνθούν τα υπερκείμενα χαλαρά εδαφικά υλικά (υλικά επικάλυψης). Ο όρος υπερκείμενα χαλαρά εδαφικά υλικά καλύπτει ευρείας έκτασης υλικά όπου περιλαμβάνονται, αλλά όχι περιοριστικά, υλικά του μανδύα αποσάθρωσης, αλλουβιακές προσχώσεις, πλευρικά κορήματα, επιχώματα, υλικά αναβαθμιδών (βλ. Σχήμα 5.5). Τα βάθη εκσκαφής για την θεμελίωση των σωμάτων στήριξης του φράγματος καθώς και του πλευρικού αναχώματος είναι ενδεικτικά και οριστικοποιούνται σε κάθε περιοχή ανάλογα με τις απαντώμενες συνθήκες. Η θεμελίωση του φράγματος γίνεται στο στρώμα του «συμπαγούς» ιλυόλιθου της ζώνης του φλύσχη, όπως απεικονίζεται στις φωτογραφίες των Σχημάτων 5.4 – 5.11.

Μετά την εκσκαφή και αποκάλυψη της επιφάνειας του υγιούς ιλυόλιθου, και μετά την ολοκλήρωση των γεωτρήσεων τσιμεντενέσεων, η επιφάνεια καθαρίζεται από παντός είδους θραύσμα, προκειμένου να μείνει μόνο το σχετικώς αθρυμμάτιστο πέτρωμα, πάνω στο οποίο γίνεται η διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού του πυρήνα. Ο καθαρισμός γίνεται με τη διάταξη πεπιεσμένου αέρα, που φαίνεται στα Σχήματα 5.6 – 5.9.



Σχήμα 5.4 Εργασίες εκσκαφών και απομάκρυνσης των υπερκείμενων χαλαρών εδαφικών υλικών



Σχήμα 5.5 Λεπτομέρεια εργασιών εκσκαφής



Σχήμα 5.6 Με κόκκινο βέλος σημειώνεται η τελικώς διαμορφωμένη επιφάνεια



Σχήμα 5.7 Αεροσυμπιεστής που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό της επιφάνειας θεμελίωσης



Σχήμα 5.8 Ακροφύσιο πεπιεσμένου αέρα και ομάδα χειριστών



Σχήμα 5.9 Κοντινή λήψη της καθαρισμένης επιφάνειας. Διακρίνεται η ανάδυση τεκτονικού ρήγματος



Σχήμα 5.10 (α) Από κατάντη λήψη εργασιών κατασκευής πυρήνα φράγματος. (1) αργιλικός πυρήνας, (2) κατάντη αμμώδες φίλτρο, (β) Από ανάντη λήψη (3) ανάντη αμμώδες φίλτρο και (4) αριστερό αντέρεισμα και κατασκευή υπερχειλιστή



Σχήμα 5.11 Λεπτομέρεια της επαφής υποστρώματος (με γκρίζο-μπλε χρώμα στα αριστερά της φωτογραφίας) με τον αργιλικό πυρήνα (με καφέ χρώμα στα δεξιά)

5.3.2 Εκτέλεση γεωτρήσεων για τη διάνοιξη οπών τσιμεντενέσεων

Η διάτρηση των οπών τσιμεντενέσεων κουρτίνας, τάπητα και σταθεροποίησης, πραγματοποιήθηκε με περιστροφικό διατρητικό εξοπλισμό και σε ορισμένες περιπτώσεις με περιστροφικό – κρουστικό διατρητικό εξοπλισμό. Τα γεωτρήματα που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό απεικονίζονται στο Σχήμα 5.12. Για τις οπές τσιμεντενέσεων κουρτίνας, η ελάχιστη διάμετρος είναι για οπές με βάθος μεγαλύτερο των είκοσι πέντε (25) m πενήντα έξι (56) mm, για τα πρώτα είκοσι πέντε (25) m και σαράντα έξι (46) mm, για το υπόλοιπο μήκος της οπής, ενώ για οπές με βάθος μικρότερο των είκοσι πέντε (25) m σαράντα έξι (46) mm. Η ελάχιστη διάμετρος των οπών τσιμεντενέσεων τάπητα και των οπών τσιμεντενέσεων σταθεροποίησης είναι εβδομήντα έξι (76) mm και σαράντα έξι (46) mm αντίστοιχα.

Εάν κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων συναντούνται ζώνες με αρτεσιανή πίεση, η γεώτρηση οφείλει να περάσει μέσα από αυτές τις ζώνες, αφού ληφθούν όλα τα απαιτούμενα μέτρα. Επίσης πρέπει να προμηθεύσει όλο το απαιτούμενο νερό για τη διάτρηση των οπών, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζουν ότι πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο καθαρό νερό. Η επανακυκλοφορία νερού διάτρησης είναι αποδεκτή με την προϋπόθεση ότι σε κάθε θέση γεώτρησης υπάρχει δεξαμενή καθίζησης, κατάλληλης χωρητικότητας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.13.

Έλεγχος γεωτρήσεων:

- Για κάθε γεώτρηση τηρούνται ημερήσια αναλυτικά δελτία όπου αναγράφονται λεπτομερειακά ο αριθμός και η θέση της γεώτρησης, η κλίση και η διεύθυνση της, η ημερομηνία διάτρησης, ο τύπος και η διάμετρος της οπής, η σημειούμενη πρόοδος εργασιών, περιγραφές των διατρηθέντων στρωμάτων, το ποσοστό της πυρηνοληψίας κάθε φορά, η ταχύτητα διείδυσης της κοπτικής κεφαλής (μέτρα/ώρα), λεπτομέρειες δειγματοληψίας πυρήνα, δοκιμών εισπίεσης νερού, σημειώσεις που αφορούν τις συνθήκες νερού (ποσοστό επιστροφής, στρώματα με αρτεσιανή πίεση, απώλειες νερού, μεταβολή στάθμης κλπ.), βάθος νερού στην γεώτρηση πριν από την έναρξη διάτρησης και στο τέλος της βάρδιας, μήκη στελεχών και σωλήνωση οπής, καθώς και τυχόν συναντώμενες δυσχέρειες και καθυστερήσεις. Επίσης, μετά την περάτωση κάθε γεώτρησης υποβάλλεται την αντίστοιχη γεωλογική τομή και τα υπόλοιπα στοιχεία της γεώτρησης.

Για γεωτρήσεις βάθους μέχρι (50) m η μέγιστη επιτρεπόμενη συνολική απόκλιση από την κατακόρυφο ή από το θεωρητικό άξονα της γεώτρησης ήταν δύο τοις εκατό (2%) του αντίστοιχου βάθους διάτρησης. Για γεωτρήσεις βάθους από πενήντα (50) μέχρι εκατό (100) m η επιτρεπόμενη συνολική απόκλιση ήταν 4%. Για βάθη μεγαλύτερα από 100 m η επιτρεπόμενη συνολική απόκλιση αυξανόταν σε αναλογία με το πραγματικό βάθος μετά τα (100) m. Η απόκλιση μετρήθηκε κατά τα διαστήματα, με ειδικό όργανο προσανατολισμού και φωτογράφισης (φωτοκαθετόμετρο) κατασκευής της εταιρείας Eastman International Company GMBH, Hannover Γερμανίας. Η απόκλιση ελέγχθηκε σε γεωτρήσεις με βάθος μεγαλύτερο από πενήντα (50) m με μετρήσεις να εκτελούνται σε διαστήματα όχι μεγαλύτερα από είκοσι (20) m. βάθους για κάθε γεώτρηση, με κόστος και μέριμνα του

αναδόχου κατασκευαστή και υπό την επίβλεψη της υπηρεσίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συνοψίζονται σε ειδική έκθεση, συμπληρωματική του δελτίου γεώτρησης.

Οι οπές αποστράγγισης διατρήθηκαν με περιστροφικό διατρητικό εξοπλισμό. Η ελάχιστη διάμετρος των μόνιμων οπών αποστράγγισης ήταν εβδομήντα έξι (76) mm. Η ελάχιστη διάμετρος των προσωρινών οπών αποστράγγισης σε περιοχές που εκτελέστηκαν τσιμεντενέσεις ή σε περιοχές, όπου δεν απαιτήθηκε αποστράγγιση σε επόμενο στάδιο, ήταν σαράντα έξι (46) mm. Οπές αποστράγγισης δεν διατρήθηκαν σε καμία θέση, μέχρις ότου όλες οι παρακείμενες οπές τσιμεντενέσεων, σε ελάχιστη ακτίνα πενήντα (50) m έχουν διατρηθεί και τσιμεντενεθεί στο πλήρες βάθος.

Μετά την εκτέλεση των τσιμεντενέσεων σε μια δεδομένη περιοχή και αφού είχαν διατρηθεί οι οπές αποστράγγισης, εγκριθεί απαραίτητο να διατρηθούν και τσιμεντενεθούν συμπληρωματικές οπές τσιμεντενέσεων, μπορούσε να επαναδιατρήσει οπές αποστράγγισης, που διατρήθηκαν προηγούμενα, ώστε να εξασφαλιστεί ικανοποιητική αποστράγγιση.

Απαιτήθηκε να τοποθετηθούν στις οπές αποστράγγισης διάτρητοι σωλήνες PVC, σε περιοχές όπου υπάρχει κίνδυνος κατάπτωσης ή έμφραξης της οπής λόγω αξαλλοίωσης και αποσάθρωσης του βράχου. Για οπές αποστράγγισης εβδομήντα έξι (76) mm χρησιμοποιήθηκαν σωλήνες PVC εξωτερικής διαμέτρου πενήντα (50) mm. Ο σωλήνας PVC είχε έξι επιμηκείς εγκοπές ανά μέτρο μήκους, πλάτους ενός (1) mm και μήκους δεκαπέντε (15) cm τοποθετημένες σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος της περιφέρειας. Επιπροσθέτως τοποθετήθηκε και κατάλληλο γεωύφασμα για την αποφυγή έκπλυσης λεπτόκκων υλικών της περιβάλλουσας βραχομάζας.

- Δειγματοληψία γεωτρήσεων

Στο βραχώδες υπόβαθρο γίνεται απόληψη δείγματος, με διπλό δειγματολήπτη τύπου T76 ή NX. Ο Ανάδοχος επέλεξε τις αρχικές και ενδιάμεσες διαμέτρους κάθε γεώτρησης για διευκόλυνσή του με την προϋπόθεση ότι η ελάχιστη διάμετρος της οπής σε υλικά επικάλυψης ήταν εκατόν ένα (101)mm και η ελάχιστη διάμετρος στο προβλεπόμενο τελικό βάθος της οπής ήταν εβδομήντα έξι (76) mm.

Τα τοιχώματα των γεωτρήσεων σταθεροποιούνται με χρήση μείγματος ενέματος τσιμέντου και μπετονίτη. Το ποσοστό πυρυνοληψίας δεν ήταν μικρότερο του 95% σε βράχο και 60% σε υλικά επικάλυψης. Εάν το ποσοστό πυρυνοληψίας

ήταν μικρότερο από τα πιο πάνω αναφερόμενα όρια η υπηρεσία, σύμφωνα με την απόλυτη κρίση της, μπορούσε να αποδεχθεί ή να απορρίψει γεώτρηση. Κατά την πυρηνοληψία και όπου απαιτήθηκε, η υπηρεσία ζήτησε τη λήψη δείγματος πυρήνα με φραγμό. Το δείγμα με φραγμό θεωρήθηκε σαν πυρήνας γεωτρήσεων, όσον αφορά τα απαιτούμενα ελάχιστα ποσοστά πυρηνοληψίας.



Σχήμα 5.12 Κοντινή λήψη του εξοπλισμού διάνοιξης και πλήρωσης οπών τσιμεντενέσεων



Σχήμα 5.13 Δεξαμενές καθίζησης νερού προς επαναχρησιμοποίηση, σε κάθε θέση γεώτρησης



Σχήμα 5.14 Εκτέλεση τσιμεντενέσεων στο δεξί αντέρισμα του φράγματος.



Σχήμα 5.15 Πλευρική λήψη των εργασιών τσιμεντενέσεων. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή σημειώνεται ο άξονας της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.

Η δειγματοληψία γίνεται με τρόπο που εξασφαλίζει τα τοιχώματα της οπής για εκτέλεση στη συνέχεια των δοκιμών εισπίεσης. Ο εξοπλισμός πυρηνοληψίας (καροταρίες, κοπτικά κλπ.) θεωρείται κατάλληλος για τον τύπο του υλικού στο οποίο γίνεται η δειγματοληψία και για το προδιαγραφόμενο ελάχιστο ποσοστό πυρηνοληψίας. Όλα τα κιβώτια παραδίδονται μετά το τέλος κάθε γεώτρησης σε κατάλληλη αποθήκη της υπηρεσίας όπου υπογράφεται σχετικό πρωτόκολλο παράδοσης και παραλαβής. Σε όλη τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών, τα κιβώτια με τους πυρήνες φυλάσσονται σε χώρο επαρκώς προστατευμένα και σκεπασμένα με πλαστικό, έτσι ώστε τα δείγματα να παραδίδονται στην κατάσταση που πάρθηκαν και μέσα σε κιβώτια άριστης κατάστασης, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.16



Σχήμα 5.16 α) Κοπτικό άκρο – πυρηνολήπτης (καροταρία) γεωτρήσεων και β) δείγματα προς αποθήκευση

5.3.3 Εκτέλεση τσιμεντενέσεων

Πριν αρχίσει η τσιμεντένεση σε οποιαδήποτε οπή αυτή εκπλένεται πλήρως με καθαρό νερό και αέρα υπό πίεση. Για κάθε τμήμα της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, οι οπές που αναφέρονται στα σχέδια ως “πρωτεύουσες οπές” διατρήθηκαν και τσιμεντενέθηκαν κατ' αρχή. Οι τσιμεντενέσεις εκτελούνται με ανιόντα βήματα από το προκαθορισμένο βάθος – εκτός εάν η απορρόφηση του ενέματος στο πρώτο (βαθύτερο) τμήμα είναι υπερβολική, οπότε προβλέπεται περαιτέρω διάτρηση και τσιμεντένεση. Όλες οι πρωτεύουσες οπές αυτές διατρήθηκαν με περιστροφικό διατρητικό εξοπλισμό. Οι οπές αυτές διατρήθηκαν και τσιμεντενέθηκαν στις αποστάσεις και βάθη, που δείχνονται στα σχέδια και κάθε φορά μέχρι το βάθος της αντίστοιχης Ζώνης, όπως δείχνεται στα σχέδια του Παραρτήματος.

Πρόσθετες ενδιάμεσες οπές διατρήθηκαν κατά μήκος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων με τη μέθοδο του υποδιπλασιασμού των αποστάσεων μεταξύ οπών, όπως δείχνεται στα σχέδια και όπως απαιτήθηκε, κατά την κρίση της επιβλέπουσας υπηρεσίας, ανάλογα με τις πραγματικές συνθήκες που αποκαλύπτονται κατά την εκτέλεση της εργασίας προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική στεγανοποίηση του πετρώματος.

Μετά τη διάτρηση και τσιμεντένεση των οπών σε δεδομένη περιοχή μπορούσε να κριθεί απαραίτητη η εκτέλεση συμπληρωματικών τσιμεντενέσεων. Δεν επιτρέπεται η διάτρηση οπών τσιμεντενέσεων σε απόσταση μικρότερη από δώδεκα (12) m από οπές στις οποίες εκτελείται τσιμεντένεση, ή έχει εκτελεστεί τσιμεντένεση λιγότερο από (8) ώρες πριν, ή έχουν διατρηθεί αλλά δεν έχουν τσιμεντενεθεί. Η μέθοδος των διατρήσεων και τσιμεντενέσεων κατά ανιόντα στάδια μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, εκτός των περιοχών όπου είναι αναγκαίο, να εφαρμοστεί η μέθοδος διατρήσεων και τσιμεντενέσεων κατά κατιόντα στάδια.

Στην περίπτωση αυτή, οι εργασίες συνίστανται στη διάτρηση της οπής μέχρι περιορισμένο βάθος, εκτέλεση τσιμεντενέσεων μέχρι το βάθος αυτό και καθαρισμό της οπής τσιμεντενέσεων με έκπλυση με νερό ή άλλα κατάλληλα μέσα, προτού το ένεμα στην οπή πήξει τόσο ώστε να απαιτείται επαναδιάτρηση. Στη συνέχεια άφησαν να παρέλθει ο απαραίτητος χρόνος για την αρχική πήξη του ενέματος στον περιβάλλοντα την οπή χώρο, ακολούθησε διάτρηση της οπής σε μεγαλύτερο βάθος, και εκτέλεση νέας τσιμεντένεσης. Η διαδοχή διάτρησης και τσιμεντένεσης της οπής σε διάφορα βάθη μέσα σε κάθε ζώνη της κουρτίνας τσιμεντενέσεων συνεχίστηκε, μέχρις ότου το απαιτούμενο τελικό βάθος της οπής είχε πλήρως διατρηθεί και τσιμεντενεθεί κατά τρόπο που να ικανοποιεί.

- Μίγματα ενέματος

Το αραιότερο μίγμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί θα είναι νερό: τσιμέντο 2:1 κατά βάρος και θα πυκνώνεται προοδευτικά ανάλογα με το ρυθμό απορρόφησης και τη συνολική ποσότητα ενέματος που έχει απορροφηθεί. Ο μπετονίτης που θα προστίθεται θα είναι 4% κατά βάρος τσιμέντου και θα έχει προαναμιχθεί με νερό και θα έχει ενεργοποιηθεί τουλάχιστον 6 ώρες πριν τη χρήση του. Εάν ο ρυθμός απορρόφησης δεν μειώνεται και/ή η πίεση δεν αυξάνεται μετά την εισπίεση 40 l/m (200 λίτρα ενέματος ανά στάδιο) η αναλογία γίνεται 1:1 και ο μπετονίτης 2% κ.β. τσιμέντου. Εάν αυξάνεται η πίεση κατά την εισπίεση, το ένεμα δεν θα πυκνώνει αλλά η εισπίεση θα συνεχίζεται μέχρις ότου επιτευχθεί η τελική πίεση του σταδίου.

Στα Σχήματα 5.18 έως 5.21 παρουσιάζεται ο εξοπλισμός με το οποίο γίνεται η προετοιμασία του ενέματος και η διατήρησή του μέχρι να προωθηθεί στην θέση της γεώτρησης. Η διατήρησή του για αρκετές ώρες γίνεται με συνεχή ανάδευση προκειμένου να αποφεύγεται η εξίδρωση, η απόμιξη ή και πήξη του ενέματος.



Σχήμα 5.17 Πανοραμική λήψη των εργασιών εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων:
(1) Εγκαταστάσεις ανάμιξης-ανάδευσης και (2) διάνοιξη οπών τσιμεντενέσεων



Σχήμα 5.18 Εγκατάσταση ανάμειξης (1) Δοχείο ανάμειξης, (2) Πίνακας Ελέγχου



Σχήμα 5.19 Εγκατάσταση ανάμιξης: (1) Δεξαμενή ανάδευσης, (2) Αντλία προώθησης ενέματος, (3) Δεξαμενή νερού



Σχήμα 5.20 Υλικά παρασκευής τσιμεντενέματος



Σχήμα 5.21 Ανάδευση του ενέματος για την αποφυγή εξίδρωσης και απόμιξης

- Κριτήρια τερματισμού ενεμάτωσης

Εφόσον αρχίσει η εισπίεση ενός σταδίου αυτή θα συνεχίζεται χωρίς διακοπή μέχρι την ολοκλήρωσή της. Η τσιμεντένεση θα συνεχίζεται μέχρις ότου η απορρόφηση ενέματος μειωθεί στα 2lt/min και για χρονικό διάστημα 10 min. Εάν σε κάποιο στάδιο η απορρόφηση είναι μεγαλύτερη από 200lt/m ακόμα και μετά από πύκνωση του ενέματος, η τσιμεντένεση θα διακόπτεται και θα συνεχίζεται μετά από 8 ώρες.

- Τάσεις εισπίεσης

Οι τσιμεντενέσεις της κουρτίνας προβλέπονται να γίνουν με πιέσεις κλιμακούμενες με το βάθος, γενικά της τάξης των 25 kPa ανά μέτρο βάθους, ενώ οι πιέσεις των τσιμεντενέσεων επαφής προβλέπονται της τάξης των 35 kPa

- Κριτήρια αποδοχής ενέματος:

Για το ένεμα θα περιλαμβάνει επίσης

- α. δοκιμή κώνου marsh που θα πρέπει να δίνει χρόνους μεταξύ 28 και 36 sec.

β. Η επιτρεπόμενη απόμιξη μετά από 2 ώρες στη σκιά θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5%.

γ. Έλεγχος ειδικού βάρους ενέματος με ζυγαριά πυκνότητας

- Οπές ελέγχου – επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας Lugeon

Αυτές καθορίστηκαν μετά την ολοκλήρωση τμημάτων της κουρτίνας να γίνονται κάθε 50 μ περίπου, κεκλιμένες. Πριν αρχίσει η δοκιμή εισπίεσης η οπή εκπλένεται με καθαρό νερό (ή αέρα) μέχρις ότου το νερό επιστροφής να είναι καθαρό για 15 λεπτά τουλάχιστον. Οι δοκιμές Lugeon πραγματοποιούνται σε κατιόντα βήματα 3 ή 5μ. με μονό στεγανωτικό παρέμβυσμα, σε όλες τις πρωτεύουσες οπές τσιμεντενέσεων κουρτίνας τις οπές ελέγχου και ένα ποσοστό 10% των υπόλοιπων οπών τσιμεντενέσεων κουρτίνας. Πραγματοποίηση δοκιμής Lugeon παρουσιάζεται στα Σχήματα 5.22 και 5.23.



Σχήμα 5.22 Εκτέλεση δοκιμή Lugeon σε κεκλιμένη γεώτρηση



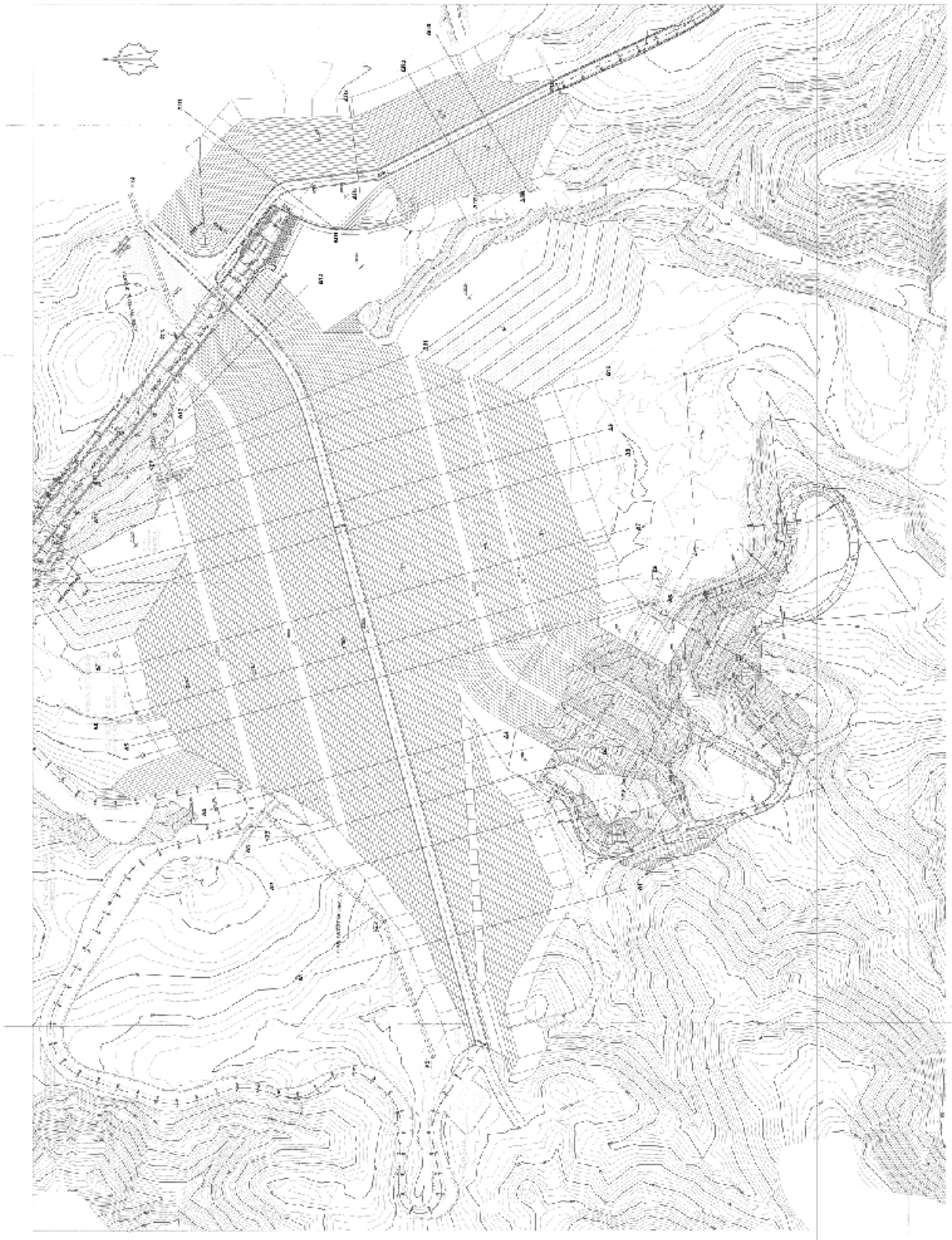
Σχήμα 5.23 Πιεστικό καζανάκι δοκιμής Lugeon (μανόμετρο, υδρομετρητής και βαλβίδα ανακούφισης) για τη μέτρηση της ποσότητας νερού που απορροφάται

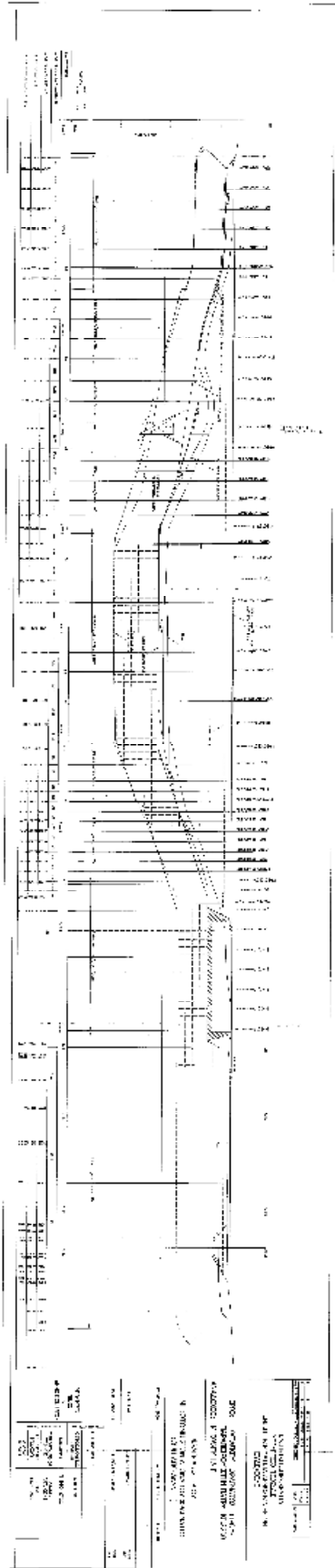
5.4 Σύνοψη – Τελικά Συμπεράσματα

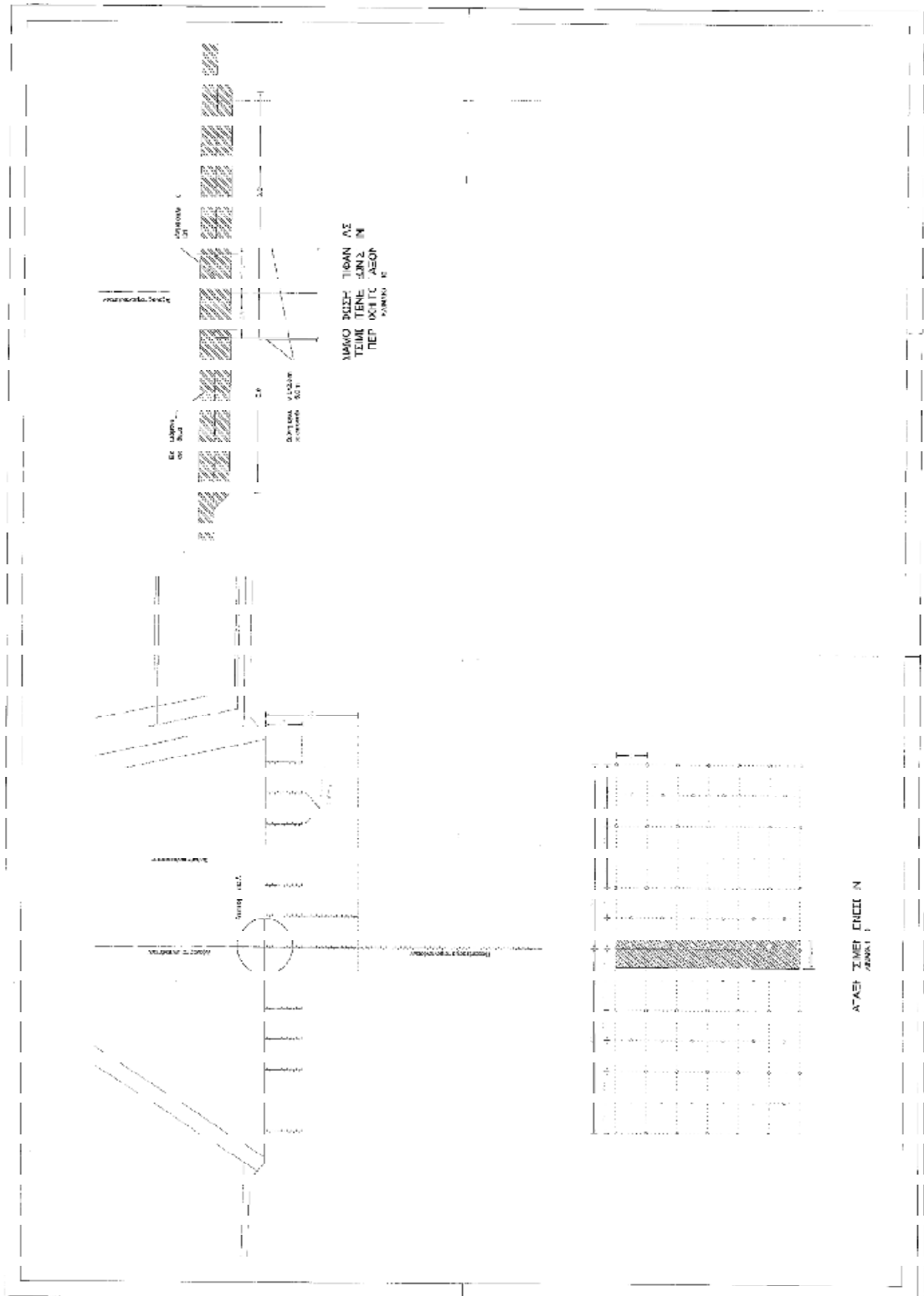
Τα αποτελέσματα των εργασιών τσιμεντενέσεων επιβεβαιώνουν πλήρως τις αρχικές εκτιμήσεις. Γενικώς, στην συντριπτική πλειονότητα των γεωτρήσεων οι απορροφήσεις ενέματος ήταν πολύ μικρές, ώστε να μην απαιτείται ούτε πύκνωση με δευτερεύουσες γεωτρήσεις. Ωστόσο, υπήρχαν ζώνες, ειδικά στις περιοχές των κροκαλοπαγών του αντερείσματος, όπου χρειάστηκε περαιτέρω πύκνωση των ενεματώσεων.

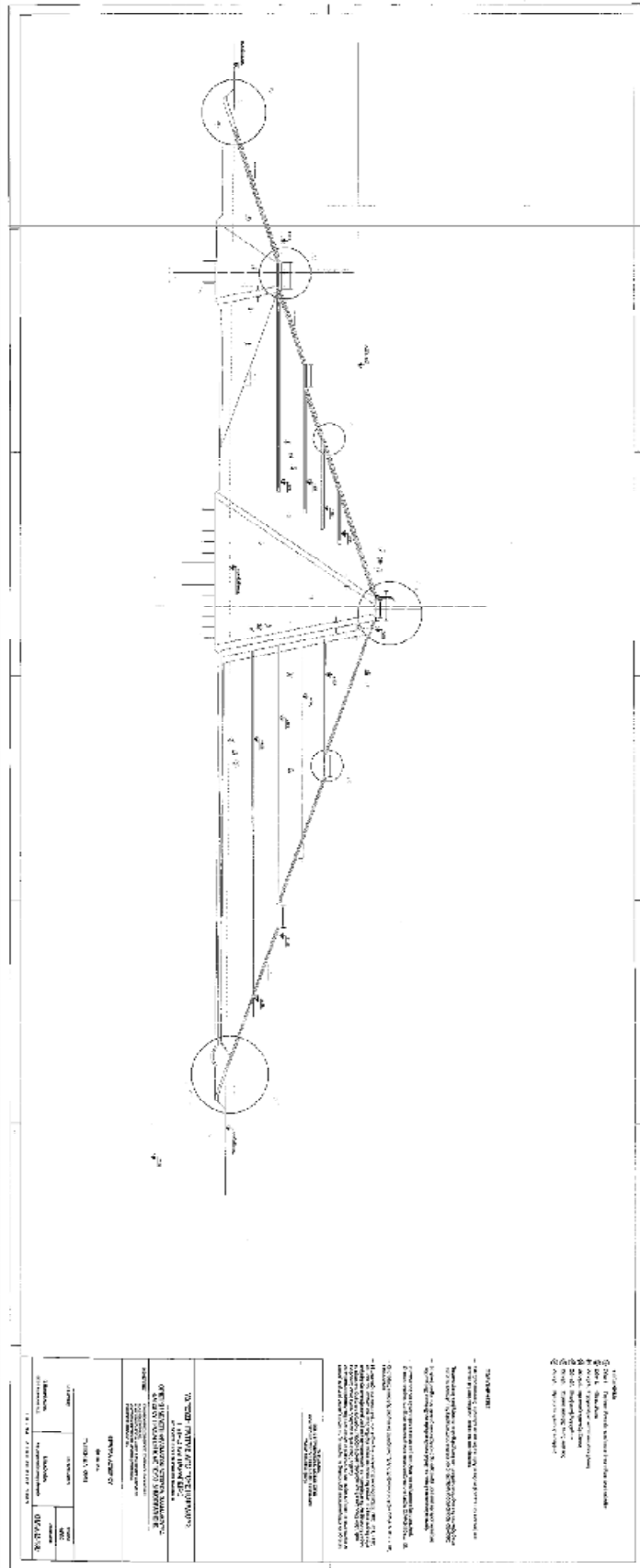
Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι η εκτέλεση τσιμεντενέσεων είναι μια αρκετά σύνθετη εργασία: Ο αρχικός σχεδιασμός οφείλει να προβλέψει την λήψη αυτών των μέτρων, ακόμα και αν δεν προκύπτει η αναγκαιότητά τους από τα στοιχεία της γεωτεχνικής έρευνας, λόγω του εξαιρετικά μεγάλου βαθμού αβεβαιότητας. Από εκεί και πέρα, η τελική εφαρμογή μπορεί να μην έχει καμία σχέση με την αρχική μελέτη, καθώς η πορεία των εργασιών συνεχώς σχεδιάζεται και επανασχεδιάζεται με βάση τα αποτελέσματα των επιτόπου μετρήσεων. Ουσιαστικά, η μελέτη δίνει σαφείς κατευθύνσεις και οδηγίες, με βάση τις οποίες λαμβάνονται επιτόπου αποφάσεις για

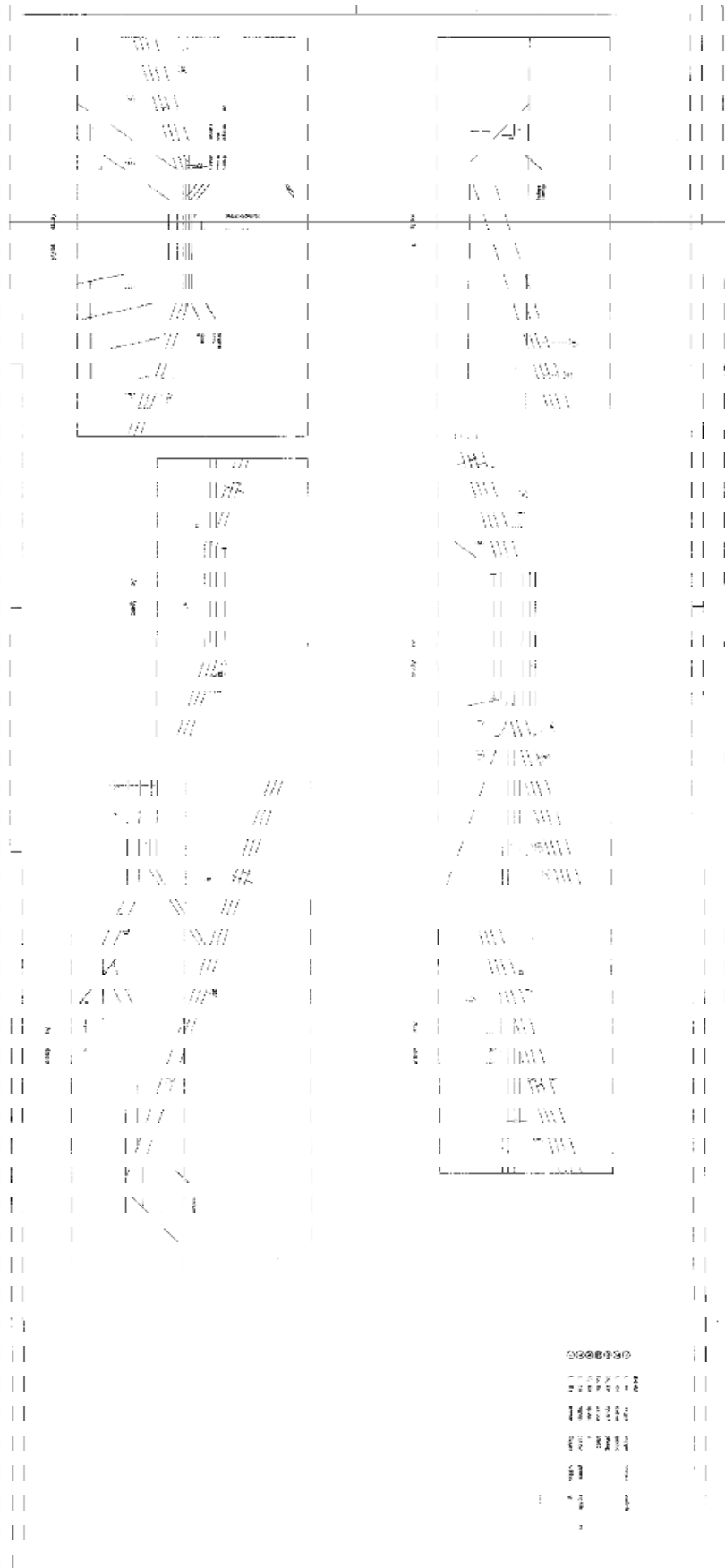
τον τρόπο εκτέλεσης της εργασίας από τους υπεύθυνους (κατασκευαστής - επιβλέπωντας). Είναι επίσης αυτονόητο, ότι και ο προϋπολογισμός των εργασιών είναι αναπροσασμόσιμος, από την στιγμή που οι απαιτούμενες εργασίες δεν μπορούν από την αρχή να προσδιοριστούν επακριβώς. Πρόκειται επομένως για μία από τις εργασίες εκείνες στις οποίες ο ρόλος του επιβλέποντα δεν είναι τυπικός, αλλά αντίθετα είναι ίσως ο πιο σημαντικός.











ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Allen, C.R. & Cluff, L.S. (2000), "Active faults in dam foundations, un update", 12th World Conference on Earthquake Engineering

Casagrande, A. (1965), "Role of the Calculated Risk in Earth Work and Foundation Engineering", ASCE, J. SMED, 91(SM4): 1-40.

Cedergren H. (1977), «Seepage, Drainage, and Flow Nets», 2nd Edition, J. Wiley & Sons, New York.

International Commission on Large Dams (ICOLD) (1974), "Lessons from Dam Incidents", 151 Boulevard Haussmann, 75008, Paris, France.

International Commission on Large Dams (ICOLD) (1984), "Deterioration of Dams and Reservoirs, Examples and their Analysis", 151 Boulevard Haussmann, 75008, Paris, France.

ICOLD Bulletin 99, 1995: Dam failure and statistic analysis Jansen, R.B. (1989), "Advanced Dam Engineering", Van Norstrand Reinhold, New York, U.S.

MAIR, R.J., RANKIN, W.J. and ESSLER, R.D. 1995. Compensation Grouting. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, 113, January.

Walters, R.C.S (1962), "Dam Geology", Butterworths, London, England

Αθανασόπουλος Γ.Α. Σημειώσεις μαθήματος «Συνοπτική θεωρία και προβλήματα Εδαφομηχανικής», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ατματζίδης Δ., Αθανασόπουλος Γ., Σημειώσεις μαθήματος «Βελτιώσεις - Ενισχύσεις Εδαφών», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Γκαζέτας Γ. άρθρο 2043, 3^{ου} πανελληνίου συνεδρίου Αντισεισμικής Μηχανικής και Σεισμικής Τεχνολογίας, Νοέμβριος 2008. «Χωμάτινο Φράγμα Αστερίου : Σεισμική Ανάλυση με "Ακριβείς" και Απλοποιημένες Μεθόδους»

Ε.Υ.Δ.Ε.- Ο.Σ.Υ.Ε., ΥΠΕΧΩΔΕ, Έγγραφο οριστικής μελέτης «Περιγραφή Μεθόδων Εκτέλεσης Τσιμεντενέσεων Κουρτίνας Και Τάπητα Στο Φράγμα Αστερίου Και Την Σήραγγα Εκτροπής»

Καββαδάς, Μ., Εποπτικό Υλικό Διαλέξεων μαθήματος «ΕΙΔΙΚΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ - Γεωτεχνική Φραγμάτων», Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
<http://www.civil.ntua.gr/~kavvadas>

Γ. Καραβοκύρης και Συνεργάτες - Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε. ECOS ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε.

Ν. Μαυρονικολάου Δ. Κάρκας και Συνεργάτες – ΥΔΡΕΤΜΕ Ε.Ε. Αναπτυξιακές – Τεχνικές - Μελέτες ΑΝ.ΤΕ.Μ. Ε.Π.Ε.

Παρασκευάς Παντζαρτζής, «Οριστική Γεωλογική Μελέτη Φράγματος ΑΣΤΕΡΙΟΥ»

Κουμαντάκης Ι., Εργαστηριακές σημειώσεις «Πραγματική Διαπερατότητα – υδραυλική αγωγιμότητα», Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, ΕΜΠ.

Παπαγεωργίου Ορ.-Νοέμβριος 2008, «[Ειδική Ομιλία : Τύποι φραγμάτων, γεωτεχνικά προβλήματα και συμπαραομαρτούντα έργα.](#)» 1ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΜΕΓΑΛΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΕΘΝΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΠΕΤΕΠ 11-03-05-00 Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές, έκδοση 1.0 – Μάιος 2006 «Πίνακας μεταβολών, αναθεωρήσεων, ενημερώσεων,υμπληρώσεων »

Πυθαρούλη Σ. (2007), «[Μελέτη της μακροχρόνιας παραμόρφωσης του φράγματος των Κρεμαστών με βάση ανάλυση γεωδαιτικών δεδομένων και μεταβολών στάθμης ταμιευτήρα](#)», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών