



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

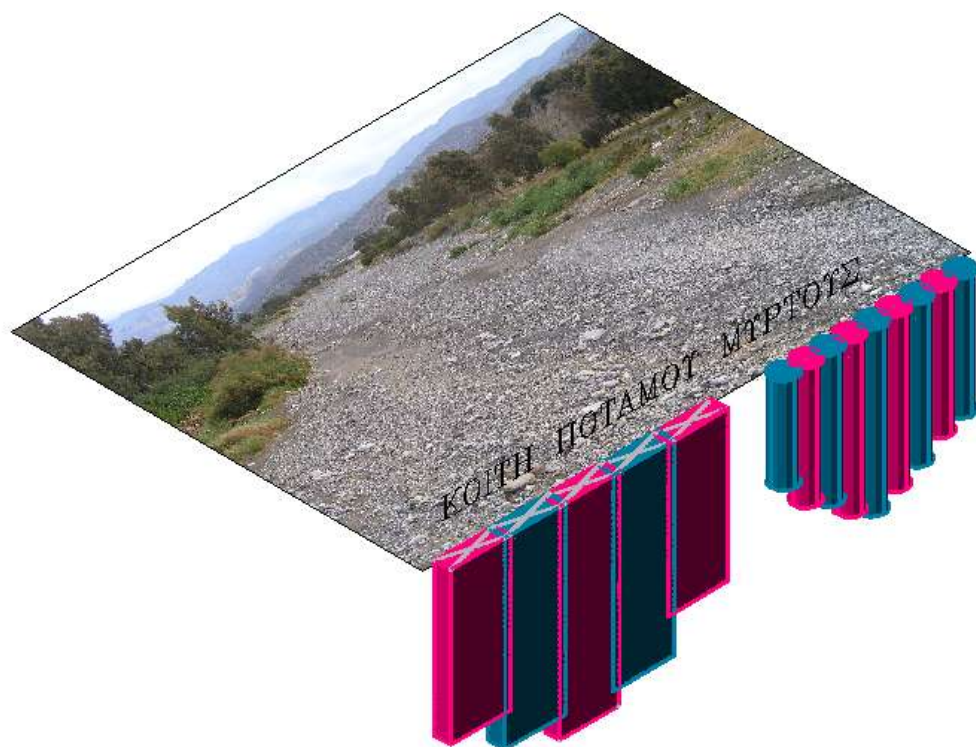
Μέθοδοι και Τεχνολογίες Στεγανοποίησης Προσχωματικών Λεκανών

**Εφαρμογή στην προσχωματική λεκάνη
του ποταμού Μύρτου Ιεράπετρας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΑΡΧΟΝΤΙΑΣ Β. ΛΥΚΟΥ



Επιβλέπων: Λέκτορας Ν. Ι. Μουτάφης

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στη διεξαγωγή της και στήριξαν την προσπάθεια μου. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω:

Στον καθηγητή μου Ν. Μουτάφη για την ανάθεση του θέματος, την καθοδήγηση, τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές του, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στον γεωλόγο Σ. Καραχάλιο για τις πληροφορίες και τα δεδομένα που μου παρείχε για την προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτους και τις συζητήσεις επί του έργου.

Στην εταιρία ΑΞΟΝΑΣ ΚΡΗΤΗΣ Α.Ε. που έκανα Πρακτική Άσκηση και ιδιαίτερα στη μηχανικό Σ. Χαρωνίτη που με εισήγαγε στις μελέτες των Δημοσίων Έργων, στην κατασκευή τους και με βοήθησε να κατανοήσω τεχνικά θέματα τα οποία και αξιοποίησα στη διπλωματική μου εργασία.

Στους μηχανικούς Δ. Κάρκα και Ι. Στεφανάκο για την πολύτιμη βοήθεια τους στην κοστολόγηση του έργου.

Στη Βιβλιοθήκη του Δήμου Νίκαιας για την εκμάθηση εύρεσης νέων πηγών πληροφόρησης.

Στον μηχανικό Χ. Φραδέλο για την αδιάκοπη βοήθεια και συμπαράσταση του.

Κυρίως ευχαριστίες στην οικογένεια μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια με κάθε κόστος.

Αρχοντία Λύκου
Ιούλιος, 2011

Περίληψη

Στα πλαίσια Ερευνητικού Προγράμματος, εκπονούμενο από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτους για τον εμπλουτισμό του υδατικού ισοζυγίου των νότιων περιοχών του νομού Λασιθίου. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των διαθέσιμων μεθόδων κατασκευής διαφραγματικού τοίχου και η δυνατότητα εφαρμογής τους.

Η παρούσα εργασία πραγματεύτηκε την έννοια του υπόγειου ταμιευτήρα μέσω της κατασκευής διαφράγματος και την επίδραση του στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης. Έγινε αναφορά στους μηχανισμούς διαμόρφωσης των προσχωματικών αποθέσεων και στις δοκιμές μέσω των οποίων γίνεται η έρευνα υπεδάφους. Αναλύθηκαν οι αρχές σχεδιασμού του διαφραγματικού τοίχου και οι τεχνολογίες κατασκευής του. Συγκεκριμένα, για το Μύρτος διερευνήθηκαν η γεωλογία, η γεωμετρία των προσχώσεων και του στεγανού υποβάθρου όπως και ο αναπτυσσόμενος υδροφορέας. Εκτιμήθηκαν οι διαστάσεις του διαφραγματικού τοίχου και έγινε επιλογή των καταλληλότερων μεθόδων κατασκευής. Εφαρμόσιμες λύσεις αποτέλεσαν το διάφραγμα από τσιμέντο-μπετονίτη με χρήση υδροφρέζας και το διάφραγμα από έγχυτους αλληλοτεμνόμενους πασσάλους για τις οποίες έγινε και αναφορά σε θέματα κόστους.

Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να γίνει οδηγός για την καλύτερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων και συγχρόνως να αντιμετωπίσει το φαινόμενο της υφαλμύρωσης που τόσο έντονα πλήττει τη χώρα μας. Η ευρεία εφαρμογή της έγκειται στο μεγάλο εύρος των διαθέσιμων μεθόδων κατασκευής του στεγανού στοιχείου.

Abstract

The Faculty of Civil Engineering and the Department of Water Resources and Environmental Engineering of the National Technical University of Athens is currently undertaking a research program into the possibility of creating a subsurface reservoir in the sedimentary basin of the Myrtos river. The purpose of this reservoir is to enhance the water resources of the local southern districts of the Prefecture of Lasithi. The scope of this thesis was to scrutinize available methods of constructing a diaphragm wall and their applicability to the reservoir project.

The specific thesis dealt with the definition of subsurface dams and their impact on saltwater intrusion phenomena. Reference was made to the formation mechanism of alluvial deposits and the potential tests used for subsurface exploration. The process of designing and constructing diaphragm walls was analyzed for each method. Particularly for the case study, the geology, the geometry of alluvial deposits and basement rock, as well as the developed aquifer, were analyzed. Dimensions of the impermeable wall were estimated and the most suitable construction method was chosen. Cement – Bentonite slurry trench cut off with the use of hydrofraise and Secant piling were the two most suitable methods for the given conditions. Reference to cost was made only for the optimal technologies.

Subsurface dams may lead to a better and more effective management of water resources and simultaneously prevent saltwater intrusion. Their wide applicability is due to the large range of construction methods of the impermeable structure.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2: Υπόγειος Ταμιευτήρας με κατασκευή διαφράγματος	
2.1. Εισαγωγή	3
2.2. Υπόγειος ταμιευτήρας με κατασκευή διαφράγματος	4
2.3. Στοιχεία υπόγειων ταμιευτήρων και διαφραγμάτων	5
2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων ταμιευτήρων	7
2.5. Προδιαγραφές και διαδικασία εύρεσης κατάλληλης θέσης	9
2.6. Αναφορά σε συμπληρωματικά έργα, σε θέματα συντήρησης και διαχείρισης	10
Κεφάλαιο 3: Ίζημα	
3.1. Κύκλος ζωής ιζήματος	13
3.2. Ποτάμιες αποθέσεις	14
3.2.1. Μεταφορά φερτών υλικών εντός κοίτης	17
3.2.2. Σχηματισμός κοίτης	18
3.2.3. Εναπόθεση ιζήματος	19
Κεφάλαιο 4: Προσχωματικές λεκάνες	
4.1. Εισαγωγή	23
4.2. Καθ' ύψος κοκκομετρία	25
4.3. Κατά πλάτος κοκκομετρία	27
4.3.1. Καμπύλη ποταμού	27
4.3.2. Μαίανδροι	30
4.3.3. Πλευρικά κορήματα	35
4.4. Φαινόμενο διαγένεσης	37
Κεφάλαιο 5: Φαινόμενο Υφαλμύρωσης	
5.1. Γενική περιγραφή φαινομένου	39
5.2. Αίτιες πρόκλησης του φαινομένου	41
5.3. Θαλάσσια διείσδυση σε παράκτιους φυσικούς υδροφορείς	41
5.4. Μέθοδοι και τεχνικές αντιμετώπισης του φαινομένου	44
5.5. Το διάφραγμα στην αντιμετώπιση του φαινομένου	48
Κεφάλαιο 6: Έρευνα υπεδάφους	
6.1. Εισαγωγή	55
6.2. Γενικά στοιχεία κατάταξης εδαφών και κοκκομετρίας	55
6.3. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις	60

6.4. Επιτόπου δοκιμές.....	61
6.4.1. Πρότυπη δοκιμή διείδυσης (SPT).....	61
6.4.2. Δοκιμές εισπίξεων.....	64
6.4.2.1. Δοκιμή σταθερού φορτίου (ή δοκιμή Lefranc).....	65
6.4.2.2. Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (ή δοκιμή Maag).....	69
6.4.2.3. Δοκιμή αποστολής του νερού με πίεση (ή δοκιμή Lugeon).....	70
6.4.3. Δοκιμαστική άντληση.....	74
6.5. Εργαστηριακές δοκιμές.....	76
6.5.1. Δοκιμές διαπερατότητας.....	76
6.5.1.1. Διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου.....	77
6.5.1.2. Διαπερατόμετρο μεταβλητού φορτίου.....	79
6.5.2. Άλλες εργαστηριακές δοκιμές.....	79

Κεφάλαιο 7: Σχεδιασμός διαφράγματος με στόχο τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα

7.1. Αντικείμενα μελέτης επί τόπου έρευνας σε θέση κατασκευής διαφράγματος.....	81
7.2. Γενικές αρχές σχεδιασμού.....	82
7.3. Λειτουργίες και στεγανότητα διαφράγματος.....	83
7.4. Επιλογή θέσης και άξονα διαφράγματος.....	84
7.5. Διαστάσεις διαφράγματος.....	84
7.5.1. Ύψος διαφράγματος.....	85
7.5.2. Πάχος διαφράγματος.....	86
7.5.3. Μήκος διαφράγματος.....	86
7.6. Επιβαλλόμενα φορτία και αντοχή σχεδιασμού διαφράγματος.....	87
7.7. Καθορισμός μεθόδου κατασκευής διαφράγματος.....	88
7.8. Τύποι διαφραγμάτων.....	89

Κεφάλαιο 8: Κατασκευή διαφραγμάτων

8.1. Εισαγωγή.....	93
8.2. Διαφραγματικός τοίχος από οπλισμένο σκυρόδεμα.....	94
8.3. Διάφραγμα με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων.....	101
8.4. Διάφραγμα από εδαφικό υλικό – μπεντονίτη.....	103
8.5. Διάφραγμα από τσιμέντο – μπεντονίτη.....	106
8.6. Διάφραγμα πλαστικού σκυροδέματος.....	108
8.7. Διάφραγμα με χρήση γεωμεμβρανών.....	108
8.8. Διάφραγμα έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων.....	111
8.9. Διάφραγμα ρηχής τάφρου.....	115
8.10. Διάφραγμα εκτόπισης εδάφους με χρήση μεταλλικών πετασμάτων.....	117
8.11. Βαθεία ανάμιξη εδάφους.....	120
8.12. Μέθοδος ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας.....	123
8.13. Διάφραγμα τσιμεντενέσεων.....	126

Κεφάλαιο 9: Δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του Μύρτους Λασιθίου

9.1. Εισαγωγή.....	131
9.2. Λεκάνη απορροής του ποταμού Μύρτους.....	131

9.3. Προσχωματική λεκάνη ποταμού Μύρτους.....	132
9.4. Ο αναπτυσσόμενος υδροφορέας.....	141
9.5. Διαστασιολόγηση διαφράγματος και ο δημιουργούμενος υπόγειος ταμιευτήρας.....	144
9.5.1. Επιλογή θέσης και άξονα διαφράγματος.....	145
9.5.2. Διαστάσεις διαφράγματος.....	145
9.5.3. Εκτίμηση όγκου αποθήκευσης νερού υπόγειου ταμιευτήρα.....	145
9.5.4. Επιλογή μεθόδου κατασκευής διαφράγματος.....	154
9.5.5. Κόστος κατασκευής.....	157

Κεφάλαιο 10: Συμπεράσματα.....	163
---------------------------------------	------------

Βιβλιογραφία.....	169
--------------------------	------------

Παράρτημα

1. Εισαγωγή

Ταμιευτήρας είναι μια τεχνητή λίμνη που αποταμιεύει νερό από κάποιο υδάτινο φορέα. Η πιο συνηθισμένη περίπτωση ταμιευτήρα απαντάται σε περίπτωση φράγματος (μεγάλου ή μικρού) που κατασκευάζεται στο ρου ενός ποταμού. Υπάρχουν όμως και ταμιευτήρες που δημιουργούνται σε φυσικούς ή τεχνητούς υποδοχείς (κοιλώματα), όπου η προσαγωγή του νερού γίνεται με τεχνητά μέσα. Αυτή είναι και η περίπτωση που θα εξετάσουμε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα, θα διερευνηθούν οι διαθέσιμες τεχνολογίες κατασκευής διαφραγματικών τοίχων σε προσχωματική λεκάνη με απώτερο σκοπό τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα.

Αν και η τεχνολογία διαφραγμάτων είναι ευρέως διαδεδομένη, η χρήση τους έχει συνδεθεί κατά κύριο λόγο με την ανάληψη φορτίων και την απομάκρυνση του υπόγειου νερού κατά τη εκτέλεση εργασιών. Εκμεταλλευόμενοι τη στεγανότητα που συνήθως τα χαρακτηρίζει είναι δυνατό να προκαλέσουμε διακοπή της υπόγειας ροής και συγχρόνως τη συλλογή νερού. Σκοπός του δεύτερου κεφαλαίου είναι να μας εισάγει στην έννοια του υπόγειου ταμιευτήρα και στη δυνατότητα δημιουργίας του από ένα στεγανό στοιχείο. Σε παραλληλισμό με τους συμβατικούς ταμιευτήρες, οι υπόγειοι στοχεύουν και αυτοί στη χρονική ρύθμιση της ροής και διαθέτουν τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα. Οι κύριες δυσκολίες τους έγκεινται στην εύρεση κατάλληλης θέσης και στην μεγαλύτερη αβεβαιότητα προσδιορισμού των συνθηκών μέσα στις οποίες θα κατασκευαστούν.

Οι θέσεις όπου μπορεί να φιλοξενηθεί ένας υπόγειος ταμιευτήρας πρέπει απαραίτητα να χαρακτηρίζονται από μεγάλη περατότητα και συγχρόνως να υπάρχει στεγανό υπόβαθρο που να επιτρέπει την συγκέντρωση αξιόλογων ποσοτήτων νερού. Ανατρέχοντας στη διεθνή βιβλιογραφία διαπιστώθηκε πως παραδείγματα τέτοιων θέσεων αποτέλεσαν οι προσχωματικές λεκάνες. Για να μπορέσουμε όμως να κατανοήσουμε τη φύση τους πρέπει να ανατρέξουμε στον τρόπο δημιουργίας τους. Κύριο συστατικό τους είναι προϊόντα αποσάθρωσης τα οποία μεταφέρθηκαν και αποτέθηκαν στις λεκάνες αυτές. Έτσι η μελέτη ξεκινάει με τον κύκλο ζωής του ιζήματος και τα ποτάμια υδροσυστήματα καθώς το νερό αποτελεί και τον αγωγό μεταφοράς τους. Συγκεκριμένα, στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται απλά μια αναφορά στον τρόπο παραγωγής του ιζήματος αλλά η μεταφορά και η απόθεσή τους εξετάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό. Τα φερτά αυτά επιδρούν στη διαμόρφωση της κοίτης των ποταμών και ταυτόχρονα εναποτίθενται σε συγκεκριμένες θέσεις όταν δημιουργηθούν κατάλληλες συνθήκες κατά τη μεταφορά τους.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιορίζεται στην κατανόηση της γεωλογικής δομής των προσχωματικών λεκανών και στους μηχανισμούς διαμόρφωσης της. Εξετάζοντας μια τέτοια θέση διακρίνουμε διαφοροποιήσεις στην κοκκομετρία καθ' ύψος και κατά πλάτος. Ο τεκτονισμός και συγκεκριμένα ο ρυθμός και ο χρόνος βύθισης της λεκάνης καθορίζουν τη διανομή των υλικών σε συνδυασμό με τη στάθμη της θάλασσας. Γενεσιουργές αιτίες διαμόρφωσης της κατά πλάτος κοκκομετρίας είναι οι καμπύλες ποταμών, οι μαϊανδροί και τα πλευρικά κορήματα. Σταδιακές αλλαγές στην κοκκομετρική διαβάθμιση προκαλεί και το φαινόμενο της διαγένεσης.

Η κατασκευή διαφράγματος πέρα από τη συγκράτηση υπόγειου νερού είναι δυνατό να συνεισφέρει στην αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης. Γενική περιγραφή του φαινομένου γίνεται στο πέμπτο κεφάλαιο όπου αναφέρονται και οι αιτίες πρόκλησής του. Η θαλάσσια διείσδυση στους παράκτιους υδροφορείς αποτελεί περιβαλλοντικό πρόβλημα και μάλιστα πλήττει σοβαρά τη χώρα μας εξαιτίας της μεγάλης ακτογραμμής της και της κακής

διαχείρισης των υδατικών πόρων. Κατά καιρούς έχουν μελετηθεί διάφοροι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου οι οποίοι αναφέρονται και εδώ, έμφαση όμως δίνεται στην κατασκευή διαφραγματικού τοίχου και στον τρόπο που αυτός επιδρά στη «μάχη» μεταξύ γλυκού και θαλασσινού νερού.

Οποιαδήποτε κατασκευή έργου, έτσι και εδώ, απαιτεί πρώτα τη διερεύνηση των επί τόπου συνθηκών. Στο κεφάλαιο έξι παρουσιάζεται η έρευνα του υπεδάφους και οι δοκιμές μέσω των οποίων θα διεξαχθεί. Αναλυτικότερα, είναι αναγκαία στοιχεία κοκκομετρικής διαβάθμισης και δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που θα επιτρέψουν την κατανόηση της γεωλογικής δομής της προσχωματικής λεκάνης. Οι δοκιμές εισπύσεων, οι δοκιμαστικές αντλήσεις και οι εργαστηριακές δοκιμές διαπερατότητας θα ορίσουν τις ιδιότητες του υπόγειου υδροφορέα και κατ' επέκταση θα χαρακτηρίσουν τη δημιουργία του υπόγειου ταμιευτήρα εφικτή.

Οι γενικές αρχές σχεδιασμού του διαφράγματος καταγράφονται στο κεφάλαιο επτά. Ακόμα, αναφέρονται στοιχεία που πρέπει να απασχολήσουν τον μελετητή πριν προβεί στο σχεδιασμό της κατασκευής. Πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός της λειτουργίας του διαφράγματος που θα ορίσει τις απαιτήσεις στεγανότητας και εν μέρει τα επιβαλλόμενα φορτία και την αντοχή. Η επιλογή θέσης και άξονα διαφράγματος θα ορίσουν έμμεσα τις διαστάσεις της κατασκευής ενώ ο καθορισμός της μεθόδου γίνεται μέσω πληθώρας κριτηρίων.

Η διεθνής βιβλιογραφία υπέδειξε τις διαθέσιμες μεθόδους κατασκευής διαφράγματος οι οποίες και απαριθμήστηκαν. Λεπτομερή περιγραφή για κάθε μέθοδο ξεχωριστά έγινε στο κεφάλαιο οχτώ. Συγκεκριμένα, αναλύθηκαν οι προϋποθέσεις εφαρμογής τους, τα στάδια κατασκευής, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενώ συγχρόνως κρίθηκε η αποτελεσματικότητά τους στη δημιουργία στεγανού στοιχείου για την συγκράτηση υπόγειας ροής.

Εφαρμογή όλων αυτών που μέχρι τώρα μελετήθηκαν θα γίνει στην προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτους, στο νομό Λασιθίου της Κρήτης, όπου διερευνάται η δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα που θα έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει επαρκείς ποσότητες νερού για ύδρευση και άρδευση. Στο κεφάλαιο εννέα έγινε αρχικά συλλογή στοιχείων από υπάρχουσες μελέτες ως προς τη λεκάνη απορροής, την προσχωματική λεκάνη και τον αναπτυσσόμενο υδροφορέα του ποταμού Μύρτους. Στοιχεία ερευνητικών γεωτρήσεων έδωσαν τη δυνατότητα σχεδιασμού γεωλογικών τομών ενώ καταγραφές αποτελεσμάτων δοκιμαστικής άντλησης έδωσαν καλή εικόνα της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα. Η πίεση από το αναπτυσσόμενο υφάλμυρο μέτωπο και η μεγάλης έκτασης αγροτικές καλλιέργειες επέβαλλαν τη διερεύνηση του υδροφορέα ως προς τη ρύπανση και μάλιστα την περιεκτικότητα του νερού σε νιτρικά και χλώριο. Η εκτιμώμενη πλέον, από την έρευνα του υπεδάφους, γεωμετρία των προσχώσεων οδήγησε στον καθορισμό της θέσης και των διαστάσεων του διαφράγματος. Για τις συγκεκριμένες διαστάσεις κατασκευής έγινε και εκτίμηση του συγκρατούμενου όγκου νερού αφού πρώτα προσδιορίστηκε προσεγγιστικά ο όγκος των προσχώσεων μέσα στον οποίο θα φιλοξενηθεί το νερό. Η φύση των αποθέσεων και οι διαστάσεις του διαφραγματικού τοίχου όρισαν και τη μέθοδο κατασκευής του. Τελικά δύο μέθοδοι χαρακτηρίστηκαν εφικτές για τις οποίες έγινε και αναφορά σε θέματα κόστους.

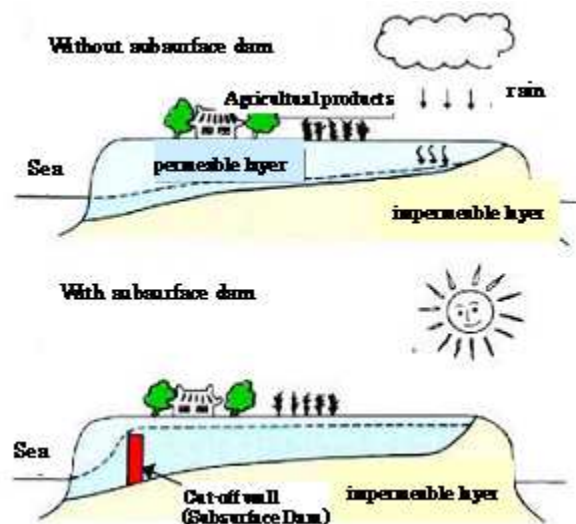
2. Υπόγειος ταμιευτήρας με κατασκευή διαφράγματος

2.1. Εισαγωγή

Η δημιουργία υπόγειων ταμιευτήρων επιτυγχάνεται με τη βοήθεια διαφράγματος, κατασκευή που διακόπτει ή εμποδίζει την υπόγεια ροή. Η σύλληψη της ιδέας αυτής, σύμφωνα με τον Nilsson (1988), δεν είναι καινούργια καθώς υπάρχουν στοιχεία τέτοιων κατασκευών στη Σαρδηνία την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας και σε αρχαίους πολιτισμούς της βόρειας Αφρικής. Πρόσφατα, αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές για τη συγκράτηση της υπόγειας ροής οι οποίες εφαρμόστηκαν σε διάφορα μέρη του κόσμου όπως τη νοτιοανατολική Αφρική, την Ινδία και την Ιαπωνία. Σήμερα, η τεχνική αυτή συγκράτησης υπόγειου νερού αποκτά όλο και περισσότερο ενδιαφέρον και εφαρμόζεται ευρύτατα.

Με βάση το σκοπό κατασκευής τα διαφράγματα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε εκείνα που στοχεύουν στην αποταμίευση υπόγειου ύδατος και σε εκείνα που αποτρέπουν το φαινόμενο της υφαλμύρωσης. Στην πρώτη περίπτωση, διακόπτεται η υπόγεια ροή και δημιουργείται ένας υπόγειος ταμιευτήρας, με αποτέλεσμα την αύξηση της πιεζομετρικής στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, τη μείωση της εποχιακής διακύμανσης και τη διαθεσιμότητα απολήψιμων ποσοτήτων νερού σε όλη τη διάρκεια του έτους. Στη δεύτερη περίπτωση, η κατασκευή έχει ως στόχο την αποτροπή της θαλάσσιας διείσδυσης.

Η γενική αρχή των διαφραγμάτων φαίνεται στο Σχήμα 2.1. Τα διαφράγματα αυτά κατασκευάζονται εγκάρσια στη ροή ποταμών σε θέσεις όπου επικρατούν αλλουβιακές προσχώσεις με αυξημένη υδροπερατότητα και θεμελιώνονται στο αδιαπέρατο υπόβαθρο. Το υλικό και γενικότερα η τεχνολογία που εφαρμόζεται κάθε φορά εξαρτώνται άμεσα από τις εκάστοτε συνθήκες, το διαθέσιμο εξοπλισμό και το σκοπό που εξυπηρετούν. Η απόληψη του νερού γίνεται με τη βοήθεια αντλητικών μέσων.



Σχήμα 2.1 Επίδραση κατασκευής διαφράγματος στην υπόγεια ροή
(Πηγή: Control of groundwater by underground dams, 2003)

Τέλος, πέρα από την κατασκευή μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί σε θέματα διαχείρισης και παρακολούθησης τόσο του έργου όσο και της διακύμανσης της στάθμης του υπόγειου ταμιευτήρα.

2.2. Υπόγειος ταμιευτήρας με κατασκευή διαφράγματος

Ο υπόγειος ταμιευτήρας είναι ένα σύστημα το οποίο συντελεί στην αποθήκευση νερού με τη βοήθεια ενός διαφράγματος τοποθετημένο εγκάρσια στη ροή του (Σχήμα 2.2). Ο όρος που θα μπορούσαμε να αποδώσουμε σε ένα τέτοιο σύστημα είναι «υπόγειο φράγμα» όμως στην ελληνική βιβλιογραφία αυτός ο όρος δεν έχει επίσημα καταχωρηθεί και συνεπώς όσο το δυνατόν αποφεύγεται.

Η λειτουργία του υπόγειου ταμιευτήρα με χρήση διαφράγματος είναι όμοια με εκείνη του συμβατικού φράγματος στην αποθήκευση νερού αλλά διαφέρει στα παρακάτω σημεία:

- Είναι σύστημα αποθήκευσης υπόγειου νερού

Σε αντίθεση με το συμβατικό φράγμα που στοχεύει στην αποθήκευση του επιφανειακού νερού, το διάφραγμα αποθηκεύει υπόγειο. Συγκεκριμένα, συγκρατεί νερό που βρίσκεται σε μικρό βάθος καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα απαιτούνταν αρκετά μεγαλύτερης κλίμακας έργα.

- Η αποθήκευση γίνεται σε γεωλογικά στρώματα

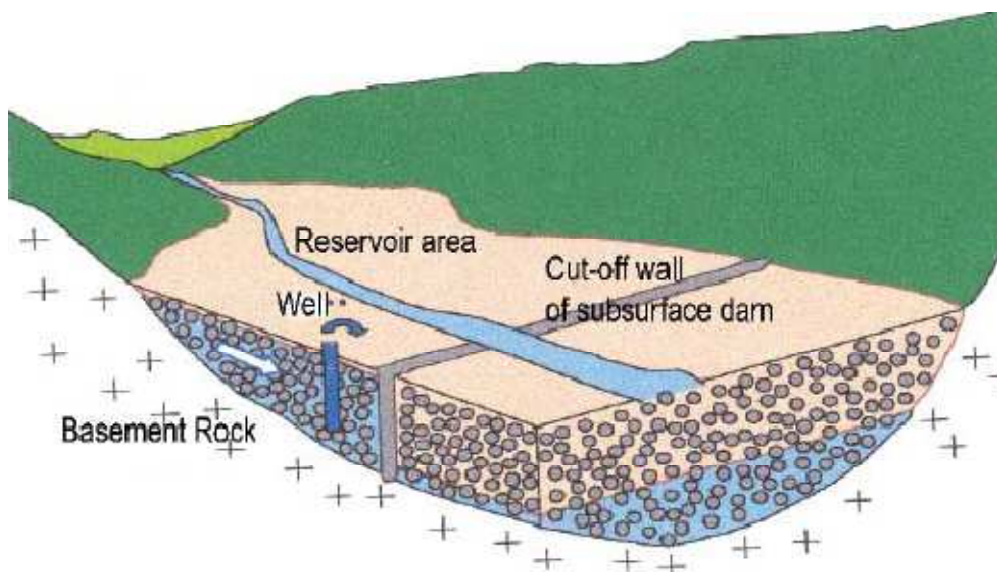
Το υπόγειο νερό αποθηκεύεται στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι, οι υπόγειοι ταμιευτήρες αποτελούν συγχρόνως και σύστημα τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

- Απαιτείται διάφραγμα κατασκευασμένο κάτω από το έδαφος

Για την αποθήκευση νερού είναι απαραίτητη υπόγεια κατασκευή που θα διακόψει την υπόγεια ροή.

- Απαραίτητες εγκαταστάσεις άντλησης

Η στάθμη του αποθηκευμένου νερού βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους καθώς το διάφραγμα βρίσκεται υπόγεια. Έτσι λοιπόν, η αξιοποίηση του νερού απαιτεί άντληση.



Σχήμα 2.2 Σχηματική απεικόνιση υπόγειου ταμιευτήρα

(Πηγή: Subsurface Dams: a simple, safe and affordable technology for pastoralists, 2006)

2.3. Στοιχεία υπόγειων ταμιευτήρων και διαφραγμάτων

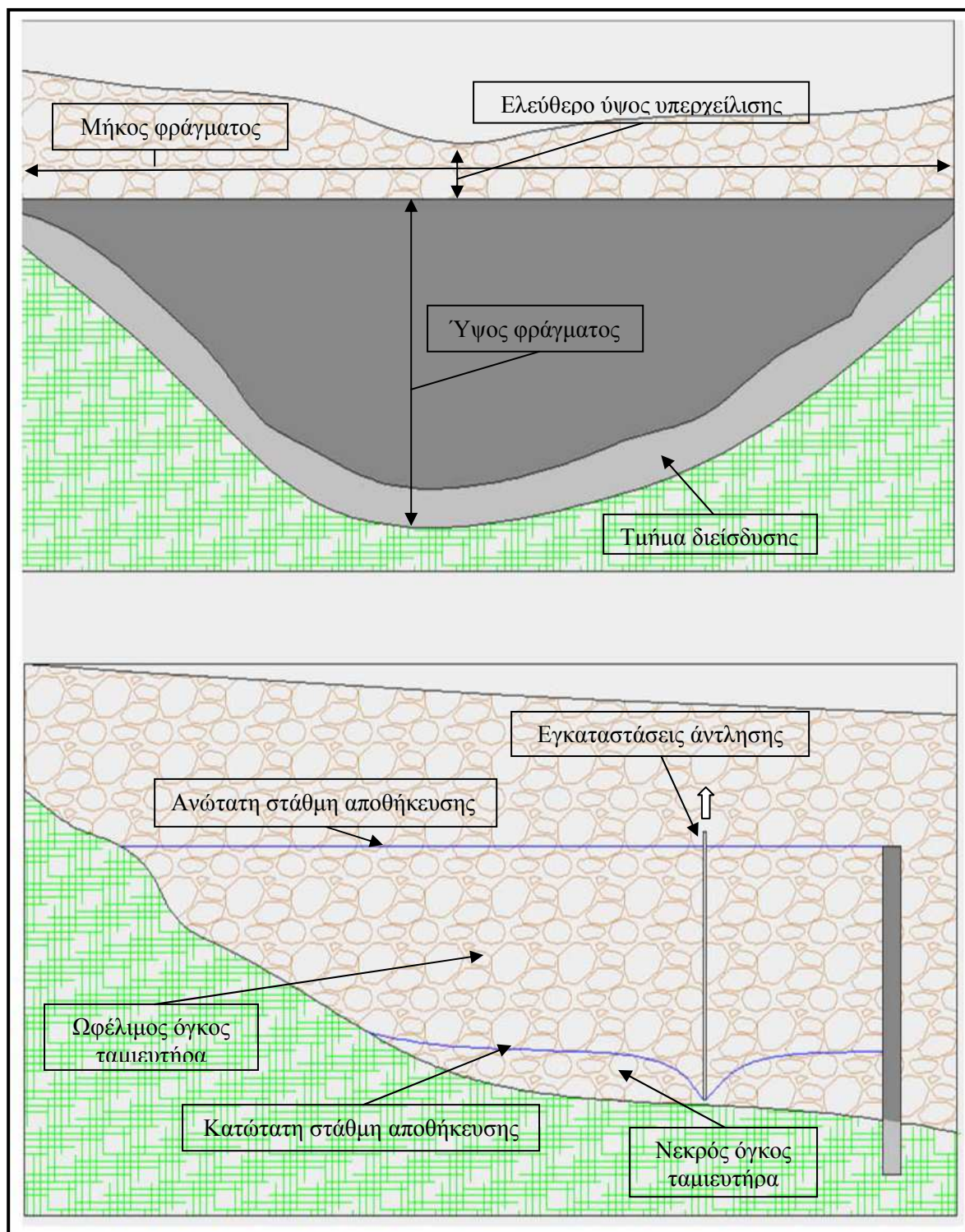
Στα συμβατικά φράγματα διακρίνουμε τόσο τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τον ταμιευτήρα, όσο και εκείνα που περιγράφουν το σώμα του φράγματος που συντελεί στη διακοπή της ροής του ποταμού. Με ανάλογο ακριβώς τρόπο μπορούν να καταγραφούν και εκείνα τα στοιχεία των υπόγειων ταμιευτήρων και διαφραγμάτων (Πίνακας 2.1).

Μικτός όγκος ταμιευτήρα (gross reservoir capacity)	Ο όγκος του υπόγειου νερού στην περίπτωση πλήρωσης του υπόγειου ταμιευτήρα. Αποτελεί το άθροισμα του νεκρού και ωφέλιμου όγκου.
Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα (active capacity)	Η ποσότητα του υπόγειου νερού που λαμβάνεται κατόπιν αφαίρεσης του νεκρού όγκου (dead capacity) από τον μικτό όγκο του υπόγειου ταμιευτήρα (gross reservoir capacity).
Νεκρός όγκος ταμιευτήρα (dead capacity)	Ο όγκος του υπόγειου νερού όταν η στάθμη του βρίσκεται χαμηλότερα από το βάθος άντλησης των αντλητικών μέσων.
Περιοχή αποκοπής (cut-off area)	Η τμηματική περιοχή του στεγανού στοιχείου που βρίσκεται σε επαφή με τον υδροφορέα.
Στεγανό στοιχείο (cut-off wall)	Κατασκευή που ενσωματώνεται με τα υδροφόρα στρώματα με σκοπό την αποταμίευση της υπόγειας ροής. Ειδικότερα, είναι μία τεχνητή υπόγεια δομή με ορισμένο πάχος, που κατασκευάζεται σε ευθεία γραμμή, όπως ένας τοίχος, εγκάρσια στην υπόγεια ροή και είναι λιγότερο υδροπερατή από τον υδροφορέα. Συνήθως πρόκειται για διάφραγμα.
Στέψη φράγματος (dam crest)	Η στέψη του στεγανού στοιχείου.
Ύψος φράγματος (dam height)	Το μέγιστο ύψος του στεγανού στοιχείου συμπεριλαμβανομένου και του τμήματος που βρίσκεται στη περιοχή του αδιαπέρατου υποβάθρου.
Μήκος φράγματος (dam length)	Το μήκος του στεγανού στοιχείου.
Πλάτος φράγματος (dam width)	Το πάχος του στεγανού στοιχείου.
Ανώτατη στάθμη αποθήκευσης (full reservoir level)	Το επίπεδο του νερού στον υπόγειο ταμιευτήρα όταν λαμβάνει χώρα υπερχειλίση από την στέψη του φράγματος.
Εγκαταστάσεις απόληξης (intake facilities)	Εγκαταστάσεις που επιτρέπουν τη λήψη του νερού από τον υπόγειο ταμιευτήρα. Τέτοιες μπορεί να είναι υδροληπτικές γεωτρήσεις, υδρομαστευτικές στοές, πηγάδια κ.ά.
Κατώτατη στάθμη αποθήκευσης (minimum reservoir level)	Η ελάχιστη στάθμη του υπόγειου ταμιευτήρα.
Ελεύθερο ύψος υπερχειλίσης (overflow freeboard)	Η ελάχιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και της στέψης του φράγματος.
Τμήμα διείσδυσης (penetration part)	Το τμήμα του στεγανού στοιχείου που βρίσκεται εντός του αδιαπέρατου υποβάθρου.
Ταμιευτήρας (reservoir area)	Το ανάντη του στεγανού στοιχείου τμήμα του υδροφόρου ορίζοντα, όπου γίνεται και η αποταμίευση του νερού.
Περιοχή μη αποκοπής (uncut-off area)	Η περιοχή μεταξύ της στέψης του φράγματος και της εδαφικής επιφάνειας.

Πίνακας 2.1 Στοιχεία υπόγειων ταμιευτήρων και διαφραγμάτων

(Πηγή: http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/thesis/text/drivelas_alexandros_full.pdf)

Ακολούθως παρουσιάζονται και σχηματικά τα στοιχεία του υπόγειου ταμιευτήρα και του διαφράγματος (Σχήμα 2.3)



Σχήμα 2.3 Κατά μήκος τομή του άξονα διαφράγματος (α), κατά μήκος τομή του ταμιευτήρα (β)

(Πηγή: http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/thesis/text/drivelas_alexandros_full.pdf)

2.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπόγειων ταμιευτήρων

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση διαφραγμάτων σε σχέση με τα υπέργεια φράγματα (Σχήμα 2.4). Αυτά περιλαμβάνουν:

- Σύστημα αποθήκευσης χωρίς λεκάνη κατάκλυσης

Λόγω της υπόγειας αποθήκευσης νερού δεν δημιουργείται ταμιευτήρας με κατάκλυση των γύρω περιοχών. Έτσι, η παρέμβαση στο περιβάλλον είναι μικρή. Συγκεκριμένα, δεν διακόπτεται η μόνιμη ροή, δεν αλλοιώνονται πλημμυρικά γεγονότα και δεν προκαλείται κλιματολογική αλλαγή. Ακόμα, δεν απαιτούνται απαλλοτριώσεις, αποψίλωση ή εκχέρσωση και δεν δημιουργούνται κοινωνικά προβλήματα με την αναγκαστική μετανάστευση ανθρώπων.

- Μειωμένη εξάτμιση αποθηκευμένου νερού

Οι απώλειες λόγω εξάτμισης είναι σαφέστατα μειωμένες σε σχέση με την εκτεθειμένη επιφάνεια νερού των συμβατικών φραγμάτων, ιδιαίτερα σε περιοχές με αυξημένες θερμοκρασίες και ξηρασία.

- Καλής ποιότητας αποθηκευμένο νερό

Το νερό που αποθηκεύεται υπόγεια είναι καλής ποιότητας, όπως εκείνου που προέρχεται από άντληση πηγαδιού, σε αντίθεση με το νερό του υπέργειου ταμιευτήρα. Το τελευταίο βοηθά στην αναπαραγωγή μικροβίων, εντόμων και παρασίτων (όπως κουνούπια που μεταδίδουν ελονοσία) και απαιτεί πρώτα επεξεργασία πριν την οικιακή χρήση. Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος μόλυνσης από ανθρώπους ή ζώα, σκόπιμα ή μη, είναι σαφέστατα μεγαλύτερος.

- Ευσταθής κατασκευή

Σε γενικές γραμμές τα διαφράγματα είναι πιο ευσταθή σε δυναμικές καταπονήσεις (σεισμοί) καθώς είναι μέσα στο έδαφος. Δεν απαιτούν συντήρηση ενώ σε περίπτωση καταστροφής τους δεν εγκυμονούν κινδύνους για ότι βρίσκεται κατάντη τους ούτε για την ροή του ποταμού.

- Αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών

Το «ρηχό» νερό που καταναλώνεται είναι ανανεώσιμο καθώς προέρχεται από τις κατακρημνίσεις και έτσι δεν εξαντλούνται οι υδατικοί πόροι.

Αν και τα υπόγεια συστήματα αποθήκευσης νερού διαθέτουν πολλά πλεονεκτήματα δεν πρέπει να παραλειφθούν και τα μειονεκτήματά τους, όπως:

- Δυσκολίες στην επιλογή θέσης

Για την κατασκευή συμβατικού φράγματος οι συνθήκες πεδίου μπορούν να εκτιμηθούν σε ένα μεγάλο βαθμό απλά με οπτικές παρατηρήσεις. Αντίθετα, για να επιλέξουμε την καταλληλότερη θέση ενός διαφράγματος και να εκτιμήσουμε την αποθηκευτική του ικανότητα βασιζόμαστε μόνο σε εκτιμήσεις της γεωλογικής δομής.

- Μειωμένη αποθηκευτική ικανότητα

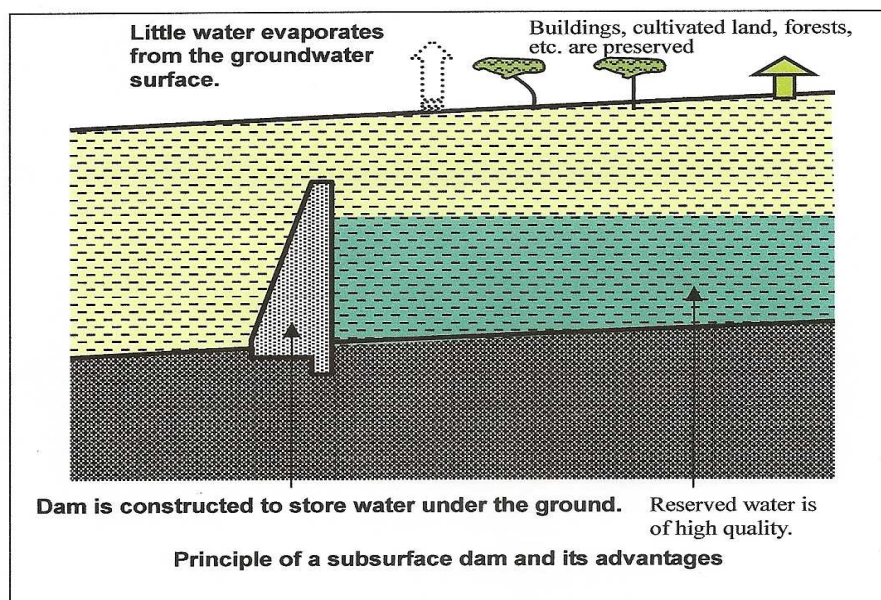
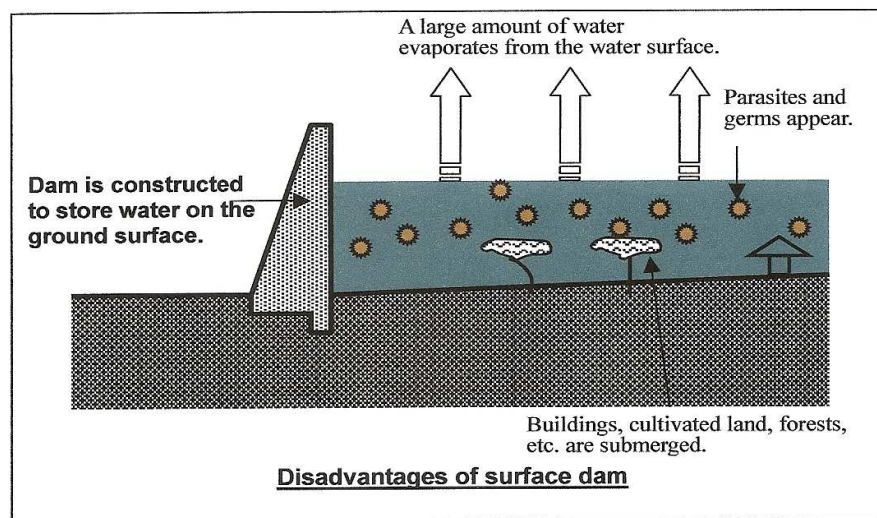
Το νερό αποθηκεύεται μέσα στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Ως γνωστό όμως εκμεταλλεύσιμο είναι μόνο εκείνο που αποθηκεύεται στο ενεργό πορώδες και αυτό μας δίνει όγκο ίσο με 10% έως 30% του συνολικά αποθηκευόμενου.

- Διακοπή υπόγειας ροής

Το διάφραγμα συντελεί στην διακοπή της υπόγειας ροής δημιουργώντας προβλήματα στην κατάντη περιοχή. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος προβαίνουμε σε ειδικές κατασκευές που επιτρέπουν μέρος ροής να συνεχίζει στα κατάντη ή επιλέγουμε τέτοια θέση στο διάφραγμα ώστε η κατάντη περιοχή να μην τροφοδοτείται αποκλείστηκα από αυτή την υπόγεια ροή (π.χ. θέση συμβολής δύο ποταμών).

- Υφαλμύρωση κατακλυζόμενης περιοχής

Η αποθήκευση νερού μέσα στο υπέδαφος δημιουργεί μεγάλες συγκεντρώσεις αλατιού στην επιφάνεια του εδάφους στην περιοχή κατάκλυσης και αυτό λόγω της ανοδικής ροής του νερού κατά την εξάτμιση. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε περιπτώσεις που η μέγιστη στάθμη αποθήκευσης βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια και αντιμετωπίζεται ορίζοντας το μέγιστο δυνατό ύψος κατασκευής, αφήνοντας συγχρόνως το απαραίτητο ελεύθερο ύψος.



Σχήμα 2.4 Σύγκριση υπόγειων και υπέργειων ταμιευτήρων

(Πηγή: <http://www.env.go.jp/earth/report/h16-08/eng/PDF/012.pdf>)

2.5. Προδιαγραφές και διαδικασία εύρεσης κατάλληλης θέσης

Οι φυσικές υδρογεωλογικές προδιαγραφές που απαιτούνται ώστε να καθιστούν μία θέση κατάλληλη για κατασκευή διαφράγματος φαίνονται στο Σχήμα 2.5 και απαριθμούνται ως εξής:

- Παρουσία υπόγειου νερού στα ρηχά στρώματα με μεγάλη ρευστότητα

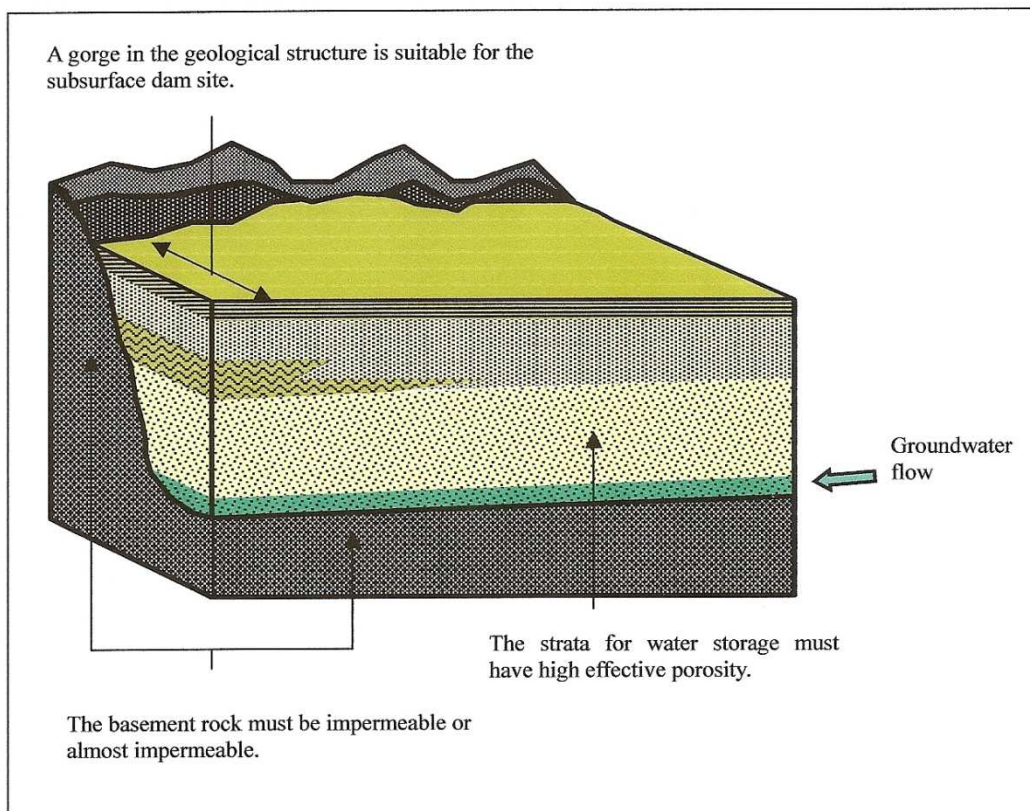
Απαραίτητη είναι η ύπαρξη υπόγειου νερού και μάλιστα με μεγάλη ρευστότητα καθώς σε περίπτωση στάσιμων νερών δεν είναι δυνατή η αποθήκευση του. Πρόσθετη απαίτηση είναι το αξιοποιούμενο νερό να προέρχεται από μικρά βάθη. Σε αντίθετη περίπτωση, θα ήταν πολύ δύσκολη η χαρτογράφηση της περιοχής και η εύρεση των γεωλογικών χαρακτηριστικών όπως και η ίδια η κατασκευή λόγω του μεγέθους, κόστους και τεχνικών δυσκολιών.

- Ύπαρξη ενεργού πορώδους (υδροφορέα) για την αποθήκευση

Όσο μεγαλύτερο είναι το ενεργό πορώδες σε ένα γεωλογικό σχηματισμό τόσο μεγαλύτερη είναι και η αποθηκευτική του ικανότητα. Αυτό ευνοεί ακόμα και την ρευστότητα.

- Ύπαρξη βραχώδους υποστρώματος

Για την καλύτερη κατασκευή ενός υπόγειου φράγματος, είναι απαραίτητη η θεμελίωση του σε αδιαπέρατο πέτρωμα και μάλιστα σε περιοχή με στένεμα όπως είναι ζητούμενο και στα συμβατικά φράγματα.



Σχήμα 2.5 Κριτήρια επιλογής θέσης διαφράγματος

(Πηγή: <http://www.env.go.jp/earth/report/h16-08/eng/PDF/012.pdf>)

Για να βρεθεί η θέση κατασκευής του διαφράγματος που θα ικανοποιεί τα παραπάνω κριτήρια ακολουθείται η εξής διαδικασία:

1. Ερμηνεία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών
2. Προκαταρκτική διερεύνηση ως προς τη γεωλογία και τοπογραφία
3. Εκτίμηση γεωλογικής δομής μέσω γεωφυσικών διασκοπήσεων π.χ. ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης
4. Επαλήθευση γεωλογικής δομής μέσω δοκιμαστικών φρεάτων και διεξαγωγή δοκιμών διαπερατότητας
5. Εκτίμηση του μηχανισμού υπόγειας ροής μέσω φρεάτων παρατήρησης

Ακόμα είναι απαραίτητα υδρολογικά και μετεωρολογικά στοιχεία όπως βροχόπτωσης και απορροής τα οποία θα προσδιορίσουν την ανάγκη και τη σκοπιμότητα κατασκευής υπόγειου ταμιευτήρα.

Αναγκαία είναι και μία κοινωνικοοικονομική μελέτη πριν τη τελική επιλογή της θέσης και αυτό γιατί η τοπική κοινωνία πρέπει να έχει ενεργή συμμετοχής σε θέματα που αφορούν τη διαχείριση και τη συντήρηση των εγκαταστάσεων του διαφράγματος.

2.6. Αναφορά σε συμπληρωματικά έργα, σε θέματα συντήρησης και διαχείρισης

• Υδροληπτικά έργα

Η κατασκευή διαφράγματος, όπως έχει αναφερθεί, δημιουργεί υπόγειο ταμιευτήρα ο οποίος φιλοξενείται μέσα σε υδροφόρο γεωλογικό σχηματισμό. Για να έχει ο άνθρωπος πρόσβαση στο αποθηκευμένο νερό πρέπει πέρα από την κατασκευή του διαφράγματος να λάβει υπόψη του και τη δημιουργία υδροληπτικών έργων. Τα έργα αυτά είναι πολλών ειδών και πρέπει να γίνει λεπτομερής μελέτη όσον αφορά τον τύπο, την κατασκευή και τη διαχείριση βασιζόμενοι πάντα στις εκάστοτε συνθήκες. Κατά τον σχεδιασμό τους λαμβάνονται υπόψη στοιχεία όπως η κατακόρυφη και οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου ορίζοντα, η μορφή της επιφάνειας του αδιαπέρατου υποβάθρου κ.ά. Μεγάλης σημασίας είναι η προβλεπόμενη θέση κατασκευής η οποία πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζονται οι απολήψιμες ποσότητες νερού ακόμα και σε περιόδους χαμηλής στάθμης ταμιευτήρα χωρίς να αυξάνεται δυσανάλογα το κόστος υδροληψίας. Υπενθυμίζεται πως οι απολήψιμες ποσότητες νερού πρέπει να ελέγχονται ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα υπεράντλησης τα οποία θα έχουν σοβαρές επιπτώσεις στους υδροφορείς.

• Αποστραγγιστικά έργα

Η παρουσία αποστραγγιστικών έργων είναι απαραίτητη για την αποφυγή ανεπιθύμητων συνεπειών στη επιφάνεια και κατ' επέκταση των χρήσεων γης λόγω υπερβολικής ανόδου της στάθμης του υπόγειου νερού. Άλλος τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου είναι μέσω του ύψους του διαφράγματος. Αφήνοντας επαρκές ελεύθερο ύψος υπερχείλισης πετυχαίνουμε υπερχείλιση νερού πάνω από το στεγανό στοιχείο και κίνηση εντός των εδαφικών στρωμάτων. Η αναγκαιότητα των αποστραγγιστικών έργων και ο σχεδιασμός τους συνδέονται άμεσα με την υδρολογική ανάλυση.

• Έργα τεχνητού εμπλουτισμού

Ως τεχνητός εμπλουτισμός ορίζεται η αύξηση της φυσικής ροής του επιφανειακού νερού προς τους υδροφορείς, με την κατασκευή κατάλληλων έργων, την κατάκλυση με νερό ή την μεταβολή φυσικών συνθηκών. Έτσι λοιπόν, στην περίπτωση που η μέση ετήσια φυσική τροφοδοσία προς τον υπόγειο ταμιευτήρα σε συνδυασμό με τις μέσες ετήσιες απολήψιμες

ποσότητες νερού δεν είναι ικανή να οδηγήσει στην πλήρωσή του ίσως χρειαστεί να εμπλουτισθεί τεχνητά.

- Εγκαταστάσεις παρατήρησης

Για την καλύτερη εκμετάλλευση και λειτουργία των ταμιευτήρων είναι απαραίτητη η συλλογή στοιχείων που έχουν να κάνουν με την βροχόπτωση και άλλα μετεωρολογικά φαινόμενα, την κίνηση του επιφανειακού και υπόγειου νερού, την στάθμη του ταμιευτήρα, την ποιότητα του αποθηκευμένου νερού κ.ά.

3. Τζημα

3.1. Κύκλος ζωής ιζήματος

Ο κύκλος ζωής ιζήματος ξεκινά με τη διαδικασία της διάβρωσης, με την οποία παράγονται κομμάτια και θραύσματα από τα διαβρωμένα πετρώματα. Η επίδραση του νερού, του ανέμου και του παγετού όπως επίσης και ενέργειες των φυτών και των ζώων αποτελούν τις αιτίες διάβρωσης της επιφάνειας της γης. Με τον όρο ποτάμιες αποθέσεις περιγράφουμε τα ιζήματα που προέρχονται από διάβρωση οφειλόμενη στο νερό των ποταμών. Η φυσική διάβρωση γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς π.χ. αιώνες ή και εκατομμύρια χρόνια. Σε αντίθεση η διάβρωση που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα έχει ταχύτερους ρυθμούς.

Οποιοδήποτε υλικό αποσπάται είναι σε θέση να μεταφερθεί. Ρυάκια, ρεματιές, χείμαρροι και ποτάμια αποτελούν τους αγωγούς κίνησης του ιζήματος. Κατολισθήσεις και ιλυόρροια συντελούν και αυτές στην μεταφορά υλικού.

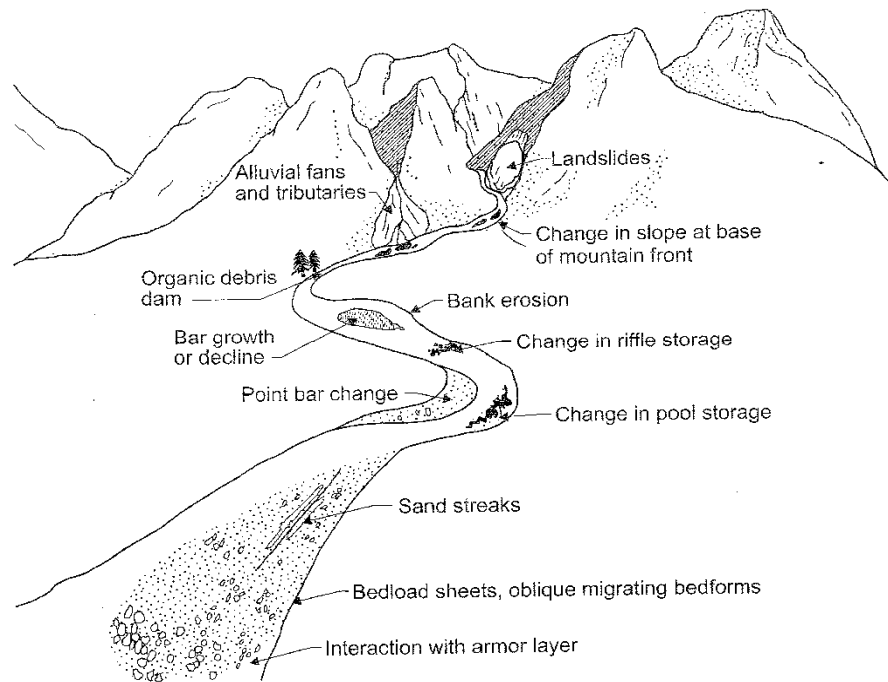
Η τελευταία διεργασία στη μεταφορά ιζήματος είναι η απόθεση. Όταν δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια για να μεταφερθεί το ίζημα τότε αποτίθεται. Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε ότι η διαδικασία απόθεσης ξεκινά όταν η μάζα του αποσπασμένου υλικού που μεταφέρεται με το υδάτινο ρεύμα είναι μεγαλύτερη από την μεταφορική του ικανότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται:

- Στην αύξηση των μεταφερόμενων υλικών χωρίς αντίστοιχη αύξηση της μεταφορικής ικανότητας του ρεύματος.
- Στην απώλεια νερού λόγω ελάττωσης των βροχοπτώσεων ή έντονης εξάτμισης.
- Στην ελάττωση της τοπογραφικής κλίσης του ποταμού, που έχει ως συνέπεια την ελάττωση της ταχύτητας του. Αυτή είναι και η πιο συνηθισμένη αιτία απόθεσης.

Η ελάττωση της ταχύτητας ενός ποταμού γίνεται βαθμιαία από τις ορεινές περιοχές (όπου δημιουργείται) έως τις εκβολές ή μπορεί να συμβεί και απότομα όταν, για παράδειγμα, ένα ορεινό ρεύμα μεταπέσει απότομα σε πεδιάδα με μικρότερη κλίση. Η ταχύτητά του θα ελαττωθεί λόγω αυτής της απότομης αλλαγής της τοπογραφικής κλίσης και στη θέση εκείνη μερικά ρεύματα μπορεί να φράξουν της ίδια τους την κοίτη, να στραφούν προς τα πλάγια, να ξαναφράξουν την κοίτη τους και τελικά με αυτόν τον τρόπο να σχηματιστούν ευρείς χαρακτηριστικοί κωνικοί σωροί αποθέσεων που καλούνται αλλουβιακά ριπίδια ή κώνοι προσχώσεων (alluvial fan).

Υπάρχουν όμως και άλλες θέσεις απόθεσης υλικού. Αυτές είναι, για παράδειγμα, η κοίτη ενός ποταμού, οι πεδιάδες κατάκλυσης και τα φυσικά αναχώματα. Οι αποθέσεις κοίτης λαμβάνουν χώρα όταν η ταχύτητα του νερού είναι ελάχιστη, ιδιαίτερα σε σημεία καμπής του ποταμού και είναι δυνατόν να δημιουργήσουν ακόμα και «νησί» εντός κοίτης. Από την άλλη μεριά, οι υπερόχθιες αποθέσεις οφείλονται σε πλημμυρικά φαινόμενα, όταν η διατομή του ποταμού δεν επαρκεί.

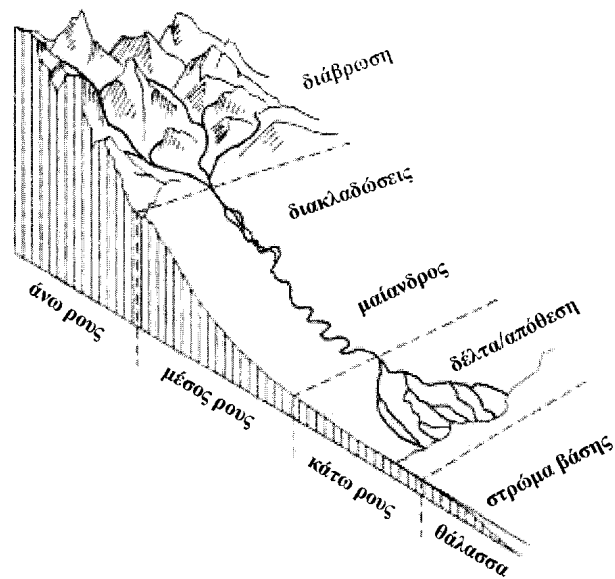
Ο κύκλος ζωής του ιζήματος περιγράφεται στο Σχήμα 3.1.



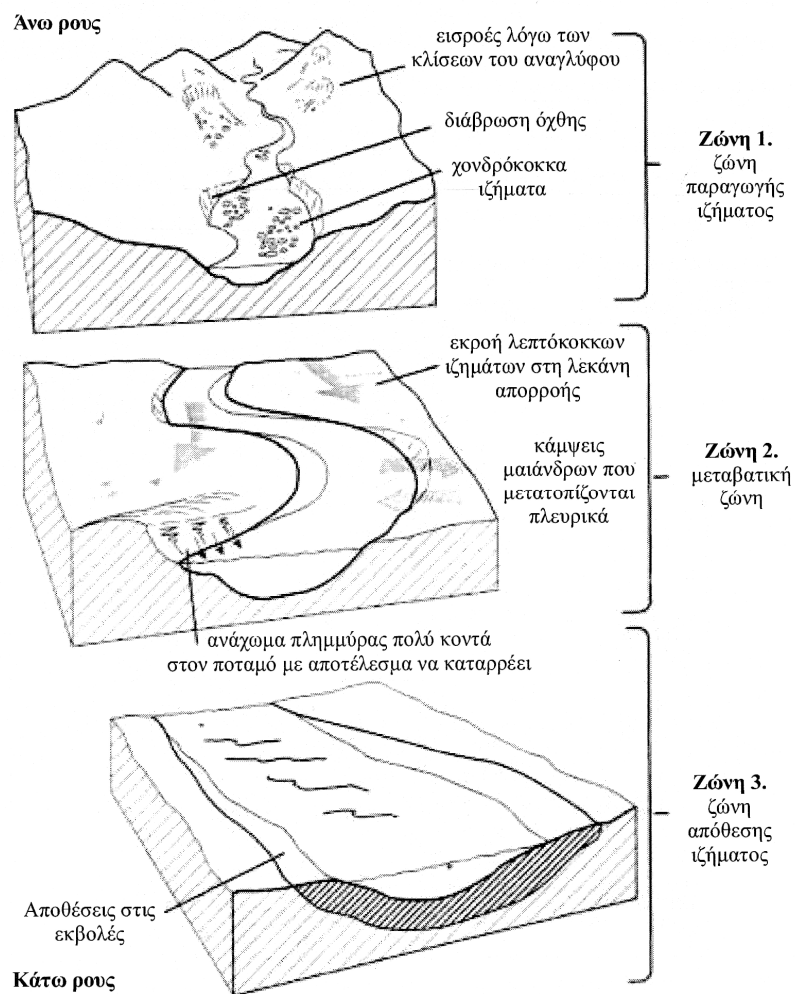
Σχήμα 3.1 Κύκλος ζωής ιζημάτων
(Πηγή: Dietrich and Gallinatti 1991)

3.2. Ποτάμια αποθέσεις

Σε όλα τα ποτάμια, σύμφωνα με τα «Ποτάμια υδροσυστήματα, 1999», διακρίνουμε τρεις γεωμορφολογικές ενότητες: τον άνω, το μέσο και τον κάτω ρου (Σχήμα 3.2). Ο άνω ρους αντιστοιχεί στο ορεινό τμήμα του ποταμού όπου τα νερά κυλούν με μεγάλη ταχύτητα διαβρώνοντας το έδαφος. Ο μέσος ρους αντιστοιχεί στο κέντρο των ποτάμιων κοιλάδων, χαρακτηρίζεται από ευθύγραμμες κοίτες, όπου η διάβρωση και η απόθεση βρίσκονται σε δυναμική ισορροπία. Ο κάτω ρους αντιστοιχεί στην έξοδο από την ποτάμια κοιλάδα. Εκεί η ροή επιβραδύνεται, τα φερτά υλικά του ποταμού συσσωρεύονται και συχνά αναγκάζουν τον ποταμό να αλλάξει κοίτη σχηματίζοντας μαιάνδρους. Ο κάτω ρους τελειώνει στις εκβολές η μορφή των οποίων είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης θάλασσας και ποταμού (Σχήμα 3.3).

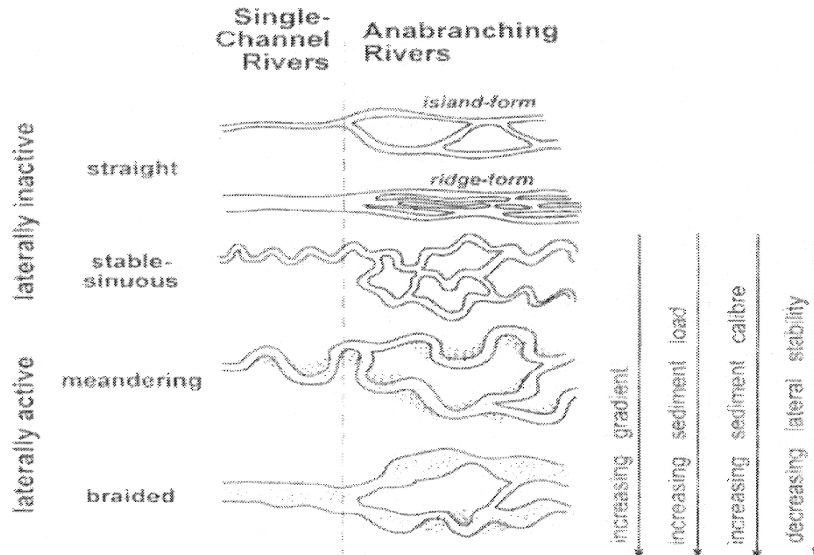


Σχήμα 3.2 Σχηματοποίηση της κατά μήκος τομής ενός ποταμού
(Πηγή: Ποτάμια υδросυστήματα, 1999)



Σχήμα 3.3 Επί μέρους ζώνες και διεργασίες
(Πηγή: Ποτάμια υδросυστήματα, 1999)

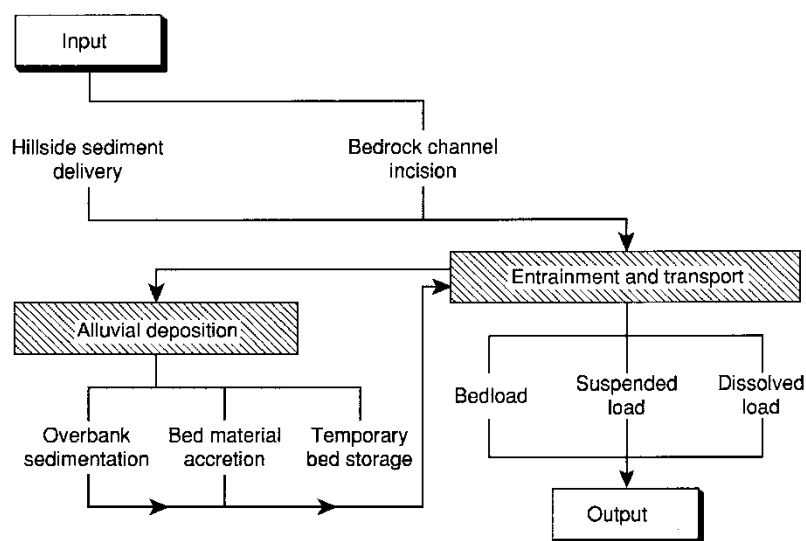
Από τα παραπάνω είναι εύκολο να αντιληφθούμε το σημαντικό ρόλο του ποταμού στη μεταφορά και απόθεση ιζήματος. Μία γενική διάκρισή τους παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.4. Ο διαχωρισμός των ποταμών έγινε με κριτήρια ευστάθειας, μεταφερόμενου φορτίου, κοκκομετρίας υλικού, εύρος φορτίου κοίτης και αιωρούμενου, εύρος πλάτους και βάθους, τύπο πλημμυρικών εκτάσεων και στρωματογραφίας.



Σχήμα 3.4 Τύποι ποταμών

(Πηγή: Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks)

Η σύσταση όπως και το σχήμα των ποτάμιων αποθέσεων συνδέονται άμεσα από την πηγή του ιζήματος. Όσον αφορά το εύρος κοκκομετρίας κυμαίνεται συνήθως μεταξύ αργίλου και χαλικιών (πιθανή εμφάνιση ογκολίθων) και το σύνολο τους αποτελείται κατά κύριο λόγο από αποθέσεις τόσο στο κανάλι όσο και στα πλευρικά, στο χώρο της πλημμυρικής κατάκλυσης. Διαγραμματικά ο κύκλος των ποτάμιων αποθέσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.5.

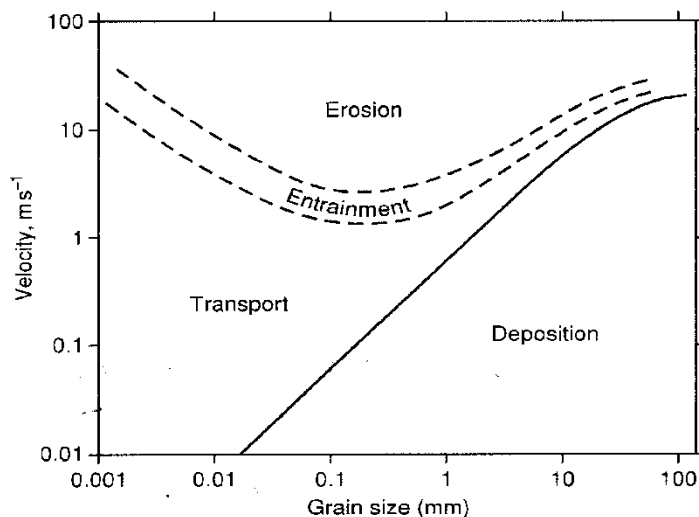


Σχήμα 3.5 Μεταφορά υλικού σε αλλουβιακό σύστημα ποταμού

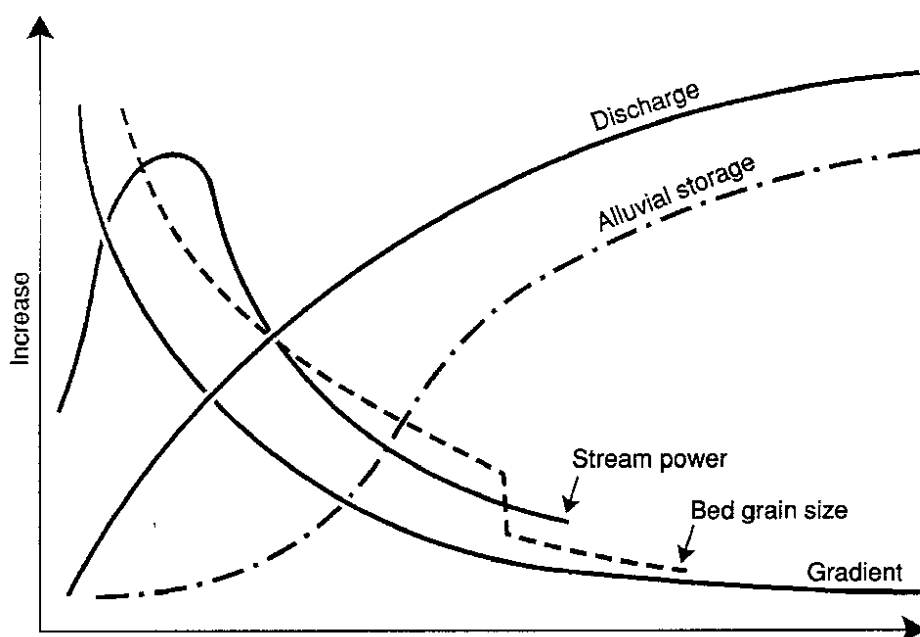
(Πηγή: Fluvial Geomorphology, J Lewin and P A Brewer, 2005)

3.2.1. Μεταφορά φερτών υλικών εντός κοίτης

Καθώς αυξάνεται η παροχή, η μεταφορά των αποθέσεων σε ποτάμια ξεκινά όταν οι συνθήκες ροής (και σε μεγαλύτερο βαθμό η ταχύτητα) ξεπερνούν τις κρίσιμες τιμές με αποτέλεσμα το ίζημα που κατακάθεται στην κοίτη του ποταμού να παρασύρεται (Σχήμα 3.6 και Σχήμα 3.7). Σημειώνεται πως οι συνθήκες ροής που θέτουν σε κίνηση ακίνητο ίζημα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές που απαιτούνται για να παρασύρουν ίζημα που είναι ήδη εν κινήσει.

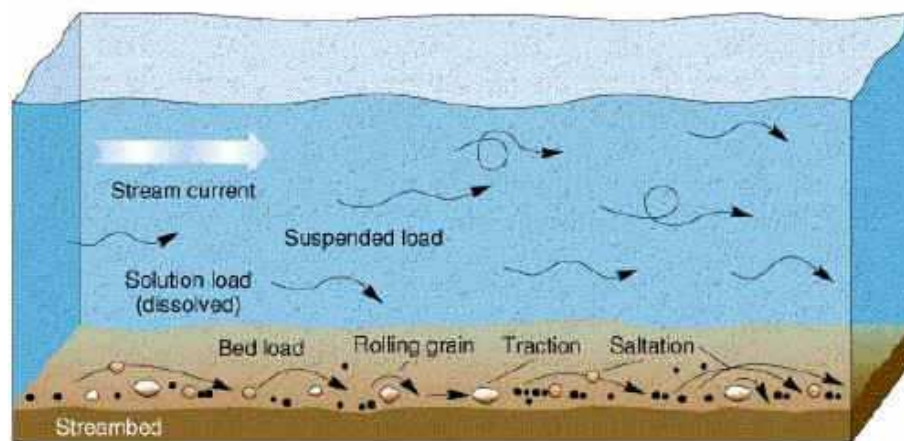


Σχήμα 3.6 Σχέση μεταξύ μεταφοράς ιζήματος και ταχύτητας στην κοίτη του ποταμού. (Για συνεκτικά υλικά απαιτούνται μεγαλύτερες ταχύτητες για τα παραπάνω φαινόμενα) (Πηγή: Fluvial Geomorphology, J Lewin and P A Brewer, 2005)



Σχήμα 3.7 Γενικές αρχές σε λεκάνη απορροής ποταμού (Πηγή: Fluvial Geomorphology, J Lewin and P A Brewer, 2005)

Τα ποτάμια μεταφέρουν το ίζημά τους με τέσσερις διαφορετικούς τρόπους. Το φορτίο κοίτης (bed load) είναι σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια σε επαφή με την κοίτη, το φερτό υλικό εν αναπηδήσει (saltating load) υπερπηδά το φορτίο κοίτης και μεσολαβεί μεταξύ φορτίου κοίτης και αιωρούμενου φορτίου, το αιωρούμενο φορτίο (suspended load) διατηρείται σε αιώρηση μέσω του μηχανισμού της τύρβης και τέλος το διαλυμένο φορτίο (dissolved load) μεταφέρεται υπό διάλυση (Σχήμα 3.8). Οι τρεις πρώτοι μηχανισμοί μεταφοράς συνθέτονται από τις αποθέσεις και μάλιστα το ποσοστό συγκέντρωσης των πρώτων δύο συνδέεται άμεσα από την ενέργεια ροής η οποία αυξάνεται με την παροχή του νερού. Όσον αφορά το φορτίο σε αιώρηση συνδέεται και αυτό με την ενέργεια ροής όμως ο βασικότερος παράγοντας είναι η αναλογία παροχής-ιζήματος στο ποτάμι. Η συγκέντρωση του διαλυμένου φορτίου εξαρτάται από την θερμοκρασία του νερού, τη γεωλογία της λεκάνης, τη χημεία του υπόγειου νερού και την βλάστηση. Σε αντίθεση με το σωματιδιακό φορτίο, το διαλυμένο μειώνεται σε συγκεντρώσεις με την αύξηση της πλημμυρικής παροχής. Οι τρεις τρόποι μεταφοράς σωματιδιακού φορτίου είναι το βασικό συστατικό των αλλουβιακών αποθέσεων με το φορτίο κοίτης και εν αναπηδήσει να διαμορφώνουν την ροή των προσχώσεων. Το διαλυμένο φορτίο απομακρύνεται από τη λεκάνη καθώς είναι δυνατό να καθιζήσει μόνο υπό εξαιρετικά ασυνήθιστες γεωχημικές διεργασίες.



Σχήμα 3.8 Τρόπος μεταφοράς ιζημάτων

(Πηγή: <http://www.medinaswcd.org/streams.htm>)

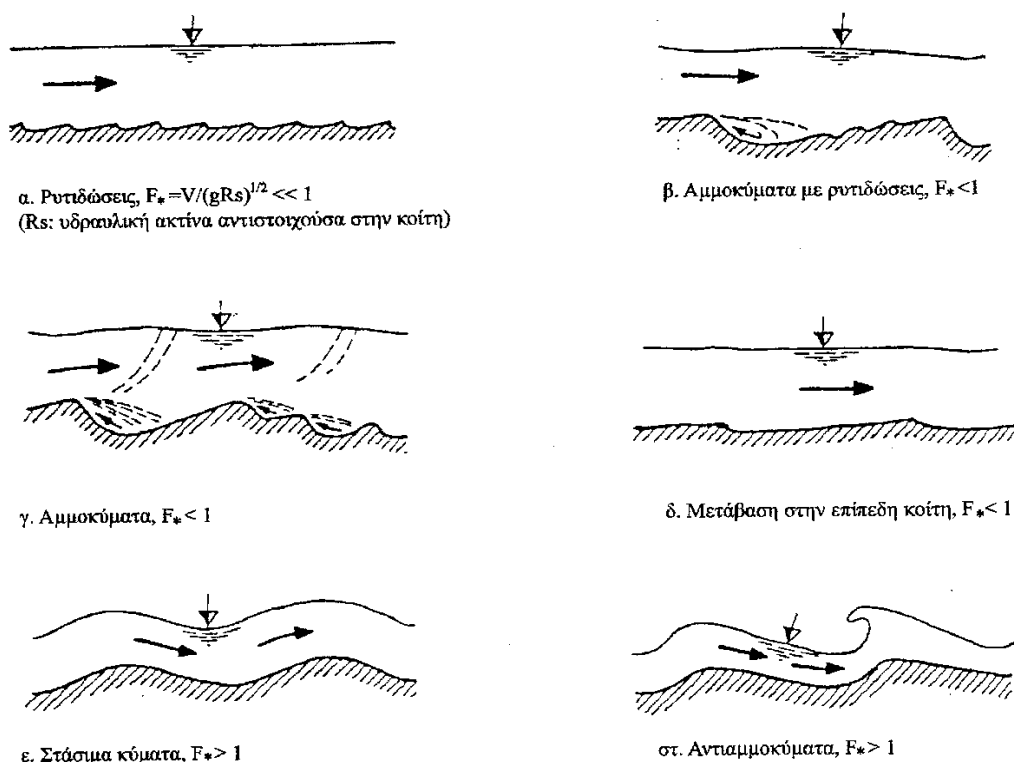
3.2.2. Σχηματισμός κοίτης

Μετά την έναρξη μετακίνησης φερτών υλών, σύμφωνα με την Υδραυλική Ανοιχτών Αγωγών (Νουτσόπουλος, Χριστοδούλου, Παπαθανασιάδης, 2007), στην κοίτη ενός φυσικού υδατορεύματος αναπτύσσονται διάφοροι σχηματισμοί ως αποτέλεσμα της διάβρωσης και απόθεσης των φερτών (Σχήμα 3.9). Οι σχηματισμοί αυτοί διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- ο Ρυτιδώσεις (ripples)
- ο Αμμοκύματα ή θίνες (dunes)
- ο Αντιαμμοκύματα (antidunes)

Οι ρυτιδώσεις είναι μικρές πτυχώσεις της κοίτης με διαστάσεις της τάξης μερικών εκατοστών, ενώ τα αμμοκύματα έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις, ύψος της τάξης 1m και

μήκος της τάξης των 10m, ανάλογα και με το βάθος του νερού. Οι ρυτιδώσεις και τα αμμοκύματα παρατηρούνται για υποκρίσιμη ροή και κινούνται κατά τη διεύθυνση της ροής, ενώ τα αντιαμμοκύματα εμφανίζονται σε υπερκρίσιμη ροή και διαδίδονται φαινομενικά αντίθετα προς αυτήν.



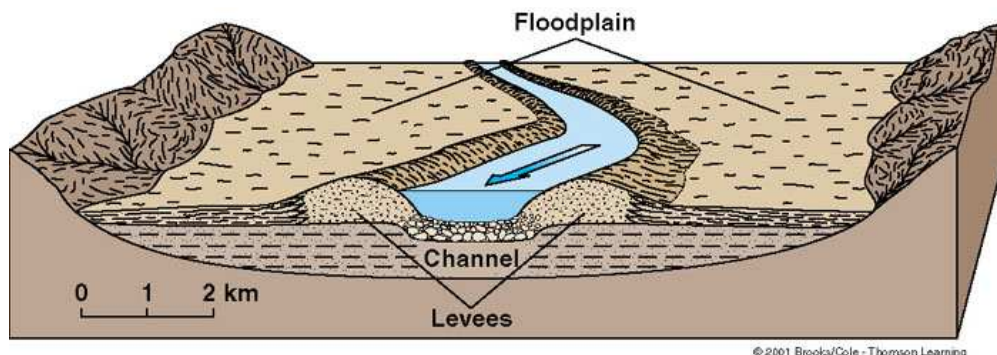
Σχήμα 3.9 Μορφές σχηματισμών μιας αλλουβιακής κοίτης

(Πηγή: Υδραυλική Ανοιχτών Αγωγών, Νουτσόπουλος – Χριστοδούλου - Παπαθανασιάδης, 2007)

3.2.3. Εναπόθεση ιζήματος

Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι αποτέλεσμα συσσώρευσης ποτάμιων ιζημάτων. Για να πραγματοποιηθεί όμως αυτή η συσσώρευση στην περίπτωση του διαλυμένου φορτίου και του φορτίου εν αναπηδήσει πρέπει η ταχύτητα να είναι μικρότερη της ταχύτητας καθίζησης (η ταχύτητα με την οποία καθιζάνει ένα στερεό μέσα σε μία στήλη ύδατος) ενώ στην περίπτωση του φορτίου κοίτης να μειωθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε να μην παρατηρούνται φαινόμενα κύλισης και αναπήδησης. Έτσι όταν η ταχύτητα μειωθεί τοπικά μέσα στην κοίτη ή στην περιοχή πλημμυρικής κατάκλυσης τα πιο χονδρά υλικά καθιζάνουν πρώτα. Σαν αποτέλεσμα, διαμορφώνεται η κοκκομετρία τόσο καθ' ύψος όσο και κατά πλάτος.

Γενικά λοιπόν, ανάλογα την περιοχή στην οποία αναφερόμαστε στο σύστημα ενός ποταμού, παρατηρούνται και οι αντίστοιχες ταχύτητες που με τη σειρά τους διαμορφώνουν την κοκκομετρία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες περιοχές απόθεσης (Σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.10 Κύριες περιοχές απόθεσης σε σύστημα ποταμού

(Πηγή: http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ozsvath/review_questions/floods.htm)

– Απόθεση ιζήματος στην κοίτη (Channel Bed Deposits)

Τα φερτά κοίτης αποτελούνται συνήθως από άμμο και χαλίκια, τα οποία χαρακτηρίζονται γενικά από στρογγυλεμένες γωνίες και ομοιομορφία στα διάφορα μεγέθη κόκκων. Μεγάλες διαφορές στην διαβάθμιση των αποθέσεων είναι δυνατό να παρατηρηθούν και οφείλονται σε μεταβολές στη διατομή του ποταμού και στην τριβή.

– Απόθεση ιζήματος στις όχθες (Bank slope deposits)

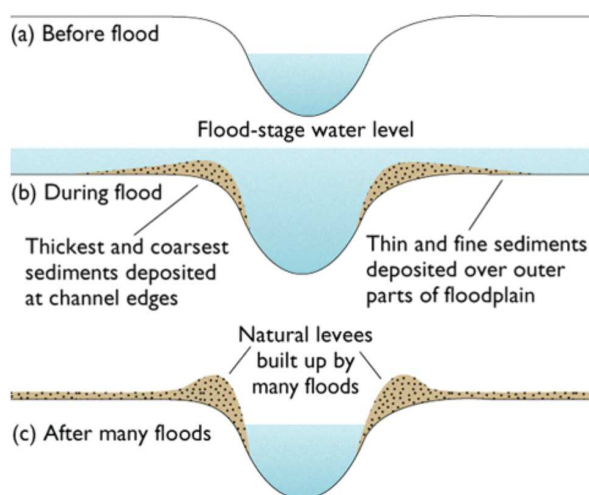
Το λεπτότερο υλικό αποτίθεται στις θέσεις αυτές. Συνήθως η περιεκτικότητα σε ιλύ και άργιλο υπερβαίνει το ποσοστό 50% ενώ η αναλογία σε λεπτή άμμο αυξάνεται καθώς κινούμαστε προς τα πάνω. Στις εσωτερικές όχθες όπου η κλίση είναι ηπιότερη η συγκέντρωση σε ιλύ και άργιλο είναι μεγαλύτερη. Σε περιπτώσεις αυξημένων παροχών είναι δυνατό να παρεμβάλλονται και οργανικά υλικά.

– Απόθεση ιζήματος σε φυσικά αναχώματα (Natural levee deposits)

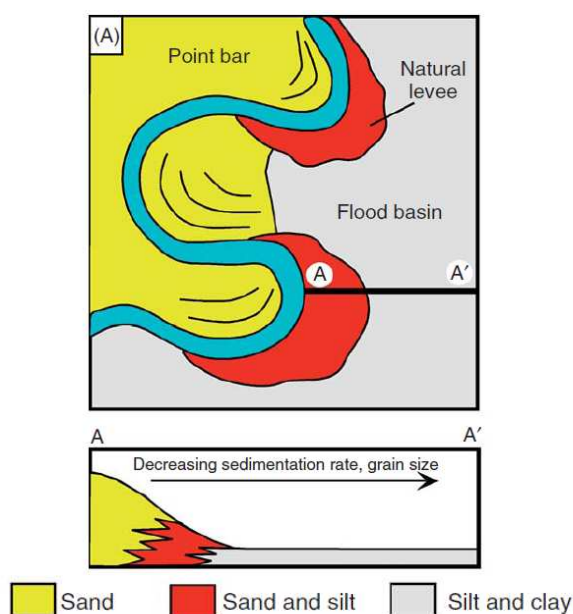
Πρόκειται για σχηματισμούς από άμμο και ιλύ που βρίσκονται πλευρικά στις όχθες του ποταμού. Δημιουργούνται κατά τις περιόδους μεγάλων βροχοπτώσεων, όταν το ποτάμι υπερχειλίζει λόγω μεγάλης αύξησης της παροχής του. Το πλεονάζον αυτό νερό, εκτείνεται πλευρικά, χάνει την ταχύτητά του και αποθέτει μέρος του φορτίου του (Σχήμα 3.10, Σχήμα 3.11 και Σχήμα 3.12).

– Απόθεση ιζήματος σε περιοχές πλημμυρικής κατάκλυσης (Floodplain deposits)

Οι αποθέσεις στην συγκεκριμένη περιοχή αποτελούνται από μία ετερογενή μάζα στην οποία απουσιάζουν υλικά μεγαλύτερα από άμμο καθώς η κοίτη αποτελεί των αγωγό μεταφοράς των αδρομερών υλικών. Ο ρυθμός επικάλυψης μειώνεται με τον χρόνο και την ανύψωση της στάθμης της όχθης ενώ καθώς απομακρυνόμαστε από την κοίτη ελαττώνεται και η ποσότητα των συσσωρευμένων ιζημάτων (Σχήμα 3.10 και Σχήμα 3.12). Σημειώνεται πως όσο αυξάνεται η στάθμη της όχθης τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η πλημμύρα για να συνεισφέρει υλικό για απόθεση ενώ συγχρόνως μειώνεται και η αποθηκευτική ικανότητα της περιοχής. Το πάχος των στρώσεων διαφέρει ανάλογα το μέγεθος της πλημμύρας και η δομή τους είναι σχετικά ακανόνιστη. Μερικές φορές, νέες αποθέσεις κάθονται σε στρώματα παλαιότερων ιζημάτων που προέρχονταν από μαιάνδρους και χαρακτηρίζονται από ιδιότητες ίδιες με εκείνες του ιζήματος κοίτης



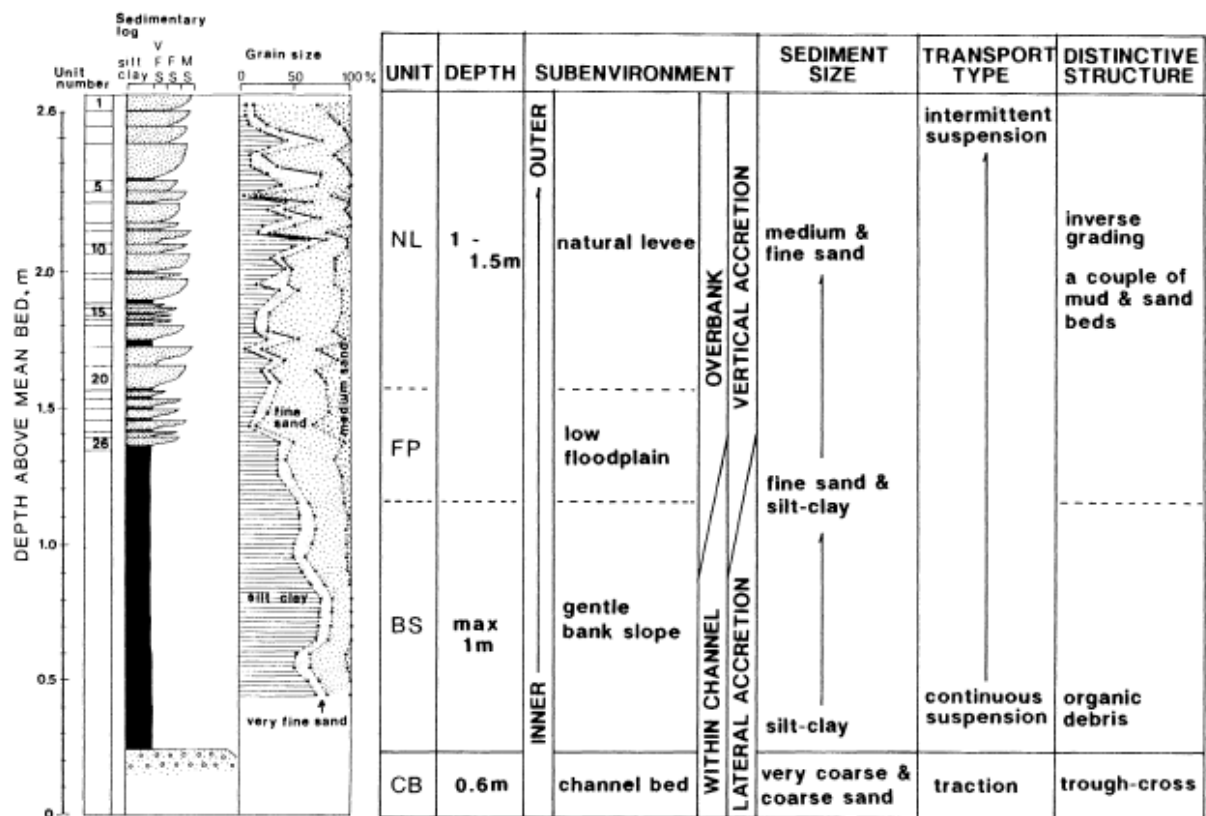
Σχήμα 3.11 Δημιουργία φυσικών αναχωμάτων από πλημμυρικά γεγονότα
(Πηγή: <http://web.mst.edu/~rogersda/levees/should%20i%20trust%20that%20levee.htm>)



Σχήμα 3.12 Αποθέσεις σε περιοχή πλημμυρικής κατάκλυσης και καθ' ύψος κοκκομετρία

(Πηγή: Fluvial Environments, Sediments, A Aslan 2007)

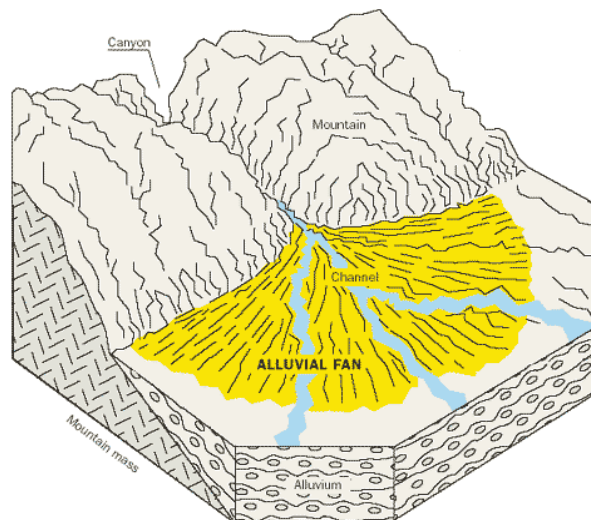
Ως προς την κοκκομετρία, τόσο στις περιοχές πλημμυρικής κατάκλυσης όσο και στα φυσικά αναχώματα, παρατηρούνται στρώσεις με αντίστροφη ταξινόμηση ως προς το μέγεθος των κόκκων. Συνήθως κάθε πλημμυρικό γεγονός συνοδεύεται από την δημιουργία δύο στρώσεων, με το χαμηλότερο να αποτελείται κυρίως από λάσπη ενώ το ανώτερο από άμμο. Ο λόγος για τον οποίο εμφανίζονται τα ιζήματα με αυτή την αλληλουχία είναι γιατί στο ξεκίνημα κάθε πλημμύρας η περιεκτικότητα σε αιωρούμενα υλικά είναι εξαιρετικά υψηλή. Αξιοσημείωτο είναι πως σε καμία από τις δύο αυτές περιοχές δεν παρατηρούμε υλικό με διάμετρο μεγαλύτερη από 0,5 mm. Ενδεικτικά παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.13 η διαδοχή στις αποθέσεις σε ποτάμι με μικρό συντελεστή ελιγμού ονομαζόμενο Sakura ο οποίος βρίσκεται στην κεντρική Ιαπωνία.



Σχήμα 3.13 Τυπική διαμόρφωση αποθέσεων σε ποτάμι με μικρό συντελεστή ελιγμών
(Πηγή: <http://svr4.terrapub.co.jp/e-library/taira/pdf/081.pdf>)

– Αλλουβιακός κώνος

Ο αλλουβιακός κώνος είναι περιοχή με σχήμα κώνου που διαμορφώθηκε εξαιτίας των ιζημάτων που αποτίθενται λόγω έντονης διαπλάτυνσης της κοίτης του ποταμού και απότομη μείωση της κλίσης του (Σχήμα 3.14). Τα ιζήματα σε αυτή την περιοχή είναι άτακτα τοποθετημένα χωρίς ευδιάκριτες στρώσεις ενώ η κοκκομετρία τους αποτελείται από πολύ λεπτά μέχρι πολύ αδρομερή στρογγυλευμένα υλικά.



Σχήμα 3.14 Αλλουβιακός κώνος
(Πηγή: <http://lang.sbsun.com/projects/fireflood/articles/alluvialfan.asp>)

4. Προσχωματικές λεκάνες

4.1. Εισαγωγή

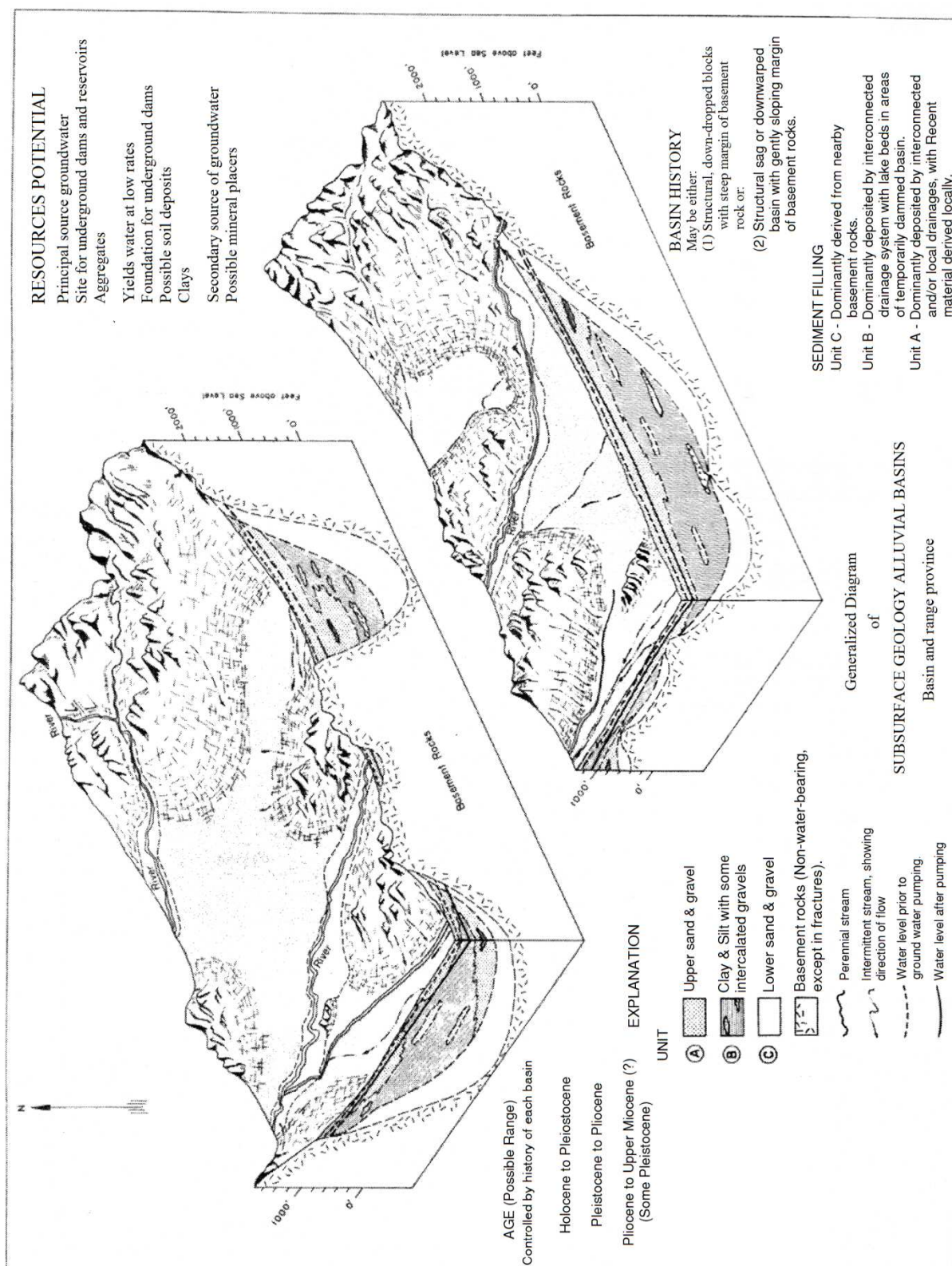
Ο όρος προσχωματική λεκάνη αναφέρεται σε κάθε γεωγραφική δομή που εμφανίζει φαινόμενα βύθισης και επιχωμάτωσης από προσχώσεις. Καθώς παλαιότερες προσχώσεις επικαλύπτονται με νέες, επιβάλλονται σε αυτές συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις από τις οποίες ξεκινούν φαινόμενα λιθοποίησης. Ο όρος λιθοποίηση εκφράζει το σχηματισμό σε κάποιο βαθμό συμπαγούς πετρώματος από τη συνένωση των χαλαρών ασύνδετων κόκκων ιζηματογενούς απόθεσης με τη βοήθεια κάποιου συνδετικού υλικού όπως ασβεστολιθικού, δολομιτικού, πυριτικού, αργιλικού κ.ά.

Η καθίζηση και κατ' επέκταση η διαμόρφωση των προσχωματικών λεκανών επηρεάζεται από τρεις εξωτερικούς παράγοντες: τον τεκτονισμό, το κλίμα και τη στάθμη της θάλασσας, με τους δύο τελευταίους να καθορίζονται μεταξύ τους και να επηρεάζονται άμεσα από τον πρώτο. Συγκεκριμένα με τον όρο τεκτονισμό αναφερόμαστε στις διαδικασίες βύθισης του φλοιού της γης και της υπερύψωσης χερσαίων περιοχών. Στις περιοχές που βυθίστηκαν θα διαμορφωθούν προσχωματικές λεκάνες ενώ εκείνες που υπερυψώθηκαν θα δημιουργήσουν τα βουνά. Ανάλογα το μέγεθος επίδρασης των εξωτερικών παραγόντων προκύπτει το αντίστοιχο σχήμα και μέγεθος της λεκάνης όπως και το υλικό πρόσχωσης που μπορεί να προέρχεται από τα γύρω βουνά ή και από το θαλάσσιο περιβάλλον.

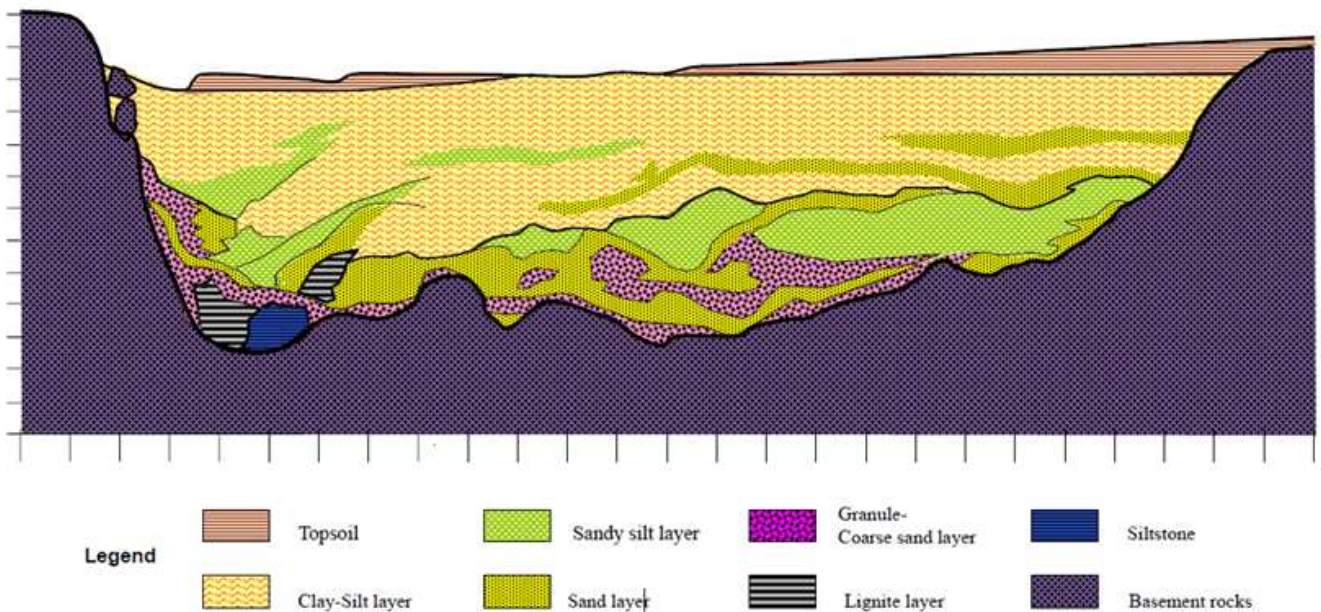
Η γενικευμένη υπόγεια γεωλογική δομή σύμφωνα με το άρθρο “Environmental/engineering geology of alluvial settings” έχει τη μορφή του ακόλουθου σχήματος (Σχήμα 4.1). Παρατηρείται πως κυριαρχούν τρεις τύποι εδάφους όσον αφορά το είδος των προσχώσεων (τύπος Α, τύπος Β, τύπος C), οι οποίοι έχουν οριοθετηθεί και καθορίζονται από παράγοντες όπως η ηλικία τους, η προέλευσή τους και η στάθμη του υπόγειου ύδατος.

Για την συγκεκριμένη λεκάνη, ο τύπος C αναφέρεται στις παλιότερες προσχώσεις που αποτελούνται από αδρομερείς αλλουβιακές αποθέσεις προερχόμενες από τα γειτονικά βουνά, στα οποία εμφανίζονται φαινόμενα συγκόλλησης και χαρακτηρίζονται από σχετικά χαμηλές έως μεσαίες διαπερατότητες. Ο τύπος Β, που για την συγκεκριμένη λεκάνη είναι ο επικρατέστερος, είναι λεπτόκοκκο υλικό από ιλύ και άργιλο με πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Η προέλευσή του μπορεί οφείλεται σε φαινόμενα στράγγισης των επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων ή σε λίμνες με εποχιακή εμφάνιση νερού. Τέλος, ο τύπος Α αποτελεί επίχωση νεότερη σε ηλικία, εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια και αποτελείται κατά κύριο λόγο από άμμο και χαλίκια.

Γενικά λοιπόν, μια αλλουβιακή πεδιάδα αποτελεί ένα σύμπλεγμα από φακοειδή επιμήκη σώματα ή ασυνεχή στρώματα χαλικιών, άμμου, ιλύος και αργίλου, ανακατεμένα κατά διάφορα ποσοστά (Σχήμα 4.2, Σχήμα 4.3).

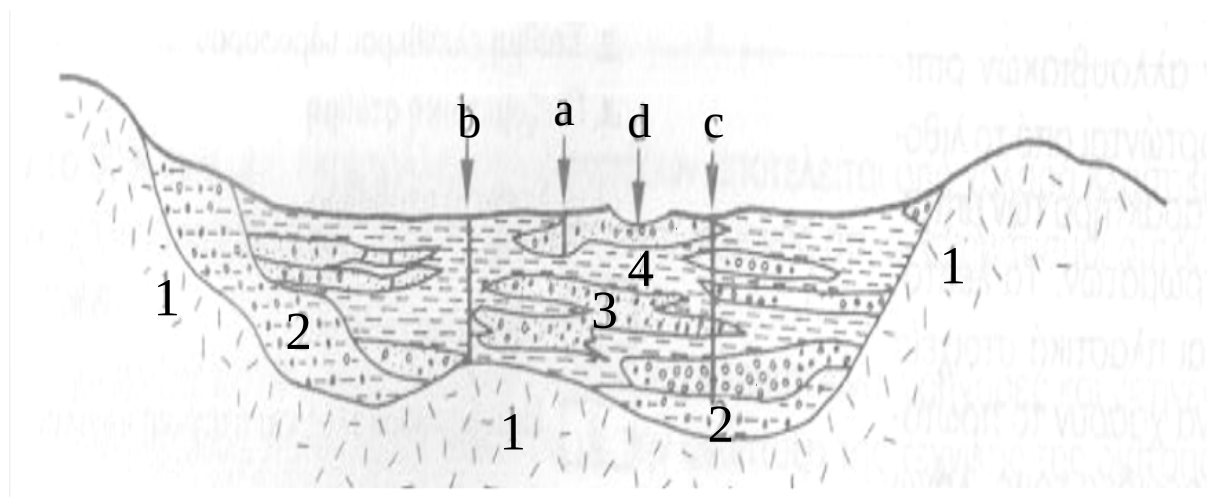


Σχήμα 4.1 Γενικευμένο διάγραμμα υπόγειας γεωλογικής δομής προσχωματικής λεκάνης (Πηγή: Environmental/engineering geology of alluvial settings 1996)



Σχήμα 4.2 Γεωλογική τομή σε θέση κατασκευής διαφράγματος

(Πηγή: Technical Report of the Subsurface Dam, March 2004, Ministry of the Environment, Overseas Environmental Cooperation Center)



Σχήμα 4.3 Τομή σε αλλουβιακή πεδιάδα: 1)υπόβαθρο, 2)παλιές αναβαθμίδες, 3)σύναγμα, 4)άργιλος, α)ρηχό πηγάδι, β)αποτυχημένη βαθειά γεώτρηση, γ)επιτυχημένη βαθειά γεώτρηση, δ)σημερινή κοίτη υδατορεύματος

(Πηγή: http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/thesis/text/drivelas_alexandros_full.pdf)

4.2. Καθ' ύψος κοκκομετρία

Η καθ' ύψος κοκκομετρία μιας προσχωματικής λεκάνης διαμορφώνεται μέσω αλλουβιακών εδαφών. Με τον όρο αλλουβία αναφερόμαστε σε υλικά αποσάθρωσης που αποσπώνται από το μητρικό πέτρωμα και κυρίως με τη βοήθεια του νερού μεταφέρονται στα χαμηλότερα υψόμετρα όπου και αποτίθενται. Η μεταφορά με το νερό γίνεται κυρίως μέσω χειμάρρων (στα ορεινά τμήματα) και μέσω των ποταμών και λιμνών στα χαμηλότερα τμήματα. Στην είσοδο των προσχωματικών λεκανών, επειδή το νερό κινείται με πολύ χαμηλότερες ταχύτητες, αποτίθενται κυρίως υλικά που παρουσιάζουν μεγάλο μέγεθος κόκκων, όπως

ογκόλιθοι, κροκάλες και λατύπες. Τα υλικά αυτά είναι ασύνδετα, περατά και η σύστασή τους είναι ίδια με αυτή των πετρωμάτων της λεκάνης απορροής των ποταμών.

Όταν οι ποταμοί διασχίζουν την προσχωματική λεκάνη και εκβάλουν τελικά στη θάλασσα τότε η ταχύτητα του νερού σχεδόν μηδενίζεται και η μεταφορική του ικανότητα χάνεται. Αρχίζει συνεπώς η απόθεση των υλικών που μεταφέρονται, με τα χονδρόκοκκα υλικά να καθιζάνουν πρώτα και έπειτα να ακολουθούν τα λεπτόκοκκα. Έτσι, σε διάφορες αποστάσεις από την εκβολή του ποταμού αποτίθενται σε οριζόντιες στρώσεις τα υλικά που αυτός μεταφέρει. Η συνεχής απόθεση δημιουργεί αλληπάλληλα στρώματα φερτών υλικών άλλοτε χονδρόκοκκων και άλλοτε λεπτόκοκκων ανάλογα της μεταφορικής ικανότητας του νερού και των επικρατουσών επιφανειακών συνθηκών την εποχή που γίνεται η μεταφορά. Συνεπώς, τα στρώματα αυτά θα είναι κυρίως μίγματα κροκάλων, χαλικιών, άμμου και αργίλου.

Ο κύριος όμως παράγοντας που διαμορφώνει όλες τις παραπάνω συνθήκες και κατ' επέκταση επηρεάζει τη διανομή των προσχώσεων είναι ο τεκτονισμός. Μέσω του τεκτονισμού δημιουργείται ο χώρος των προσχωματικών λεκανών με τη βύθιση τμημάτων φλοιού της γης που στη συνέχεια επιχώνεται και δημιουργείται η προσχωματική λεκάνη. Με βάση το ρυθμό και το χρόνο που εμφανίστηκαν τα φαινόμενα βύθισης έγινε και η διανομή των υλικών. Έτσι, σε περίπτωση που η βύθιση της λεκάνης έγινε σταδιακά, τα αδρομερή υλικά θα εμφανιστούν σε όλο το μήκος της κοίτης του ποταμού. Σε αντίθετη περίπτωση, τα αδρομερή θα συγκεντρωθούν κατά κύριο λόγο στην είσοδο της λεκάνης.

Άλλος ένα παράγοντας που επηρεάζει την κοκκομετρία προσχωματικής λεκάνης είναι η στάθμη της θάλασσας που όμως δεν εξετάζεται στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής.

Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.1) φαίνονται οι διαφοροποιήσεις των υλικών καθ' ύψος, λόγω αποθέσεων ποταμού.



Εικόνα 4.1 Διαφοροποιήσεις υλικών καθ' ύψος, λόγω αποθέσεων ποταμού
(Πηγή: <http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1035/document.pdf>)

4.3. Κατά πλάτος κοκκομετρία

Σε μία προσχωματική λεκάνη, πέρα από τις καθ' ύψος διαφοροποιήσεις υλικού, παρουσιάζονται και διαφοροποιήσεις κατά πλάτος. Γενεσιουργός αίτια των διαφοροποιήσεων αυτών είναι οι μαιανδρισμοί των ποταμών και τα σημεία καμπής τους. Έτσι, για να μπορέσουμε να κάνουμε μία εκτίμηση της κατά πλάτους κοκκομετρίας εξετάζουμε τη διανομή και τους μηχανισμούς της στις παρακάτω θέσεις.

4.3.1. Καμπύλη ποταμού

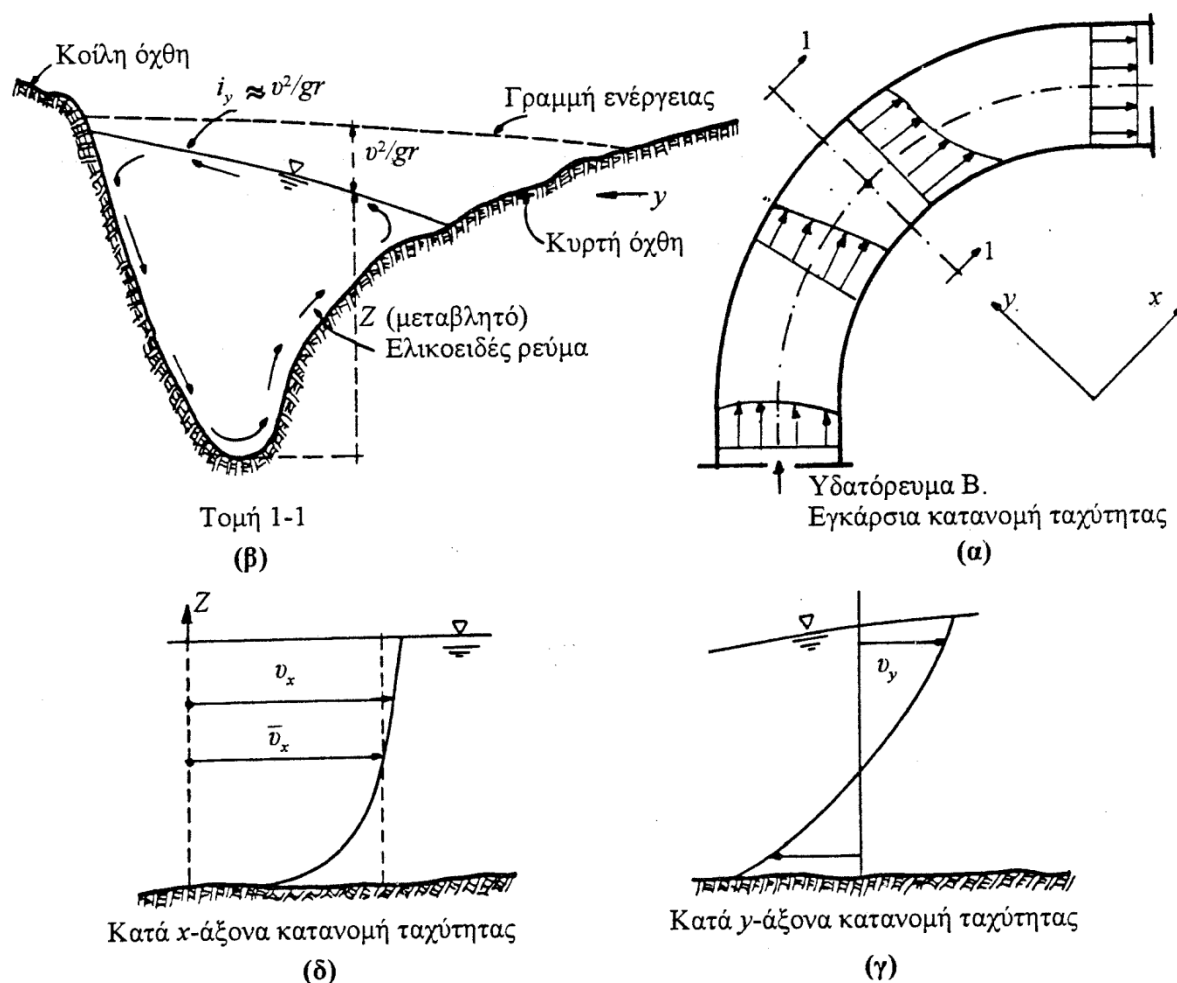
Τα φυσικά υδατορεύματα σπάνια ρέουν σε ευθύγραμμες κοίτες και όταν αυτό συμβαίνει το κάνουν μόνο για μικρά τμήματα. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται η ροή σε καμπή ποταμού σε κάτοψη και τομή και οι κατανομές ταχυτήτων κατά διεύθυνση.

Αν και δεν υπάρχει ακόμη πλήρης συμφωνία μεταξύ δυναμικών και ιζηματογενών διαδικασιών στα καμπύλα τμήματα των υδατορευμάτων, είναι αποδεκτό ότι τα κύρια χαρακτηριστικά προσδιορίζονται από τη φυγόκεντρη δύναμη που ασκείται πάνω στα μόρια του νερού που κινούνται κατά μήκος των καμπύλων τροχιών. Στις καμπύλες αυτές, αναπτύσσεται σπειροειδής ροή, που συνιστάται από την κίνηση ρευστών σωματιδίων κατά μήκος μιας ελικοειδούς τροχιάς προς τη βασική κατεύθυνση της ροής. Έτσι, εκτός από την κυρίως συνιστώσα της ταχύτητας, που είναι κάθετη στη διατομή, συνυπάρχουν και εγκάρσιες συνιστώσες επί της διατομής. Οι τελευταίες προκαλούν τη λεγόμενη δευτερεύουσα ροή στο επίπεδο της διατομής (Σχήμα 4.4). Η δευτερεύουσα ροή προκαλεί κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια κίνηση από το εσωτερικό όριο προς το εξωτερικό, ενώ κοντά στον πυθμένα προκαλεί κίνηση από το εξωτερικό όριο προς το εσωτερικό.

Η τρισδιάστατη σπειροειδής ροή που αναπτύσσεται οφείλεται κυρίως:

1. Στην τριβή του στερεού ορίου του φυσικού αγωγού, η οποία προκαλεί ταχύτητες κοντά στον άξονα του αγωγού μεγαλύτερες από τις ταχύτητες κοντά στο στερεό όριο.
2. Στη φυγόκεντρη δύναμη, η οποία εκτρέπει τα ρευστά σωματίδια από την ευθύγραμμη κίνηση.
3. Στην κατακόρυφη διανομή των ταχυτήτων της ροής πριν από την καμπύλη.

Ειδικότερα μια δεξιόστροφη καμπύλη προκαλεί προς τη φορά ροής σπείρα αντίθετη με τη φορά του ωρολογίου, ενώ μια αριστερόστροφη καμπύλη προκαλεί σπείρα κατά τη φορά του ωρολογίου. Αν η καμπύλη ακολουθείται από ευθύγραμμο τμήμα, η σπειροειδής ροή μπορεί να διατηρηθεί σε μεγάλο μήκος προς τα κατάντη.



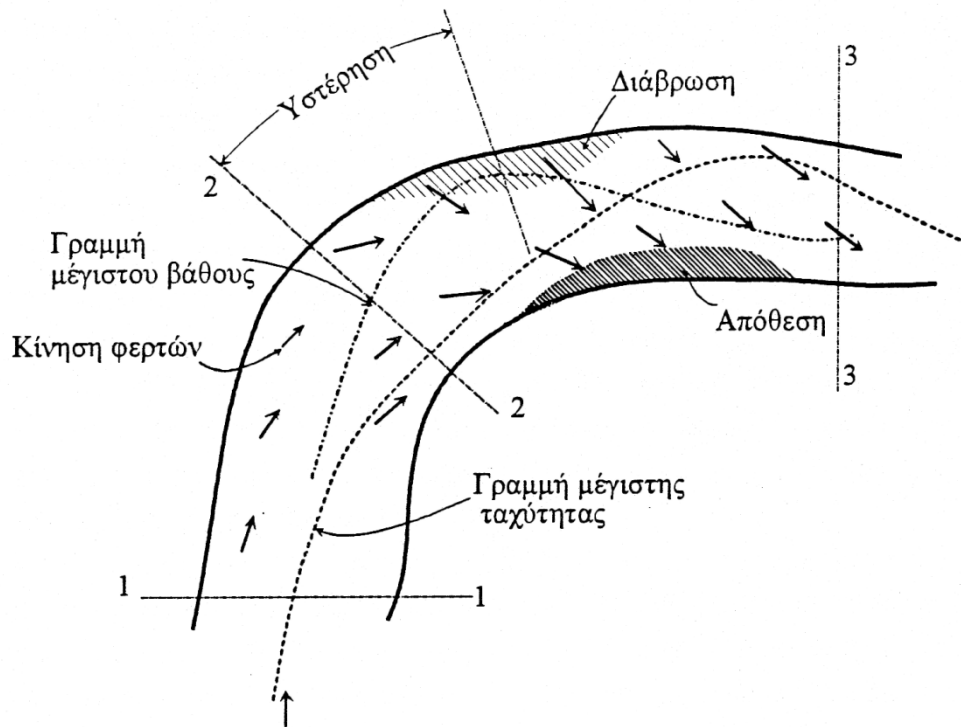
Σχήμα 4.4 Ροή σε καμπή

(Πηγή: Σημειώσεις Μηχανικής των Φερτών Υλικών, Δ. Παναγούλια – Γ. Δήμου)

Σύμφωνα με την Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, η ροή δια μέσου μιας καμπής συνοδεύεται από:

- Ο Ανύψωση της στάθμης του νερού στην εξωτερική πλευρά της καμπής
- Ο Ένα δυνατό προς τα κάτω ρεύμα στο εσωτερικό της καμπής που προκαλεί διάβρωση
- Ο Διάβρωση στο εξωτερικό και εναπόθεση στο εσωτερικό της καμπής που φτιάχνουν τη χαρακτηριστική διατομή ποταμού στις καμπές
- Ο Μια μέγιστη προς το τα εμπρός ταχύτητα κοντά στο εσωτερικό της καμπής
- Ο Μια τάση σε οποιαδήποτε θέση στην καμπή, ένα σωματίδιο νερού ή άμμου στον πυθμένα, να κινείται ισχυρότερα προς το κέντρο της καμπυλότητας από ότι ένα αντίστοιχο σωματίδιο στην επιφάνεια.

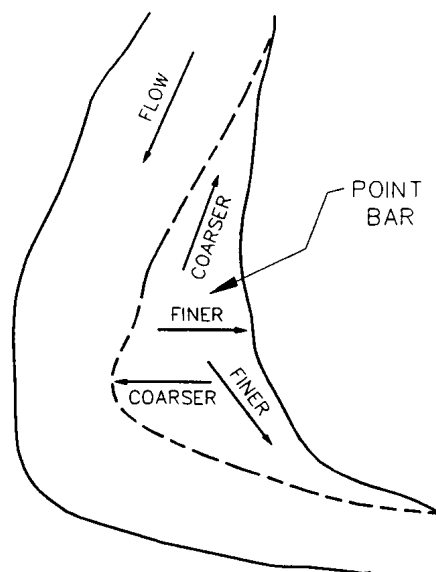
Η ύπαρξη των δευτερευόντων εγκάρσιων ρευμάτων και η κλίση της υδάτινης επιφάνειας οδηγεί σε σημαντικές αλλαγές στην κατανομή των ταχυτήτων κατά μήκος της καμπής, γεγονότα που επιδρούν στη μεταφορά φερτών στο υδατόρευμα. Αποτέλεσμα της επίδρασης των ρευμάτων αυτών, είναι η διάβρωση στο εξωτερικό όριο της καμπής και απόθεση στο εσωτερικό, προκαλώντας τοπική ανύψωση της κοίτης του υδατορεύματος στη θέση αυτή (Σχήμα 4.5). Η εγκάρσια τομή σε σημείο καμπής φανερώνει πως η κοίτη είναι συνήθως βαθύτερη στην εξωτερική όχθη, με την αντίστοιχη κλίση σχεδόν κατακόρυφη, σε αντίθεση με την κλίση της εσωτερικής όχθης η οποία είναι αρκετά ηπιότερη (Σχήμα 4.4, Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.5 Κίνηση φερτών σε καμπύλο τμήμα ροής

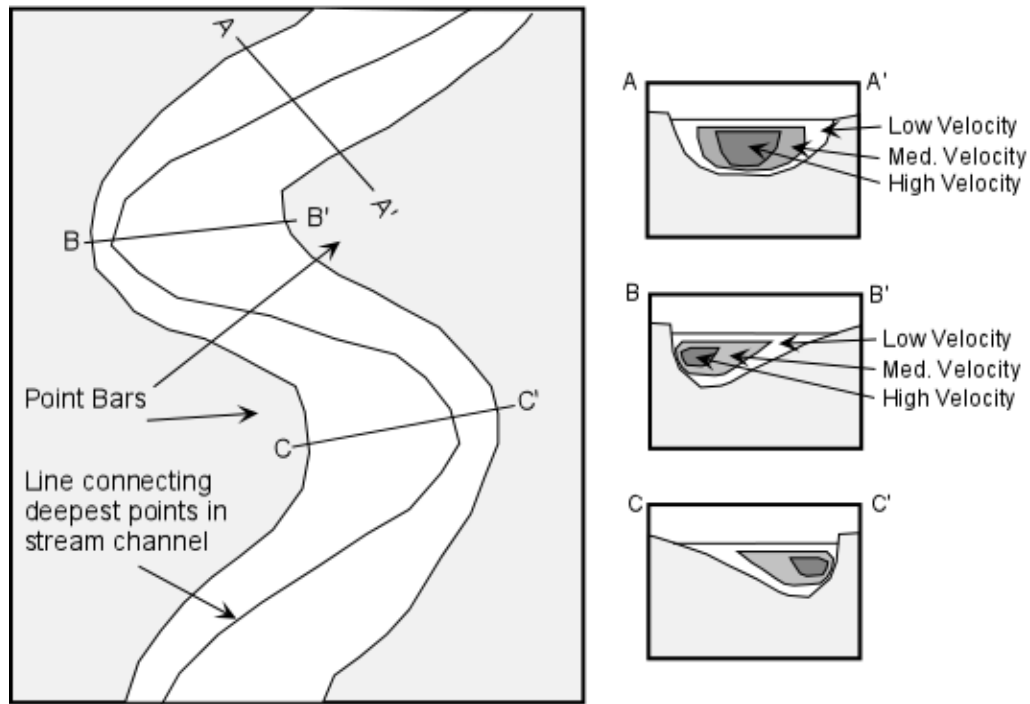
(Πηγή: Σημειώσεις Μηχανικής των Φερτών Υλικών, Δ. Παναγούλια – Γ. Δήμου)

Μια τυπική κατανομή της κοκκομετρικής διαβάθμισης των φερτών σε σημείο καμπής ποταμού παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6 που ακολουθεί. Η απόθεση των φερτών αιτιολογείται αν σκεφτούμε τις αναπτυσσόμενες ταχύτητες σε κάθε θέση. Συγκεκριμένα, τα αδρομερή υλικά εμφανίζονται σε θέσεις όπου το βάθος κοίτης γίνεται μέγιστο και αναπτύσσονται τα ισχυρότερα ρεύματα νερού (κοντά στην εξωτερική όχθη καμπής). Όσο κατευθυνόμαστε προς την εσωτερική όχθη, το βάθος ελαττώνεται όπως και η ταχύτητα του νερού με αποτέλεσμα την απόθεση υλικού μικρότερης διαμέτρου.



Σχήμα 4.6 Κατανομή φερτών σε καμπύλη ποταμού

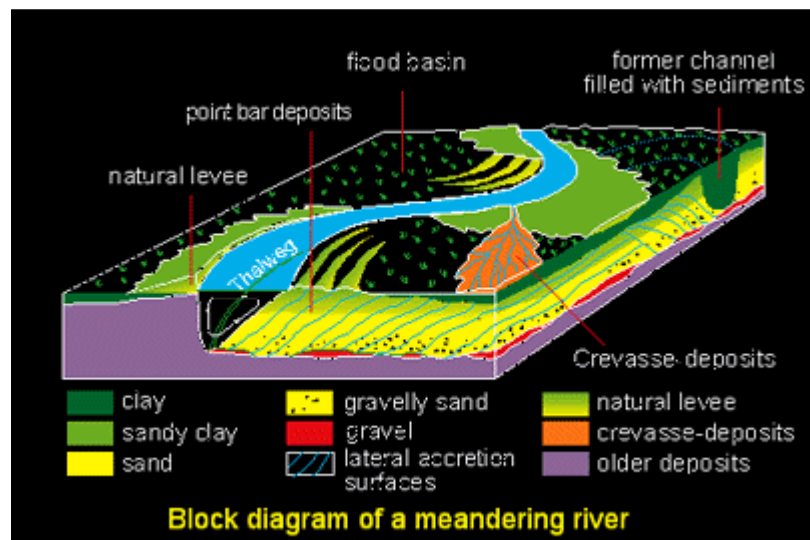
(Πηγή: Sedimentation Engineering, Processes, Measurements, Modeling, and Practice, 2007)



Σχήμα 4.7 Μορφοποίηση κοίτης σε καμπές ποταμού
(Πηγή: http://earthsci.org/flood/J_Flood04/flood/J_Flood_0.html)

4.3.2. Μαϊάνδροι

Στην λεκάνη απόθεσης το φυσικό υδατόρευμα και ιδιαίτερα ο χειμάρρος αποκτά μεγαλύτερη διατομή και ηπιότερη κλίση με αποτέλεσμα να μειώνεται η ταχύτητα ροής και η συρτική τάση. Στο χώρο αυτό αποτίθενται τα φερτά υλικά και το υδατόρευμα μπορεί να αναπτύξει πολύπλοκη ή μαιανδρική μορφή (Σχήμα 4.8).

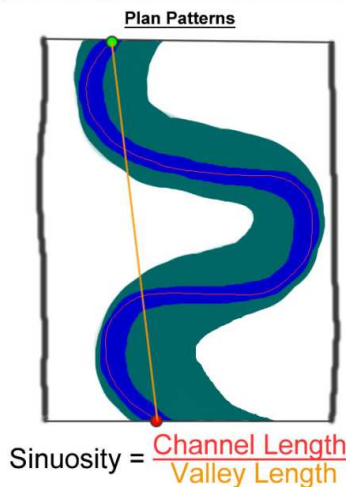


Σχήμα 4.8 Ανάπτυξη μαιάνδρου σε λεκάνη απόθεσης
(Πηγή: http://www.paleocurrents.com/castle_rock/docs/meandering_river.html)

Οι μαϊάνδροι σχηματίζονται όταν ο ποταμός συναντήσει εμπόδια στην κοίτη του όπως εκβαθύνσεις σε σχέση με το μέσο βάθος τους (pools) ή προσχώσεις (riffles). Αυτές οι παρεκκλίσεις από τη συμμετρική ροή, συνοδευόμενες από διάβρωση της όχθης, τείνουν να παρασύρουν τον όγκο του νερού στην μία ή την άλλη πλευρά του υδατορεύματος. Όταν αυτό το φαινόμενο επαναλαμβάνεται πολλές φορές έχει σαν αποτέλεσμα την ελισσόμενη κοίτη (ημιτονοειδής μορφή).

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μαιανδρικών ποταμών είναι η μικρή κλίση, ο μεγάλος συντελεστής ελιγμού (ίσος με το λόγο του μήκους μαιάνδρου προς μήκος της κοιλάδας, Σχήμα 4.9), το μεγαλύτερο ποσοστό αιωρούμενου φορτίου σε σχέση με το φορτίο κοίτης, τα μικρότερης διαμέτρου φερτά και η συνήθως σταθερή παροχή.

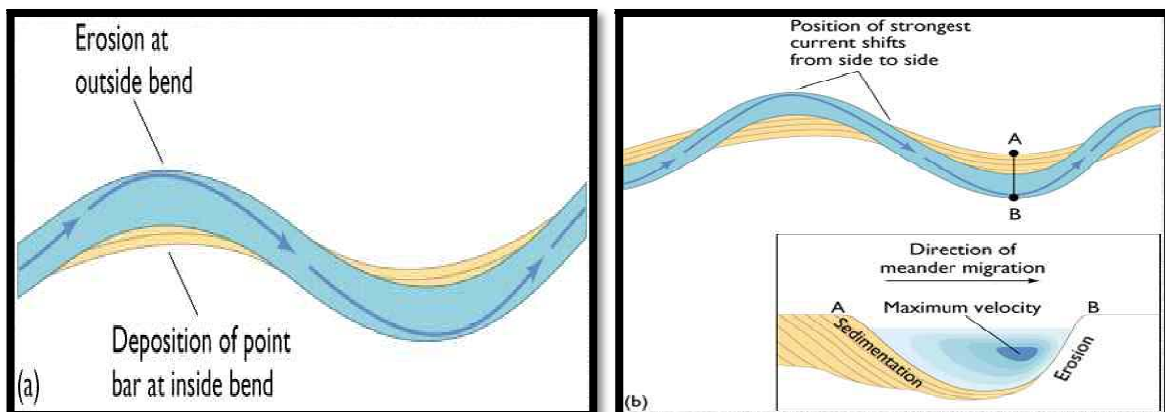
Sinuosity of Natural Channels

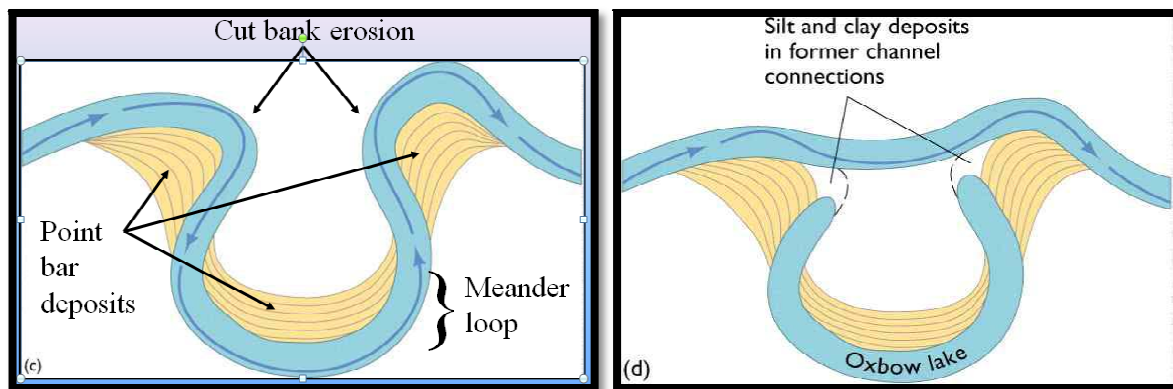


Σχήμα 4.9 Συντελεστής ελιγμού

(Πηγή: http://www.fgmorph.com/fg_3_12.php)

Με σκοπό την κατανόηση της ροής στους μαιάνδρους αρκεί να σκεφτούμε ότι αποτελούν μία ακολουθία από καμπές. Έτσι ισχύουν όσα αναφέρθηκαν παραπάνω με έμφαση στα φαινόμενα διάβρωσης και απόθεσης και στην κατανομή των ταχυτήτων. Με την πάροδο του χρόνου, η απόθεση φερτών όπως και η διάβρωση συνεχίζεται με αποτέλεσμα την εντονότερη καμπύλωση γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στη σύγκρουση μαιάνδρων, σε φαινόμενα σύντμησης και στη δημιουργία λιμνών μηνοειδούς μορφής (oxbow lakes). Η εξέλιξη αυτή στους μαιάνδρους παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.10 που ακολουθεί.





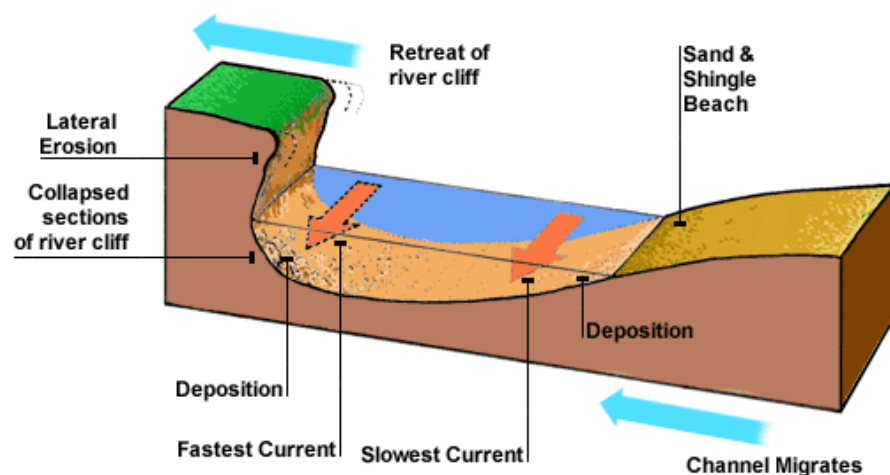
Σχήμα 4.10 Εξέλιξη μαιάνδρου

(Πηγή: http://ees2.geo.rpi.edu/abrajanCourses/public_html/RiverIntro.ppt)

Συγκεκριμένα, η δημιουργία λίμνης μηνοειδούς μορφής παρατηρείται συνήθως σε περίοδο με πλημμυρικά γεγονότα. Τότε, το νερό «ψάχνει» το γρηγορότερο και συντομότερο δρόμο χωρίς να ακολουθήσει την καμπύλη του μαιάνδρου. Τελικά, η δημιουργούμενη αυτή περιοχή λίμνης είτε θα χάσει το νερό της μέσω της εξάτμισης είτε θα λασπώσει.

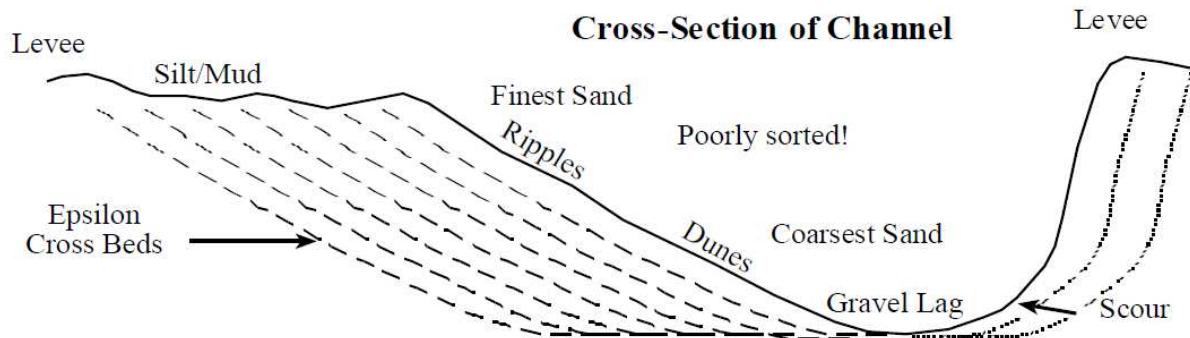
Η εξέλιξη λοιπόν του μαιάνδρου επηρεάζει σημαντικά και διαφοροποιεί την κατά πλάτος κοκκομετρία μιας προσχωματικής λεκάνης. Αναλυτικότερα, στην κοίτη ενός μαιανδρικού ποταμού όπως και σε απλή καμπή, το βάθος καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο θα διαμορφωθεί η απόθεση των φερτών. Στο μέγιστο βάθος, κοντά στην εξωτερική όχθη, αναπτύσσονται ισχυρότερα ρεύματα νερού που αιτιολογούν την απόθεση αδρομερούς υλικού, όπως χονδρή άμμος και χαλίκια. Σε αντίθεση, όσο πλησιάζουμε το εσωτερικό όριο της καμπής, τα ρεύματα ασθενούν με αποτέλεσμα την επικάλυψη λεπτότερου υλικού (Σχήμα 4.11).

Στην εξέλιξη του μαιάνδρου ανήκει και η πλευρική μετατόπισή του, μέσω της διαδοχικής διάβρωσης και απόθεσης στα σημεία καμπής. Η πλευρική αυτή μετατόπιση αιτιολογεί τις διαδοχικές στρώσεις υλικού που δημιουργούνται εντός κοίτης στην πλευρά απόθεσης (Σχήμα 4.12, Σχήμα 4.13).



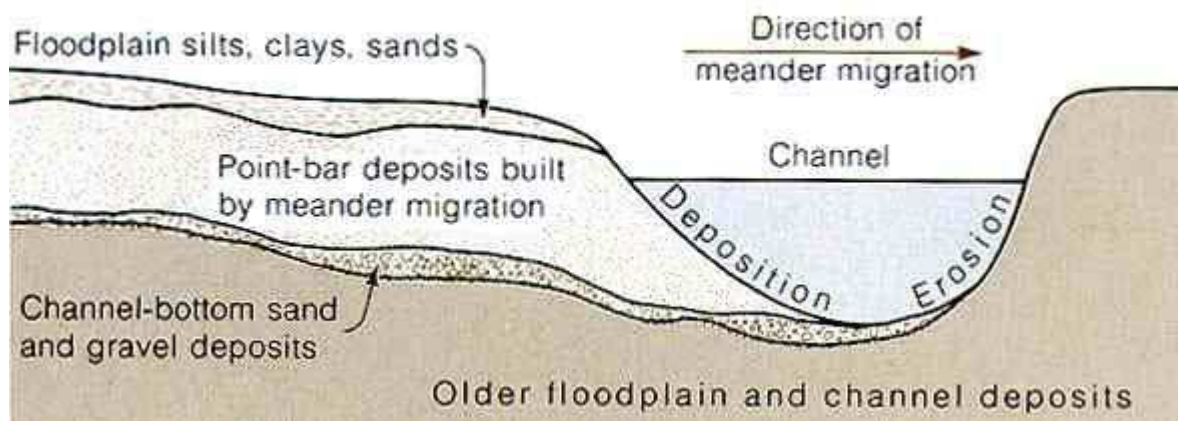
Σχήμα 4.11 Διάβρωση και απόθεση σε σημείο καμπής ποταμού

(Πηγή: http://www.bbc.co.uk/scotland/learning/bitesize/higher/geography/physical/hydrosphere_rev3.shtml)



Σχήμα 4.12 Διαδοχικές στρώσεις λόγω πλευρικής μετατόπισης μαιάνδρου

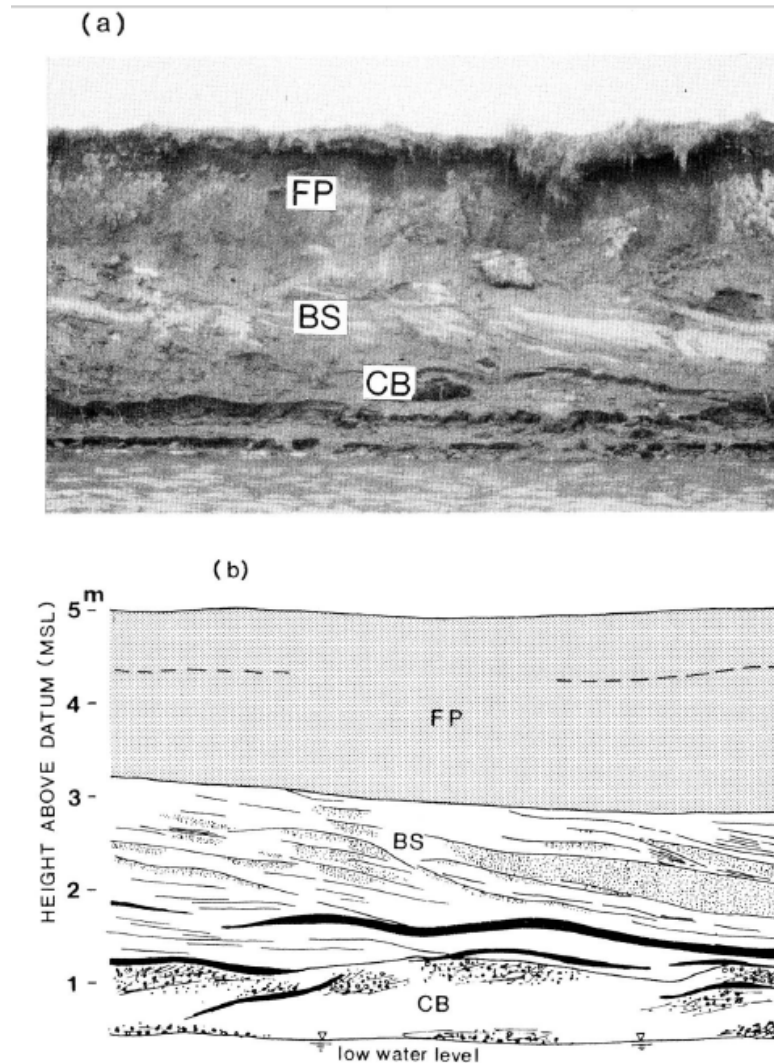
(Πηγή: <http://pkukmweb.ukm.my/~kamal/sedimentologi/berliku-1.pdf>)



Σχήμα 4.13 Κατά πλάτος κοκκομετρία σε μαιανδρικό ποτάμι

(Πηγή: http://opencourseware.kfupm.edu.sa/colleges/cs/es/geol307/files%5C5-_Handouts_Lec_13.pdf)

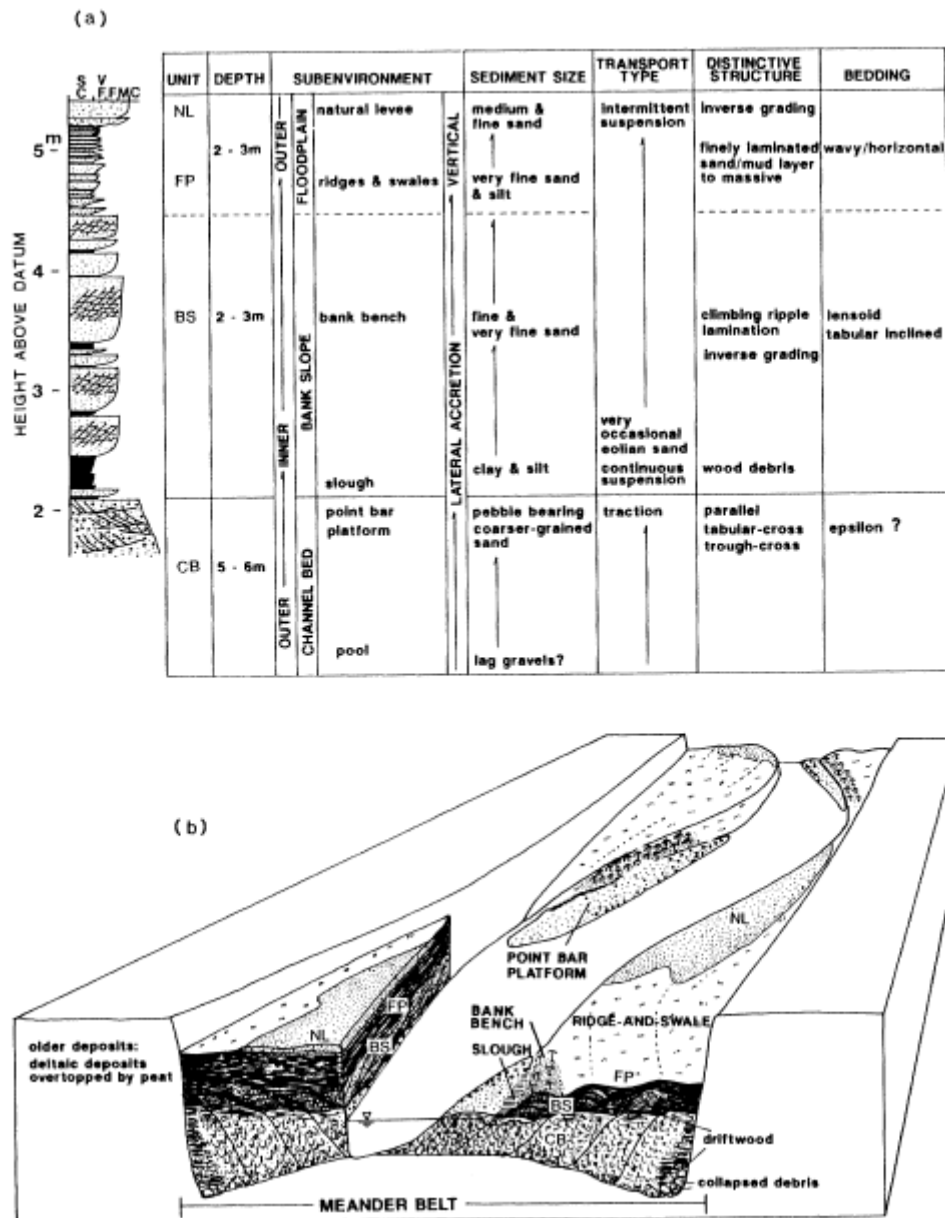
Η κοκκομετρία στην άλλη όχθη του ποταμού, όπου παρουσιάζεται διάβρωση, φαίνεται στο Σχήμα 4.14. Παρατηρώντας από κάτω προς τα πάνω, διακρίνουμε τη μείωση διαμέτρου του υλικού. Χαμηλότερα εμφανίζονται αδρομερή υλικά τα οποία απαρτίζουν το φορτίο κοίτης (Channel Bed deposits, CB). Πιθανές στρώσεις από λασπώδες υλικό είναι δυνατό να παρεμβάλλονται μεταξύ των φερτών κοίτης και εκείνων στις όχθες (Bank Slope deposits, BS) οι οποίες αποτελούνται από λεπτότερη άμμο. Τέλος, στην κορυφή, περιοχή πλημμυρικής κατάκλυσης (Floodplain deposits, FP), συναντώνται τα λεπτότερα υλικά, ιλύς και άργιλος.



Σχήμα 4.14 Εικόνα (a) και σκαρίφημα (b) τυπικής δομής κοκκομετρικής διαβάθμισης στην όχθη διάβρωσης
(Πηγή: <http://svr4.terrapub.co.jp/e-library/taira/pdf/081.pdf>)

Η δημιουργία των μηνοειδών λιμνών επιφέρει και αυτή με τη σειρά της αλλαγές στην κοκκομετρική διαβάθμιση. Το φαινόμενο της σύντμησης απομονώνει τμήματα παλιότερης απόθεσης (σε καμπές) που αποτελούνταν από άμμο και χαλίκια και τα καλύπτει με ιλύ και γενικότερα λεπτόκοκκο ίζημα προερχόμενο από πλημμυρικά γεγονότα ή πλευρικές καταπτώσεις. Συνήθως, οι αποθέσεις αυτές δημιουργούν ευδιάκριτες στρώσεις οι οποίες, πέραν των άλλων, πολύ συχνά περιέχουν υπολείμματα από φυτά, κελύφη και όστρακα.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω διαδικασίες εκτιμούμε μια πιθανή κατά πλάτος κοκκομετρία σε προσχωματική λεκάνη (Σχήμα 4.15) όπου αναπτύσσονται ποτάμια μαιανδρικής μορφής.



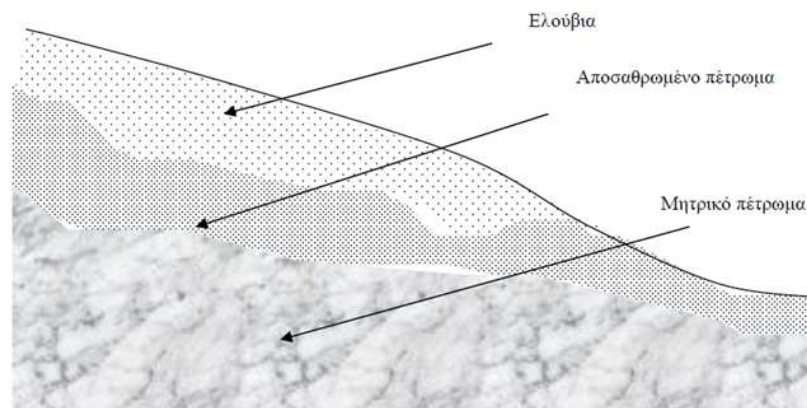
Σχήμα 4.15 Τυπική διαμόρφωση αποθέσεων σε προσχωματική λεκάνη όπου αναπτύσσεται ποτάμι μαιανδρικής μορφής
(Πηγή: <http://svr4.terrapub.co.jp/e-library/taira/pdf/081.pdf>)

4.3.3. Πλευρικά κορήματα

Τα πλευρικά κορήματα αποτελούν την τελευταία συνιστώσα διαμόρφωσης της κατά πλάτος κοκκομετρίας μιας προσχωματικής λεκάνης που εξετάζεται σε αυτή τη διπλωματική. Με τον όρο αυτό, αναφερόμαστε σε υλικά τα οποία αποσπώνται από το μητρικό πέτρωμα και μεταφέρονται σε χαμηλότερα υψόμετρα μιας πλαγιάς μέσω της βαρύτητας (σε μερικές περιπτώσεις το νερό βοηθά στην έναρξη της κίνησης). Τα κορηματικής φύσης υλικά χαρακτηρίζονται ως ετερογενή, με ακανόνιστη κοκκομετρική διαβάθμιση (από μεγάλους ογκόλιθους έως άργιλο) και γωνιώδη καθώς δεν έχουν υποστεί έντονα φαινόμενα τριβής. Έτσι λοιπόν, τα πλευρικά κορήματα είναι αιχμηρά, γωνιώδη θραύσματα πετρωμάτων τα

οποία συσσωρεύονται στη βάση απότομων πλαγιών (Σχήμα 4.16, Εικόνα 4.2). Πολλές φορές στη βιβλιογραφία συναντάμε και τον όρο ελουβιακά εδάφη ή απλά ελούβια.

Σαν σχηματισμοί είναι μέτριας περατότητας λόγω του είδους των υλικών από τα οποία συνιστώνται, του βαθμού συνεκτικότητάς τους και του μικρού σχετικού πάχους τους. Όταν η σύνθεσή τους αποτελείται από σχιστολιθικά υλικά ο βαθμός περατότητας τους μειώνεται, ενώ όταν αποτελείται από ανθρακικά υλικά (ασβεστόλιθους, δολομίτες, μάρμαρα κλπ) ο βαθμός περατότητας τους αυξάνεται λόγω της διάλυσής τους από το νερό και τη δημιουργία καρστικών κενών. Σημαντικό επίσης ρόλο παίζει και η συνεκτική ή όχι δομή τους όπως και το υλικό συγκόλλησης που μπορεί να είναι αργιλικό ή ασβεστιτικό. Σε περιπτώσεις που σχηματιστεί ικανό πάχος των υλικών αυτών, τότε έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η συμπεριφορά τους, αφού εμπεριέχουν οργανικές ύλες και άργιλο. Οι οργανικές ύλες προσδίδουν στα εδάφη πλαστικότητα, αλλά και μεγάλη συμπιεστότητα. Αποτέλεσμα είναι η μειωμένη φέρουσα ικανότητα των αποθέσεων αυτών. Σημειώνεται πως τα υλικά αυτά όταν καταλήγουν σε προσχωματική λεκάνη είναι δύσκολο να διαφοροποιηθούν από τις αλλουβιακές αποθέσεις.



Σχήμα 4.16 Ελουβιακά εδάφη

(Πηγή: http://www.civ.uth.gr/lessons/52%5Ckephalaio_3.pdf)



Εικόνα 4.2 Πλευρικά κορήματα

(Πηγή: <http://soilweb.landfood.ubc.ca/landscape/colluvial-environment>)

Τα αιολικά ιζήματα, εκείνα δηλαδή που μεταφέρονται μέσω του ανέμου, αποτελούν ένα σημαντικό κεφάλαιο στη διαμόρφωση της κοκκομετρίας σε μια προσχωματική λεκάνη. Παρ' όλα αυτά, δεν εξετάζονται σε αυτή τη διπλωματική καθώς εμφανίζονται συνήθως σε ξηρές και ημιάνυδρες περιοχές που δεν συναντάμε συχνά στα ελληνικά εδάφη.

4.4. Φαινόμενο διαγένεσης

Υπενθυμίζεται ότι τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίστηκαν στη επιφάνεια της γης από την καταστροφή προϋπαρχόντων πετρωμάτων. Τα υλικά αποσάθρωσης ή απόσπασης από το υγιές πέτρωμα μεταφέρονται μέσω της βαρύτητας, του αέρα και του νερού σε χαμηλότερα σημεία όπου και συσσωρεύονται, σε χερσαίες λεκάνες, σε λίμνες και θάλασσες. Εκεί με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή επισώρευση τα χαλαρά ή απλώς συνεκτικά υλικά, μετατρέπονται σε συμπαγή, δηλαδή σε πετρώματα μέσω της διαγένεσης.

Ως διαγένεση, σύμφωνα με την διδακτορική διατριβή της Μ. Κάτη (1999), ορίζεται το σύνολο των μετατροπών των ιστολογικών χαρακτήρων ή και της σύστασης των ιζημάτων, από τη χρονική στιγμή απόθεσης αυτών έως τη στιγμή που τα τελικά τους προϊόντα, τα ιζηματογενή πετρώματα, εισέλθουν στο πεδίο της μεταμόρφωσης. Το φαινόμενο αυτό περιλαμβάνει τόσο φυσικές όσο και χημικές διεργασίες. Αν και οι διεργασίες ξεκινούν με την αλληλεπίδραση του ιζήματος με το νερό ή τον αέρα, το φαινόμενο της διαγένεσης πραγματοποιείται σε μεγάλο βαθμό κάτω από την επιφάνεια του εδάφους όπου οι πόροι του εδαφικού σκελετού έχουν γεμίσει νερό. Το βάθος όπου συντελούνται οι διεργασίες δεν είναι καθορισμένο και μπορεί να διαφέρει από χιλιοστά έως και χιλιόμετρα.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν και συντελούν στη διαγένεση είναι η αρχική σύσταση του ιζήματος, ο ρυθμός ροής των ρευστών των πόρων, η σύσταση των ρευστών αυτών, η γεωλογική ιστορία του ιζήματος, οι ασκούμενες πιέσεις σε αυτό από ανώτερα στρώματα, η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία, το κλίμα, οι αλλαγές του επιπέδου της θαλάσσιας στάθμης και ο χρόνος επενέργειας των παραπάνω παραγόντων.

Ως προς τις προσχωματικές αποθέσεις, το φαινόμενο της διαγένεσης (μέσω των επιμέρους διαδικασιών συγκόλλησης, συμπίεσης κ.ά.), προκαλεί τοπικά σταδιακή αλλαγή στην κοκκομετρική διαβάθμιση, συνήθως σε οριζόντιες διευθύνσεις και δημιουργεί φραγμούς στη ροή νερού διαμέσου των πόρων. Είναι εμφανές πως επηρεάζεται εκτός των άλλων η οριζόντια και η κατακόρυφη διαπερατότητα, συνεπώς και το πορώδες, μέγεθος που καθορίζει τη δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα.

5. Φαινόμενο Υφαλμύρωσης

5.1. Γενική περιγραφή φαινομένου

Στις παράκτιες περιοχές, η θάλασσα έρχεται σε επαφή με τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα. Υπό φυσικές συνθήκες οι υπόγειοι υδροφορείς αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα, όμως σε περίπτωση που η στάθμη του γλυκού νερού μειωθεί τότε η ροή του νερού αντιστρέφεται. Το αποτέλεσμα είναι η διείσδυση του θαλασσινού νερού στους παράκτιους υδροφορείς και πρόκειται στην πραγματικότητα για ένα ιδιαίτερα σοβαρό φαινόμενο, το οποίο είναι γνωστό με τον όρο υφαλμύρωση. Η σοβαρότητα του φαινομένου έγκειται στο γεγονός πως ταυτόχρονα αποτελεί ένα ιδιαίτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα, από τη στιγμή που η ανάμιξη του θαλασσινού νερού με το γλυκό, το καθιστά ακατάλληλο για κάθε χρήση. Στη βιβλιογραφία επικρατεί σύγχυση σχετικά με τους όρους υφαλμύρωση και υφαλμύριση. Σύμφωνα με τον Γ. Μπαμπινιώτη ο ορθός όρος είναι υφαλμύρωση από το υφάλμυρος (< υπό + αλμυρός) που σημαίνει καθιστώ το νερό υφάλμυρο. Ο σχηματισμός σε –ωση δικαιολογείται γιατί δηλώνει ένα είδος πάθησης – αρνητικής επίδρασης που προκαλείται στο νερό.

Το φαινόμενο αυτό έχει αρνητικές επιπτώσεις στις περιοχές που εμφανίζεται. Η ρύπανση των υδάτων τα καθιστά ακατάλληλα για κάθε χρήση από τον άνθρωπο, με συνέπεια κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα. Πρέπει να τονιστεί ότι το φαινόμενο δεν μπορεί να θεωρηθεί αναστρέψιμο, γι' αυτό η αντιμετώπισή του συνδέεται πρακτικά με πρόβλεψη και ορθή διαχείριση.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην Ελλάδα είναι η υφαλμύρωση με άμεσο κίνδυνο για την ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών της (Σχήμα 5.1). Ο λόγος που το πρόβλημα αποκτά ιδιαίτερα σημαντικές διαστάσεις οφείλεται σε δύο βασικούς παράγοντες. Πρώτον, η έξαρση του φυσικού φαινομένου σχετίζεται με το μεγάλο μήκος ακτογραμμής που ξεπερνά τα 15.000 km. Δεύτερον, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες εντείνουν το πρόβλημα με την υπεράντληση των υδάτων και συνεπώς τη διείσδυση του θαλασσινού νερού στους υπόγειους ορίζοντες. Το πρόβλημα εντείνεται με την ανύπαρκτη διαχείριση των υδατικών πόρων, την ανεξέλεγκτη σπατάλη όγκων νερού στον αγροτικό τομέα και τις παράνομες γεωτρήσεις.



Σχήμα 5.1 Χάρτης υφάλμυρων υπόγειων νερών θαλάσσιας διείσδυσης
(Πηγή: http://www.ekby.gr/ekby/el/amphivion_el/issue58.pdf)

5.2. Αίτιες πρόκλησης του φαινομένου

Η υφαλμύρωση μπορεί να οφείλεται, όπως αναφέρεται στη διπλωματική εργασία της Ε. Αβραμίδου «Το φαινόμενο της υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό χώρο», σε φυσικά αίτια όπως γεωλογικοί παράγοντες, συχνά όμως οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι αυτές που εντείνουν το πρόβλημα.

Οι γεωλογικοί παράγοντες που ευθύνονται για το πρόβλημα της υφαλμύρωσης είναι:

- Η διάλυση των πετρωμάτων που φιλοξενούν το υπόγειο νερό, ειδικά όταν πρόκειται για πετρώματα πλούσια σε άλατα
- Η εισχώρηση του θαλασσινού νερού στο υπέδαφος μέσω ρηγμάτων, διακλάσεων και ρωγμών.
- Η παγίδευση του θαλασσινού νερού από παλαιότερες γεωλογικές εποχές στα πετρώματα.
- Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, οι καθοδικές κινήσεις ξηράς ή και συνδυασμός των δύο.

Οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο αυτό σχετίζονται κυρίως με την υπεράντληση των υπόγειων υδάτων. Η υφαλμύρωση όμως είναι δυνατό να προκληθεί και από τις παρακάτω δραστηριότητες.

- Νερό υφάλμυρο που προέρχεται από απόβλητα βιομηχανιών ή ορυχείων μπορεί να εισέλθει στον υδροφορέα.
- Το αλάτι που χρησιμοποιείται το χειμώνα για το λιώσιμο των πάγων στους δρόμους μπορεί μέσω των φρεατίων να εισέλθει στο υπόγειο νερό.
- Το νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση, σε περίπτωση που συγκεντρώνει διαλυμένα άλατα και εισχωρήσει στους υπόγειους υδροφορείς.
- Η απόρριψη άλμης των εργοστασίων αφαλάτωσης (ιδίως στα νησιά) μπορεί να προκαλέσει υφαλμύρωση του υπόγειου νερού, ειδικά αν η απόρριψη γίνει σε σημείο κοντά στην ακτή.

5.3. Θαλάσσια διείδυση σε παράκτιους φυσικούς υδροφορείς

Το γλυκό νερό των υπόγειων υδροφορέων είναι ελαφρύτερο και επιπλέει πάνω από το αλμυρό, θαλασσινό νερό ($\rho_f = 1,0 \text{ gr/cm}^3$, $\rho_s = 1,025 \text{ gr/cm}^3$). Η επαφή τους θεωρείται ως μία ζώνη και όχι σαν μια απλή επιφάνεια και ονομάζεται ζώνη διεπιφάνειας. Σε κάθε σημείο της διεπιφάνειας αυτής, η πίεση του υπερκείμενου γλυκού νερού εξισορροπεί την πίεση του υποκείμενου αλμυρού (Σχήμα 5.2). Η σχέση που διέπει αυτή τη ισορροπία είναι η ακόλουθη:

$$\rho_s g Z = \rho_f g (Z+h) \Rightarrow Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h$$

όπου:

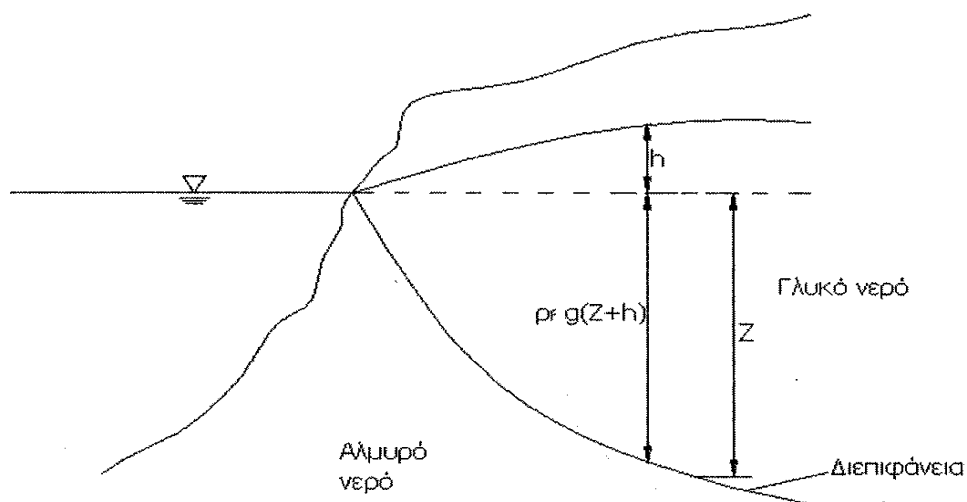
ρ_s = η πυκνότητα του αλμυρού νερού

ρ_f = η πυκνότητα του γλυκού νερού

Z = το βάθος της διεπιφάνειας σε κάθε σημείο

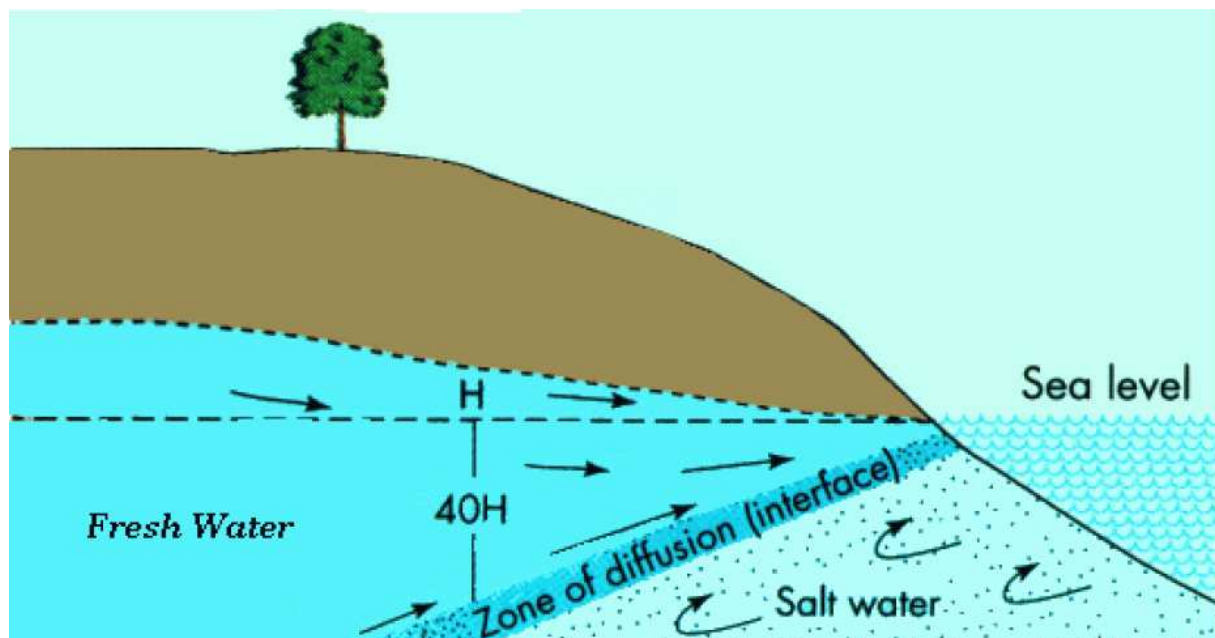
h = το πιεζομετρικό ύψος πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας σε κάθε σημείο

Η τελευταία σχέση ονομάζεται εξίσωση των Ghyben- Herberg και αγνοεί την κίνηση του νερού. Για τυπικές τιμές πυκνότητας, η εξίσωση λαμβάνει τη μορφή $Z = 40h$, δηλαδή το θαλασσινό νερό συναντάται σε βάθος ίσο με 40 φορές το ύψος του γλυκού νερού.

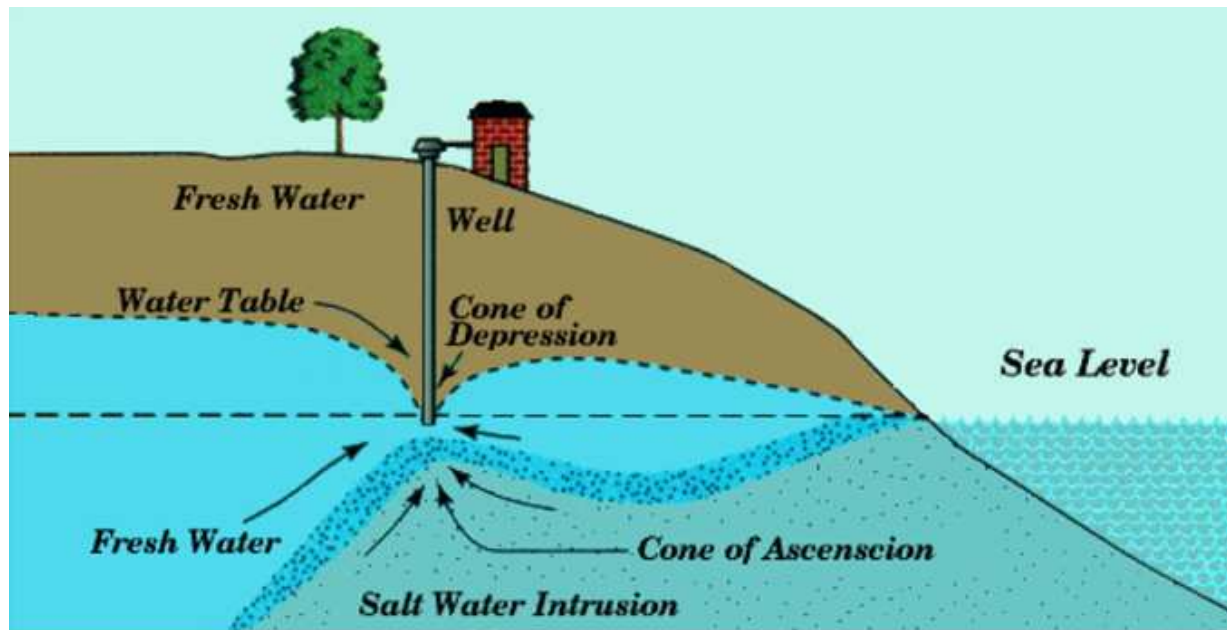


Σχήμα 5.2 Ισορροπία γλυκού και αλμυρού νερού σε ελεύθερο παράκτιο υδροφορέα
(Πηγή: Τεχνική Υδρολογία, 2006)

Η επαφή του γλυκού νερού με το αλμυρό φαίνεται στο Σχήμα 5.3. Σε περίπτωση υπεράντλησης η ισορροπία αυτή διαταράσσεται. Αποτέλεσμα είναι η άντληση υφάλμυρου νερού και διείσδυση της θάλασσας στον παράκτιο υδροφορέα (Σχήμα 5.4)

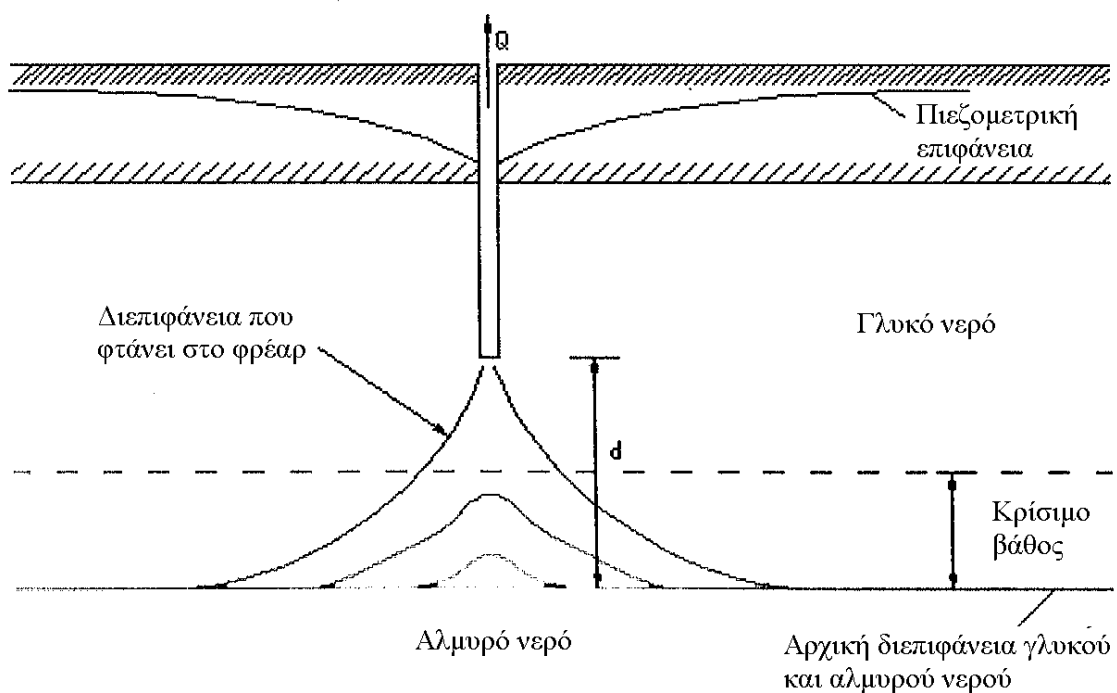


Σχήμα 5.3 Επαφή γλυκού με αλμυρό νερό
(Πηγή: <http://invenio.lib.auth.gr/record/100838/files/gri-2008-1098.pdf?version=1>)



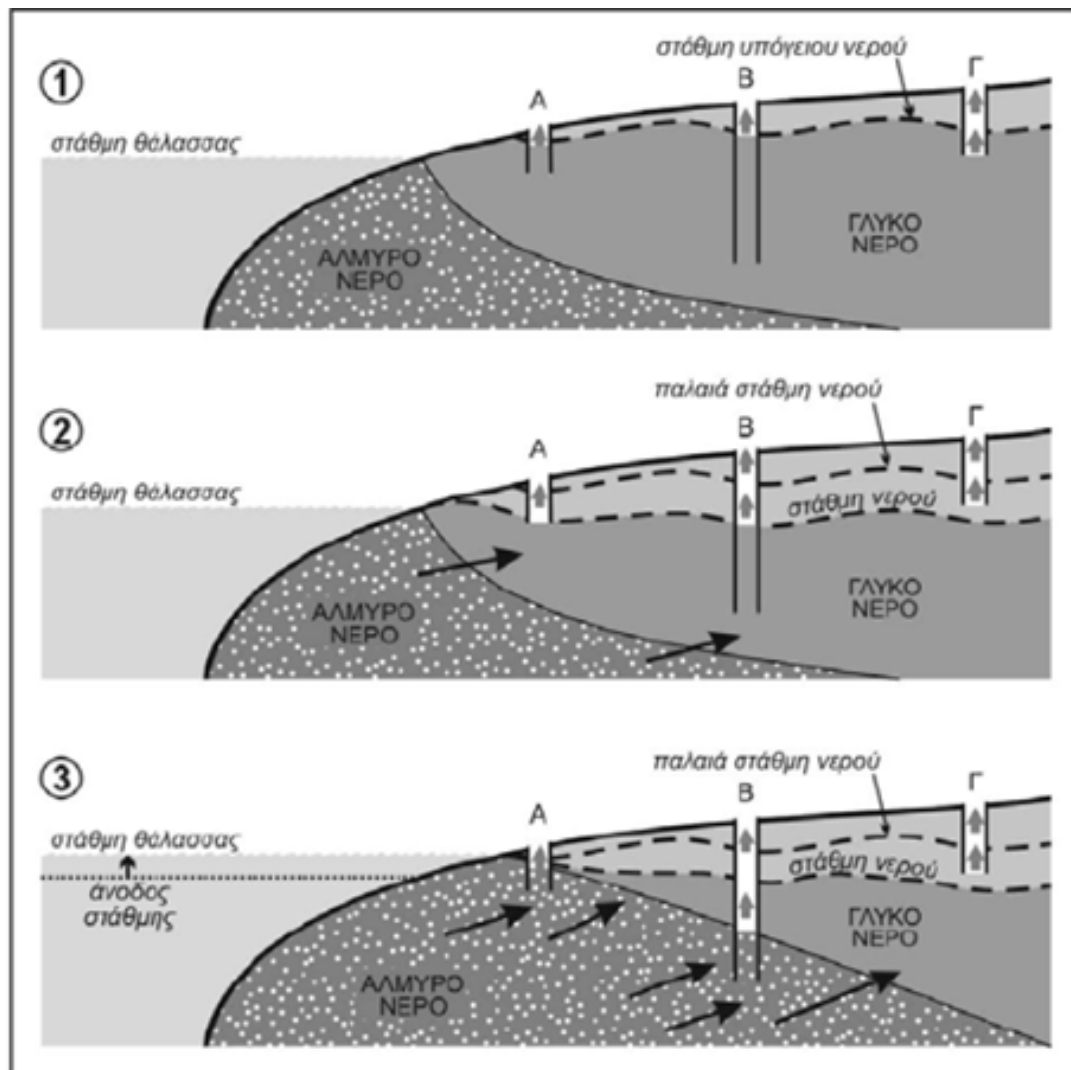
Σχήμα 5.4 Αντληση υφάλμυρου νερού από γεώτρηση κοντά στην ακτή
(Πηγή: <http://invenio.lib.auth.gr/record/100838/files/gri-2008-1098.pdf?version=1>)

Αναλυτικότερα, κατά την άντληση ελαττώνεται η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, συνεπώς και το h . Ομοίως μειώνεται και το Z καθώς ανυψώνεται η διεπιφάνεια προς το φρέαρ άντλησης σχηματίζοντας τον λεγόμενο κώνο ανύψωσης (Σχήμα 5.5)



Σχήμα 5.5 Κώνος ανύψωσης αλμυρού νερού κάτω από φρέαρ άντλησης
(Πηγή: Τεχνική Υδρολογία, 2006)

Τα στάδια του φαινομένου της υφαλμύρωσης λόγω υπεράντλησης φαίνονται στο Σχήμα 5.6. Συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο υπάρχει ισορροπία μεταξύ αλμυρού και γλυκού νερού και αντλείται αποκλειστικά γλυκό νερό από τις τρεις γεωτρήσεις Α, Β, Γ που υπάρχουν στην ακτή. Στο δεύτερο στάδιο η στάθμη του γλυκού νερού έχει κατέβει λόγω άντλησης από τις τρεις γεωτρήσεις. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αλμυρό νερό να εισέρχεται όλο και περισσότερο στη στεριά, οπότε και σε συνδυασμό με άνοδο της στάθμης της θάλασσας, στο τρίτο στάδιο αντλείται αποκλειστικά αλμυρό νερό από τις γεωτρήσεις Α και Β.



Σχήμα 5.6 Στάδια του φαινομένου υφαλμύρωσης λόγω υπεράντλησης
(Πηγή: <http://invenio.lib.auth.gr/record/100838/files/gri-2008-1098.pdf?version=1>)

5.4. Μέθοδοι και τεχνικές αντιμετώπισης του φαινομένου

Τα μέτρα προστασίας και ορθολογικής διαχείρισης παράκτιων υδροφορέων συνδέονται με τον τρόπο και την ένταση με την οποία εκμεταλλεύονται. Για τη βελτίωση της ποιότητας του αντλούμενου νερού από τις υφάλμυρες γεωτρήσεις και τον περιορισμό του φαινομένου διείσδυσης της θάλασσας στην ενδοχώρα απαιτείται μείωση των αντλήσεων από τους παράκτιους υδροφορείς ώστε να μην υπερβαίνουν την ασφαλή απόδοσή τους, τροποποίηση

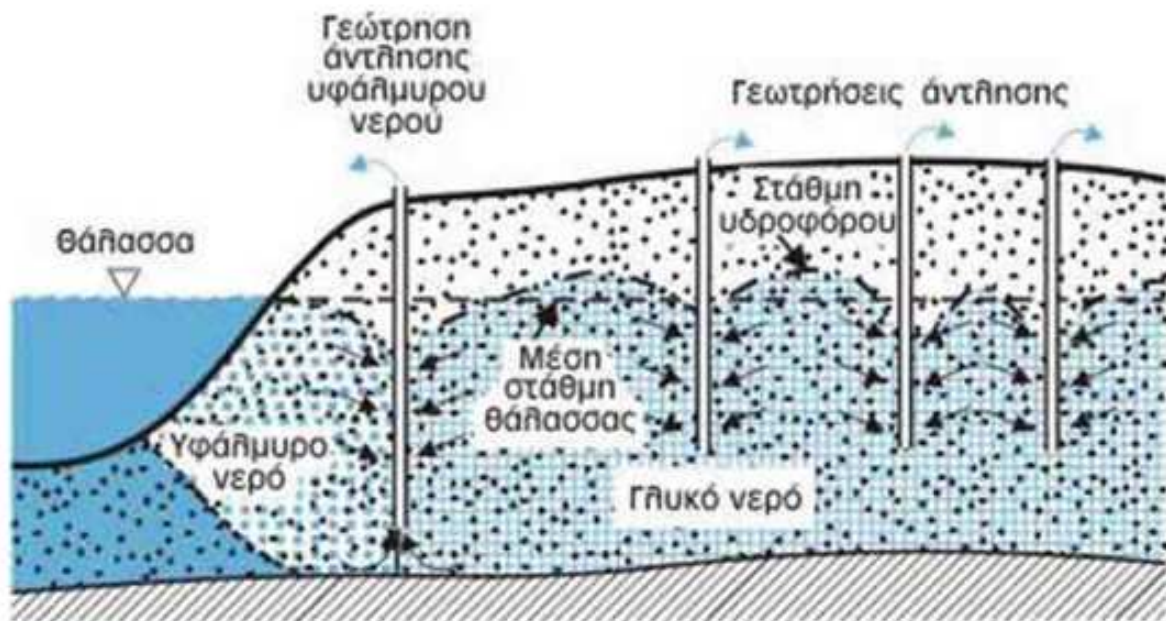
του σχεδίου άντλησης, τεχνητός εμπλουτισμός με την αξιοποίηση των επιφανειακών χειμερινών απορροών κ.ά. Η χρήση και αποκατάσταση παράκτιων υδροφορέων πρέπει να αποτελεί μέρος ενός γενικότερου πλαισίου ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων των παράκτιων περιοχών και να εξετάζονται ποιοτικά και ποσοτικά τόσο τα επιφανειακά όσο και τα υπόγεια νερά. Ένας διαχωρισμός των μεθόδων αντιμετώπισης του φαινομένου γίνεται με βάση το σκοπό τους και το στάδιο στο οποίο έχει προχωρήσει η υφαλμύρωση.

Αρχικά, στόχος είναι η βελτιστοποίηση των αντλήσεων στους παράκτιους υδροφορείς για την πρόληψη του φαινομένου. Αν και οι ανάγκες για νερό συνεχώς αυξάνονται λόγω αύξησης πληθυσμού, ανάπτυξης βιοτικού επιπέδου και τουρισμού, οι διαθέσιμοι υδατικοί πόροι είναι περιορισμένοι και πρέπει να χρησιμοποιούνται όσο το δυνατόν καλύτερα ώστε να προστατευτούν και να συνεχίσουν να καλύπτουν και στο μέλλον τις ανάγκες με βιώσιμο τρόπο. Είναι αναγκαίο, να καθοριστούν και να ελέγχονται οι βέλτιστες ποσότητες που μπορούν να αντληθούν από υδροφορείς σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά τους και να τροποποιηθεί το γενικό σχέδιο άντλησης. Αυτό μπορεί να σημαίνει είτε ανακατανομή των αντλήσεων και απομάκρυνση τους από την ακτή, είτε χρήση πολλών μικρών αντλήσεων παρά λίγων με μεγάλη παροχή.

Για την αποτροπή της θαλάσσιας διείσδυσης είναι δυνατό να δημιουργήσουμε υπόγειους φραγμούς με τους εξής τρόπους:

- Δημιουργία φραγμού από υπεράντληση στην ακτή

Ο φραγμός αυτός δημιουργείται, όταν κοντά στην ακτή και κατά μήκος μιας σειράς γεωτρήσεων εφαρμόζεται ισχυρή και συνεχής άντληση (Σχήμα 5.7). Με τον τρόπο αυτό η ροή του γλυκού νερού κατευθύνεται προς τη θάλασσα και εμποδίζεται ταυτόχρονα η διείσδυση του θαλασσινού νερού προς τη στεριά. Το αντλούμενο γλυκό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις ανάγκες των παραθαλάσσιων περιοχών ενώ το υφάλμυρο νερό που αντλείται ρίχνεται στη θάλασσα.

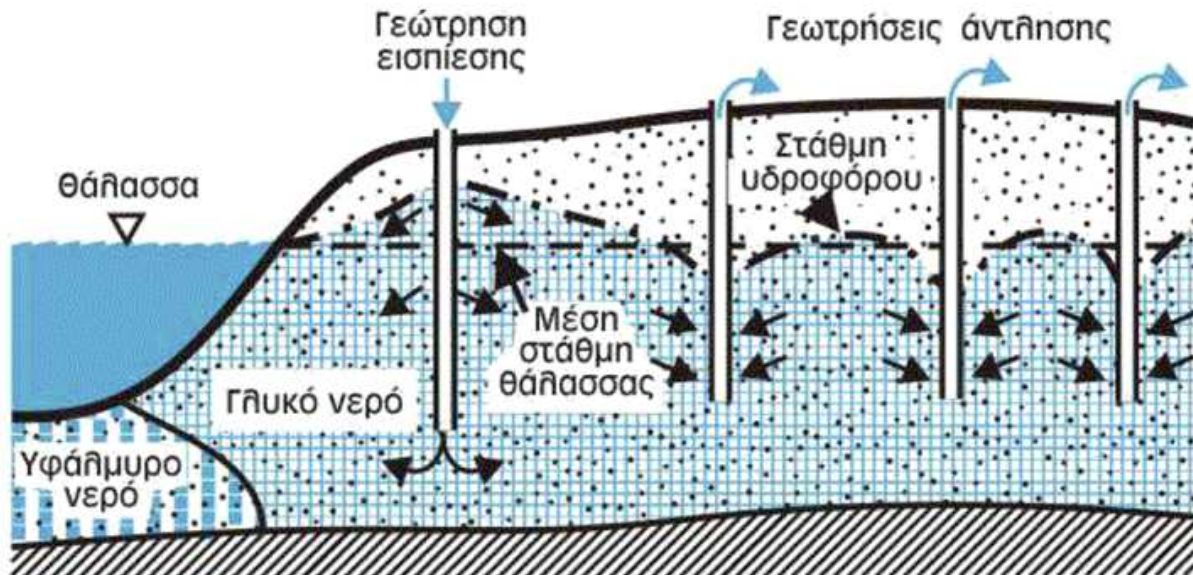


Σχήμα 5.7 Δημιουργία φραγμού από υπεράντληση κοντά στην ακτή

(Πηγή: Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική υδρογεωλογία, 2001)

- Δημιουργία φραγμού μέσω τεχνητού εμπλουτισμού

Σε αυτή την περίπτωση εισπίζεται γλυκό νερό στη γεώτρηση (Σχήμα 5.8). Το κόστος όμως είναι ιδιαίτερα υψηλό και μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ποιότητα του εισπιεζόμενου νερού καθώς μπορεί να προκληθεί μόλυνση του υδροφορέα.

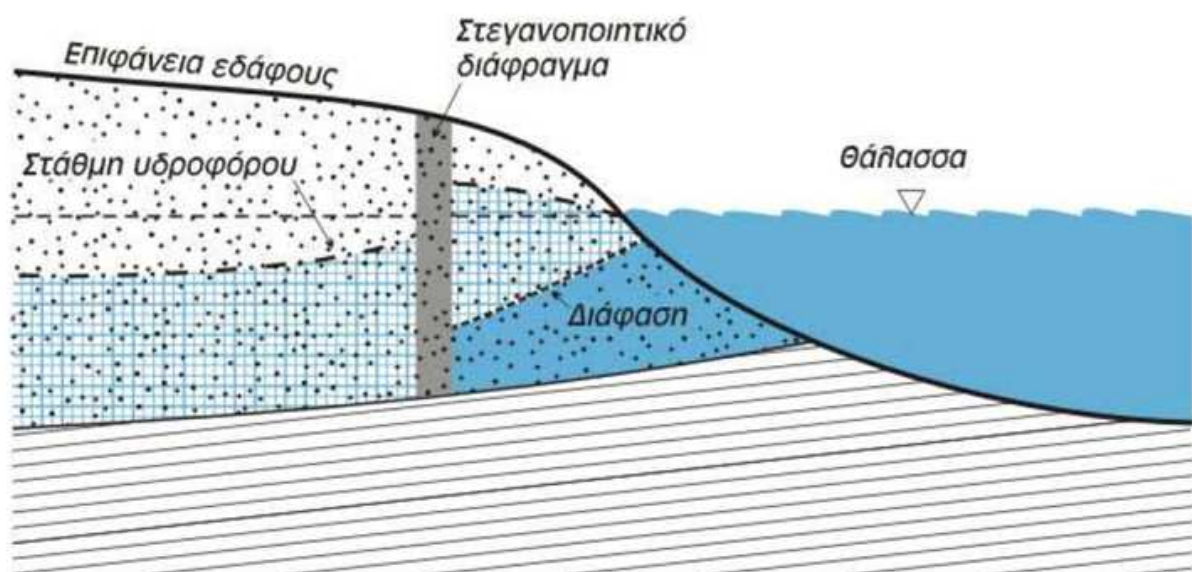


Σχήμα 5.8 Δημιουργία φραγμού από τεχνητό εμπλουτισμό κοντά στην ακτή

(Πηγή: Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική υδρογεωλογία, 2001)

- Κατασκευή διαφράγματος

Η κατασκευή ενός στεγανού διαφράγματος, παράλληλα προς την ακτή και σε όλο το πάχος του υδροφορέα, εμποδίζει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα (Σχήμα 5.9). Η συγκεκριμένη μέθοδος θα εξεταστεί παρακάτω λεπτομερώς.



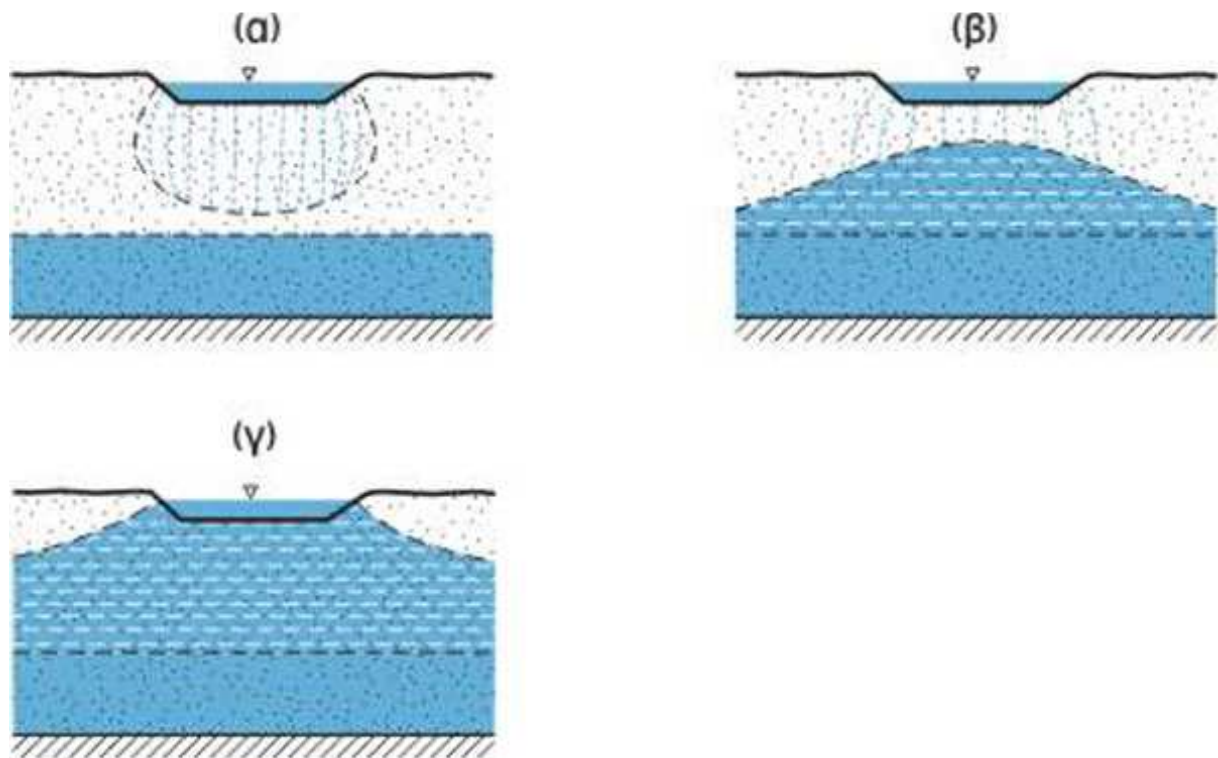
Σχήμα 5.9 Δημιουργία στεγανού διαφράγματος κοντά στην ακτή

(Πηγή: Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική υδρογεωλογία, 2001)

Άλλος ένας τρόπος αντιμετώπισης του φαινομένου της υφαλμύρωσης και μάλιστα σημαντικός, είναι ο τεχνητός εμπλουτισμός. Με τον όρο αυτό, χαρακτηρίζουμε τη διαδικασία αύξησης των ποσοτήτων νερού που εισέρχονται στα υδροφόρα στρώματα μέσω της ανθρώπινης επέμβασης.

Αν και ο τεχνητός εμπλουτισμός μπορεί να εξυπηρετεί πολλούς σκοπούς, στη συγκεκριμένη περίπτωση, στοχεύει στην αποκατάσταση της υδρολογικής ισορροπίας υδροφόρων στρωμάτων ή συστημάτων, που διαταράχθηκε λόγω υπερεκμετάλλευσης και στη σύγχρονη πρόκληση ανόδου της στάθμης (τοπικά ή γενικά) του υπόγειου ύδατος για την αποφυγή ή την αναχαίτιση διείσδυσης της θάλασσας και υφαλμύρωσης των υδροφορέων.

Προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου αυτής είναι να υπάρχει επιφανειακό νερό σε επαρκή ποσότητα, η ποιότητα του επιφανειακού νερού να είναι κατάλληλη και χημικά συμβατή με αυτήν του υπόγειου, να υπάρχουν κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες (επιφάνειες και υπέδαφος με μεγάλη περατότητα, υδροφόρα στρώματα σε αλληλουχία και σε υδραυλική διασύνδεση κλπ) και τέλος το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος να μην είναι ασύμφορο. Υπάρχουν πολλοί τρόποι και μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού. Ενδεικτικά, στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η εξέλιξη του εμπλουτισμού από μία τάφρο (Σχήμα 5.10)



Σχήμα 5.10 Εξέλιξη του τεχνητού εμπλουτισμού από μία τάφρο

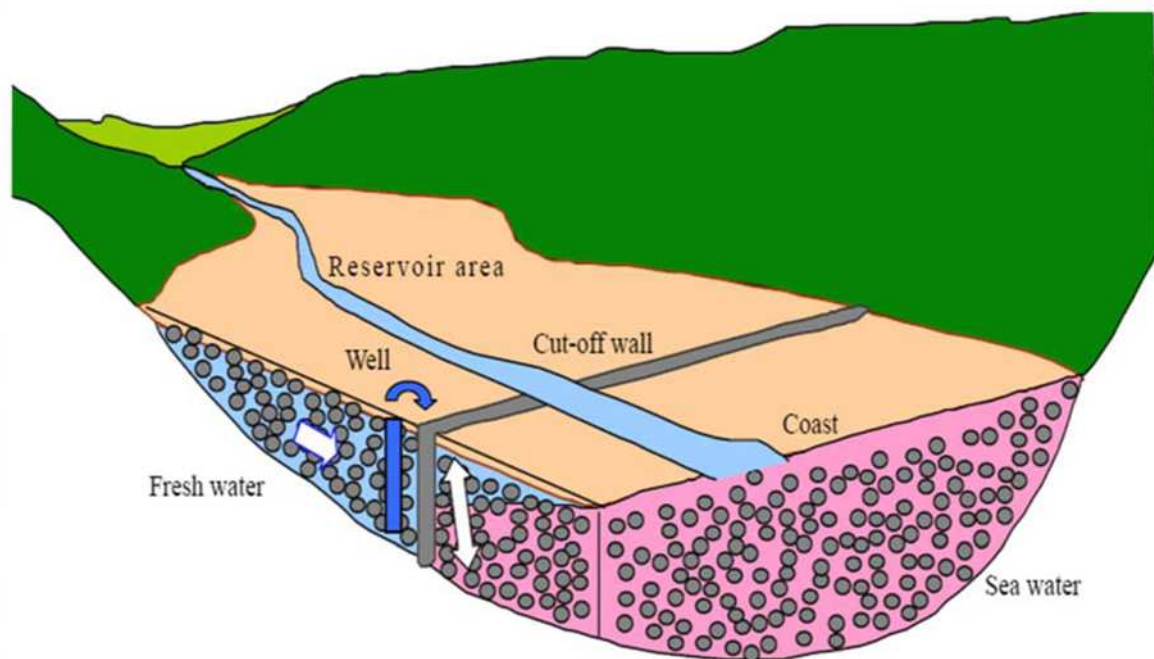
(Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/763/ch7.htm>)

Η αφαλάτωση του αλμυρού νερού με στόχο την μετατροπή του σε γλυκό είναι επίσης μία μέθοδος, η οποία μπορεί να αντιμετωπίσει εκ των υστέρων το πρόβλημα της υφαλμύρωσης. Στόχος της είναι η απομάκρυνση των επιπλέον ιόντων από το νερό ώστε να καταστεί αυτό πόσιμο από τον άνθρωπο. Το σοβαρότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι το γεγονός πως η λειτουργία των μονάδων αφαλάτωσης είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα και συνεπώς το κόστος πολύ υψηλό.

Όποια όμως και αν είναι η μέθοδος αντιμετώπισης του προβλήματος, είναι απαραίτητο να κατανοηθεί το φυσικό σύστημα και να περιγραφεί όσο είναι δυνατό με μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης, παρά τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται (ύπαρξη δύο φάσεων ρευστού, εξάρτηση κίνηση τους από την πυκνότητα και μεταβολή σε συνάρτηση με το χώρο και το χρόνο, άμεση επιρροή με τις παραμέτρους του υδροφορέα). Η ορθολογική διαχείριση του υπόγειου νερού είναι θεμελιώδης και απαιτεί ύπαρξη επαρκών και αξιόπιστων μετρήσεων πεδίου.

5.5. Το διάφραγμα στην αντιμετώπιση του φαινομένου

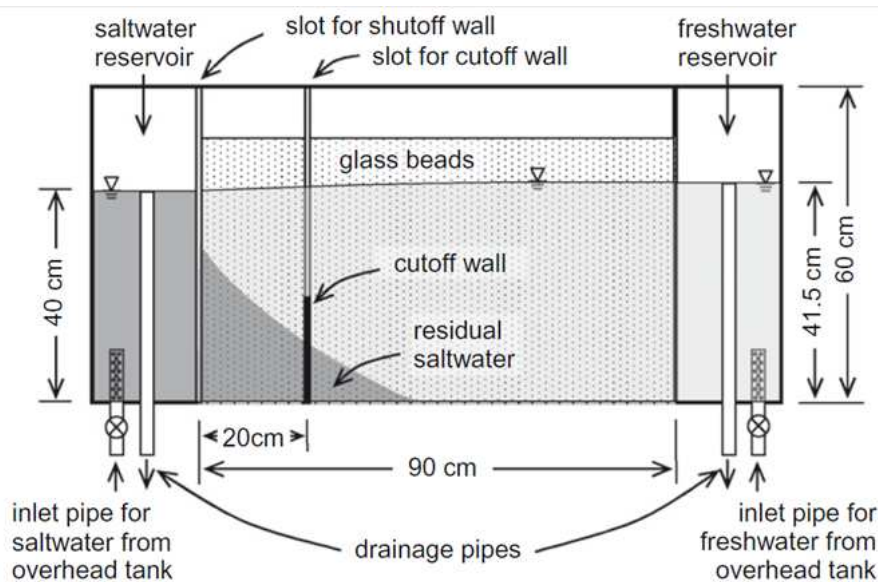
Η κατασκευή διαφράγματος, όπως διατυπώθηκε παραπάνω, αποτελεί μία μέθοδο αντιμετώπισης της θαλάσσιας διείσδυσης σε παράκτιους υδροφορείς και συγχρόνως ένα τρόπο δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα για αποθήκευση νερού (Σχήμα 5.11). Όταν η περιοχή όπως και οι γεωλογικές συνθήκες το επιτρέπουν η κατασκευή διαφράγματος μπορεί να είναι η μόνη εφαρμοστέα λύση, όπως συμβαίνει σε αρκετές περιοχές της Ιαπωνίας (κατασκευή 15 υπόγειων φραγμάτων σύμφωνα με την Japan Green Resources Agency). Μια τέτοια όμως κατασκευή γεννά ερωτηματικά σχετικά με την επίδραση που έχει τόσο στη ροή του νερού αλλά και στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης.



Σχήμα 5.11 Το υπόγειο διάφραγμα στην αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης
(Πηγή: Japan Green Resources Agency, 2004)

Στο άρθρο τους «Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall» από το περιοδικό «Journal of Hydrology», οι Luyun Jr R., Momii K. και Nakagawa K. περιγράφουν την έρευνα που έγινε μέσω πειραματικών διατάξεων και χρήση πεπερασμένων στοιχείων πάνω στην επίδραση της κατασκευής στη ροή του νερού και τον τρόπο που αντιμετωπίζεται η θαλάσσια διείσδυση.

Η πειραματική διάταξη που εφαρμόστηκε φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 5.12). Πρόκειται για την υλοποίηση ενός ελεύθερου υδροφορέα, με δισδιάστατη ροή, σε ομογενές και ισότροπο έδαφος. Για την δημιουργία του πορώδους μέσου χρησιμοποιήθηκαν γυάλινα σφαιρίδια με επικρατέστερη διάμετρο των 1,2 mm. Εκατέρωθεν δημιουργήθηκαν δύο ταμιευτήρες με γλυκό και αλμυρό νερό για να προσομοιάσουν τις συνθήκες πεδίου με σταθερές στάθμες. Με τη βοήθεια ειδικών δικλίδων δημιουργήθηκε μία διαφορά στάθμης 1,5 cm και εκτιμήθηκε ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας του πορώδους μέσου. Η υδραυλική αυτή κλίση που δημιουργήθηκε προκάλεσε τη ροή γλυκού νερού προς τον ταμιευτήρα του θαλασσινού νερού. Το πάχος του στεγανού στοιχείου ήταν 4 mm και με στόχο την εύρεση του βέλτιστου ύψους χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά διαφράγματα ύψους 20 cm και 40 cm αντίστοιχα. Η παρεμβολή του έγινε σε απόσταση 20 cm από την δεξαμενή με το αλμυρό νερό. Για να είναι δυνατή η διάκριση των δύο ρευστών στο θαλασσινό νερό διαλύθηκε χρωστική ουσία. Η σχεδίαση κάναβου, η τοποθέτηση χάρακα πάνω στη δεξαμενή και η καταγραφή σε κάμερα βοήθησε στην παρακολούθηση του φαινομένου.



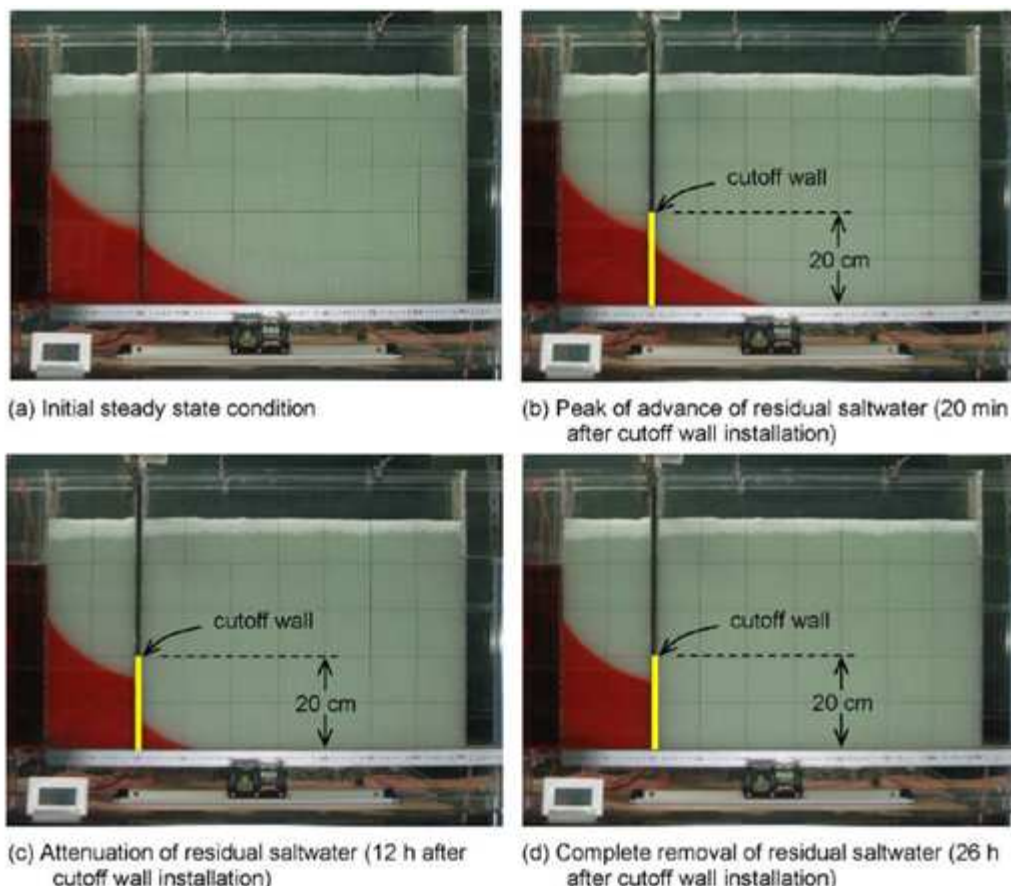
Σχήμα 5.12 Σχηματικό διάγραμμα πειραματικής διάταξης

(Πηγή: Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall, 2009)

Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, αρχικά γέμισαν οι ταμιευτήρες νερό και επήλθε κορεσμός του μοντέλου-υδροφορέα. Με το ξεκίνημα της ροής των δύο ρευστών έγινε αμέσως εμφανές το φαινόμενο της θαλάσσιας διείσδυσης με τη δημιουργία «σφήνας» από θαλασσινό νερό στο πορώδες μέσο. Όταν πλέον η ροή σταθεροποιήθηκε και δεν παρατηρούνταν αλλαγές στη μορφή της «σφήνας» τοποθετήθηκε το στεγανό στοιχείο. Με την τοποθέτηση αυτού του φραγμού εγκλωβίστηκε μέρος θαλασσινού νερού στο πορώδες μέσο. Το πείραμα τερματίστηκε όταν δεν παρατηρούνταν κάποια αλλαγή στη συγκέντρωση του παγιδευμένου θαλασσινού νερού ή όταν αυτή η συγκέντρωση έγινε μηδενική.

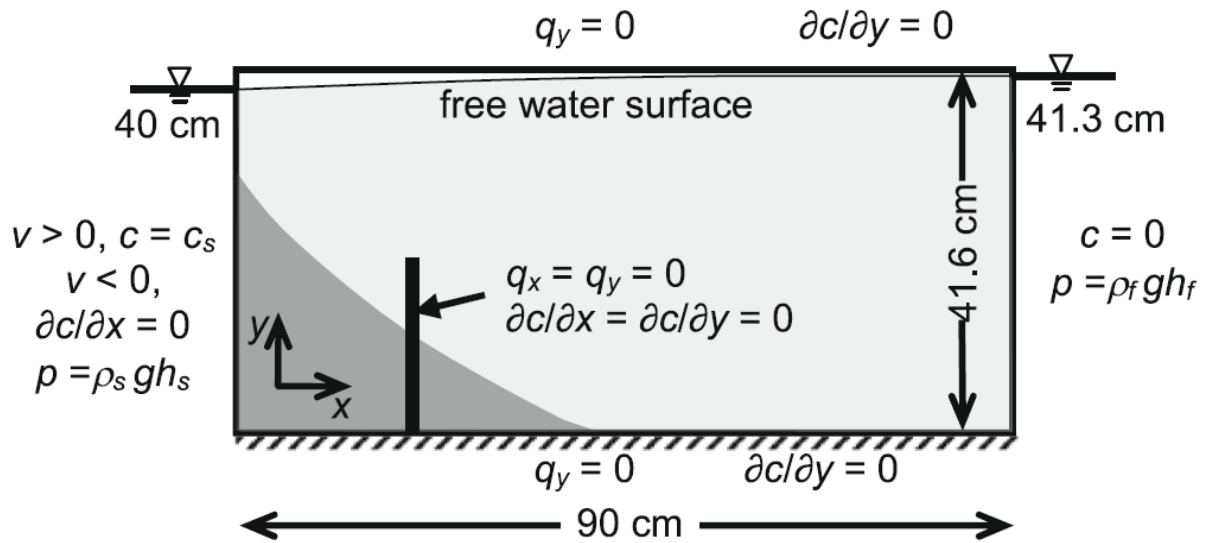
Η τοποθέτηση των διαφραγμάτων διατάραξε την ισορροπία μεταξύ γλυκού και αλμυρού νερού και επέβαλε νέο πεδίο ροής. Ποσότητα θαλασσινού νερού εγκλωβίστηκε στον

υδροφορέα και λόγω διαφοράς πυκνότητας «προσπάθησε να διαφύγει» κάτω από το γλυκό νερό. Από την άλλη μεριά, η ροή του γλυκού νερού σταδιακά αναχαίτισε τη ροή του θαλασσινού και το ανάγκασε να κινηθεί αντίθετα, προς το διάφραγμα. Ακολούθησαν φαινόμενα διάχυσης και διασποράς μεταξύ των δύο ρευστών, με το γλυκό νερό να υπερισχύει και να οδηγεί το αλμυρό προς υπερχείλιση (πάνω από το στεγανό στοιχείο). Σταδιακά όλο το παγιδευμένο αλμυρό νερό απομακρύνθηκε από το πορώδες σώμα καθώς με την παρεμβολή του στεγανού στοιχείου δεν ήταν δυνατή η αναπλήρωσή του. Τα αποτελέσματα του πειράματος παρουσιάζονται ακολούθως (Εικόνα 5.1).



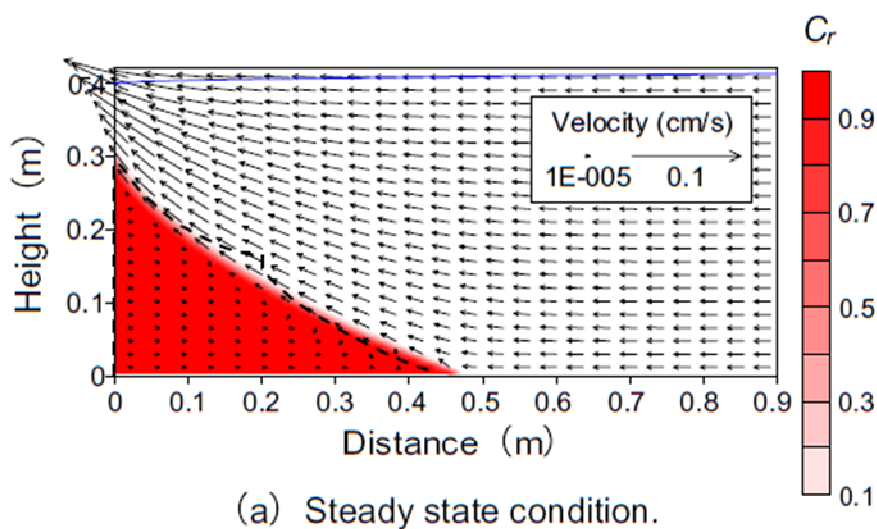
Εικόνα 5.1 Το θαλασσινό νερό πριν και μετά την κατασκευή του διαφράγματος
(Πηγή: Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall, 2009)

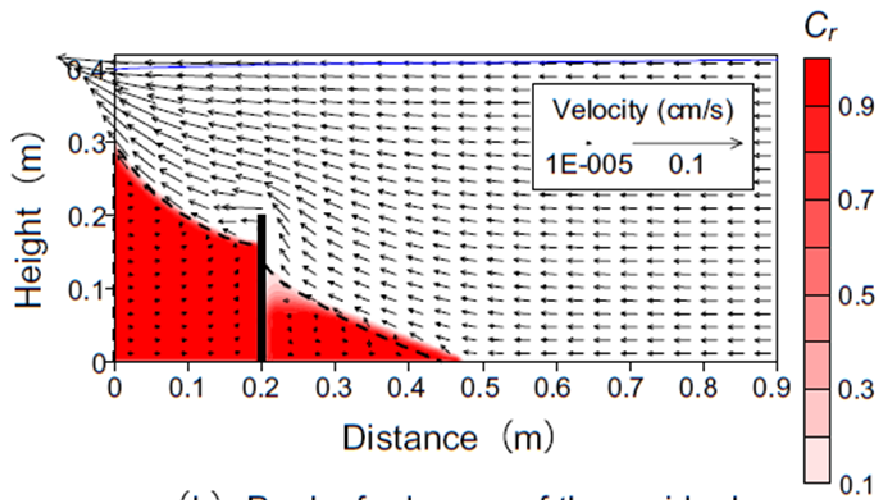
Για την επιβεβαίωση των παραπάνω αποτελεσμάτων έγινε χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Οι αρχικές και οριακές συνθήκες καθορίστηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να προσεγγίζουν εκείνες της πειραματικής διάταξης (Σχήμα 5.13).



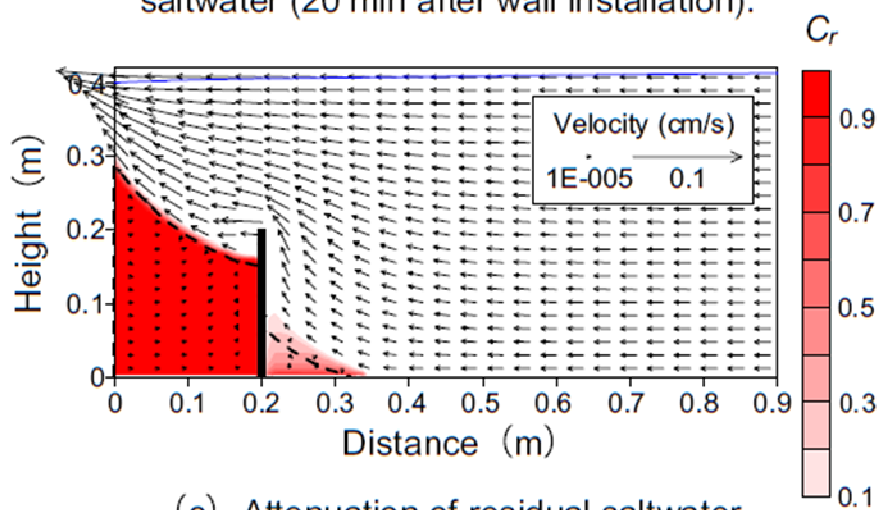
Σχήμα 5.13 Αρχικές και οριακές συνθήκες για τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων
(Πηγή: Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall, 2009)

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.14 και σε γενικές γραμμές δεν διαφέρουν από εκείνα της πειραματικής διάταξης. Ομοίως έγινε εφαρμογή σε διάφορα ύψη διαφράγματος (Σχήμα 5.15). Αυτά τα αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι απαιτείται ένα ελάχιστο ύψος διαφράγματος κάτω από το οποίο δεν είναι δυνατή η πλήρη απομάκρυνση του εγκλωβισμένου υφάλμυρου νερού. Με βάση τη ροή νερού πάνω από το διάφραγμα, παρατηρήθηκε πως η ποσότητα του αλμυρού νερού που αναγκάζεται από το γλυκό νερό να υπερχειλίσει, ανανεώνεται με την είσοδο αλμυρού νερού όταν το ύψος του διαφράγματος δεν επαρκεί.





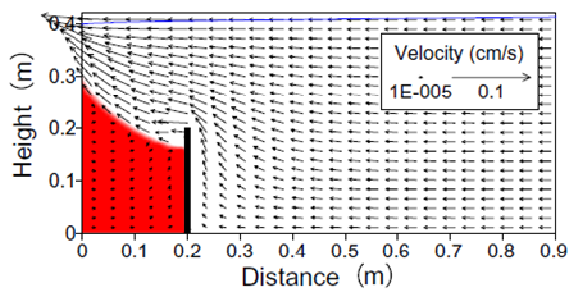
(b) Peak of advance of the residual saltwater (20 min after wall installation).



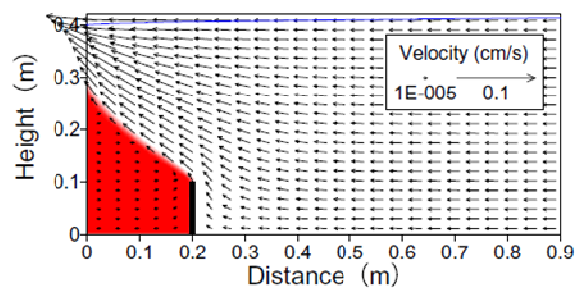
(c) Attenuation of residual saltwater (12 h after wall installation).

Σχήμα 5.14 Σύγκριση των αποτελεσμάτων. Με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος.

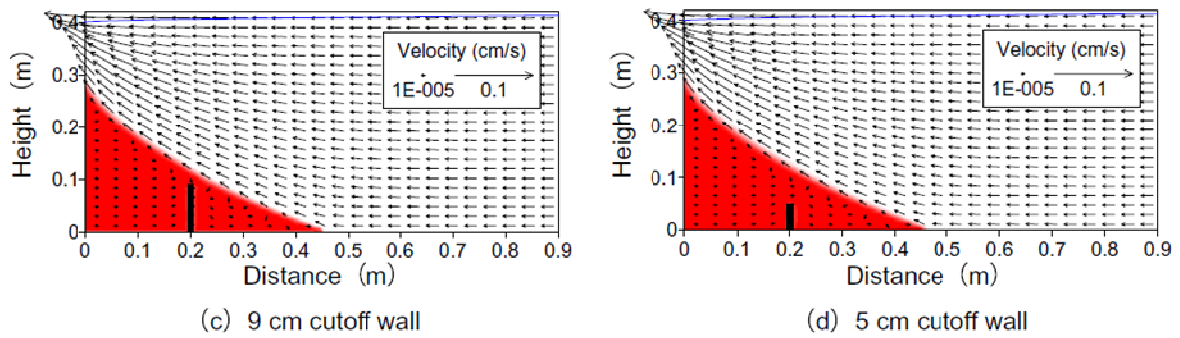
(Πηγή: Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall, 2009)



(a) 20 cm cutoff wall (after 26 h)



(b) 10 cm cutoff wall (after 21 h)



Σχήμα 5.15 Αποτελέσματα με χρήση πεπερασμένων στοιχείων για ύψη διαφράγματος 20, 10, 9 και 5 cm.

(Πηγή: Laboratory-scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall, 2009)

Τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω έρευνα είναι πολύ σημαντικά. Ουσιαστικά αποδεικνύουν πως η κατασκευή διαφράγματος όχι μόνο εμποδίζει τη θαλάσσια διείσδυση σε παράκτιους υδροφορείς αλλά αποτελεί και ένα τρόπο επιδιόρθωσης του προβλήματος. Όσον αφορά το απαιτούμενο ύψος διαφράγματος, όσο μικρότερο είναι τόσο γρηγορότερη είναι και η απομάκρυνση του υφάλμυρου νερού. Το παραπάνω όμως ισχύει μέχρι ένα όριο. Ο γενικός κανόνας που ενδείκνυται γενικά να ακολουθείται, ορίζει ύψος διαφράγματος τέτοιο ώστε να υπερέχει του πάχους της «σφήνας» θαλασσινού νερού αφού έχει σταθεροποιηθεί η ροή. Αυτός ο κανόνας λοιπόν μας εξασφαλίζει μία πιθανή μείωση στο κόστος κατασκευής. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί σε φαινόμενα διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως η παρακολούθηση της ροής νερού και της θαλάσσιας διείσδυσης είναι ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό διαφράγματος.

6. Έρευνα υπεδάφους

6.1. Εισαγωγή

Σκοπός της έρευνας υπεδάφους είναι η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων που θα δώσουν σαφή εικόνα της υπόγειας δομής όπου θα γίνει η κατασκευή έργου, εντοπίζοντας όλα τα γεωτεχνικά θέματα που θα απασχολήσουν τους ειδικούς τόσο κατά τη φάση της μελέτης όσο και της κατασκευής. Τα στοιχεία ενδιαφέροντος σχετίζονται με τις φυσικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τόσο του εδάφους όσο και των υπόγειων υδάτων, τη χημική τους σύσταση αλλά και την επίδραση που θα έχει η ανθρώπινη δραστηριότητα πάνω σ' αυτά. Έτσι λοιπόν, η υπόγεια διερεύνηση πρέπει να συνδυάζεται και με περιβαλλοντικά θέματα που θα έχουν ως στόχο την μείωση του κόστους σε όλους τους τομείς.

Η φάση της γεωτεχνικής αναγνώρισης συνήθως περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και αξιολόγηση των διαθέσιμων τοπογραφικών δεδομένων, γεωλογικών στοιχείων, αεροφωτογραφιών, στοιχείων από προηγούμενες γεωτεχνικές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή και επί τόπου επισκέψεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τη φάση της αναγνώρισης εκτελούνται και γεωφυσικές διασκοπήσεις. Σύμφωνα με την διδακτορική διατριβή «Γεωφυσικές διασκοπήσεις και επεξεργασία γεωφυσικού σήματος» της Β. Τσιβουράκη-Παπαφωτίου από το Εθνικό Αρχείο Διδακτορικών Διατριβών, αντικείμενο μιας γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο προσδιορισμός και η αποτύπωση της δομής του υπεδάφους, με βάση τη μέτρηση και την καταγραφή των μεταβολών διαφόρων φυσικών μεγεθών. Ανάλογα με τη μετρούμενη φυσική ποσότητα, οι βασικές γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης διακρίνονται σε σεισμικές, μαγνητικές, βαρυτικές, ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές.

Η έκταση της προκαταρκτικής γεωτεχνικής έρευνας εξαρτάται από το είδος του έργου και τα αποτελέσματα της αναγνώρισης. Οι γεωτεχνικές έρευνες διακρίνονται σε επί τόπου δοκιμές που εκτελούνται στο ύπαιθρο και σε εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στο εργαστήριο σε εδαφικά δείγματα που λαμβάνονται κατά τις επί τόπου έρευνες.

6.2. Γενικά στοιχεία κατάταξης εδαφών και κοκκομετρίας

Το γεωυλικό, σύμφωνα με τον Terzaghi, λόγω της συμπεριφοράς του μπορεί να διακριθεί σε έδαφος και πέτρωμα. Με τον όρο έδαφος εννοούμε ένα συσσωμάτωμα κόκκων που μπορεί να διαχωριστεί με μηχανική δράση, σε αντίθεση με το πέτρωμα όπου η σύνδεση των κόκκων γίνεται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις συνοχής. Για την περιγραφή τους αναζητούμε πληροφορίες που σχετίζονται με την υγρασία, χρώμα, συνοχή, δομή, προέλευση, επίδραση από περιβαλλοντικές συνθήκες όπως καιρικά φαινόμενα και ύπαρξη υπόγειων υδάτων.

Η προέλευση του εδάφους οφείλεται τόσο στη μηχανική όσο και στη χημική αποσάθρωση. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι λειτουργίες των φυτών, ζώων και του ανθρώπου και οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό βράχων. Τα προϊόντα της διαδικασίας αυτής είναι κυρίως χονδρόκοκκα εδάφη (χάλικες και άμμοι). Από την άλλη μεριά, η χημική αποσάθρωση οδηγεί στη δημιουργία λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλύ και άργιλο) μέσω φαινομένων οξειδωσης, ενανθράκωσης και άλλων χημικών διεργασιών.

Ο τρόπος μεταφοράς δημιουργεί ένα πρόσθετο διαχωρισμό των εδαφών σε αυτόχθονα και ιζηματογενή, με τα πρώτα να παραμένουν στην περιοχή όπου έγινε η παραγωγή τους. Τα ιζηματογενή μεταφέρονται ως επί των πλείστον με το νερό αλλά μερικές φορές και με τον αέρα (αιολικές αποθέσεις).

Η διάκριση με βάση το μέγεθος σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα δεν είναι αρκετή. Έτσι, εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2mm ανήκουν στην κατηγορία των χαλίκων, οι άμμοι έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2mm έως 0,06mm (η διάσταση αυτή είναι περίπου ίση με το μικρότερο μέγεθος κόκκου που είναι ορατό με γυμνό μάτι), οι ιλείς έχουν κόκκους από 0,06mm ως 0,002mm και τέλος, οι άργιλοι έχουν κόκκους με μέγεθος μικρότερο από 0,002mm (Σχήμα 6.1).

Άργιλοι			Ιλείς			Άμμοι			Χάλικες			Κροκάλες				
Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές	Λεπτές	Μέσες	Χονδρές								
0.001	0.002	0.006	0.01	0.02	0.06	0.1	0.2	0.6	1	2	6	10	20	60	100	200

Διαστάσεις κόκκων (mm)

Σχήμα 6.1 Όρια μεγεθών κόκκων εδαφικών υλικών

(Πηγή: Στοιχεία Εδαφομηχανικής 2007)

Το έδαφος είναι ένα μη συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους κόκκους, τα κενά των οποίων (πόροι) περιέχουν υγρά (συνήθως νερό) ή και αέρια (συνήθως αέρα). Διευκρινιστικά θα αναφερθούμε στον προσδιορισμό των παρακάτω μεγεθών.

- Το πορώδες είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο του εδάφους και εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό : $n = \frac{V_v}{V}$

- Ο δείκτης πόρων είναι ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών κόκκων: $e = \frac{V_v}{V_s}$

- Ο βαθμός κορεσμού είναι ο λόγος όγκου του νερού των πόρων προς τον όγκο των κενών και παίρνει τιμές από 0 (ξηρό εδαφικό υλικό) έως 1 (κορεσμένο εδαφικό υλικό).

Υπολογίζεται από: $S = \frac{V_w}{V_v}$

- Το ποσοστό υγρασίας είναι ο λόγος της μάζας νερού των πόρων προς τη μάζα των στερεών κόκκων: $w = \frac{M_w}{M_s}$

- Η πυκνότητα του εδαφικού υλικού είναι ο λόγος της μάζας του εδαφικού δείγματος προς τον όγκο του: $\rho = \frac{M}{V}$

Αντίστοιχα ορίζεται και η πυκνότητα των στερεών κόκκων.

Μερικές τυπικές τιμές των θεμελιωδών μεγεθών για διάφορα εδαφικά υλικά είναι:

- Πορώδες:
 Άμμοι: 0,30 έως 0,50
 Άργιλοι: 0,20 έως 0,60 (ή και υψηλότερο)

- Δείκτης πόρων:
Άμμοι: 0,40 έως 1,00
Άργιλοι: 0,30 έως 1,50 (ή και υψηλότερος)
- Ποσοστό υγρασίας:
Άμμοι: 0 έως 0,40 (40%)
Άργιλοι: 0 έως 1 (100%)
Σε οργανικά ή ευαίσθητες άργιλους μπορεί να φτάσει και 5
- Πυκνότητα εδαφικού υλικού (σε Mg/m^3):
Άμμοι και χάλικες: 1,70 έως 2,40
Ιλεις και άργιλοι: 1,40 έως 2,10
Οργανικά και ευαίσθητες άργιλοι: 1,00 έως 1,60
- Πυκνότητα στερεών κόκκων:
Για όλους του τύπους εδαφών (πλην οργανικών): 2,50 – 2,80 (Mg/m^3)
Οργανικά ίσως έχουν μικρότερη από 2,50 Mg/m^3

Σημειώνεται πως εκτός από το πορώδες (Πίνακας 6.1) υπάρχει και το ενεργό πορώδες. Η διαφορά τους είναι ότι το πορώδες δεν απαιτεί διασύνδεση των πόρων μεταξύ τους ενώ το ενεργό πορώδες λαμβάνει υπόψη μόνο τους πόρους που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και ουσιαστικά συντελούν στη ροή του υπόγειου νερού. Πολλά εδάφη παρουσιάζουν υψηλό ολικό πορώδες και μικρό ενεργό πορώδες, επειδή οι περισσότεροι πόροι δεν είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και δεν επιτρέπουν τη ροή νερού. Έτσι η έννοια του ενεργού πορώδους είναι περισσότερο συνδεδεμένη με την έννοια της διαπερατότητας. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0-3% (άργιλος) έως 20% (χάλικες).

Εδάφη	Πορώδες (%)
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	
Χάλικες χονδρόκοκκοι	24-36
Χάλικες λεπτόκοκκοι	25-38
Άμμος χονδρή	31-46
Άμμος λεπτή	26-53
Πηλός	34-61
Αργίλος	34-60
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	
Ψαμμίτης	5-30
Ιλυόλιθος	21-41
Ασβεστόλιθος, δολομίτης	0-20
Καρστικός ασβεστόλιθος	5-50
Σχιστόλιθος	0-10
ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	
Ρωγματομένα κρυσταλλικά πετρώματα	0-10
Πυκνά κρυσταλλικά πετρώματα	0-5
Βασάλτης	3-35
Γρανίτης αποσπασμένος	34-57
Γάββρος αποσπασμένος	42-45

Πίνακας 6.1 Τιμές πορώδους για διάφορα είδη εδαφών
(Πηγή: Υδραυλική υπογείων νερών, 2008)

Με τον όρο μη συνεκτικά εδάφη αναφερόμαστε σε αμμώδη, κοκκώδη και χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η σχετική πυκνότητα και η κοκκομετρική διαβάθμιση.

Η σχετική πυκνότητα είναι μέγεθος που εκφράζει τη δομή και τη διάταξη των κόκκων και συνδέεται με την έννοια του πορώδους. Η πλέον χαλαρή διάταξη με το μέγιστο ποσοστό κενών αντιστοιχεί στην ελάχιστη πυκνότητα ενώ η μέγιστη πυκνότητα αντιστοιχεί στην πυκνότερη διάταξη με το ελάχιστο ποσοστό κόκκων. Τα παραπάνω μεγέθη είναι συμβατικά. Παραδείγματα που ίσως πλησιάζουν τις παραπάνω δύο συμπεριφορές είναι από τη μία η βραδεία απόθεση άμμου μέσα σε νερό ενώ από την άλλη η άμμος που υπέστη παρατεταμένη και έντονη δόνηση. Ο τύπος που υπολογίζει το μέγεθος της σχετικής πυκνότητας είναι:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} 100\%$$

όπου e ο πραγματικός δείκτη πόρων της άμμου

e_{max} ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην ελάχιστη συμβατική πυκνότητα

e_{min} ο δείκτης πόρων που αντιστοιχεί στην μέγιστη συμβατική πυκνότητα

Οι τιμές της μέγιστης και ελάχιστης πυκνότητας μιας άμμου εξαρτώνται άμεσα από το σχήμα και την ποικιλία των μεγεθών της. Στον Πίνακα 6.2 που ακολουθεί φαίνεται η κατάταξη των αμμωδών εδαφών με βάση τη σχετική τους πυκνότητα.

Σχετική πυκνότητα (%)	Περιγραφή μη συνεκτικού εδάφους
0-15	Πολύ χαλαρό
15-35	Χαλαρό
35-65	Μέσης πυκνότητας
65-85	Πυκνό
85-100	Πολύ πυκνό

Πίνακας 6.2 Κατάταξη μη συνεκτικών εδαφών με βάση τη σχετική πυκνότητα

(Πηγή: Στοιχεία εδαφομηχανικής 2007)

Το μέγεθος των κόκκων και η ποικιλία (κατανομή) τους σε ένα δείγμα εδαφικού υλικού επηρεάζουν τη μηχανική συμπεριφορά των μη συνεκτικών εδαφών. Ο προσδιορισμός της κατανομής των μεγεθών των κόκκων ή αλλιώς η κοκκομετρική διαβάθμιση γίνεται με κόσκινα για τους χάλικες και τις άμμους (Εικόνα 6.1) ενώ για τις ιλείες και τις αργίλους με τη μέθοδο του αραιόμετρου.



Εικόνα 6.1 Διάταξη κοκκομετρικής δοκιμής και πρότυπα κόσκινα

(Πηγή: <http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/struct/LabTest.pdf>)

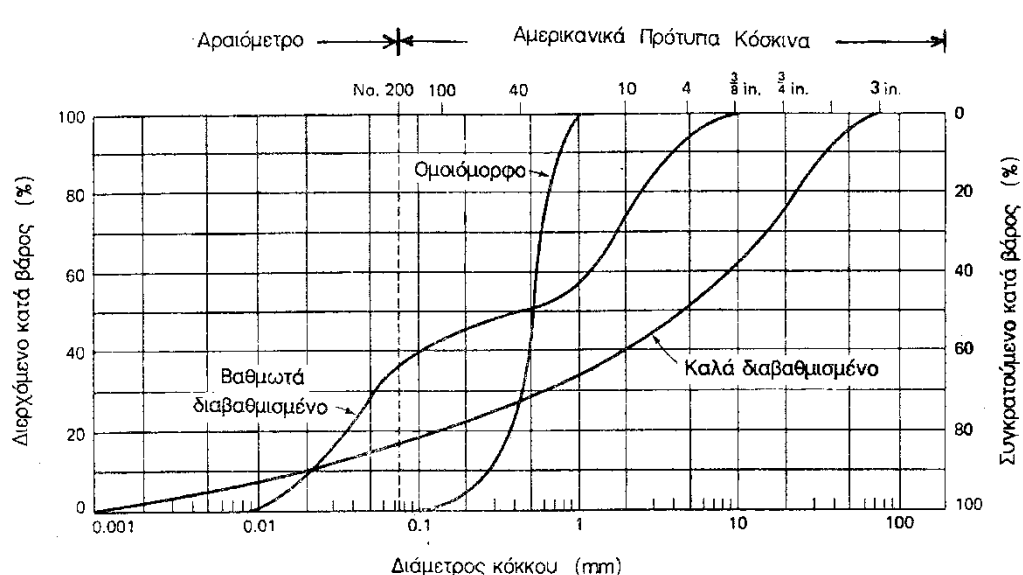
Η ανάλυση με κόσκινα γίνεται με τη μηχανική δόνηση δείγματος του εδαφικού υλικού διαμέσου σειράς κοσκίων με βαθμιαία μικρότερη διάσταση οπής και τη μέτρηση του βάρους του υλικού που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο. Στον Πίνακα 6.3 φαίνεται η αντιστοίχιση του μεγέθους της οπής σε συνάρτηση με τον αριθμό του κόσκινου. Σημειώνεται πως το κόσκινο Νο 200 αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στο συμβατικό όριο μεταξύ άμμων και ιλύων (0,06 mm). Η κοκκομετρική διαβάθμιση για μεγέθη μικρότερα από το παραπάνω όριο προσδιορίζεται μέσω της μεθόδου του αραιόμετρου.

Αριθμός κόσκινου (No)	Διάσταση οπής (mm)
4	4,75
10	2
20	0,85
40	0,425
60	0,25
100	0,15
140	0,106
200	0,075

Πίνακας 6.3 Πρότυπα κόσκινα

(Πηγή: Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM D422-1980)

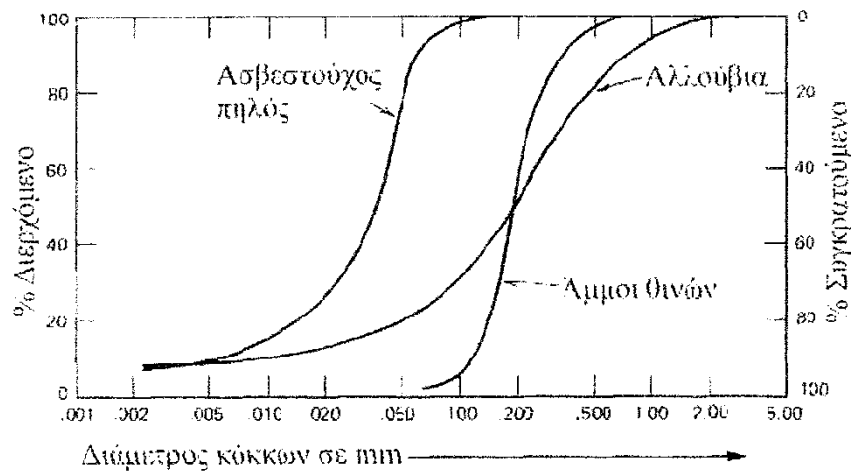
Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής διαβάθμισης παρουσιάζονται σε ένα διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης ως προς το μέγεθος του κόκκου με λογαριθμική κλίμακα (Σχήμα 6.2). Με το όρο καλά διαβαθμισμένο εδαφικό υλικό εννοούμε υλικό με ποικιλία κόκκων. Αν παρατηρήσουμε την αντίστοιχη καμπύλη (Σχήμα 6.2) θα διακρίνουμε την ήπια κλίση και το μεγάλο εύρος των διαμέτρων κόκκου. Από την άλλη μεριά, το ομοιόμορφο δείγμα έχει καμπύλη με έντονη κλίση και μικρό εύρος διαμέτρων.



Σχήμα 6.2 Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης εδαφών

(Πηγή: Στοιχεία εδαφομηχανικής 2007)

Για της αλλουβιακές αποθέσεις, που είναι και το ζητούμενο μας, η κοκκομετρική καμπύλη έχει την παρακάτω μορφή (Σχήμα 6.3).



Σχήμα 6.3 Κοκκομετρική καμπύλη αλλουβιακών αποθέσεων

(Πηγή: [http://geo-](http://geo-sector.geology.upatras.gr/hydrogeology/images/stories/applied_hydrogeologytheory.pdf)

[sector.geology.upatras.gr/hydrogeology/images/stories/applied_hydrogeologytheory.pdf](http://geo-sector.geology.upatras.gr/hydrogeology/images/stories/applied_hydrogeologytheory.pdf))

Από τα διαγράμματα αυτού του τύπου μπορούν να προσδιορισθούν ποσοτικά μεγέθη όπως το εύρος των διαμέτρων των κόκκων ενός εδαφικού υλικού και το ποσοστό του υλικού που είναι μικρότερο από κάποια συγκεκριμένη διάμετρο. Ακόμα ένα μέγεθος που υπολογίζεται είναι η διάμετρος D_{10} , δηλαδή το μέγεθος του κόκκου από το οποίο το 10% του υλικού έχει μικρότερο μέγεθος. Με όμοιο τρόπο προσδιορίζεται και η διάμετρος D_{60} . Ο λόγος των δύο αυτών διαμέτρων δίνει τον συντελεστή ανομοιομορφίας ($C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$) ο οποίος εκφράζει συνοπτικά την κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού. Έτσι, ένα υλικό με ομοιόμορφους κόκκους έχει $C_u = 1$. Όταν $C_u > 5$ αναφερόμαστε σε καλά διαβαθμισμένο υλικό με μεγάλη ποικιλία, σε αντίθεση με $C_u < 5$ όπου οι κόκκοι είναι ομοιόμορφοι και το δείγμα κακά διαβαθμισμένο. Γενικά, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ανομοιομορφίας, τόσο μεγαλύτερη ποικιλία κόκκων περιέχει το εδαφικό υλικό και τόσο καλύτερη είναι η κοκκομετρική του διαβάθμιση.

Όσον αφορά τα συνεκτικά υλικά δεν γίνεται λόγος (όρια Atterberg, κλπ) καθώς σε θέσεις που προορίζονται για την κατασκευή υπόγειων διαφραγμάτων κυριαρχούν τα μη συνεκτικά. Αυτό συμβαίνει λόγω της απαίτησης μεγάλης διαπερατότητας κάτι που δεν χαρακτηρίζει τα λεπτόκοκκα εδάφη. Παρ' όλα αυτά δεν σημαίνει ότι δεν θα υπάρχουν σε κάποιο ποσοστό στη ζητούμενη θέση.

6.3. Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις

Γεωτεχνικές εργασίες σε βάθη μεγαλύτερα των 4-5 μέτρων συνήθως εκτελούνται με τη διάνοιξη δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Όπως αναφέρεται στο βιβλίο «Στοιχεία Εδαφομηχανικής» του κ. Μ. Καββαδά, κατά τη μέθοδο αυτή δημιουργείται μια κυλινδρική οπή στο έδαφος με τη διεύθυνση ενός μεταλλικού στελέχους (διατρητική στήλη)

εφοδιασμένου με κοπτική κεφαλή. Η διείσδυση γίνεται είτε με κρούση ή δόνηση (κρουστικές γεωτρήσεις) είτε με συνδυασμό πίεσης και περιστροφής του στελέχους (περιστροφικές γεωτρήσεις). Η κατάπτωση των τοιχωμάτων περιστροφής αποφεύγεται με την τοποθέτηση σωλήνωσης (επένδυση) που προωθείται ταυτόχρονα με την προώθηση της διατρητικής στήλης. Το μέγιστο βάθος διάτρησης συχνά περιορίζεται από παράγοντες όπως το βάρος και την ισχύ γεωτρύπανου, την αναπτυσσόμενη αντίσταση αιχμής και την πλευρική τριβή. Για να αντιμετωπιστούν φαινόμενα υπερθέρμανσης του εξοπλισμού και αποφυγή φθοράς του διοχετεύεται νερό.

Όσο προχωρούν οι γεωτρήσεις, σε τακτά διαστήματα εκτελούνται και οι επί τόπου δοκιμές που αναφέρονται στη συνέχεια.

6.4. Επί τόπου δοκιμές

Η έρευνα του υπεδάφους απαιτεί την εκτέλεση των επί τόπου δοκιμών. Αυτές πλεονεκτούν καθώς ελέγχουν τις ιδιότητες τους εδάφους στη φυσική του κατάσταση, χωρίς τη διαταραχή και τη μεταβολή της δομής τους κατά τη δειγματοληψία. Πλεονεκτούν ακόμα, καθώς τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν είναι σε συνάρτηση με το βάθος. Από την άλλη μεριά, το σημείο στο οποίο υστερούν οι δοκιμές αυτές είναι η άγνωστη εντατική κατάσταση την οποία προκαλούν στο έδαφος κατά την εκτέλεσή τους και η δυσκολία ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

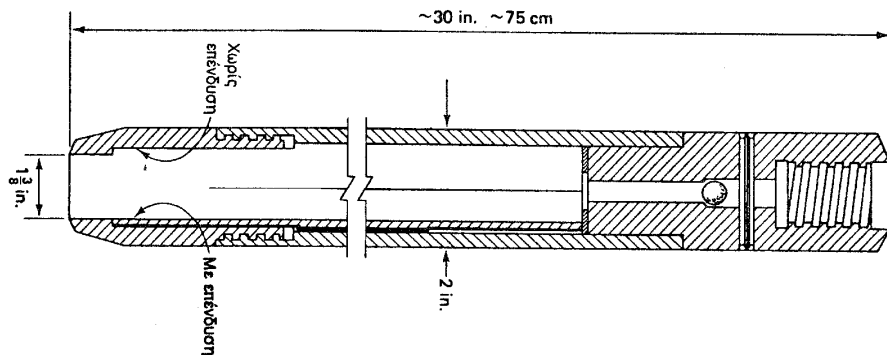
6.4.1. Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης (SPT)

Η Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης είναι μία από τις σημαντικότερες επί τόπου δοκιμές για την διερεύνηση του υπεδάφους και τον γεωτεχνικό σχεδιασμό με στόχο τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους (αντοχή, γωνία τριβής, συμπίεσιότητα, σχετική πυκνότητα). Το βασικότερο πλεονέκτημα τη μεθόδου είναι η δυνατότητα δειγματοληψίας (διαταραγμένο εδαφικό δείγμα). Η δοκιμή βασίζεται στην υποχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi (Σχήμα 6.4) με πτώση βάρους 63,5kg και ύψος 76cm. Κατά τη δοκιμή μετράται ο αριθμός των πτώσεων (N = αντίσταση διείσδυσης) που απαιτείται για την προώθηση του δειγματολήπτη 30cm (μετά από μία αρχική προώθηση 15cm, κατά την οποία δεν συνυπολογίζεται ο αριθμός των πτώσεων καθώς το έδαφος δεν θεωρείται αντιπροσωπευτικό λόγω διαταραχής που προκλήθηκε από την εκτέλεση δοκιμής) (Σχήμα 6.5). Ένα τυπικό διάγραμμα του δείκτη N σε συνάρτηση με το βάθος σε δύο γειτονικές γεωτρήσεις αλλουβιακού σχηματισμού παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.6. Η παρατηρούμενη διαφορά των τιμών σε αντίστοιχες στάθμες οφείλεται στην αλλαγή της κοίτης του ποταμού και την απόθεση διαφορετικού τύπου υλικών.

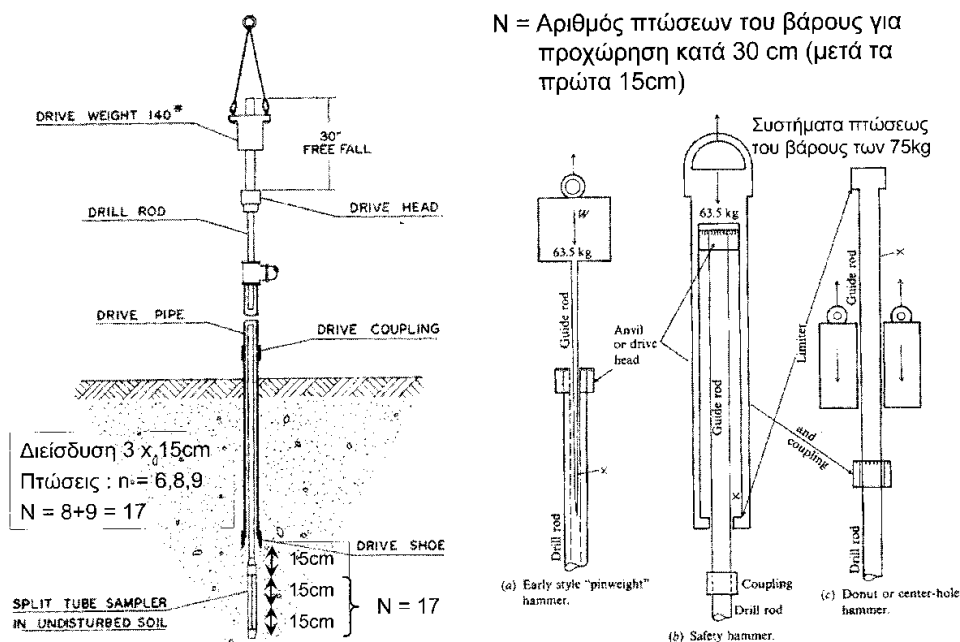
Όπως έχει ήδη διατυπωθεί, το κύριο πλεονέκτημα της δοκιμής αυτής είναι η δυνατότητα δειγματοληψίας. Επιπρόσθετα, αποτελεί την απλούστερη και οικονομικότερη δοκιμή (διαθέσιμος εξοπλισμός και τεχνογνωσία) από τις επί τόπου δοκιμές, μέσω της οποίας συσχετίζεται εμπειρικά η τιμή του N με μεγέθη όπως η πυκνότητα του εδάφους, η συνοχή, η γωνία τριβής, η αστράγγιστη διατμητική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας, το μέτρο διάτμησης κ.ά. Έτσι με τον συσχετισμό αυτό των άνω μεγεθών μειώνεται η ανάγκη για εργαστηριακές δοκιμές.

Η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης επίσης διαθέτει αρκετά μειονεκτήματα. Η καταγραφή των δεδομένων δεν είναι συνεχής, συνεπώς είναι δυνατό να χάσουμε σημαντική πληροφορία. Η εφαρμογή της συναντά εμπόδια σε εδάφη αποτελούμενα από ιλύ και άργιλο, η συμπεριφορά των οποίων διαφέρει έντονα με την ύπαρξη ή όχι νερού και επηρεάζει άμεσα την αντοχή τους στη διείσδυση του δειγματολήπτη Terzaghi. Η δειγματοληψία θεωρείται αργή διαδικασία και το δείγμα είναι διαταραγμένο (Σχήμα 6.7). Μεγάλα σφάλματα εμπεριέχονται στα αποτελέσματα, καθώς ο συντελεστής N επηρεάζεται από πληθώρα παραμέτρων (γι' αυτό απαιτούνται και αντίστοιχες διορθώσεις) όπως και από τις συνθήκες κατά τη διεξαγωγή της δοκιμής και τον εκάστοτε χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό, τα οποία διαφέρουν κάθε φορά.

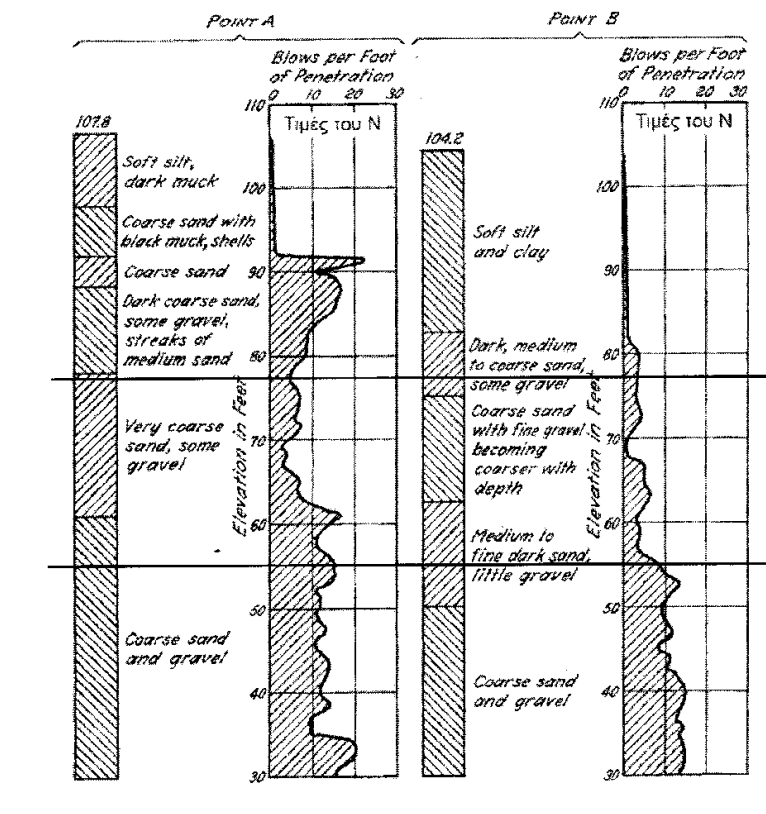
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του N και που προκαλούν αποκλίσεις αποτελεσμάτων ακόμα και στο ίδιο πεδίο, συνοψίζονται και σχετίζονται με το μήκος στελέχους του τρυπανιού, τη διατομή, το είδος αμονιού, το ρυθμό χτυπημάτων, την τεχνική του χειριστή, τον καθαρισμό της γεώτρησης, την ευθυγράμμιση του σφυριού όπως και τον τύπο του. Το μεγαλύτερο αντίκτυπο στην τιμή του N προκύπτει από το είδος του σφυριού καθώς αυτό καθορίζει το μέγεθος της ενέργειας που μεταφέρεται.



Σχήμα 6.4 Δειγματολήπτης Terzaghi
(Πηγή: Στοιχεία εδαφομηχανικής, 2007)



Σχήμα 6.5 Διάταξη και βήματα δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης
(Πηγή: Σημειώσεις Θεμελιώσεων Τεχνικών Έργων, 2008)



Σχήμα 6.6 Τυπικά διαγράμματα του δείκτη N με το βάθος σε δύο γειτονικές γεωτρήσεις, σε πρόσφατο αλλουβιακό σχηματισμό
(Πηγή: Σημειώσεις Θεμελιώσεων Τεχνικών Έργων, 2008)



Σχήμα 6.7 Διαταραγμένο δείγμα
(Πηγή: Environmental and Engineering Geoscience, 2006)

6.4.2. Δοκιμές εισπίεσεων

Κατά τον κ. Π. Μαρίνο, η γενική αρχή των δοκιμών εισπίεσεων σύμφωνα με τα «Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας» είναι:

Σε απομονωμένο τμήμα γεωτρήσεων διοχετεύεται νερό και μετριέται, άμεσα ή έμμεσα, η ποσότητα που απορροφάται από το έδαφος, σε συνάρτηση με τη φόρτιση (πίεση) που εφαρμόζεται. Σκοπός των δοκιμών αυτών είναι προσδιορισμός της περατότητας του εδάφους είτε στη μορφή του συντελεστή K , είτε σε τυποποιημένη και συγκρίσιμη μορφή, ακόμα και εμπειρική.

Οι δοκιμές εισπίεσης νερού αποτελούν τον καταλληλότερο τρόπο εκτίμησης του συντελεστή K και κυρίως για το τμήμα του υπεδάφους που βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, δηλαδή στην ακόρεστη ζώνη. Χαρακτηρίζονται από ταχύτητα εκτέλεσης, δυνατότητα συχνής επανάληψης κατά τη διάρκεια διάτρησης της γεώτρησης και καλή αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η περατότητα ακόμα και σε ένα ομοιόμορφο σχηματισμό μεταβάλλεται από το ένα σημείο στο άλλο και ότι η παρουσία στρωσιγένειας υποδηλώνει συνήθως διαφορετική περατότητα κατά την οριζόντια και την κατακόρυφο. Έτσι, συνήθως μετράται η περατότητα του πλέον υδροπερατού ορίζοντα. Παρ' όλα αυτά, καθώς δεν υπάρχει ικανοποιητική μέθοδος διαφοροποίησης της οριζόντιας από την κατακόρυφη διαπερατότητα, οι τιμές που λαμβάνονται στην ύπαιθρο θεωρούνται αντιπροσωπευτικές του εδαφικού υλικού σαν σύνολο.

Κατά τις δοκιμές αυτές, είτε εισάγεται μέσα στη δειγματοληπτική γεώτρηση ποσότητα νερού και μετράται το επιβαλλόμενο φορτίο κάτω από δεδομένη πίεση είτε παρατηρείται η στάθμη του νερού που ανυψώνεται και καταγράφεται ο βαθμός πτώσης μέχρι τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Στην πρώτη περίπτωση πρόκειται για δοκιμές σταθερού φορτίου (Constant head test), ενώ στη δεύτερη για δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Falling head test).

Τρεις είναι οι πιο βασικές κατηγορίες δοκιμών εισπίεσης νερού:

- Δοκιμές σταθερού φορτίου

Σ' αυτές μετριέται η ποσότητα του νερού που διοχετεύεται για να διατηρηθεί κάποια σταθερή στάθμη (φόρτιση) πάνω από το δοκιμαζόμενο τμήμα της γεώτρησης (δοκιμή Lefranc-κατάσταση ισορροπίας).

- Δοκιμές πίπτοντος ή μεταβλητού φορτίου

Σ' αυτές διοχετεύεται νερό μέσα στη γεώτρηση και μετριέται ο χρόνος που χρειάζεται για να κατέβει η νέα πιο ψηλή στάθμη που δημιουργήθηκε, σε μία πιο χαμηλή θέση (δοκιμή Maag-κατάσταση μη ισορροπίας)

- Δοκιμές αποστολής του νερού με πίεση

Σε τμήμα της γεώτρησης απομονωμένο μεταξύ παρεμβύσματος (packer) και πυθμένα ή μεταξύ δύο παρεμβυσμάτων, μετριέται η ποσότητα του νερού που απορροφάται σε συνάρτηση με την πίεση εισπίεσεως του νερού (δοκιμή Lugeon).

Κάθε μέθοδος έχει διαφορετικό πεδίο εφαρμογής. Οι δύο πρώτες μέθοδοι είναι κατάλληλες για πετρώματα και εδάφη ομοιογενή, χαλαρά ή μικρής συνεκτικότητας. Μάλιστα η δεύτερη χρησιμοποιείται συχνότερα σε εδάφη μικρότερης περατότητας ($10^{-4} - 10^{-5}$ m/s).

Ανισοτροπικές περατότητες μετριοούνται μόνο έμμεσα. Η τρίτη δοκιμή, η Lugeon, είναι πιο κατάλληλη για δοκιμές περατότητας σε πετρώματα (βράχοι - περατότητα ρωγμών) και σε εδάφη (πορώδη μέσα) μεγάλης συνεκτικότητας, όταν μπορούν να αντέξουν στις απαραίτητες πιέσεις της μεθόδου.

Σε όλες τις παραπάνω δοκιμές πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή σε θέματα όπως η γεωμετρία της γεώτρησης (διόρθωση στον προσδιορισμό φορτίσεων σε περίπτωση μη κατακόρυφης γεώτρησης), η ύπαρξη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (σύγκυση με το νερό διατρήσεως και υπολογισμός απωλειών από τη ροή νερού) και το χρονικό διάστημα που απαιτείται ώστε να επέλθει ισορροπία μετά τη διαταραχή που προκλήθηκε λόγω διάτρησης, τη σύσταση εισπιεζόμενου νερού και την απομάκρυνση υπολειμμάτων διατρήσεως (φόβοι εμφράξεως κενών πετρώματος). Πρέπει να επιδιώκεται η εκτέλεση από ειδικευμένο τεχνίτη και να εποπτεύεται από τον μελετητή. Συμπληρωματικά αναφέρεται πως οι δοκιμές μπορούν να γίνουν και με άντληση νερού από τη γεώτρηση με την ανάλογη ακριβώς διαδικασία.

Για τον υπολογισμό της περατότητας υπάρχουν και άλλες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στην άμεση μέτρηση της ταχύτητας της υπόγειας ροής και όχι στη μέτρηση της παροχής. Σ' αυτές ρίχνεται π.χ. ιχνηθέτης σε κάποιο σημείο του υδροφόρου ορίζοντα (χρωστική ουσία, ραδιενεργή ουσία, άλατα) και στη συνέχεια σημειώνεται ο χρόνος εμφανίσεως του σε κατάντη σημεία.

6.4.2.1. Δοκιμή σταθερού φορτίου (ή δοκιμή Lefranc)

Η δοκιμή σταθερού φορτίου χρησιμοποιείται στην περίπτωση αδρόκοκκων εδαφικών υλικών με αυξημένη υδροπερατότητα. Η δοκιμή αυτή γίνεται με την εξέλιξη της διατρήσεως. Αφήνεται ένα τμήμα του πυθμένα της γεωτρήσεως γυμνό από σωλήνωση (θύλακας) και διοχετεύεται νερό με τρόπο, ώστε να διατηρείται νέα σταθερή υπερυψωμένη στάθμη πάνω από το δοκιμαζόμενο τμήμα σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής (π.χ. 5-20min). Οι σωλήνες πάνω από το δοκιμαζόμενο τμήμα πρέπει να έχουν καλή συνάφεια με τα τοιχώματα της γεώτρησης για την καλή απομόνωση του θύλακα. Όσον αφορά τις διαστάσεις του θύλακα, πρέπει να είναι μικρές σε σχέση με το πάχος του στρώματος μέσα στο οποίο βρίσκεται, διαφορετικά, έχουμε αλλαγές στη μορφή της ροής.

Αν πέφτουν τα τοιχώματα του ασωλήνωτου δοκιμαζόμενου τμήματος τότε τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες που να αντιστοιχούν στο τμήμα αυτό ή τοποθετείται μέσα στο θύλακα χαλίκι ή ακόμα περιορίζεται το γυμνό δοκιμαζόμενο τμήμα μόνο στην κυκλική επιφάνεια του πυθμένα της γεώτρησης.

Όσον αφορά το φορτίο h που επιβάλλεται, δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποια όρια καθώς όταν αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες υπόγειας ροής δεν ισχύει ο νόμος του Darcy. Έτσι, για συνηθισμένες διαμέτρους ο Castany (1986) προτείνει τα εξής φορτία:

Για $K = 10^{-2}$ m/s	h_c = μερικά cm
Για $K = 10^{-3}$ m/s	h_c = μερικά dm
Για $K = 10^{-4}$ m/s	h_c = μερικά m

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

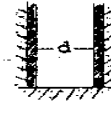
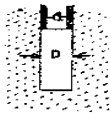
Η περατότητα K υπολογίζεται από τον τύπο: $K = \frac{Q}{C h_c}$

όπου: Q η παροχή που απορροφάται για την διατήρηση της στάθμης

h_c η σταθερή στάθμη που επιβάλλεται από τη δοκιμή σταθερού φορτίου και μετρίεται από τη μέση του δοκιμαζόμενου τμήματος, αν αυτό βρίσκεται πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα (στην ακόρεστη ζώνη), ή αντίθετα, από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα αν αυτό βρίσκεται στην κορεσμένη ζώνη.

C ο συντελεστής θύλακα που εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή του ασωλήνωτου δοκιμαζόμενου τμήματος (θύλακας). Οι πιο απλές και συνηθισμένες τιμές που έχουν προταθεί για διάφορες μορφές θύλακα δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6.4).

Σημειώνεται πως στην περίπτωση της ακόρεστης ζώνης υπάρχει σφάλμα καθώς παρέρχεται κάποιος χρόνος μέχρις ότου η ζώνη γύρω από το θύλακα κορεστεί.

A/A	ΜΟΡΦΗ ΘΥΛΑΚΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΥΛΑΚΑ
1.	 d = έσωτερική διάμετρος σωληνώσεων	$C = 2,75 d$ Χρησιμοποιούνται και τιμές όπως $C = 2,85 d$ ή $C = 2\pi d$. Για τη δοκιμή του μεταβλητού φορτίου ο λόγος A/C παίρνεται πολλές φορές σαν $d/8$.
1a.	 Όταν η δοκιμή γίνεται μεταξύ διαπερατού και άδιαπέρατου στρώματος	$C = 2d$
2.	 D = διάμετρος γεωτρήσεως. L = μήκος ασωλήνωτου τμήματος γεωτρήσεως. (πιο συνηθισμένος τύπος θύλακος)	$C = \frac{2\pi L}{\ln(2L/D)}$ για $L \geq 4D$ (καμιά φορά και περίπου για $L > D$ (in U.S.B.R. κ.ά.) $C = \frac{1}{2\pi D \sqrt{L/D + 1/4}}$ για $L < 4D$ ή και $C = \frac{2\pi D}{\sqrt{1 - \frac{L^2}{D^2}}}$ το ε. ή μ. ή $\sqrt{1 - \frac{L^2}{D^2}}$ για $L < D$ (SOLETANCHE)

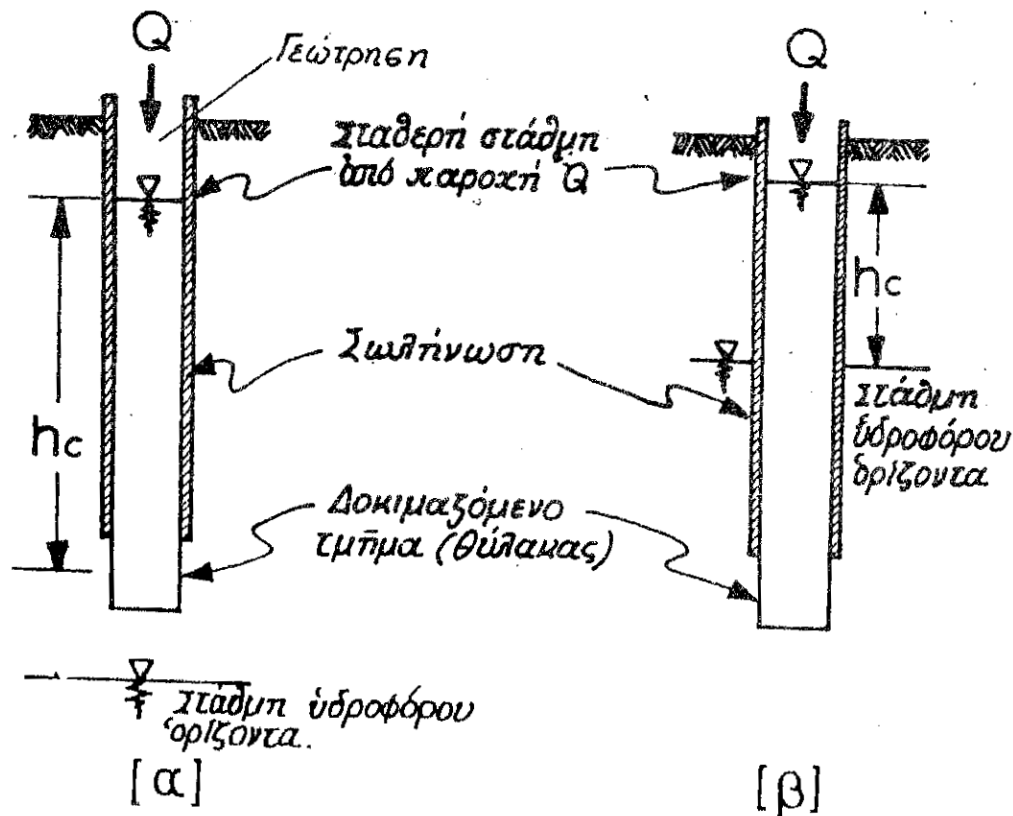
	$C = \alpha(1,032L + 30D)$ με $\alpha = 1$ για $L \geq 6m$ και $\alpha = 0,481 + 0,173L - 0,014L^2$ για $L < 6m$ (Gilg και Savard, 1957)
2α.	Όπως και τό (3), αλλά όταν υπάρχει ανισοτροπία περατότητας (K_h / K_v) και είναι γνωστός ο λόγος K_h / K_v. Η γνώση αυτή μπορεί να γίνει προσεγγιστικά σε δοκιμές μετρήσεως των δύο περατότητων, στο εργαστήριο. Για τον προσδιορισμό του K_h $C = \frac{2\pi L}{\ln(2mL/D)}$ με $m = (K_h / K_v)^{1/2}$ για $L > 4D$ K_h = οριζόντια περατότητα K_v = κατακόρυφη περατότητα
3.	Εκπαιρικός θύλακας με ακτίνα R (για να διατηρηθεί ρίχνεται χαλίκι που σύγχρονα εμποδίζει την ανάπτυξη τυρβώδους ροής -βλ. και παρατήρηση 8 σελ. 11). $C = 4\pi R$ (in Castany, 1968 κ.ά.).
4.	Περίπτωση χρησιμοποίησης ως ειδικής διατάξεως "manchon LeFranc" (βλ. παρατήρηση 8 σελ. 11). $C = 0,415$ για manchon 7" $C = 0,39$ " " 4" 1/2 $C = 0,37$ " " 3"

5.	Αν ο θύλακας βρίσκεται γενικά κοντά σε ένα από τα όρια του υδροφόρου ορίζοντα (ελεύθερη επιφάνεια ή αδιαπέρατο υπόβαθρο), ο συντελεστής C διορθώνεται σε C': $\frac{1}{C'} = \frac{1}{C} + \frac{1}{8\pi\zeta_1} \text{ ή } \frac{1}{C'} = \frac{1}{C} - \frac{1}{8\pi\zeta_2}$ με ζ_1 την απόσταση του κέντρου του θύλακα από το αδιαπέρατο υπόστρωμα και ζ_2 την απόσταση του κέντρου από την ελεύθερη επιφάνεια του ορίζοντα. (SOLETANCHE, βλ. και Schneebeli, 1966).
----	--

Πίνακας 6.4 Τιμές συντελεστή θύλακα

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

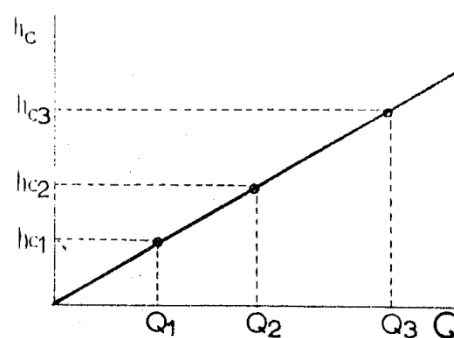
Η διάταξη της δοκιμής σταθερού φορτίου παρουσιάζεται σχηματικά ακολούθως (Σχήμα 6.8)



Σχήμα 6.8 Δοκιμή σταθερού φορτίου (Lefranc) σε συνάρτηση με την θέση του δοκιμαζόμενου τμήματος σχετικά με τον υδροφόρο ορίζοντα

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

Για την καλύτερη ακρίβεια στην μέθοδο και μείωση διαφορών σφαλμάτων συνιστάται η εκτέλεση περισσότερων δοκιμών, τριών τουλάχιστον, για το ίδιο δοκιμαζόμενο τμήμα με διαφορετικά h_c και Q . Τα σημεία που αντιστοιχούν στα ζεύγη αυτά, όταν το υπέδαφος είναι ομοιογενές, πρέπει να τοποθετούνται αντίστοιχα πάνω σε ευθεία σε διαγράμματα αντίστοιχων συντεταγμένων (Σχήμα 6.9). Αν όχι τότε η δοκιμή πρέπει να ελέγχεται.



Σχήμα 6.9 Έλεγχος δοκιμής σταθερού φορτίου σε περίπτωση γραμμικής ροής και χωρίς απώλειες φορτίου, γενικά μικρές παροχές δοκιμής

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

Γενικές αιτίες σφαλμάτων είναι δύο. Η αποσυμπίεση του εδάφους γύρω από τον θύλακα (πλασματική αύξηση περατότητας, αλλά συχνά στην ίδια τάξη μεγέθους) και αντίθετα, έμφραξη των πόρων ή των ασυνεχειών του πετρώματος από φερτά υλικά ή θρύμματα διατρήσεως (πλασματική μείωση περατότητας, συχνά σημαντική).

6.4.2.2. Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (ή δοκιμή Maag)

Η απλούστερη μέθοδος προσδιορισμού του συντελεστή περατότητας είναι η δοκιμή Maag, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών χαμηλής υδροπερατότητας.

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

Η σχέση η οποία διέπει την περατότητα K στη δοκιμή μεταβλητού φορτίου είναι:

$$K = \frac{A}{C (t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

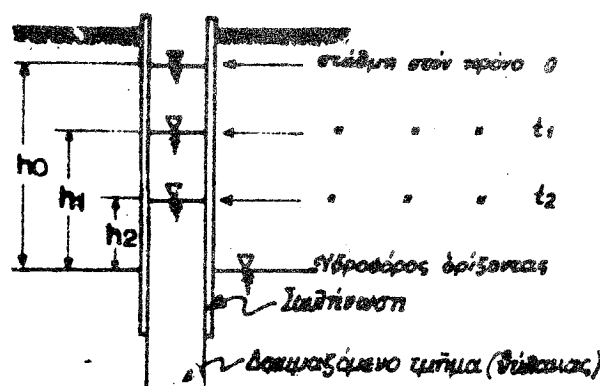
όπου A η διατομή της στήλης του νερού μέσα στη γεώτρηση ($A = \frac{1}{4} \pi d^2$)

d η εσωτερική διάμετρος της σωληνώσεως κατακόρυφης γεωτρήσεως

h_1 και h_2 στάθμες του νερού σε δύο στιγμές t_1 και t_2 που για τη μέτρησή του ισχύουν τα ίδια με τη μέτρηση του h_c

C ο συντελεστής θύλακα οι τιμές του οποίου προκύπτουν από τον Πίνακα 6.4

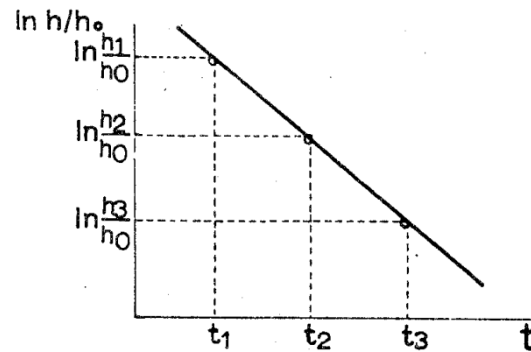
Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται η διάταξη μεταβλητού φορτίου.



Σχήμα 6.10 Δοκιμή μεταβλητού φορτίου με το δοκιμαζόμενο τμήμα μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

Με ανάλογο τρόπο όπως και στη δοκιμή Lefranc είναι δυνατό να ελέγξουμε τα αποτελέσματά μας. Η αντίστοιχη καμπύλη φαίνεται στο Σχήμα 6.11. Οι πηγές σφαλμάτων είναι ίδιες με εκείνες που αναφέρονται στη δοκιμή σταθερού φορτίου.

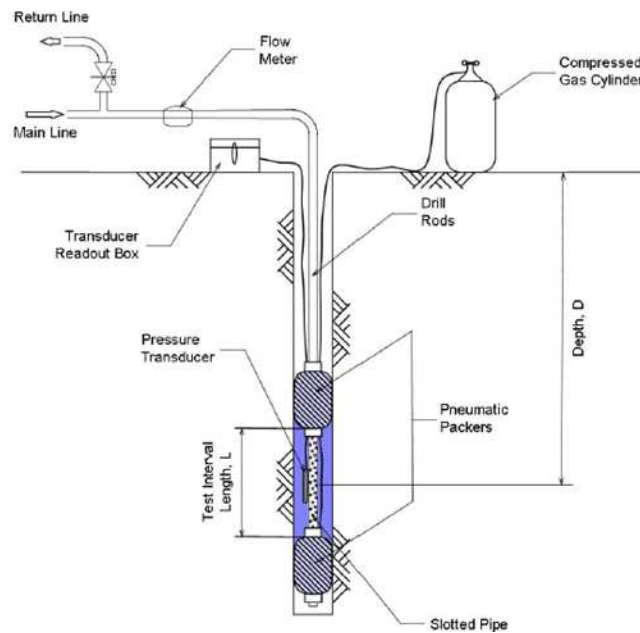


Σχήμα 6.11 Έλεγχος δοκιμής μεταβλητού φορτίου σε περίπτωση γραμμικής ροής και χωρίς απώλειες φορτίου, γενικά μικρές παροχές δοκιμής
(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

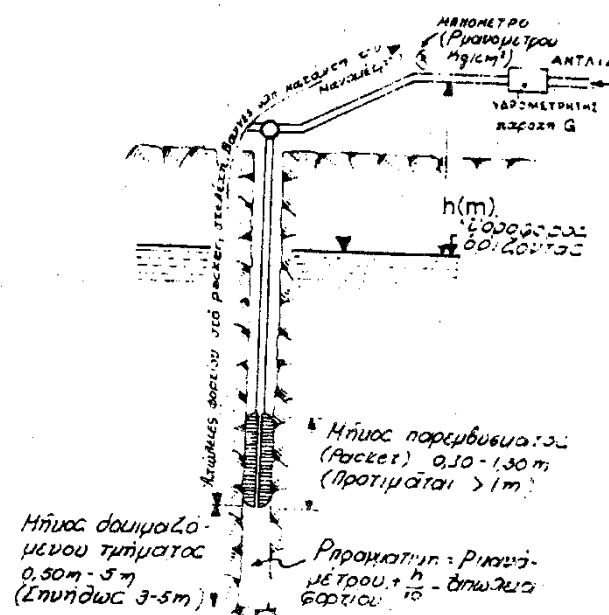
6.4.2.3. Δοκιμή αποστολής του νερού με πίεση (ή δοκιμή Lugeon)

Η πιο γνωστή επιτόπια δοκιμή μέτρησης της υδραυλικής αγωγιμότητας σε βραχώδη πετρώματα είναι η δοκιμή Lugeon. Η δοκιμή αυτή, το όνομα της οποίας οφείλεται στο Maurice Lugeon (1933), είναι ανάλογη με τη δοκιμή σταθερού φορτίου και πραγματοποιείται σε τμήμα γεώτρησης. Το δοκιμαζόμενο τμήμα, που έχει συνήθως μήκος $L=3-5\text{m}$ από τον πυθμένα της γεώτρησης (ανάλογα με την περατότητα του πετρώματος), απομονώνεται από πάνω με ένα παρέμβυσμα (packer) που διογκούμενο με κατάλληλη τεχνική (υδραυλικά ή μηχανικά), εφάπτεται ερμητικά με τα τοιχώματα της γεώτρησης, ώστε να μην επιτρέπει διαφυγές νερού προς τα πάνω κατά τη διάρκεια της δοκιμής. Σε περίπτωση που η δοκιμή γίνεται αφού ολοκληρωθεί η διάτρηση γίνεται χρήση δύο παρεμβυσμάτων.

Η γενική διάταξη της δοκιμής Lugeon φαίνεται στο Σχήμα 6.12 και στο Σχήμα 6.13. Μετά την απομόνωση του τμήματος εισπίζεται νερό με τη βοήθεια αντλίας. Ένα μανόμετρο, ένας υδρομετρητής, μία βαλβίδα ανακουφίσεως και ένα αεριοφυλάκιο επιτρέπουν τη μέτρηση της ποσότητας νερού που απορροφήθηκε, για κάθε πίεση που εφαρμόστηκε.



Σχήμα 6.12 Διάταξη δοκιμής Lugeon με χρήση δύο παρεμβυσμάτων
(Πηγή: <http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/405-414.pdf>)



Σχήμα 6.13 Διάταξη δοκιμής Lugeon με χρήση ενός παρεμβύσματος
(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

Η δοκιμή εκτελείται με την εφαρμογή πίεσης κατά βαθμίδες. Για κάθε σταθερή πίεση, η ποσότητα που απορροφάται μετριέται σε διάρκεια 5 ή καλύτερα 10 λεπτών. Στη συνέχεια μεγαλώνει η πίεση και μετριέται πάλι η καινούργια απορρόφηση των 5 ή 10 λεπτών. Η

διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να φτάσουμε τη μέγιστη πίεση ($P_{\max}$) που έχουμε ορίσει εξ αρχής. Η τιμή της πίεσης αυτής έχει επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνει την τάση που αναπτύσσεται στο βάθος στο οποίο γίνεται η δοκιμή και συνήθως δεν υπερβαίνει τα 10kg/cm^2 . Μετά την $P_{\max}$ η δοκιμή συνεχίζεται πάλι σε μικρότερες πιέσεις με φθίνουσα σειρά (κυκλική εξέλιξη με βαθμίδες). Ο αριθμός των ενδιάμεσων πιέσεων εξαρτάται από την κατάσταση των ρωγμών του πετρώματος. Ένα παράδειγμα με πέντε βαθμίδες παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.5 που ακολουθεί.

Βαθμίδες	Περιγραφή	Βήμα πίεσης
1 ^η	Χαμηλή	$0,50 P_{\max}$
2 ^η	Μέτρια	$0,75 P_{\max}$
3 ^η	Μέγιστη	$P_{\max}$
4 ^η	Μέτρια	$0,75 P_{\max}$
5 ^η	Χαμηλή	$0,50 P_{\max}$

Πίνακας 6.5 Μέγεθος πίεσης που χρησιμοποιείται συνήθως σε κάθε βαθμίδα

(Πηγή: <http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/405-414.pdf>)

Κατά τη διάρκεια κάθε βαθμίδας, η πίεση του νερού (P) όπως και η παροχή (q) καταγράφονται κάθε στιγμή. Συνεπώς, μία μέση τιμή της P και q χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της διαπερατότητας σε κάθε βήμα. Η διαπερατότητα εκφράζεται σε μονάδες Lugeon. Εμπειρικά μία μονάδα Lugeon (U.L) αντιστοιχεί σε απορρόφηση 1lt/m min σε 10kg/cm^2 πραγματική πίεση από 10λεπτη δοκιμή. Η εξίσωση με την οποία προκύπτει η τιμή της απορρόφησης σε μονάδες Lugeon είναι: $\text{Lugeon Value} = \alpha \frac{q}{L} \frac{P_0}{P}$

όπου α αδιάστατος συντελεστής για μετατροπή μονάδων

q η μετρούμενη κάθε φορά παροχή

P η μετρούμενη κάθε φορά πίεση

P_0 πίεση ίση με 10MPa

Έχοντας γνωστή την υδροπερατότητα σε μονάδες Lugeon είναι δυνατό να βρούμε την υδραυλική αγωγιμότητα K του πετρώματος καθώς και την κατάσταση των ασυνεχειών του σύμφωνα με τον Πίνακα 6.6. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός, ότι μπορεί κατά κάποιο τρόπο η μονάδα Lugeon να έχει τυποποιηθεί σαν μονάδα ενδεικτικής της περατότητας, παρόλο που δεν την εκφράζει απόλυτα, ενέχεται όμως να μας οδηγήσει σε λάθος εκτιμήσεις.

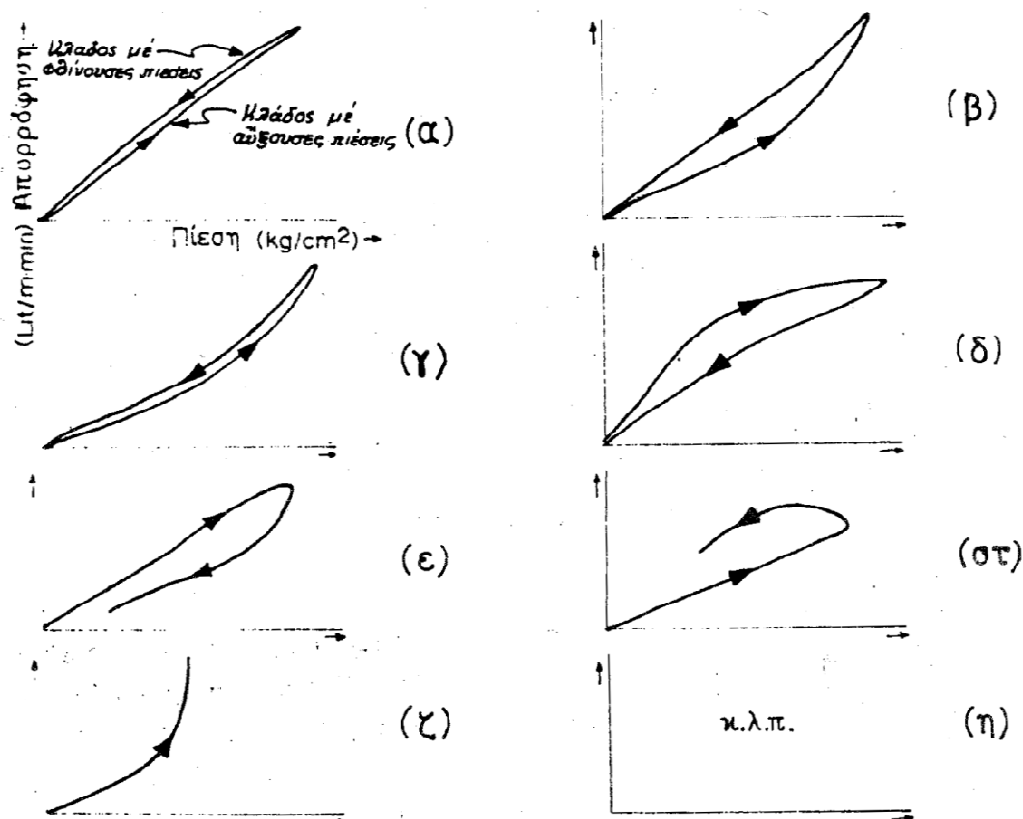
Εύρος Lugeon	Χαρακτηρισμός	Εύρος K (cm/sec)	Κατάσταση βραχόμαζας ως προς τις ασυνέχειες
<1	Πολύ χαμηλή	$<1 \times 10^{-5}$	Άρρηκτο ή συμπαγές
1-5	Χαμηλή	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$	Ελαφρώς ρηγματωμένο
5-15	Μέτρια	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$	Ελάχιστες και μερικώς ανοιχτές ρωγμές
15-50	Μεσαία	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$	Λίγες και ανοιχτές ρωγμές
50-100	Υψηλή	$6 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-3}$	Αρκετές και ανοιχτές ρωγμές
>100	Πολύ υψηλή	$>1 \times 10^{-3}$	Ανοιχτές διακλάσεις

Πίνακας 6.6 Κατάσταση ασυνεχειών βραχόμαζας συνδεδεμένες με διάφορα εύρη τιμών μονάδας Lugeon

(Πηγή: <http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/405-414.pdf>)

Σε περίπτωση εδαφών συνεκτικών ή μικροδιαπερατών πετρωμάτων είναι δυνατό ο υπολογισμός της περατότητας να γίνει με χρήση του τύπου: $K = \frac{Q}{L} \ln \frac{r_0}{r_1}$ για $L > 4D$.

Με βάση τα ζεύγη τιμών απορρόφησης και πίεσης που εφαρμόζονται είναι δυνατό να δημιουργηθούν καμπύλες που με τη σειρά τους θα βοηθήσουν στην κατανόηση της συμπεριφοράς του υπεδάφους κατά την εκτέλεση δοκιμής. Στο Σχήμα 6.14 που ακολουθεί φαίνονται μερικά ενδεικτικά παραδείγματα.



Σχήμα 6.14 Περιπτώσεις συμπεριφοράς υπεδάφους σε δοκιμή Lugeon

(Πηγή: Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας, Παύλου Μαρίνου, 1998)

Οι παραπάνω καμπύλες σχετίζονται με φαινόμενα γραμμικής συμπεριφοράς (περίπτωση α όπου πίεση και απορρόφηση είναι ίδια σε κάθε βαθμίδα), φαινόμενα διάνοιξης ρωγμών με καθαρισμό ή διαστολή τους (περίπτωση β, γ, στ όπου στον κλάδο με φθίνουσες πιέσεις αυξάνεται η απορρόφηση) και τέλος φαινόμενα έμφραξης ρωγμών είτε με πίεση είτε με πλήρωση από φερτά (περίπτωση δ, ε όπου στον κλάδο με αύξουσες πιέσεις εμφανίζεται μεγαλύτερη απορρόφηση).

Αν και η δοκιμή αυτή είναι ευρύτατα διαδεδομένη δεν πρέπει να παραληφθούν τα μειονεκτήματά της. Το κυριότερο από αυτά είναι ότι η δοκιμή λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένο τμήμα βραχώμαζας συνεπώς οι τιμές περατότητας αφορούν μόνο αυτό. Ακόμα, η μειωμένη ακρίβεια οφείλεται στο ότι δεν λαμβάνεται υπόψη ο συντελεστής θύλακα

(αναφέρθηκε στις δοκιμές Lefranc και Maag) ούτε και οι δοκιμές γίνονται υποχρεωτικά μόνο κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπλέον, οι μεγάλες πιέσεις δημιουργούν πρόσθετες καταπονήσεις στο υπέδαφος με συνέπειες στην περατότητα του.

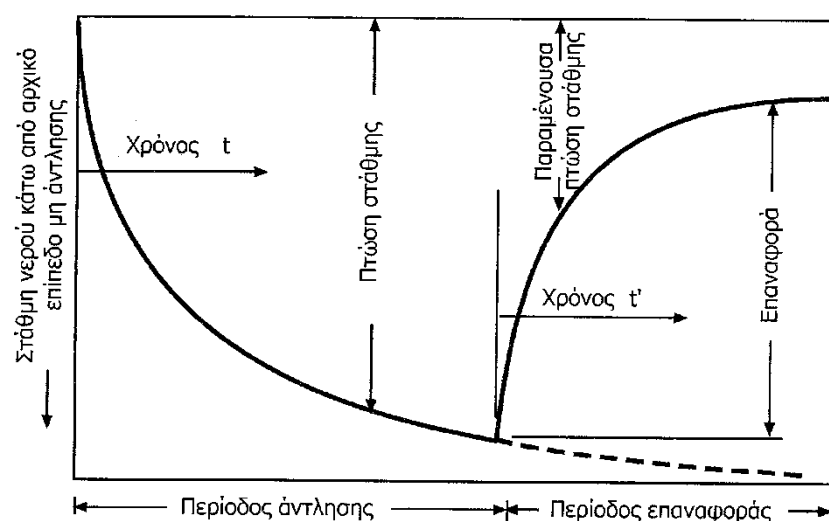
6.4.3. Δοκιμαστική άντληση

Η πιο αξιόπιστη και συνηθισμένη μέθοδος προσδιορισμού των χαρακτηριστικών ενός υδροφορέα είναι η δοκιμαστική άντληση τα αποτελέσματα της οποίας μπορεί να οδηγήσουν στη βέλτιστη διαχείριση των υπόγειων υδάτων. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις, όπως αναφέρει η κα. Κ. Νάνου («Υδραυλική Υπογείων Νερών», 2008), δεν είναι παρά ένα πείραμα πεδίου. Με τον όρο αυτό ονομάζονται αντλήσεις από φρέατα με γνωστή παροχή, σταθερή ή μεταβαλλόμενη σε χρονικά βήματα, κατά τη διάρκεια των οποίων μετρώνται η μεταβολή του πιεζομετρικού φορτίου ή η πτώση της στάθμης στο ίδιο το πηγάδι ή σε κάποια άλλη δεδομένη θέση.

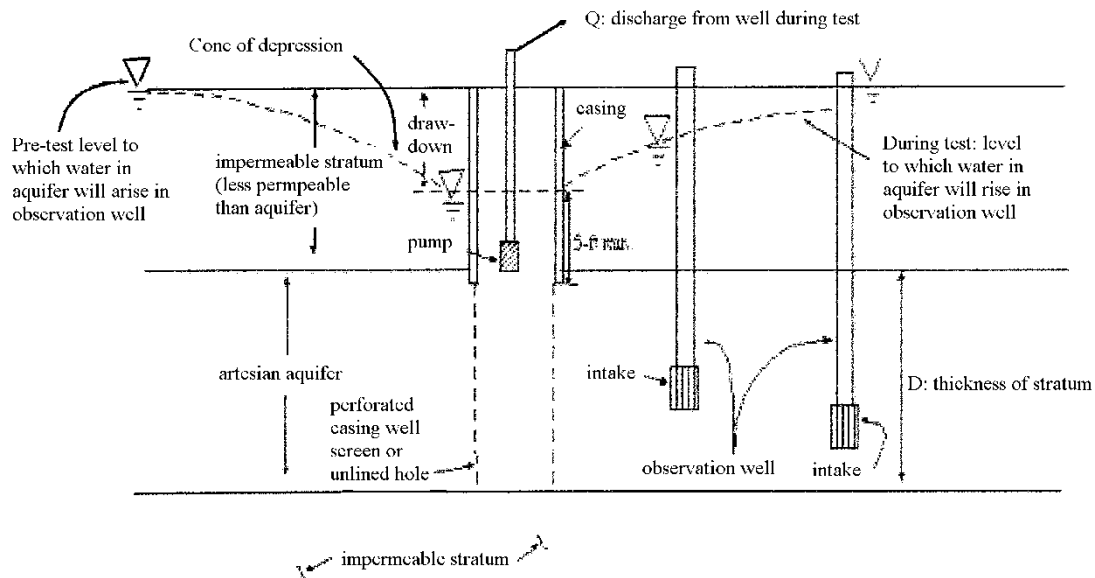
Με βάση τον τρόπο διεξαγωγής της δοκιμής και τη θέση από όπου συλλέγονται οι παρατηρήσεις είναι δυνατό να κατηγοριοποιηθεί η δοκιμαστική άντληση σε (Υδραυλική Υπογείων Νερών, 2008):

- Δοκιμή άντλησης, όπου η πτώση του πιεζομετρικού φορτίου ή της στάθμης μετριέται στο ίδιο το φρέαρ.
- Δοκιμή επαναφοράς στάθμης, όπου, μετά το σταμάτημα της άντλησης, μετριέται στο ίδιο το φρέαρ η άνοδος της στάθμης.
- Δοκιμή άντλησης, όπου η πτώση του πιεζομετρικού φορτίου ή της στάθμης μετριέται σε ένα ή περισσότερα φρέατα παρατήρησης, γειτονικά στο φρέαρ άντλησης.
- Δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες.

Στο Σχήμα 6.15 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή στάθμης με το χρόνο κατά τη φάση άντλησης και επαναφοράς ενώ στο Σχήμα 6.16 η διάταξη των φρεάτων.



Σχήμα 6.15 Διάγραμμα πτώσης της στάθμης στην περίοδο άντλησης και επαναφοράς (Πηγή: Τεχνική Υδρολογία, Μ. Μιμίκου, 2006)



Σχήμα 6.16 Φρεάτια άντλησης και παρατήρησης

(Πηγή: <http://ewb-uiuc.org/system/files/Ely17.pdf>)

Τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα τα οποία προκύπτουν από τη δοκιμαστική άντληση είναι η υδραυλική αγωγιμότητα K , η διοχετευτικότητα T και η αποθηκευτικά S (ή η ειδική απόδοση S_y για την περίπτωση των φρεάτιων υδροφορέων). Αυτοί οι παράμετροι προσδιορίζονται μέσω γραφικών λύσεων ή ειδικά προγράμματα. Ενδεικτικά αναφέρονται οι μέθοδοι Theis, Cooper-Jacob και Chow.

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις πλεονεκτούν σε σύγκριση με τις δοκιμές εισπιέσεων, καθώς έχουν τη δυνατότητα να αναφέρονται σε μεγαλύτερη έκταση υπεδάφους, άρα η τιμή της περατότητας είναι πιο αντιπροσωπευτική και όχι σημειακή. Δεν πρέπει όμως να παραληφθεί το γεγονός ότι μειονεκτούν ως προς το αυξημένο κόστος και την αδυναμία τους να εφαρμοστούν σε περατά πετρώματα που βρίσκονται πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (ακόρεστη ζώνη).

Πριν φτάσουμε στη διεξαγωγή της δοκιμαστικής άντλησης είναι απαραίτητη πρώτα η εκτέλεση κάποιων εργασιών. Αυτές όπως αναφέρονται στην ιστοσελίδα Συγχρηματοδοτούμενων Αναπτυξιακών Προγραμμάτων εμφανίζονται με την ακόλουθη σειρά:

- διάτρηση αρχικών ερευνητικών γεωτρήσεων με διάμετρο 8,5 in (228 mm)
- διεύρυνση των επιτυχημένων ερευνητικών γεωτρήσεων σε γεωτρήσεις με διαμέτρους 12,25in (311 mm) ή 15,5 in (394 mm) ή 17,5 in (445 mm) ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες
- τοποθέτηση τελικής σωλήνωσης διαμέτρου ανάλογης με την τελική διάμετρο της παραγωγικής γεώτρησης
- τοποθέτηση πιεζομετρικού σωλήνα διαμέτρου 1 in (25,4 mm)
- καθαρισμός και πλύσιμο της γεώτρησης
- χαλίκωση της γεώτρησης
- κατασκευή στομίου γεώτρησης
- δοκιμαστική άντληση

Αναφέρεται ακόμα πως πριν τη διεξαγωγή της τελικής δοκιμαστικής άντλησης είναι απαραίτητη η άντληση ανάπτυξης. Η άντληση αυτή γίνεται με συχνές διακοπές και αυξομειώσεις της παροχής μέχρι που το αντλούμενο νερό, με τη μεγαλύτερη δυνατή παροχή να είναι καθαρό χωρίς στερεά αιωρήματα. Ο έλεγχος της περιεκτικότητας του νερού επιτυγχάνεται μέσω δειγματοληψίας κατά διαστήματα.

Αφού εκτελεστούν όλες οι παραπάνω διεργασίες ξεκινά η δοκιμαστική άντληση μέσω κατάλληλα επιλεγμένης αντλίας. Η παροχή ρυθμίζεται με δικλείδες ή με αλλαγή στροφών του κινητήρα και μετράται με κατάλληλο μετρητή. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο νερό της αντλίας καθώς πρέπει να απομακρύνεται τουλάχιστον 100 m από την γεώτρηση, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος διείσδυσης και διαταραχής της δοκιμής. Αν η άντληση διεξάγεται κατά βαθμίδες, η συνολική της διάρκεια κυμαίνεται από 8 h έως 16 h και μοιράζεται σε 4 ισόχρονες βαθμίδες, στις οποίες οι παροχές είναι περίπου 0,25, 0,50, 0,75 και 1 της μεγαλύτερης δυνατής παροχής που εκτιμήθηκε από την άντληση ανάπτυξης. Σε περίπτωση άντλησης σταθερής παροχής, η διάρκεια είναι περίπου 48h κατά της οποίας μετράται αδιαλείπτως η παροχή. Οι μετρήσεις της στάθμης πτώσης και επανόδου του νερού είναι συνεχείς και πυκνές και γίνονται με ηλεκτρικό σταθμήμετρο ακριβείας με ακρίβεια ανάγνωσης 0,5 cm. Στα πρώτα 5 min οι μετρήσεις θα γίνονται ανά min, στα επόμενα 25 min ανά 5 min και στη συνέχεια ανά 0,5 h. Οι μετρήσεις στάθμης νερού γίνονται στο πιεζόμετρο της γεώτρησης.

6.5. Εργαστηριακές δοκιμές

Με τη διαδικασία της δειγματοληψίας λαμβάνονται εδαφικά δείγματα τα οποία μεταφέρονται στον χώρο του εργαστηρίου. Με κατάλληλες εργαστηριακές μεθοδολογίες, προσδιορίζονται οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων (γεωτεχνικοί παράμετροι).

6.5.1. Δοκιμές διαπερατότητας

Το υπόγειο νερό κινείται από περιοχές υψηλής ενεργειακής στάθμης σε περιοχές μικρότερης ενεργειακής στάθμης. Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στη στάθμη αυτή είναι τόσο η θέση όσο και η ταχύτητα, ενώ η κινητική ενέργεια είναι πρακτικά ασήμαντη λόγω του μικρού μεγέθους των ταχυτήτων.

Ο Γάλλος μηχανικός Darcy (1856) θέλησε να υπολογίσει τις απώλειες ενέργειας κατά την κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος, οι οποίες οφείλονται στις αναπτυσσόμενες τριβές στα τοιχώματα του εδαφικού σκελετού. Από πειραματική έρευνα που έκανε, κατέληξε πως η παροχή της ροής είναι ανάλογη προς τη σταθερή επιφάνεια της διατομής του εδαφικού υλικού A , ανάλογη προς το ύψος απώλειας ενέργειας και αντιστρόφως ανάλογη προς το μήκος του δείγματος. Όλα αυτά, τα συγκέντρωσε στην εξίσωση: $Q = kA \frac{\Delta h}{L}$.

Ο συντελεστής αναλογίας k ονομάζεται υδραυλική αγωγιμότητα ή συντελεστής διαπερατότητας, έχει διαστάσεις ταχύτητας (m/s) και εξαρτάται όχι μόνο από τη φύση του πορώδους μέσου αλλά και από τις ιδιότητες του ρευστού. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διαπερατότητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχευτικότητα του εδαφικού υλικού, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη παροχή θα διέλθει διαμέσου του εδαφικού υλικού αν τα υπόλοιπα μεγέθη διατηρηθούν σταθερά. Προφανώς, ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από το

μέγεθος των πόρων του εδαφικού υλικού και συνεπώς δεν αποτελεί ιδιότητα του υλικού αλλά μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται ο βαθμός συμπύκνωσης του. Έτσι, μια συγκεκριμένη άμμος έχει πολύ μεγαλύτερη διαπερατότητα όταν είναι χαλαρή παρά αφού συμπυκνωθεί και αποκτήσει πολύ πυκνή δομή. Στον Πίνακα 6.7 φαίνονται ενδεικτικές τιμές του συντελεστή διαπερατότητας συνάρτηση του τύπου εδάφους.

Τύπος εδάφους	Συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας k σε m/sec
Κροκάλες	$10^{-1} - 5$
Χοντρά χαλίκια	$10^{-2} - 2$
Μέσα χαλίκια	$10^{-3} - 1$
Λεπτά χαλίκια	$10^{-4} - 10^{-2}$
Χοντρή άμμος	$10^{-5} - 10^{-2}$
Μέση άμμος	$10^{-6} - 10^{-3}$
Λεπτή άμμος	$10^{-6} - 10^{-4}$
Ιλύς	$10^{-9} - 10^{-5}$
Άργιλος	$10^{-10} - 10^{-8}$

Πίνακας 6.7 Τιμές του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k των κυριότερων εδαφών

(Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/758/PDF/1.pdf>)

Ο προσδιορισμός του συντελεστή διαπερατότητας μπορεί να γίνει με μία από τις παρακάτω εργαστηριακές διατάξεις:

- Διαπερατόμετρο σταθερού υδραυλικού φορτίου, κατάλληλο για τη μέτρηση του συντελεστή υδατοπερατότητας σε χονδρόκοκκα, υδατοπερατά εδάφη (χαλίκια, άμμος, κλπ).
- Διαπερατόμετρο μεταβλητού υδραυλικού φορτίου, κατάλληλο για την μέτρηση του συντελεστή υδατοπερατότητας σε λεπτόκοκκα, λίγο διαπερατά εδάφη (όπως η άργιλος).

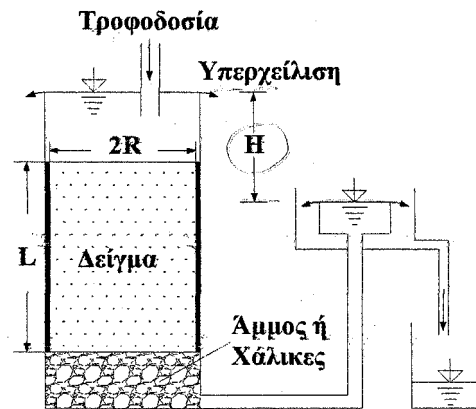
Για τις δύο αυτές δοκιμές το δείγμα του πορώδους μέσου πρέπει να είναι πλήρως κορεσμένο πριν τη μέτρηση και να είναι κατά το δυνατό αδιατάρακτο.

6.5.1.1. Διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου

Το διαπερατόμετρο σταθερού υδραυλικού φορτίου αποτελεί συσκευή που ουσιαστικά αναπαράγει το πείραμα του Darcy, δημιουργώντας στα άκρα του δείγματος του πορώδους μέσου μια διαφορά υδραυλικού φορτίου και μετρώντας την προκύπτουσα παροχή.

Σε αυτή τη δοκιμή, νερό υπό γνωστή πίεση αναγκάζεται να διέλθει διαμέσου εδαφικού δείγματος με γνωστές διαστάσεις και ορισμένη παροχή νερού. Το διαπερατόμετρο αυτό χαρακτηρίζεται από σταθερό υδραυλικό φορτίο τόσο στη διατομή εισόδου όσο και στη διατομή εξόδου της ροής στο δείγμα. Τούτο επιτυγχάνεται με τη δημιουργία κατάλληλων δεξαμενών υπερχειλίσης στις θέσεις εισροής και εκροής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.17 και

στην Εικόνα 6.2. Η υδραυλική αγωγιμότητα θα προκύψει μέσω της σχέσης: $k = \frac{QL}{A\Delta h}$ όπου A είναι η διατομή του εδαφικού δείγματος, L το μήκος του, Q η σταθερή παροχή διήθησης και Δh η υψομετρική διαφορά των ελεύθερων σταθμών των δεξαμενών εισόδου και εξόδου.



Σχήμα 6.17 Διαπερατόμετρο σταθερού υδραυλικού φορτίου

(Πηγή: Υδραυλική υπόγειων νερών 2008)

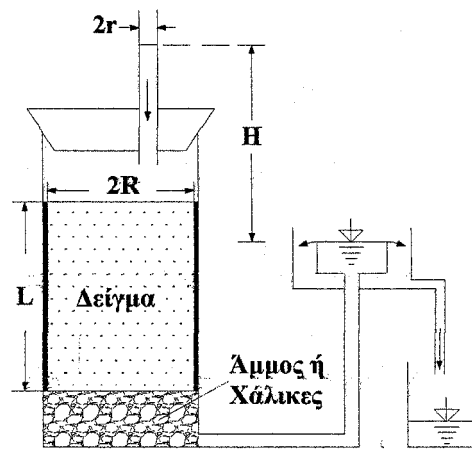


Εικόνα 6.2 Εργαστηριακή διάταξη διαπερατόμετρου σταθερού φορτίου

(Πηγή: http://geotech.uta.edu/lab/Main/Soil%20Lab/08_Permeability/permeability_lecture%20note.pdf)

6.5.1.2. Διαπερατόμετρο μεταβλητού φορτίου

Τα διαπερατόμετρα μεταβλητού υδραυλικού φορτίου είναι κατάλληλα για δείγματα με σχετικά μικρή υδραυλική αγωγιμότητα. Έχουν σταθερό υδραυλικό φορτίο μόνο κατά την εκροή από το δείγμα. Δεν υπάρχει εξωτερική τροφοδοσία ρευστού στο δείγμα του υλικού και επομένως το πιεζομετρικό φορτίο στη διατομή εισροής ελαττώνεται με σταθερό ρυθμό. Το αρχικό και τελικό, μετά από ορισμένο χρόνο, ύψος ενέργειας μετριέται με τη βοήθεια ενός πιεζομέτρου. Η τελική σχέση από την οποία θα υπολογισθεί η τιμή του k είναι: $k = \left(\frac{Lr^2}{tR^2}\right) \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$ όπου H_1 και H_2 είναι οι τιμές του υδραυλικού φορτίου στην αρχή και στο τέλος του χρόνου t στον οποίο πραγματοποιείται η μέτρηση. Η διάταξη της δοκιμής μεταβλητού φορτίου περιγράφεται στο Σχήμα 6.18 που ακολουθεί.



Σχήμα 6.18 Διαπερατόμετρο μεταβλητού υδραυλικού φορτίου
(Πηγή: Υδραυλική υπόγειων νερών 2008)

6.5.2. Άλλες εργαστηριακές δοκιμές

Οι εργαστηριακές δοκιμές που μέχρι τώρα έχει γίνει λόγος αφορούν δοκιμές κατάταξης και δοκιμές διαπερατότητας. Σε περίπτωση που το εκάστοτε έργο απαιτεί πρόσθετες πληροφορίες, γίνονται εργαστηριακές δοκιμές με στόχο τον προσδιορισμό της φυσικής υγρασίας, δοκιμές συμπίεστότητας, δοκιμές αντοχής, δοκιμές συμπτκνωσιμότητας κ.ά.

7. Σχεδιασμός διαφράγματος με στόχο τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα

7.1. Αντικείμενα μελέτης επί τόπου έρευνας σε θέση κατασκευής διαφράγματος

Κίνητρα, όπως η ανισοκατανομή του νερού στο χρόνο και στο χώρο, οδήγησαν στην αξιοποίηση του υπόγειου νερού. Η δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα με την κατασκευή διαφράγματος είναι μια λύση στο πρόβλημα αυτό. Όμως πέρα από το διάφραγμα, ένα τέτοιο έργο συνοδεύεται από εγκαταστάσεις υδροληψίας, αποστράγγισης, τεχνητού εμπλουτισμού και διαχείρισης-συντήρησης. Αντικείμενα μελέτης σε πιθανές θέσεις δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα πριν τον τελικό σχεδιασμό είναι:

- Θέση πηγής νερού

Καθορισμός του άξονα διαφράγματος βασιζόμενοι στην απαιτούμενη αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα και την αποδοτικότητα του διαφράγματος. Ίσως είναι απαραίτητη και η εύρεση εναλλακτικής πηγής νερού.

- Εγκαταστάσεις

Μελέτη εφικτών μεθόδων κατασκευής διαφράγματος και καθορισμός ορίων της κατασκευής ως προς το βάθος. Προσεγγιστικός σχεδιασμός του διαφράγματος για την εκτίμηση του ύψους και μήκους. Μελέτη εγκαταστάσεων υδροληψίας και διανομής νερού και εκτίμηση της απαιτούμενης προετοιμασίας.

- Εκμεταλλεύσιμη ποσότητα νερού

Για τον καθορισμό της ημερήσιας απολήψιμης ποσότητας νερού υποθέτουμε μια σταθερή παροχή υδροληψίας.

- Εφοδιασμός και μέθοδος διανομής νερού

Προσεγγιστική εκτίμηση της προμηθευόμενης ποσότητας νερού και των αποτελεσμάτων της, ιδιαίτερα ως προς την γεωργική ανάπτυξη.

- Κόστος του έργου

Εκτίμηση κόστους λαμβάνοντας υπόψη όλες τις εγκαταστάσεις.

- Περιβαλλοντικές αλλαγές

Εκτίμηση περιβαλλοντικών αλλαγών στο υπέδαφος με την δημιουργία διαφράγματος. Μετά την κατασκευή η περιοχή μελέτης χωρίζεται στην περιοχή ανάντη και στην περιοχή κατόντη του διαφράγματος. Ιδιαίτερα σε γεωργικές εκτάσεις η χρήση λιπασμάτων μπορεί να οδηγήσει και σε φαινόμενα νιτρορύπανσης.

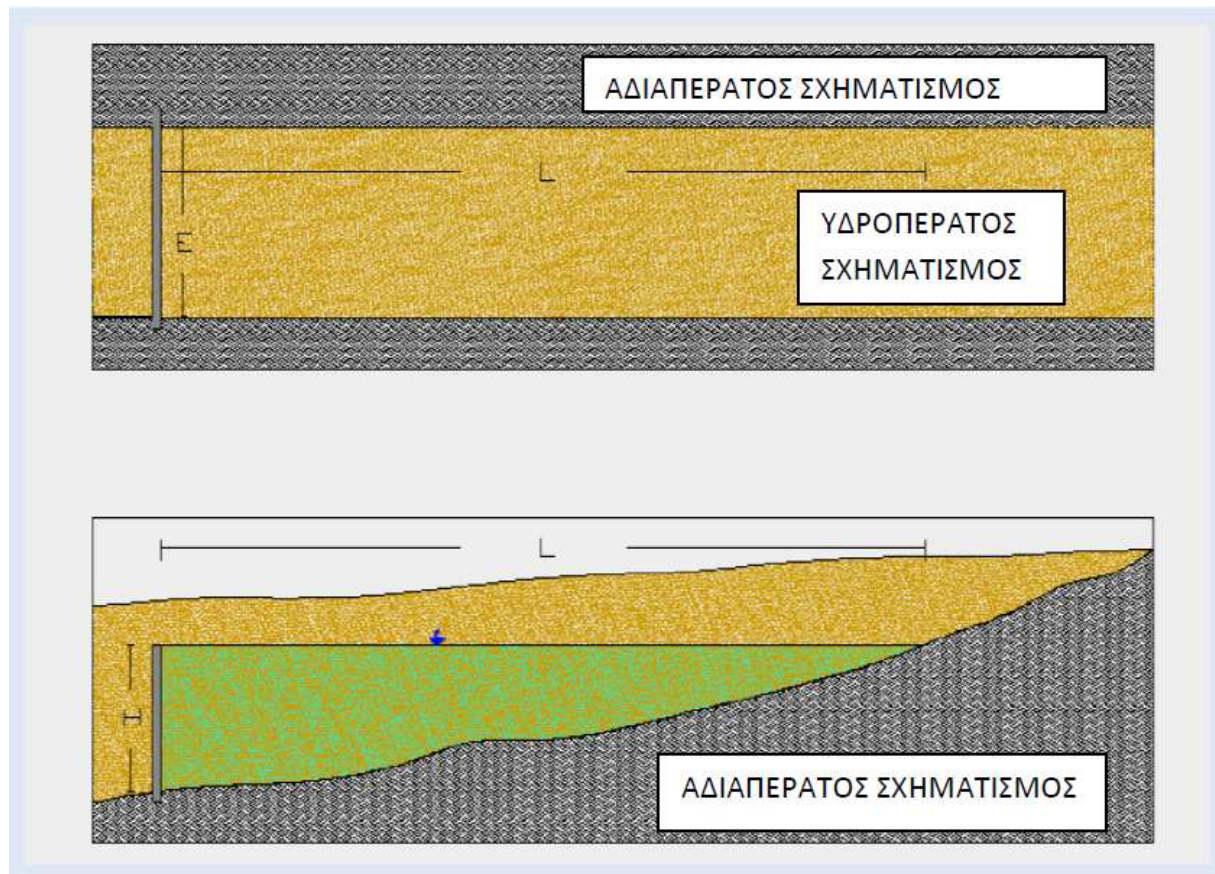
Με στόχο την μελέτη των παραπάνω θεμάτων, τα στάδια μελέτης που ακολουθούνται σύμφωνα με τις οδηγίες της Japan Green Resources Agency, είναι συνοπτικά τα εξής:

- 1) Τοπογραφικές και γεωλογικές μελέτες (τοπογραφικοί χάρτες, γεωφυσικές διασκοπήσεις, δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κλπ)
- 2) Μετεωρολογικές και υδρολογικές μελέτες (καταγραφή παροχών επιφανειακής και υπόγειας απορροής, στάθμη υπόγειων υδάτων, κλπ)
- 3) Υδραυλική ανάλυση (μοντέλα προσομοίωσης υπόγειας ροής κλπ)
- 4) Έλεγχος δυνατότητας κατασκευής διαφράγματος (σύγκριση μεθόδων, βελτιωτικά μέτρα κλπ)

7.2. Γενικές αρχές σχεδιασμού

Για τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα πέρα από το διάφραγμα είναι απαραίτητες και πρόσθετες εγκαταστάσεις υδροληψίας, αποστράγγισης, λειτουργίας, τεχνητού εμπλουτισμού, διαχείρισης και συντήρησης. Αυτές οι εγκαταστάσεις, πρέπει να εναρμονίζονται τόσο με το φυσικό όσο και το κοινωνικό περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται με το μικρότερο δυνατό κόστος κατασκευής και μελλοντικής διαχείρισης-συντήρησης.

Μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Μια απλοποιημένη μορφή του παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 7.1). Η γεωμετρία του αδιαπέρατου υποβάθρου σε συνδυασμό με την επιφανειακή εξάπλωση του υδροπερατού σχηματισμού και την τιμή του ενεργού πορώδους του, δίνει μια εκτίμηση του όγκου του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στον υπόγειο ταμιευτήρα για δεδομένο ύψος και θέση διαφράγματος.



Σχήμα 7.1 Κάτοψη και τομή υδροφόρου ορίζοντα με τον δημιουργούμενο ταμιευτήρα
(Πηγή: http://postgra.hydro.ntua.gr/docs/thesis/text/drivelas_alexandros_full.pdf)

Η απλοποιημένη εξίσωση υπολογισμού του όγκου νερού είναι: $V_w = \frac{1}{2} \cdot H \cdot L \cdot E \cdot e$

όπου οι διαστάσεις H, L, E σε μέτρα και e το ενεργό πορώδες.

Κατά την έρευνα υπεδάφους έχουν εκτιμηθεί η γεωμετρία, τα υλικά και όλα τα ζητούμενα μεγέθη όπως υδραυλική αγωγιμότητα, πορώδες κ.ά.

Εύκολα συμπεραίνουμε πως όσο αυξάνεται το ύψος διαφράγματος, τόσο αυξάνεται η στάθμη του υπόγειου ταμιευτήρα με συνέπεια την αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας και την ευκολότερη άντληση νερού. Παρ' όλα αυτά, αν η στάθμη του ταμιευτήρα είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, αυτό θα έχει αντίκτυπο στις χρήσεις γης στη δεδομένη περιοχή υπόγειας κατάκλυσης. Κάτι τέτοιο θα έκανε τις εγκαταστάσεις αποστράγγισης αναγκαίες. Από την άλλη μεριά, η δημιουργία χαμηλότερου διαφράγματος θα είχε ως αποτέλεσμα μειωμένη αποθηκευτική ικανότητα ταμιευτήρα, δυσκολότερη υδροληψία και με αυξημένο κόστος.

Το μέγεθος του ταμιευτήρα είναι στενά συνδεδεμένο με τις εγκαταστάσεις αποστράγγισης και υδροληψίας. Έτσι, όταν ορίζουμε το μέγεθός του μέσω των διαστάσεων του διαφράγματος, πρέπει να εξασφαλίσουμε τη βέλτιστη λειτουργικά και οικονομικά συνεργασία των εγκαταστάσεων. Αυτό που ποτέ δεν πρέπει να ξεχνάμε είναι πως ο όγκος του ταμιευτήρα καθορίζεται άμεσα από τις ανάγκες που πρέπει να καλύψει.

Η υδραυλική ανάλυση μέσω μοντέλων προσομοίωσης αποτελεί σημαντικό εργαλείο στο σχεδιασμό υπόγειου ταμιευτήρα. Μέσω αυτής, εξετάζεται ποιοτικά και ποσοτικά η υπόγεια ροή και εκτιμώνται οι επιπτώσεις οφειλόμενες σε αλλαγές στην υδατική ισορροπία, την υδροληψία, σε πλημμυρικά φαινόμενα και στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δίνεται στην αβεβαιότητα των τιμών σχεδιασμού. Μεγέθη όπως η υδραυλική αγωγιμότητα και το ενεργό πορώδες διαφέρουν από θέση σε θέση και η τιμή τους αποτελεί μια εκτίμηση.

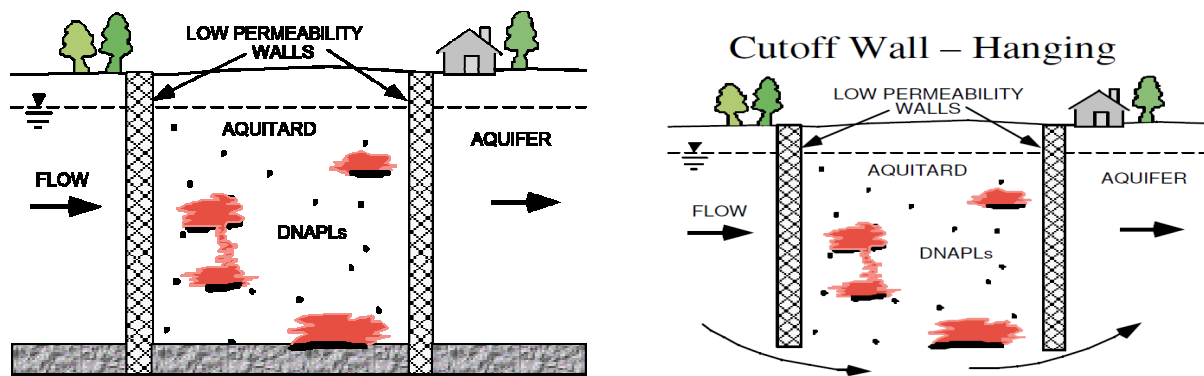
7.3. Λειτουργίες και στεγανότητα διαφράγματος

Ένα υπόγειο διάφραγμα εξυπηρετεί δύο σκοπούς, τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα για την αποθήκευση ύδατος και την αντιμετώπιση της υφαλμύρωσης. Όποιος και αν είναι όμως ο σκοπός του, η κατασκευή πρέπει να χαρακτηρίζεται ως αδιαπέρατη.

Διαρροές από τον υπόγειο ταμιευτήρα ή θαλάσσια διείσδυση σε αυτόν διαταράσσει τη λειτουργία του και την αξιοποίηση του αποθηκευμένου νερού. Ευαίσθητα σημεία στην κατασκευή που ίσως συναντήσουμε διαρροές είναι στη σύνδεσή της με το βραχώδες υπόστρωμα και σε τυχόν ασυνέχειες του υποστρώματος.

Αν και στη φύση είναι αδύνατο να εξασφαλίσουμε συνθήκες πλήρους στεγανότητας, ο σχεδιασμός του διαφράγματος μέσω της υδραυλικής του αγωγιμότητας, του πάχους, του μήκους διείσδυσής του στο υπόστρωμα και των υλικών κατασκευής, πρέπει να εξασφαλίζουν διαρροές μέσα σε ανεκτά όρια. Περιορισμούς δημιουργεί η αύξηση του βάθους καθώς προκαλεί μείωση στην ακρίβεια κατασκευής και πιθανή εμφάνιση ασυνεχειών λόγω αδυναμίας των μηχανημάτων.

Πέρα από τα διαφράγματα τα οποία στοχεύουν στην πλήρη διακοπή της ροής (positive diaphragm walls) υπάρχουν και εκείνα που στοχεύουν στον έλεγχο των διακυμάνσεων της ροής (hanging diaphragm walls). Ο διαχωρισμός τους συνίσταται στο ότι κατασκευάζονται και θεμελιώνονται σε αδιαπέρατο και βραχώδες υπόβαθρο, σε αντίθεση με τα δεύτερα τα οποία φτάνουν σε περιορισμένο βάθος και επιτρέπουν την υπόγεια ροή κάτω από αυτά (Σχήμα 7.2).



Σχήμα 7.2 Διαφράγματα (α) διακοπής της ροής και (β) ελέγχου της ροής
(Πηγή: <http://web.cecs.pdx.edu/~gjohnson/Containment%20Options.pdf>)

7.4. Επιλογή θέσης και άξονα διαφράγματος

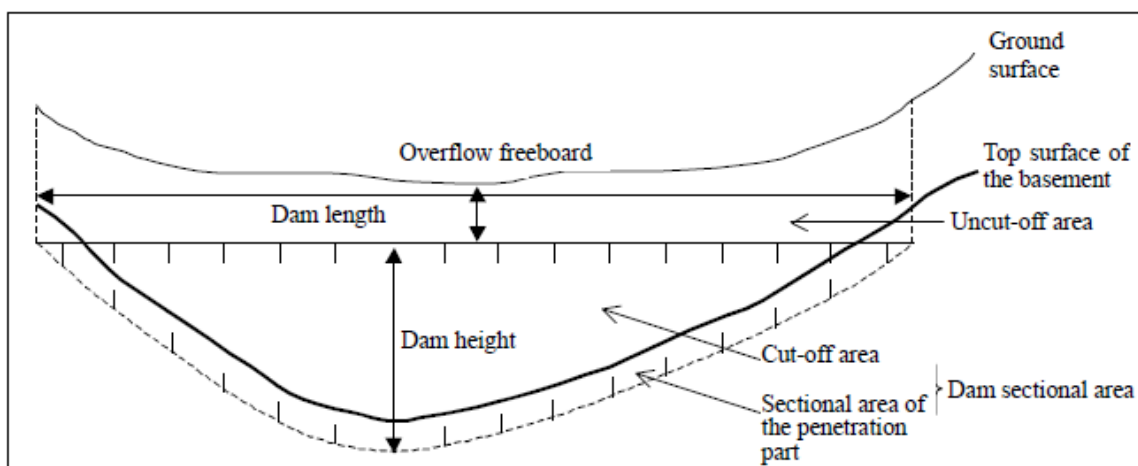
Η επιλογή της θέσης και του άξονα του διαφράγματος στηρίζεται κυρίως σε οικονομικά κριτήρια, στον απαιτούμενο όγκο ταμιευτήρα που θέλουμε να δημιουργήσουμε και τέλος δεσμεύεται και από τις εκάστοτε επί τόπου συνθήκες. Έτσι λοιπόν, τα κριτήρια σχεδιασμού είναι:

- Η μέγιστη εκμετάλλευση του υδροπερατού σχηματισμού
- Το στεγανό στοιχείο να έχει το ελάχιστο μήκος
- Στο χώρο του υπόγειου ταμιευτήρα να μην εγκλωβίζονται προϋπάρχουσες υπόγειες κατασκευές
- Το βάθος όπου συναντάται το υπόβαθρο να είναι ελάχιστο.

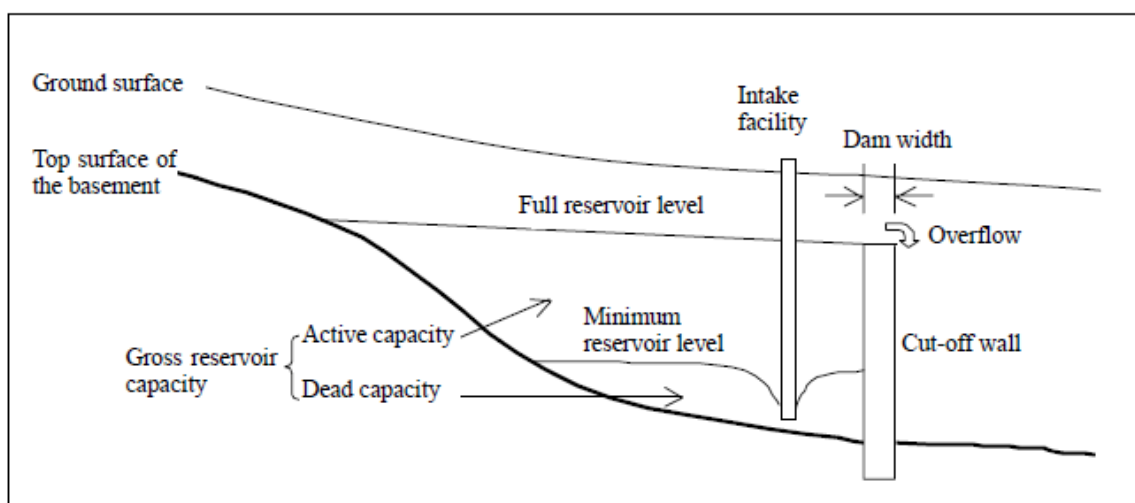
7.5. Διαστάσεις διαφράγματος

Οι διαστάσεις του διαφράγματος κατά τον σχεδιασμό πρέπει να υπακούουν σε πολλά κριτήρια επηρεαζόμενα κάθε φορά από παράγοντες όπως τη γεωμετρία του υποβάθρου, τους στόχους που πρέπει να ικανοποιηθούν και την οικονομικότητα (Σχήμα 7.3).

Sectional view of the cut-off wall



Sectional view of the subsurface dam reservoir area



Σχήμα 7.3 Διαστάσεις διαφράγματος και ταμιευτήρα

(Πηγή: <http://www.green.go.jp/green/gyoumu/kaigai/manual/groundwater/english/appendix.pdf>)

7.5.1. Ύψος διαφράγματος

Το ύψος του διαφράγματος απαρτίζεται από το άθροισμα του μήκους του πάνω από την οροφή του υποβάθρου και το μήκος που διεισδύει στο τελευταίο.

Η επιλογή του μήκους του τμήματος που διεισδύει στο στεγανό υπόβαθρο γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε:

- Να διασφαλίζεται ένα ελάχιστο μήκος διείσδυσης και να αντιμετωπίζεται η πιθανότητα σφάλματος στον προσδιορισμό της οροφής του στεγανού υποβάθρου.
- Να ελαχιστοποιείται η διήθηση νερού στα όρια του διαφράγματος, πλευρικά και στη βάση.
- Να προλαμβάνεται η εμφάνιση διαρροών λόγω των μεγάλων αναπτυσσόμενων πιέσεων νερού στη βάση.

Το πρώτο κριτήριο συνδέεται άμεσα από την μέθοδο κατασκευής του διαφραγματικού τοίχου και την ακρίβεια με την οποία έχει προσδιορισθεί η γεωμετρία του υποβάθρου. Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και η πυκνότητα με την οποία έγιναν θα εκτιμήσουν την στρωματογραφία του υπεδάφους και θα καθορίσουν την ακρίβεια της. Όσον αφορά τις μεθόδους κατασκευής, κάποιες με βάση τον τρόπο που εξελίσσονται, επιτρέπουν τον έλεγχο και επιβεβαιώνουν κατά πόσο το διάφραγμα φτάνει στο υπόβαθρο.

Το δεύτερο κριτήριο καθορίζει την επιτρεπτή ποσότητα νερού σε διαρροές. Σε περιπτώσεις έντονης υδραυλικής κλίσης ανάντη και κατόντη του διαφράγματος, η βάση του είναι το σημείο εμφάνισης των μεγαλύτερων πιέσεων. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των διαφυγών. Η αύξηση του μήκους διεύδυσης αντιμετωπίζει το πρόβλημα αυξάνοντας το μήκος ερπυσμού και μειώνοντας τις διαρροές. Σημειώνεται όμως πως η αύξηση του μήκους διεύδυσης συνεπάγεται και μεγάλη αύξηση του κόστους.

Οι αυξημένες πιέσεις στο βραχώδες υπόστρωμα μπορεί να ενεργοποιήσουν υπάρχουσες ρωγμές ή να ξεπλύνουν υλικό μέσα σε αυτές, γεγονός που θα δημιουργήσει διόδους κίνησης του υπόγειου νερού και θα επιτραπούν διαφυγές.

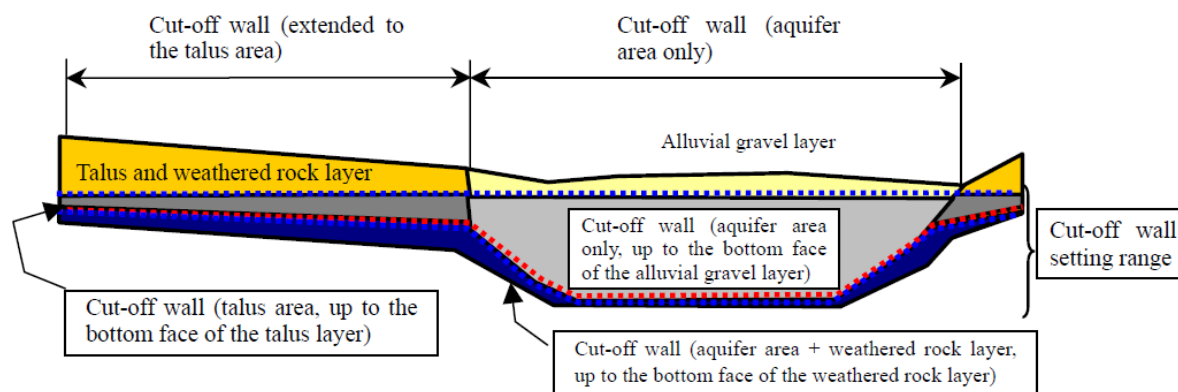
Όσον αφορά το τμήμα ύψους του διαφράγματος πάνω από την οροφή του υποβάθρου, όπως ήδη έχει γίνει λόγος, επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει ο επιθυμητός όγκος αποθήκευσης νερού στο ταμιευτήρα. Επιπλέον, το μήκος αυτό ορίζει το ελεύθερο ύψος υπερχείλισης καθώς και την ανώτατη στάθμη αποθήκευσης.

7.5.2. Πάχος διαφράγματος

Το πάχος του διαφράγματος καθορίζεται κατά κύριο λόγο από τα υλικά της κατασκευής, την μέθοδο που θα ακολουθηθεί και πρακτικούς περιορισμούς προερχόμενους π.χ. από τα μηχανήματα εκσκαφής. Ενδεικτικά αναφέρεται πως αυτή η διάσταση τυπικά κυμαίνεται από 0,5 m έως και 1,20 m. Για την αντιμετώπιση φαινομένων διήθησης νερού διαμέσου του σώματος του διαφράγματος, η λύση δίνεται με αύξηση του πάχους. Κάτι τέτοιο όμως πέρα από την επιβράδυνση της κίνησης του νερού θα σήμαινε ταυτόχρονα και αύξηση κόστους.

7.5.3. Μήκος διαφράγματος

Το μήκος του διαφράγματος είναι άμεσα συνδεδεμένο με τη γεωμετρία της προσχωματικής λεκάνης, των βουνών που την «εγκλωβίζουν» και του στεγανού υποβάθρου. Σαφή κριτήρια για τον προσδιορισμό του μήκους δεν υπάρχουν όμως η επιλογή του γίνεται έμμεσα με βάση την επιλογή της θέσης του διαφράγματος και του άξονά του.



Σχήμα 7.4 Μήκος διαφράγματος

(Πηγή: <http://www.green.go.jp/green/gyoumu/kaigai/manual/groundwater/english/vol04.pdf>)

7.6. Επιβαλλόμενα φορτία και αντοχή σχεδιασμού διαφράγματος

Ο διαφραγματικός τοίχος που στοχεύει στη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα, ως γνωστό βρίσκεται εντός των εδαφικών στρωμάτων. Γι' αυτό δεν χρειάζεται υπερβολική αντοχή για να σταθεί. Τα φορτία σχεδιασμού του είναι η υδροστατική πίεση που προκύπτει από τη διαφορά στάθμης ύδατος ανάντη και κατόντη της κατασκευής. Αυτές οι επιβαλλόμενες πιέσεις είναι δυνατό να προκαλέσουν έκπλυση των υλικών κατασκευής με συνέπεια την υδραυλική καταστροφή. Αναφέρεται πως τα φορτία σχεδιασμού δεν περιλαμβάνουν φορτία προερχόμενα από ωθήσεις γαιών.

Η αντοχή του διαφράγματος συνδέεται άμεσα με την επιλογή του υλικού κατασκευής. Τα επιλεγμένα υλικά πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η επίδραση του άλατος πάνω σε αυτήν να είναι αμελητέα, ιδιαίτερα από την μεριά κατόντη του διαφράγματος όπου εισέρχεται θαλασσινό νερό στον υδροφορέα. Προσμίξεις με ιπτάμενη τέφρα και ασφαλτούχα υλικά βοηθούν στην αντοχή απέναντι στο άλας. Σημείο με αυξημένες απαιτήσεις αντοχής και ανθεκτικότητας είναι και η περιοχή κοντά στο άνω άκρο της κατασκευής από όπου το νερό υπερχειλίζει όταν η στάθμη του ταμιευτήρα ανέβει και ξεπεράσει την ανώτατη στάθμη αποθήκευσης.

Τα σεισμικά φορτία δεν θα πρέπει να παραληφθούν κατά τον σχεδιασμό. Δεδομένου όμως ότι η κατασκευή σείεται μαζί με το περιβάλλον έδαφος κατά το σεισμό, η πιθανότητα να υποστεί ζημιά είναι σχετικά μικρή. Παρ' όλα αυτά σε περίπτωση σεισμού είναι απαραίτητος ο έλεγχος της κατασκευής και των πιθανών δημιουργούμενων διαφυγών. Ο τελευταίος γίνεται παρακολουθώντας την μορφή της επιφάνειας του υπόγειου ταμιευτήρα κοντά στο διάφραγμα.

Στην περίπτωση που η κατασκευή βρίσκεται εντός ασυνεχειών για παράδειγμα λόγω σχιστότητας πετρώματος ο σχεδιασμός του διαφράγματος πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αντέχει φαινόμενα διάτμησης.

7.7. Καθορισμός μεθόδου κατασκευής διαφράγματος

Στη θέση όπου έχει επιλεχθεί να κατασκευαστεί το στεγανό στοιχείο πρέπει να προσδιοριστούν λεπτομερώς τα τοπογραφικά, υδρογεωλογικά, γεωτεχνικά και γεωχημικά στοιχεία της, τα οποία θα βοηθήσουν να επιλεγεί ο κατάλληλος τύπος διαφράγματος και να εξεταστεί κατά πόσο η εκάστοτε μέθοδος είναι εφικτή.

Τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή του τύπου διαφράγματος παρουσιάζονται στον πίνακα Πίνακας 7.1.

Στοιχείο Μελέτης	Περιγραφή
Προσβασιμότητα περιοχής	Σε κάποιους τύπους διαφραγμάτων χρησιμοποιούνται βαριά μηχανήματα που δεν μπορούν να επισκεφτούν περιορισμένες περιοχές ή περιοχές με έντονο ανάγλυφο.
Διαστάσεις διαφράγματος	Το πάχος και η υδραυλική αγωγιμότητα επιλέγονται από τα διαθέσιμα μηχανήματα και τα υλικά κατασκευής. Το βάθος που συναντάται το στεγανό υπόβαθρο θα ορίσει και το ύψος του διαφράγματος ενώ η γεωμετρία της προσχωματικής λεκάνης θα ορίσει το μήκος.
Βάθος κατασκευής	Για λόγους οικονομίας και ακρίβειας κατασκευής το στεγανό στοιχείο είναι προτιμότερο να κατασκευαστεί κατακόρυφο. Όμως με την αύξηση του βάθους τα κατασκευαστικά μηχανήματα υπόκεινται σε μεγαλύτερα φορτία με συνέπεια την απόκλιση στην ακρίβεια εκσκαφής. Έτσι λοιπόν, για ένα διάφραγμα που φτάνει σε μεγάλο βάθος απαιτείται μεγάλη προσοχή για την αποφυγή απόκλισης από την κατακόρυφο, γεγονός που οδηγεί στην επιλογή μηχανημάτων τα οποία θα μπορούν να ανταπεξέλθουν στις εκάστοτε συνθήκες βάθους.
Τρέχουσα στάθμη υπόγειων υδάτων	Η στάθμη υδροφόρου ορίζοντα επηρεάζει τις εργασίες και τον τρόπο απομάκρυνση του εδαφικού υλικού που έχει εκσκαφτεί. Οι μέθοδοι κατασκευής περιορίζονται όταν τα τοιχώματα των εκσκαφών είναι ασταθή λόγω παρουσίας νερού πράγμα που μπορεί να οδηγήσει και σε αντλήσεις.
Οριζόντια και κατακόρυφη υδραυλική αγωγιμότητα	Βοηθά στον προσδιορισμό της στεγανότητας υποβάθρου και στην εκτίμηση της υπόγεια ροής στα περατά στρώματα.
Διαπερατότητα στην περιοχή υπερχειλίσης	Κατά την κατασκευή του διαφράγματος, η περατότητα στην περιοχή πάνω από τη στέψη από όπου θα υπερχειλίζει το πλεονάζον νερό πρέπει να διατηρηθεί ώστε να μείνει ανεμπόδιστη η ροή νερού και να αποφευχθούν φαινόμενα πλημμυρικής κατάκλυσης στην επιφάνεια του εδάφους.
Χαρακτηριστικά εδάφους	Η ευστάθεια στα τοιχώματα εκσκαφής είναι απαραίτητη για κάποιες μεθόδους κατασκευής. Η σκληρότητα του εδάφους παίζει καθοριστικό ρόλο και επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια. Το εδαφικό υλικό πρέπει πάντα να ελέγχεται για πιθανή χρήση του στην κατασκευή διαφράγματος ενώ σε μεθόδους που στοχεύουν στη βελτίωση των εδαφικών ιδιοτήτων η ετερογένεια του γεωυλικού παίζει καθοριστικό ρόλο.

Χημισμός υπόγειου νερού και εδάφους	Πρόβλεψη πιθανής χημικής διάβρωσης του διαφράγματος
Γειτονικό περιβάλλον	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις γύρω από το χώρο της κατασκευής πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η κατάλληλη μέθοδος κατασκευής πρέπει να επιλεγεί σύμφωνα με τις συνθήκες μεταφοράς των κατασκευαστικών μηχανημάτων, τον δημιουργούμενο θόρυβο, τις δονήσεις αν το απαιτεί η εκάστοτε μέθοδος και την πιθανή μόλυνση των υπόγειων υδάτων.
Μηχανήματα και υλικά	Διευκρίνιση του τρόπου αγοράς και μεταφοράς τόσο των μηχανημάτων όσο και των υλικών είναι απαραίτητη. Σε περίπτωση που απαιτηθούν μη διαθέσιμα υλικά και μηχανήματα, το κόστος και ο χρόνος απόκτησής τους πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη.
Κόστος	Η επιλογή της κατασκευαστικής μεθόδου πρέπει να ικανοποιεί όλα τα παραπάνω κριτήρια και να είναι τεχνικά εφικτή. Συγχρόνως, εξετάζεται και το απαιτούμενο κόστος με στόχο την βέλτιστη τεχνικοοικονομικά λύση.

Πίνακας 7.1 Στοιχεία μελέτης για την επιλογή μεθόδου κατασκευής διαφράγματος

Σε περίπτωση που η εξεταζόμενη μέθοδος κατασκευής εφαρμόζεται σε περιβάλλον με πρωτόγνωρες συνθήκες ενδείκνυται πρώτα πειραματικός έλεγχος της μεθόδου τα αποτελέσματα του οποίου θα την χαρακτηρίσουν ως εφικτή και εφαρμόσιμη.

7.8. Τύποι διαφραγμάτων

Για την κατασκευή υπόγειων διαφραγμάτων υπάρχει ένα αρκετά μεγάλο εύρος μεθόδων, κάποιες από τις οποίες εμπλέκουν μερική ή καθόλου διαταραχή του εδάφους και άλλες απομάκρυνση του εδαφικού υλικού και αντικατάστασή του με τα υλικά του διαφράγματος. Με βάση τον τρόπο κατασκευής, οι τύποι των υπόγειων διαφραγμάτων θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Διαφράγματα με απομάκρυνση εδαφικού υλικού και πλήρωση με το εκάστοτε υλικό του διαφράγματος (cut and fill type)
- Διαφράγματα με εκτόπιση εδάφους (displacement type)
- Διαφράγματα επί τόπου ανάμιξης (mix in place type)
- Διαφράγματα εισπίεσης (injection type)

Υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες που δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες. Μια τέτοια μέθοδος είναι η ψύξη του υπεδάφους (ground freezing) η εφαρμογή της οποίας δεν είναι ευρέως διαδεδομένη.

Στον Πίνακα 7.2 δίνεται μια σύντομη περιγραφή της εκάστοτε μεθοδολογίας κατασκευής διαφραγμάτων με τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Μέθοδος κατασκευής	Γενική περιγραφή	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Συμβατικά διαφράγματα	Εκσκαφή και αφαίρεση εδαφικού υλικού με στόχο τη δημιουργία τάφρου πληρωμένη με σταθεροποιητικό πολτό. Το τελικό υλικό πλήρωσης της τάφρου αποτελεί το στεγανό στοιχείο και καθορίζει τον τύπο του διαφράγματος.	Καθορίζονται άμεσα από το δημιουργούμενο στεγανό στοιχείο, γενικά γνώριμη τεχνική κατασκευής, εύκολα προσαρμόσιμη εξαιτίας των πολλών παραλλαγών της, δύναται να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο εδάφους.	Καθορίζονται με βάση την επιλεγμένη μέθοδο δημιουργίας στεγανού στοιχείου.
Διαφράγματα με εκτόπιση εδάφους	Έμψη μεταλλικών στοιχείων, φύλων ή σωλήνων, σε γενικά ασταθή εδάφη (μαλακές άργιλοι, χαλαρές άμμοι κλπ) τα οποία όμως δεν περιέχουν εμπόδια, πέτρες και κροκάλες.	Ευχερής χειρισμός και μεταφορά, δυνατότητα χρήσης σε εδάφη που περιέχουν εμπόδια μικρής σημασίας, παραγωγή ειδικών τεμαχίων για την υλοποίηση διαφραγμάτων ειδικής μορφής.	Πρόκληση θορύβου κατά την έμψη, δονήσεις επαρκείς για να προκαλέσουν καθιζήσεις στο περιβάλλον, κίνδυνος εισροών νερού όταν η σύνδεση των μεταλλικών στοιχείων δεν είναι στεγανή, κίνδυνος καταστροφής όπου συναντώνται σημαντικά εμπόδια, περιορισμένο μήκος (οι συγκολλήσεις των τεμαχίων δεν παύουν να αποτελούν ευαίσθητες ζώνες), τρωτότητα στη διάβρωση, ζήτημα λυγισμού κατά την έμψη.
Διαφράγματα επί τόπου ανάμιξης	Στοχεύει στην εις βάθος εμπλοκή του in situ εδάφους με σταθεροποιητικές ουσίες οι οποίες του προσδίδουν υψηλότερη αντοχή, χαμηλότερη παραμορφωσιμότητα και μειωμένη περατότητα.	Δεν προϋποθέτει εκσκαφή, μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς τύπους εδάφους με αδυναμία σε σκληρά πετρώματα ή σε εδάφη με μεγάλες κροκάλες και ογκόλιθους, γρήγορη σαν μέθοδος κατασκευής.	Απόδοση διαφράγματος εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και ο ποιοτικός έλεγχος είναι γενικώς δυσχερής.
Διαφράγματα εισπίεσης	Διοχέτευση μέσα σε in situ γεωμάζα (έδαφος, βράχος) ρευστού υπό πίεση πηγνύμενου σταδιακά σε ορισμένο χρόνο (ένεμα), με στόχο την αντικατάσταση του αέρα ή του νερού σε ασυνέχειες και πόρους με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της γεωμάζας (μείωση της	Δεν απαιτούν εκσκαφή, παραλλαγές ενέματος που την προσαρμόζουν στις εκάστοτε συνθήκες εδάφους.	Δαπανηρή μέθοδος, απαιτεί μεγάλη εμπειρία καθώς δεν υπάρχει κάποια επιστημονική θεωρία, η απόδοση εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του εδάφους και το επιλεγμένο ένεμα, πιθανότητα η απαιτούμενη περατότητα να μην επιτευχθεί.

	διαπερατότητας και παραμορφωσιμότητας, αύξηση της αντοχής).		
--	---	--	--

Πίνακας 7.2 Κύριες μέθοδοι κατασκευής, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Ακολουθώς παρουσιάζεται μια λίστα με τους περισσότερο διαδεδομένους τύπους διαφραγμάτων οι οποίοι στοχεύουν στην δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα και στην αντιμετώπιση του φαινομένου της υφαλμύρωσης.

- Διαφραγματικός τοίχος ή επί τόπου εγχυνόμενο διάφραγμα (Diaphragm wall)
- Διάφραγμα από εδαφικό υλικό – μπεντονίτη (Soil – Bentonite slurry trench cutoff)
- Διάφραγμα από τσιμέντο – μπεντονίτη (Cement – Bentonite slurry trench cut off)
- Διάφραγμα πλαστικού σκυροδέματος (Plastic concrete slurry trench cutoff)
- Διάφραγμα με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων (Prefabricated diaphragm wall)
- Διάφραγμα έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων (Secant piling)
- Διάφραγμα ρηχής τάφρου (Open cut method)
- Διάφραγμα με χρήση γεωμεμβρανών (Slurry trench cutoff with geomembranes)
- Διάφραγμα εκτόπισης εδάφους με χρήση μεταλλικών πετασμάτων (Steel sheet piling)
- Βαθεία ανάμιξη εδάφους (Deep soil mixing)
- Μέθοδος ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας (Jet grouting)
- Διάφραγμα τσιμεντενέσεων (Grouting)

8. Κατασκευή διαφραγμάτων

8.1. Εισαγωγή

Ο όρος διάφραγμα περικλείει ένα μεγάλο εύρος κατασκευών οι οποίες δημιουργούνται στο υπέδαφος με στόχο τον έλεγχο της υπόγειας ροής. Η γενική μεθοδολογία κατασκευής συνήθως περιλαμβάνει την εκσκαφή τάφρου, την πλήρωσή της με σταθεροποιητικό πολτό και στη συνέχεια επίχωση με επιλεγμένα υλικά τα οποία θα αποτελέσουν και θα δημιουργήσουν το στεγανό στοιχείο. Πρόκειται δηλαδή για σύστημα δύο φάσεων καθώς ο πολτός σταθεροποίησης αντικαθίσταται από άλλα υλικά. Υπάρχει όμως και το σύστημα μονής φάσης κατά το οποίο ο πολτός σταθεροποίησης παραμένει στην τάφρο και σχηματίζει τον στεγανό διαφραγματικό τοίχο. Οι εργασίες εξελίσσονται με τη βοήθεια μηχανολογικού εξοπλισμού όπως συρόμενοι κάδοι (dragline buckets), εκσκαφείς με ανεστραμμένα πτύα (backhoes), εκσκαφείς με αρπάγη (clamshell) ή γενικότερα με εκσκαφείς τάφρων (conventional trenchers). Εναλλακτικά, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι κατασκευής διαφραγμάτων όπως τα ενέματα οπότε η εκσκαφή του εδάφους δεν είναι απαραίτητη, ακολουθείται διαφορετική διαδικασία κατασκευής και μηχανολογικός εξοπλισμός.



α



β



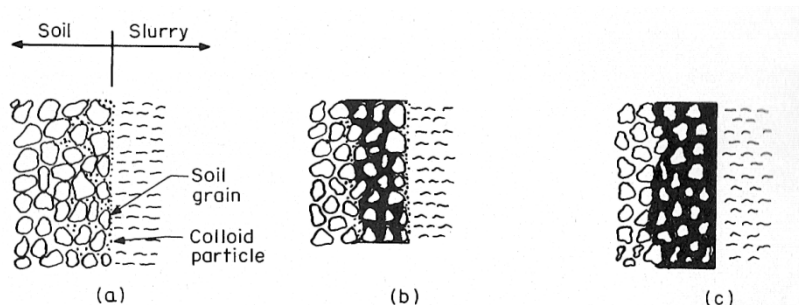
γ



δ

Σχήμα 8.1 Εκσκαφείς (α) με συρόμενο κάδο, (β) με ανεστραμμένο πτύο, (γ) με αρπάγη, (δ) προωθητήρας.

Ο ρόλος του σταθεροποιητικού πολτού σε αυτές τις κατασκευές είναι σημαντικός καθώς πρέπει να υποστηρίζει τα μέτωπα εκσκαφής, να εμποδίζει φαινόμενα κατολίσθησης και αποκόλλησης εδάφους, να δημιουργεί «κρούστα» η οποία θα «σφραγίζει» την τάφρο και θα εμποδίζει διαρροές του πολτού και τέλος θα αποτρέπει την συσσώρευση υλικού στον πυθμένα της τάφρου διατηρώντας το σε αιώρηση. Για την ανάπτυξη των στηρικτικών ιδιοτήτων του πολτού είναι απαραίτητη η διαφορά στάθμης του σε σχέση με την στάθμη των υπόγειων υδάτων, με την πρώτη να υπερέχει τουλάχιστον 1 m («Κατασκευή Δ/Φ τοίχων από τσιμέντο-μπετονίτη», Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα 1997). Πρόσθετες απαιτήσεις ως προς τον σταθεροποιητικό πολτό προκύπτουν ανάλογα και με τη μέθοδο κατασκευής που ακολουθείται. Στο Σχήμα 8.2 φαίνεται ο σχηματισμός της κρούστας του σταθεροποιητικού πολτού. Το κύριο συστατικό του είναι ο μπετονίτης, υλικό παραγόμενο από φυσική άργιλο το οποίο περιέχει στοιχεία μοντομιλλονίτη και μοιάζει με γκρι σκόνη. Η τεχνολογία, η προετοιμασία, οι χρήσεις και ο έλεγχος του σταθεροποιητικού πολτού είναι μεγάλο και σημαντικό κεφάλαιο αλλά δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης για αυτή τη διπλωματική.



Σχήμα 8.2 Σχηματισμός κρούστας: (α) απόθεση κολλοειδών στους πόρους του εδάφους, (β) εισχώρηση του πολτού, (γ) δημιουργία λεπτής αδιαπέρατης μεμβράνης κατά μήκος του μετώπου εκσκαφής

(Πηγή: Slurry Walls, P. Xanthakos, 1979)

Ακολουθώντας γίνεται αναφορά στις μεθόδους κατασκευής του στεγανού στοιχείου. Όλες οι μέθοδοι που έχουν προαναφερθεί θα περιγραφούν συνοπτικά αλλά έμφαση θα δοθεί σε εκείνες που ενδείκνυνται για τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του Μύρτους για την οποία θα γίνει εκτενής περιγραφή στο τελευταίο κεφάλαιο.

8.2. Διαφραγματικός τοίχος από οπλισμένο σκυρόδεμα

Η σύλληψη της ιδέας για την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου έγινε από τον Veder το 1938, παρ' όλα αυτά η κατασκευή του πρώτου τοίχου από οπλισμένο σκυρόδεμα δεν επιχειρήθηκε μέχρι το 1950 (P. Xanthakos, 1979). Τα βασικά στάδια κατασκευής φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 8.3, Σχήμα 8.4, Σχήμα 8.5) και είναι τα εξής:

- 1ο. Κατασκευή οδηγών διαφραγμάτων (guide walls)
- 2ο. Αφαίρεση εδαφικού υλικού και χρήση αιωρήματος μπετονίτη για σταθεροποίηση της τάφρου
- 3ο. Τοποθέτηση οπλισμού
- 4ο. Έγχυση σκυροδέματος και απομάκρυνση αιωρήματος μπετονίτη

Σε κάθε μέθοδο, έτσι και εδώ είναι απαραίτητη η διερεύνηση του χώρου και η προετοιμασία οι οποίες θα καθορίσουν κατά πόσο είναι εφικτή η κατασκευή και θα εμποδίσουν την εμφάνιση πρόσθετων προβλημάτων. Έτσι λοιπόν, είναι απαραίτητα να εξεταστούν θέματα όπως:

- η περιβαλλοντική όχληση (δημιουργούμενος θόρυβος)
- η πρόσβαση μηχανημάτων
- η διαθεσιμότητα χώρου (χώρος αποθήκευσης, παρασκευής και ανακύκλωσης μπεντονιτικού αιωρήματος, σειρά εκτέλεσης εργασιών και δημιουργία πανέλων, μέγεθος κλωβού οπλισμού, κίνηση μηχανημάτων, κλπ)
- οι επιπτώσεις στην τοπική κυκλοφορία
- η παρουσία προϋπαρχόντων κατασκευών
- η διαθεσιμότητα νερού και ηλεκτρικού ρεύματος

Αναλύοντας τα βήματα, πρώτα ξεκινά η δημιουργία των τοιχίσκων οδηγών (guide walls) στην εδαφική επιφάνεια. Αποτελούν προσωρινές κατασκευές δημιουργούμενες από οπλισμένο σκυρόδεμα οι οποίες βοηθούν στην ευθυγράμμιση και στον έλεγχο κλίσης διαφράγματος, κατευθύνουν την εκσκαφή, ενισχύουν το έδαφος γύρω από την τάφρο για την διέλευση βαρέων οχημάτων, προστατεύουν τις παρειές κατά της διάρκειας εκσκαφής από την επίδραση π.χ. της μπένας και βοηθούν στη σωστή τοποθέτηση του οπλισμού μέσω αποστατών.

Η αφαίρεση του εδαφικού υλικού γίνεται μέσα από επιμήκεις εκσκαφές (Εικόνα 8.4) πλάτους συνήθως από 0,60 έως 1,20 m με χρήση διαφραγματικής αρπάγης (Εικόνα 8.1, Εικόνα 8.2). Αυτό είναι δυνατό μόνο σε εδάφη μη περιέχοντα στοιχεία μεγάλης διαμέτρου. Σε αντίθετη περίπτωση, η ύπαρξη ογκολίθων απαιτεί χρήση κρουστικών ή διατρητικών μηχανημάτων που αυξάνουν αρκετά το κόστος. Μια λύση είναι η χρήση υδροφρέζας (Εικόνα 8.3). Υπενθυμίζεται πως η αφαίρεση του εδαφικού υλικού συνοδεύεται από διοχέτευση μπεντονιτικού αιωρήματος στην τάφρο.

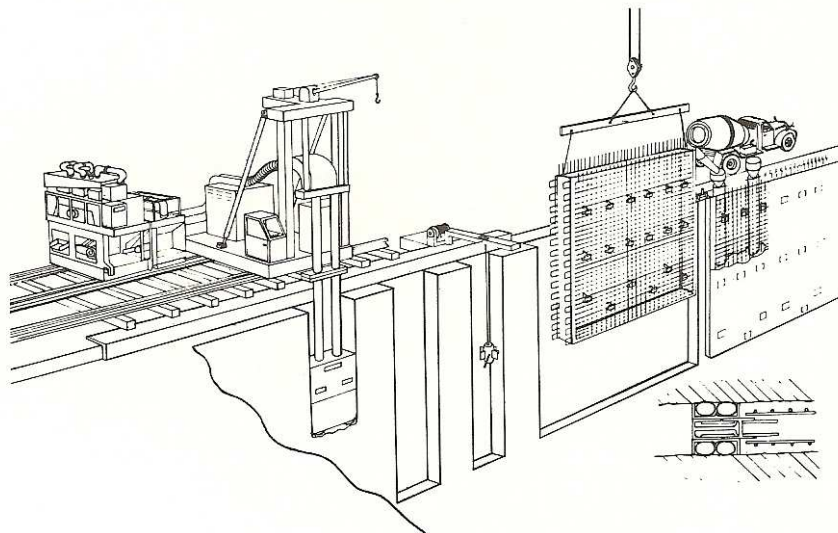
Πρέπει να τονισθεί ότι η δημιουργία διαφραγματικού τοίχου δεν γίνεται μέσω ενιαίας εκσκαφής αλλά μέσα από μεμονωμένα φατνώματα. Με άλλα λόγια, τα επί τόπου εγχυρόμενα διαφράγματα υλοποιούνται σε δύο φάσεις. Αρχικά κατασκευάζονται τα πανέλα με μονό αριθμό (Σχήμα 8.7), στη συνέχεια αποσύρονται οι κύλινδροι επένδυσης και κατασκευάζονται τα ενδιάμεσα πανέλα με τον ζυγό αριθμό. Έτσι, τα ήδη υπάρχοντα πανέλα λειτουργούν ως οδηγοί για τα επόμενα. Μεγάλη σημασία πρέπει να δοθεί στην ένωση των δύο διαδοχικών πανέλων καθώς έχουμε αυξημένες απαιτήσεις στεγανότητας. Οι παράγοντες που την επηρεάζουν έχουν να κάνουν με την παρασκευή του σκυροδέματος, την σωστή σκυροδέτηση με δεδομένη την έλλειψη δονητικής συμπίκνωσης και την κατάλληλη επιλογή μεθόδου στεγάνωσης στα σημεία ένωσης.

Το μέγεθος των φατνωμάτων επηρεάζεται άμεσα από πολλούς παράγοντες. Για παράδειγμα, μεγαλύτερο μήκος φατνώματος σημαίνει λιγότερες ενώσεις φατνωμάτων, μικρότερο κόστος και πιθανότητα λάθους σε αυτές, όμως ταυτόχρονα σημαίνει και αστάθεια στην τάφρο, δυσκολία στην σκυροδέτηση, αύξηση αριθμού σωλήνων έγχυσης και δυσκολία στην μεταφορά του κλωβού οπλισμού. Το βάθος κάθε φατνώματος όπως και το πλάτος συνδέονται άμεσα από τις δυνατότητες των μηχανημάτων. Συγκεκριμένα για το πλάτος, ορίζεται και μια ελάχιστη τιμή (45 cm) έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η εισχώρηση των σωλήνων έγχυσης λόγω του οπλισμού.

Κατά τη διάρκεια εκσκαφής διοχετεύεται το αιώρημα μπεντονίτη και μέσω της υδροστατικής πίεσης που ασκεί στα τοιχώματα εξασφαλίζεται η ευστάθεια των μετώπων. Πέρα από τις εγκαταστάσεις παρασκευής του αιωρήματος είναι απαραίτητες και εκείνες για την ανακύκλωσή του (π.χ. απαμμωτής) που θα το καταστήσουν επαναχρησιμοποιήσιμο.

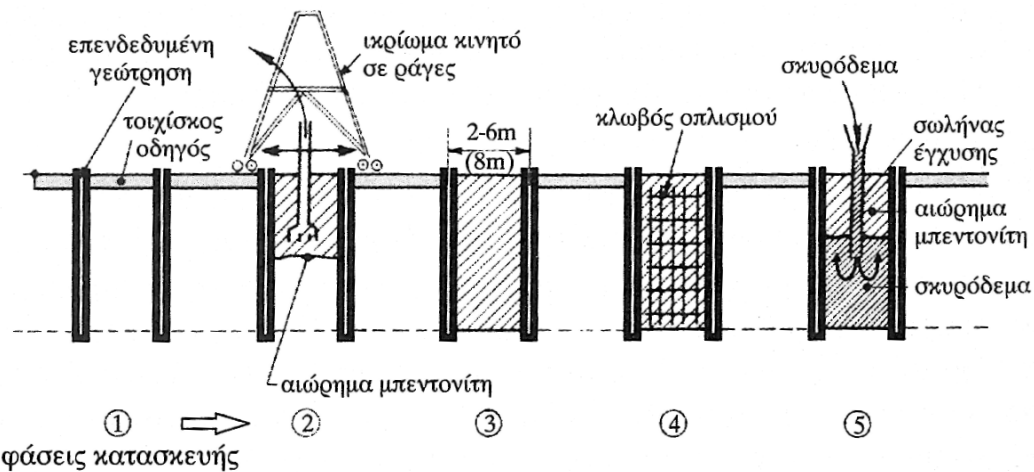
Επόμενο βήμα είναι η τοποθέτηση του κλωβού οπλισμού ορθογωνικής διατομής μέσα στην εκσκαφή (Εικόνα 8.5). Η μεταφορά γίνεται με χρήση γερανού. Η σταθερότητα της απόστασης μεταξύ του κλωβού και της κατακόρυφης παρειάς της εκσκαφής, όπως και η ελάχιστη επικάλυψη εξασφαλίζονται με κατάλληλα διαμορφωμένους ράβδους οπλισμού (οδηγοί) ή με χρήση αποστατών οι οποίοι τοποθετούνται ανά 4 m περίπου.

Η κατασκευή του διαφράγματος ολοκληρώνεται με την σκυροδέτηση και την σύγχρονη απομάκρυνση του μπεντονιτικού αιωρήματος μέσω άντλησης από την επιφάνεια. Η σκυροδέτηση γίνεται μέσω βυθιζόμενων σωλήνων (tremie pipe) (Εικόνα 8.6). Το μήκος τους είναι λίγο μεγαλύτερο από το βάθος της εκσκαφής καθώς πρέπει η κατώτατη άκρη του σωλήνα να βρίσκεται συνεχώς μέσα σε «φρέσκο» σκυρόδεμα. Σε περίπτωση σκυροδέτησης από την επιφάνεια εκσκαφής θα προκαλούνταν απόμιξη του σκυροδέματος. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αποφυγή δημιουργίας οριζόντιου αρμού. Έτσι, δεν επιτρέπεται διακοπή σκυροδέτηση μεγαλύτερη από 30 λεπτά. Η διάστρωση πραγματοποιείται από κάτω προς τα πάνω και καθώς ανεβαίνει η στάθμη του σκυροδέματος ανασύρονται και οι σωλήνες έγχυσης (Σχήμα 8.6). Το πλήθος των σωλήνων καθορίζεται με βάση το μήκος της εκσκαφής και στοχεύει στην αποφυγή κενών κατά την σκυροδέτηση και στον εγκλωβισμό αιωρήματος μπεντονίτη. Έτσι, σύμφωνα με τεχνικές προδιαγραφές το σκυρόδεμα δεν πρέπει να διανύει απόσταση μεγαλύτερη από 2,5 m.



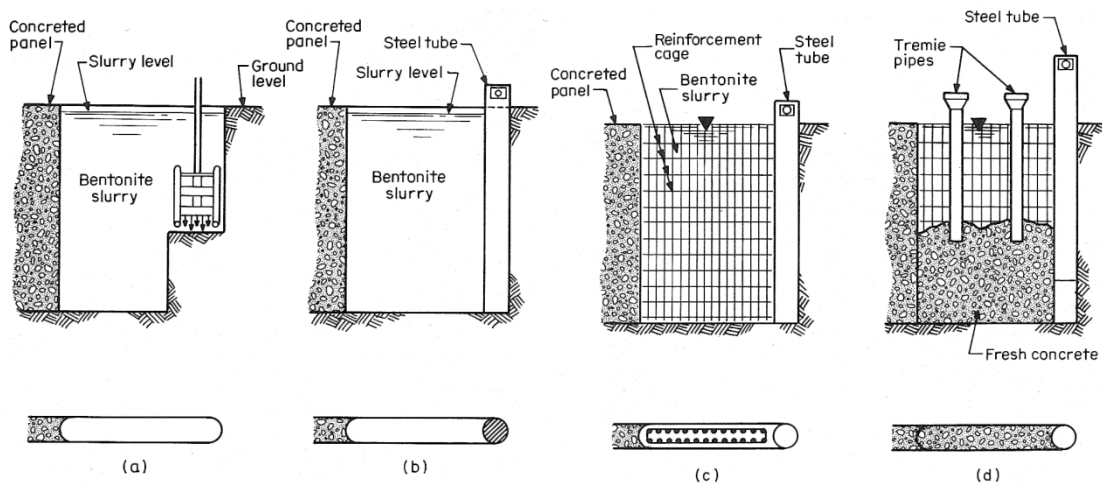
Σχήμα 8.3 Στάδια κατασκευής διαφραγματικού τοίχου

(Πηγή: Slurry Walls, P. Xanthakos, 1979)



Σχήμα 8.4 Φάσεις κατασκευής επί τόπου εγχυμένο διάφραγμα

(Πηγή: Γεωτεχνικές Κατασκευές, Σ. Δ. Κωστόπουλος, 2008)



Σχήμα 8.5 Τυπική διαδοχή κατασκευής διαφραγματικού τοίχου

(Πηγή: Slurry Walls, P. Xanthakos, 1979)



Εικόνα 8.1 Διαφραγματική αρπάγη (μπένα)

(Πηγή: http://www.hssmge.gr/Lecture_Zervogiannis.pdf)



Εικόνα 8.2 Εκσκαφέας με αρπάγη για διάνοιξη τάφρου

(Πηγή: <http://www.flickr.com/photos/uchicagolibary/3276939424/in/set-72157613741383353>)



Εικόνα 8.3 Υδροφρέζα για σκληρά και βραχώδη εδάφη και διαφραγματική αρπάγη

(Πηγή: [http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/\\$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf](http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf))



Εικόνα 8.4 Διανοιγόμενη τάφος

(Πηγή: <http://www.flickr.com/photos/uchicagolibrary/page31>)



Εικόνα 8.5 Τοποθέτηση οπλισμού

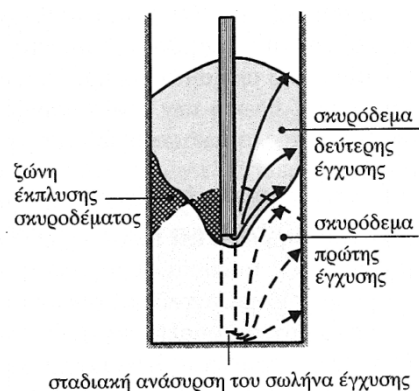
(Πηγή: <http://www.flickr.com/photos/uchicagolibrary/3276950077/in/photostream>)



Εικόνα 8.6 Σωλήνες έγχυσης σκυροδέματος

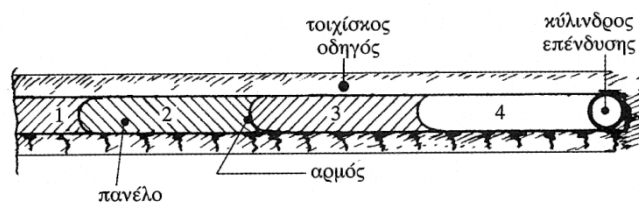
(Πηγή: [http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/\\$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf](http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf) και

[http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL89058GPEREN/\\$FILE/Diaphragm%20walls.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL89058GPEREN/$FILE/Diaphragm%20walls.pdf))



Σχήμα 8.6 Τεχνολογία επί τόπου εγχυνόμενου σκυροδέματος

(Πηγή: Γεωτεχνικές Κατασκευές, Σ. Δ. Κωστόπουλος, 2008)



Σχήμα 8.7 Σειρά υλοποίησης των πανέλων με τη βοήθεια των τοιχίσκων οδηγών

(Πηγή: Γεωτεχνικές Κατασκευές, Σ. Δ. Κωστόπουλος, 2008)

Συνοψίζοντας τα στοιχεία της μεθόδου συμπεραίνουμε πως τα επί τόπου εγχυνόμενα διαφράγματα πλεονεκτούν έναντι των άλλων μεθόδων καθώς παρέχουν καλή στεγανότητα, ο χρόνος ζωής τους είναι απεριόριστος, διαθέτουν αντοχή και ανθεκτικότητα, δημιουργούν μικρές οχλήσεις λόγω θορύβου και δονήσεων κατά τη φάση κατασκευής, έχουν τη δυνατότητα διεύθυνσης σε μεγάλα βάθη και μάλιστα σε εδάφη που περιέχουν εμπόδια, μπορούν να φέρουν σημαντικά φορτία και να προσαρμόζουν το ύψος των φατνωμάτων στις τοπικές συνθήκες. Τα αδύνατα σημεία της μεθόδου είναι η απαραίτητη παρουσία εξειδικευμένου φορέα κατασκευής και εξοπλισμού, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σκληρών εδαφών και το υψηλό κόστος (περίπου διπλάσιο έως τριπλάσιο εκείνου των πασσαλοσανίδων).

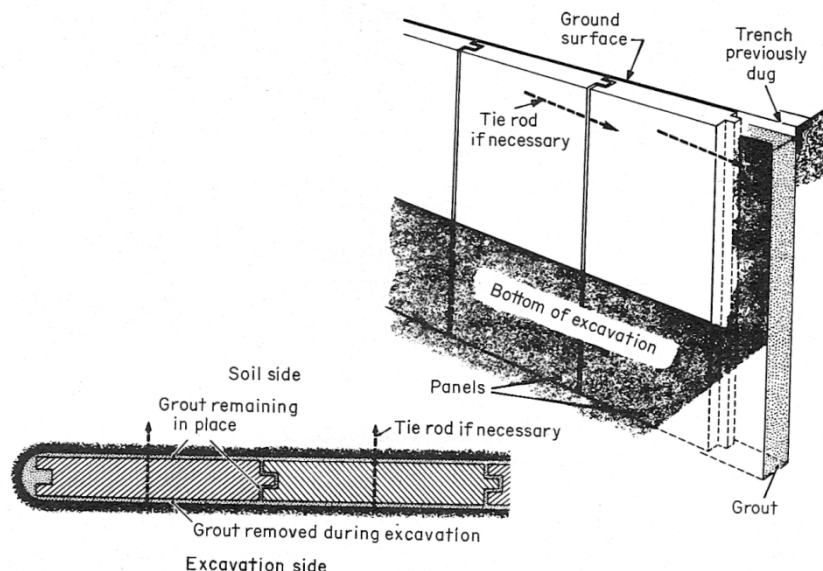
8.3. Διάφραγμα με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων

Η χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων για τη δημιουργία διαφραγματικού τοίχου έγινε για πρώτη φορά το 1970 (P. Xanthakos, 1979). Αυτή η μέθοδος εμπεριέχει την εκσκαφή και τη σταθεροποίηση της μέσω αιωρήματος μπεντονίτη αλλά η επί τόπου έγχυση του σκυροδέματος μέσω των σωλήνων (tremie pipe) αντικαθίσταται με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων πανέλων από οπλισμένο σκυρόδεμα (Σχήμα 8.8, Εικόνα 8.7). Αμέσως μετά την τοποθέτηση, πραγματοποιείται πλήρωση των κενών μεταξύ των παρειών της τάφρου και του προκατασκευασμένου στοιχείου με ένεμα τσιμέντου το οποίο και αποβάλλει σταδιακά το μπεντονιτικό αιώρημα. Υπάρχουν περιπτώσεις που το αιώρημα μπεντονίτη αντικαθίσταται από μείγμα τσιμέντου – μπεντονίτη. Σε αυτή την περίπτωση το μείγμα αυτό εξυπηρετεί διπλό ρόλο, δηλαδή βοηθά στην ευστάθεια της τάφρου και πληρώνει τα κενά μεταξύ εκσκαφής και στοιχείου.

Πρακτικά ένα μέγιστο μήκος στοιχείου είναι της τάξης των 15 m με πλάτος 2 m. Οι διαστάσεις αυτές είναι ενδεικτικές και αυξομειώνονται με βάσει τους περιορισμούς του χώρου κατασκευής και του μηχανολογικού εξοπλισμού. Όρια θέτει το βάρος του κάθε στοιχείου, καθώς για συνηθισμένους γερανούς και συστήματα ανέλκυσης το μέγιστο βάρος ανέρχεται στους 40 t περίπου (P. Xanthakos, 1979). Πέρα από τις εγκαταστάσεις που απαιτούνται για το αιώρημα ή το ένεμα τσιμέντου, η ύπαρξη επαρκούς χώρου για την προσωρινή τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν ημερησίως θα βοηθήσει στην αποφυγή πολλών καθυστερήσεων. Η μεταφορά και τοποθέτηση των στοιχείων αυτών γίνεται με τη βοήθεια γερανών. Το προκατασκευασμένο στοιχείο ελέγχεται για τυχόν αποκλίσεις από την «σωστή» του θέση και βρίσκεται σε αιώρηση μέσω του γερανού ούτως ώστε να εισχωρήσει ένεμα τσιμέντου και στη βάση και να περάσει αρκετό διάστημα μέχρι τη σκλήρυνση του ενέματος. Τονίζεται πως η ένωση δύο διαδοχικών στοιχείων είναι σημαντική καθώς αποτελεί πιθανό σημείο εμφάνισης διαρροών (Σχήμα 8.9). Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους γίνεται η σύνδεση και είναι άμεσα εξαρτώμενοι από το σχήμα των προκατασκευασμένων στοιχείων.

Τα προτερήματα της μεθόδου αυτής οφείλονται στην προκατασκευή των στοιχείων. Η ποιότητα του σκυροδέματος είναι σαφέστατα καλύτερη από την δυνατότητα πολλαπλών ελέγχων όπως και η εξασφάλιση σωστής τοποθέτησης του οπλισμού. Τα χρησιμοποιούμενα υλικά είναι λιγότερα καθώς τα διαφράγματα από προκατασκευασμένα στοιχεία είναι λεπτότερα σε σχέση με τα επί τόπου εγχυνόμενα. Γενικότερα, η ακρίβεια στην τοποθέτηση είναι καλύτερη και αποφεύγονται όλα τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά την τοποθέτηση του οπλισμού και την σκυροδέτηση μέσω των σωλήνων. Οι απαιτήσεις στεγανότητας καλύπτονται από την σωστή σύνδεση των τεμαχίων και το ένεμα από τσιμέντο

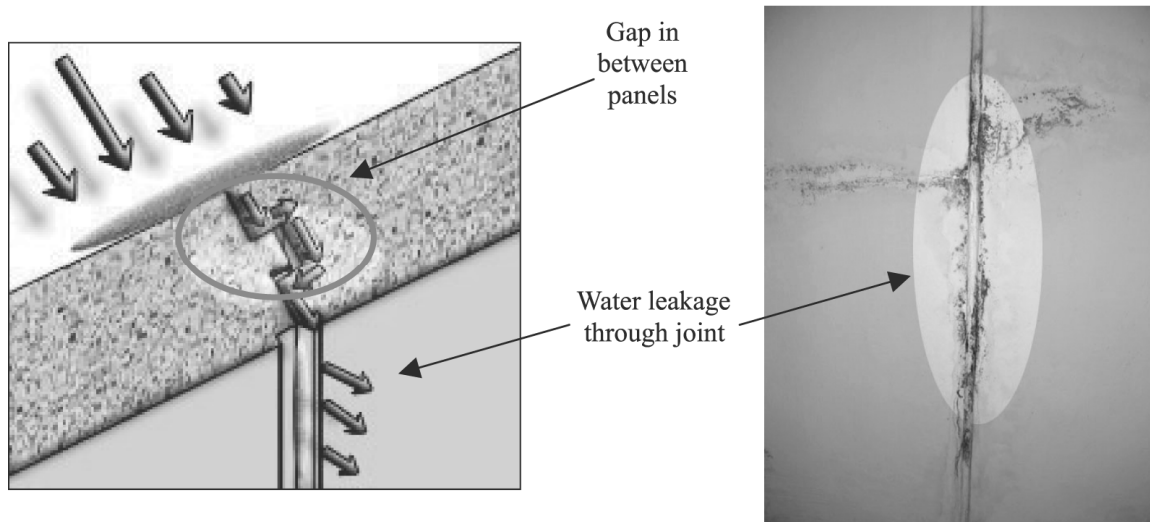
που τα περιβάλει. Από την άλλη μεριά, τα κύρια μειονεκτήματα της χρήσης προκατασκευασμένων στοιχείων είναι η απαίτηση για σωστή οργάνωση και η ελαχιστοποίηση της δουλειάς του εργοταξίου ούτως ώστε να αντισταθμίζεται το κόστος προκατασκευής. Το σημαντικότερο όμως είναι η έλλειψη κατασκευαστικής συνέχειας και αδυναμία χρήσης της μεθόδου σε κακές εδαφικές συνθήκες καθώς πιθανές διαφορικές καθιζήσεις θα προκαλέσουν σπάσιμο των συνδέσεων.



Σχήμα 8.8 Διάφραγμα με χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων
(Πηγή: Slurry Walls, P. Xanthakos, 1979)



Εικόνα 8.7 Προκατασκευασμένο στοιχείο
(Πηγή: http://www.zakladani.cz/download/web_technologie/3_podzemni_steny.pdf)



Σχήμα 8.9 Ένωση διαδοχικών προκατασκευασμένων στοιχείων και πιθανή εμφάνιση διαρροών

(Πηγή: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=844799&show=html>)

8.4. Διάφραγμα από εδαφικό υλικό – μπεντονίτη

Το πρώτο διάφραγμα που δημιουργήθηκε με χρήση σταθεροποιητικού πολτού κατά τη διάνοιξη της τάφρου ήταν στην Καλιφόρνια το 1948 (P. Xanthakos, 1979). Είχε βάθος περίπου 14 m και το ρόλο του στεγανού στοιχείου αποτέλεσε εδαφικό υλικό κατάλληλης κοκκομετρίας. Έτσι λοιπόν, η εφαρμογή αυτή έγινε πολύ γρήγορα γνωστή καθώς σαν μέθοδος ήταν αρκετά οικονομική, αποτελεσματική και εύκολη στην εφαρμογή, ιδιαίτερα όταν το εδαφικό υλικό ήταν διαθέσιμο απευθείας από το χώρο εκσκαφής.

Η διαδικασία κατασκευής ενός τέτοιου διαφράγματος αποτελείται από την εκσκαφή συνεχόμενης τάφρου, με χρήση αιωρήματος μπεντονίτη για τη δημιουργία πολτού σταθεροποίησης και στην συνέχεια επίχωση της με κατάλληλο μείγμα από εδαφικό υλικό ώστε να δημιουργηθεί το στεγανό διάφραγμα (Σχήμα 8.10). Μπεντονιτικό αιώρημα χρησιμοποιείται σε κατάλληλη ποσότητα και για τη διαβροχή του υλικού πλήρωσης ώστε να διευκολύνει τη μίξη του εδαφικού υλικού και να το διατηρήσει ομοιογενές. Κατά την τελική τους απόθεση στην τάφρο ο συνδυασμός του πολτού με το εδαφικό υλικό εξασφαλίζουν συνθήκες στεγανότητας. Ωστόσο, η κατάλληλη κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού είναι υψίστης σημασίας για την μείωση της περατότητας.

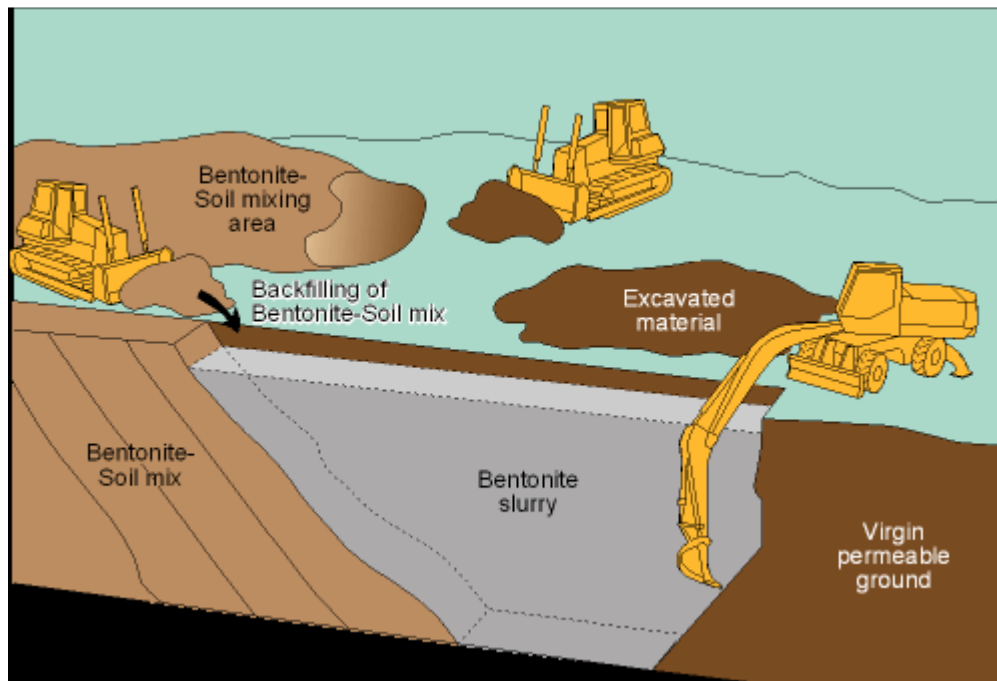
Η εκσκαφή της τάφρου μπορεί να γίνει με εκσκαφείς διαφόρων τύπων όπως είναι εκείνοι με συρόμενο κάδο (dragline buckets), με ανεστραμμένο πτύο (backhoes) ή με αρπάγη (clamshell) (Σχήμα 8.1, Σχήμα 8.11) ανάλογα το επιδιωκόμενο βάθος. Το πλάτος είναι γενικά μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες μεθόδους και καθορίζει το μέγεθος του κάδου (του εκσκαφέα), ενώ οι απαιτήσεις ακρίβειας της κατασκευής έχουν περισσότερες ανοχές. Γενικά η διάνοιξη της τάφρου γίνεται μέσω ενιαίας εκσκαφής, φτάνοντας στο επιθυμητό βάθος από το σημείο έναρξης και συνεχίζοντας μέχρι την ολοκλήρωση. Το μπεντονιτικό αιώρημα βοηθά στην σταθεροποίηση των παρειών. Όταν αυτό δεν είναι εφικτό, η εκσκαφή μπορεί να γίνει κατά τμήματα με ειδική μέριμνα στα σημεία ένωσης. Για να διασφαλίσουμε ότι η εκσκαφή θα φτάσει μέχρι το αδιαπέρατο βραχώδες υπόστρωμα είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του πυθμένα της τάφρου και η απομάκρυνση των χαλαρών υλικών.

Όσον αφορά την βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού επίχωσης δεν είναι εύκολο να επιτευχθεί καθώς στόχος είναι η οικονομικότητα της κατασκευής και η αξιοποίηση όσο το δυνατόν περισσότερου όγκου του υλικού εκσκαφής. Παρ' όλα αυτά, όταν οι συνθήκες το απαιτούν, απομακρύνεται ποσοστό ακατάλληλων στοιχείων και αντικαθίσταται με υλικό κατάλληλης κοκκομετρίας.

Αφού έχει επιλεγεί το τελικό υλικό επίχωσης διαβρέχεται με τον πολτό από μπεντονίτη κατάλληλης ποσότητας και ανακατεύεται με τη βοήθεια προωθητήρα (bulldozer). Η διαδικασία της επίχωσης ακολουθεί την διαδικασία της εκσκαφής αφού πρώτα έχει γίνει ο καθαρισμός πυθμένα. Στη συνέχεια, το μείγμα που θα επιτελέσει το στεγανό στοιχείο αρχικά τοποθετείται στην τάφρο μέσω αρπάγης, διαμορφώνοντας επιφάνεια με ήπια κλίση. Αφού ανέβει σε ικανοποιητική στάθμη το υλικό μέσα στην τάφρο, με την βοήθεια προωθητήρων σπρώχνεται και το υπόλοιπο. Σε περίπτωση που το υλικό επίχωσης έπεφτε από ψηλά θα είχε ως συνέπεια των διαχωρισμό και τη δημιουργία στρώσεων με τα αδρομερή από κάτω και τα λεπτόκοκκα από πάνω. Άλλη μια συνέπεια θα ήταν και ο εγκλωβισμός μπεντονιτικού αιωρήματος.

Η κατασκευή αυτή απαιτεί αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα πολτού σε σχέση με διαφραγματικούς τοίχους από οπλισμένο σκυρόδεμα της ίδιας έκτασης. Αυτό συμβαίνει καθώς οι τάφροι έχουν μεγαλύτερο πλάτος, οι απώλειες πολτού μέσω του εδάφους είναι μεγαλύτερες και τέλος απαιτείται πρόσθετος πολτός ανακατεμένος με το υλικό επίχωσης. Έτσι, ο χώρος για τις εγκαταστάσεις παρασκευής, διάθεσης και ανακύκλωσης του μπεντονιτικού αιωρήματος είναι μεγαλύτερος. Αν και οι απαιτήσεις ως προς την ποιότητα του αιωρήματος δεν είναι τόσο αυστηρές σε σχέση με άλλες μεθόδους, η ανακύκλωσή του είναι απαραίτητη καθώς μπορεί να αποκτήσει πυκνότητα μεγαλύτερη από εκείνη του υλικού επίχωσης, γεγονός που θα εμποδίζει τη διάστρωση.

Συγκρίνοντας τη μέθοδο αυτή με άλλες μεθόδους διακρίνουμε ότι πλεονεκτεί καθώς έχει μικρότερο κόστος, είναι μια τεχνολογία γνωστή, γρήγορη και εφαρμόσιμη, στοχεύει στην καλύτερη αξιοποίηση του υλικού εκσκαφής, πετυχαίνει τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας 10^{-7} cm/s και 10^{-8} cm/s, επιτρέπει τον έλεγχο του βάθους και του αδιαπέρατου υποστρώματος κατά την κατασκευή, το ύψος του διαφράγματος μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 60 m με υψηλή ευκαμψία και παραμορφωσιμότητα ώστε να αντέχει σε περιπτώσεις σεισμού. Από την άλλη μεριά, τα αδύνατα σημεία της έχουν να κάνουν με την απαίτηση για διαχωρισμό του υλικού εκσκαφής, την μίξη του υλικού επίχωσης και την επάρκεια ελεύθερου χώρου, την δυσκολία για σωστή διάστρωση και την πιθανότητα δημιουργίας ασυνεχειών στο στεγανό στοιχείο λόγω των αλλαγών βροχής-ξηρασίας-παγετού.



Σχήμα 8.10 Εκσκαφή και επίχωση διαφράγματος από εδαφικό υλικό – μπεντονίτη
(Πηγή: http://magnuspacific.com/publications/SCB_SlurryWall_Levee_Strengthening.pdf)



Σχήμα 8.11 Διάνοιξη τάφρου με χρήση εκσκαφέα με ανεστραμμένο πτύο
(Πηγή: <http://deereault.com/dam-reservoir-design/stagecoach-reservoir.php>)

Παραλλαγή του διαφράγματος από εδαφικό υλικό – μπεντονίτη είναι το διάφραγμα από εδαφικό υλικό – τσιμέντο – μπεντονίτη (Soil cement bentonite slurry wall). Η προσθήκη τσιμέντου αυξάνει την αντοχή του διαφράγματος αλλά συγχρόνως αυξάνει και την υδραυλική αγωγιμότητα του καθώς εμποδίζει τον μπεντονίτη να διογκωθεί πλήρως.

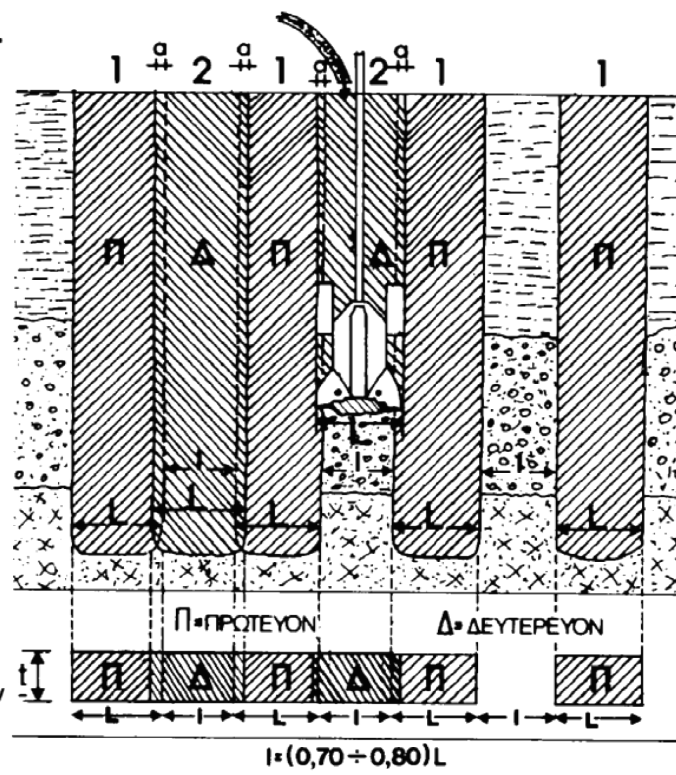
8.5. Διάφραγμα από τσιμέντο – μπεντονίτη

Η χρήση τσιμέντου – μπεντονίτη με στόχο τη δημιουργία στεγανού στοιχείου, είναι ίσως ο πιο συνηθισμένος τρόπος για την κατασκευή διαφραγμάτων. Σαν μέθοδος ακολουθεί την ίδια λογική, δηλαδή τη διάνοιξη τάφρου και την πλήρωση της με σταθεροποιητικό πολτό. Η διαφορά έγκειται στην παρουσία του τσιμέντου γεγονός που επιτρέπει την ολοκλήρωση της κατασκευής σε μία φάση. Συγκεκριμένα, αφού ανακατεφτούν νερό – μπεντονίτης και επέλθει αρκετό διάστημα μέχρι να ενυδατωθεί, προσθέτεται και το τσιμέντο Πόρτλαντ. Ο πολτός αυτός τοποθετείται ακολούθως στην τάφρο όπου και αφήνεται μέχρι να σκληρυνθεί και να δημιουργήσει στεγανό φραγμό με υδραυλική αγωγιμότητα της τάξης $10^{-5} - 10^{-6}$ cm/s. Η υψηλότερη τιμή στην περατότητα σε σχέση με άλλες μεθόδους αιτιολογείται καθώς ο πολτός περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό νερού και ακόμα, το περιεχόμενο τσιμέντο δεν επιτρέπει την πλήρη διόγκωση του μπεντονίτη. Από την άλλη μεριά, προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή στην κατασκευή. Υπάρχουν περιπτώσεις που η μέθοδος πρέπει να γίνει σε δύο φάσεις (αρχικά χρήση μπεντονιτικού αιωρήματος για ευστάθεια πρανών κατασκευής και έπειτα επίχωση με το τελικό υλικό). Τέτοιες είναι όταν το έργο είναι μεγάλης κλίμακας και πρέπει το διάφραγμα να φτάσει σε μεγάλο βάθος ή προκύψουν συνθήκες που επιβάλλουν καθυστερήσεις στο έργο.

Η εκσκαφή της τάφρου γίνεται και εδώ με τον ίδιο μηχανολογικό εξοπλισμό όπως της προηγούμενης μεθόδου και το σύνηθες πλάτος της είναι περίπου 0,8 m. Σε μικρής κλίμακας έργα, η εκσκαφή αυτή μπορεί να είναι ενιαία ή αντίθετα να γίνει τμηματικά μέσω εκσκαφής εναλλασσόμενων φατνωμάτων. Στην τελευταία περίπτωση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.12, διανοίγονται αρχικά τα φατνώματα με τον αριθμό «1» τα οποία γεμίζουν με τον πολτό. Αφού ολοκληρωθούν τα πρωτεύοντα στοιχεία και το μίγμα σε αυτά πήξει αρκετά (ώστε να αποφεύγονται τυχόν διαρροές και καταπτώσεις), οι εργασίες συνεχίζονται στο μεταξύ τους κενό (φατνώματα με αριθμό «2»). Διευκρινίζεται πως ο πολτός πρέπει να έχει σκληρυνθεί ως ένα βαθμό ώστε τα κύρια φατνώματα να δημιουργούν ενιαίο στεγανό στοιχείο μέσω του τελευταία τοποθετημένου πολτού. Η απαραίτητη επικάλυψη μεταξύ των πρωτευόντων και δευτερευόντων φατνωμάτων είναι περίπου 30 cm. Κύριο πλεονέκτημα που απορρέει από αυτή την αλληλοεπικάλυψη είναι η αποφυγή αρμών οι οποίοι θα χρειαζόνταν ειδική μέριμνα. Το μήκος των κύριων φατνωμάτων είναι συνήθως 3 m όσο και το μήκος της υδραυλικής αρπάγης ενώ τα ενδιάμεσα προσαρμόζονται με βάση τις εκάστοτε απαιτήσεις. Σε περιπτώσεις δυσκολιών και καθυστερήσεων ίσως χρειαστεί προσθήκη επιβραδυντικών ώστε να αποφευχθεί η πρόωξη ωρίμανση του σκυροδέματος.

ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ - ΜΠΕΤΟΝΙΤΗ ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

1. Εκσκαφή στο επιθυμητό βάθος κάθε τμήματος διαφράγματος (πρωτεύοντος πάνελου), ισομήκους με τη μπέννα (2,5-3,0 m). Προοδευτική πλήρωση της εκσκαφής με ένεμα τσιμέντου - μπεντονίτη. Οι αποστάσεις μεταξύ των παρείων των πρωτευόντων πάνελων είναι μικρότερες από το μήκος της μπέννας.
2. Μετά την ανάπτυξη επαρκών αντοχών του ενέματος των πρωτευόντων πάνελων, εκσκαφή στο επιθυμητό βάθος των αντίστοιχων δευτερευόντων πάλι ισομήκων με την μπέννα με αντίστοιχη απομείωση των γειτονικών πρωτευόντων πάνελων.



Σχήμα 8.12 Κατασκευή διαφράγματος τσιμέντου-μπεντονίτη μέσω τμηματικής εκσκαφής

(Πηγή: Διαλέξεις Εδαφομηχανικής Ι, Μ. Καββαδάς 2010)

Σαν μέθοδος, η κατασκευή διαφράγματος με χρήση τσιμέντου – μπεντονίτη δεν απαιτεί εξειδικευμένη τεχνογνωσία, είναι εύκολα εφαρμόσιμη και θεωρητικά μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάθε είδους έδαφος, σε οποιοδήποτε βάθος ανεξάρτητα από την ύπαρξη υπόγειων νερών αν το επιτρέπει ο γεωδιατρητικός εξοπλισμός. Ο αυτοσκληρυνόμενος πολτός δεν απαιτεί πρόσθετο υλικό επίχωσης, συνεπώς οδηγεί σε μειωμένο κόστος και χρόνο

κατασκευής, σε ευελιξία στην οργάνωση και σε λιγότερες απαιτήσεις ως προς την διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου. Η ποιότητα του υλικού που εκσκάπτεται δεν ενδιαφέρει καθώς το υλικό δεν επαναχρησιμοποιείται. Ακόμα, η κατασκευή έχει μεγαλύτερη αντοχή και ευκαμψία που την κάνουν να αντέχει σε διαφορικές καθιζήσεις και οριζόντιες μετατοπίσεις του εδάφους. Από την άλλη μεριά, ίσως αντιμετωπιστούν προβλήματα ως προς την συνέχεια της κατασκευής λόγω των δημιουργούμενων φατνωμάτων, γεγονός που επιδεινώνεται εξαιτίας της δυσκολίας πραγματοποίησης ελέγχων της κατασκευής κάτω από αιώρημα. Μειονέκτημα της μεθόδου είναι και η όχι και τόσο χαμηλή διαπερατότητα του διαφράγματος λόγω χρήσης του τσιμέντου, που μπορεί να οδηγήσει σε απαίτηση μερικής του αντικατάστασης από ιπτάμενη τέφρα. Τέλος, έντονες μεταβολές σε θερμοκρασία και υγρασία, ίσως οδηγήσουν σε συστολοδιαστολές και τελικά στη δημιουργία ρωγμών.

8.6. Διάφραγμα πλαστικού σκυροδέματος

Σε πολλές περιπτώσεις τα διαφράγματα έχουν αυξημένες απαιτήσεις ευκαμψίας για να αντέχουν τις διάφορες κινήσεις και καθιζήσεις εδαφών (ιδιαίτερα όταν πρόκειται για χαλαρά και συμπιεστά εδάφη), συγχρόνως όμως πρέπει να έχουν και επαρκή αντοχή για να ανταποκριθούν σε υπερκείμενα φορτία. Τη λύση σε αυτή την περίπτωση δίνει το πλαστικό σκυρόδεμα καθώς διαθέτει την ευκαμψία που δεν έχει το άκαμπτο συμβατικό σκυρόδεμα και την μεγαλύτερη αντοχή που λείπει από το διάφραγμα σε περίπτωση επίχωσης με εδαφικό υλικό.

Σαν μέθοδο κατασκευής δεν διαφέρει από εκείνες που έχουν ήδη περιγραφεί (σύστημα δύο φάσεων) παρά μόνο στο υλικό επίχωσης που σε αυτήν την περίπτωση είναι το πλαστικό σκυρόδεμα. Το τελευταίο αποτελεί μίγμα τσιμέντου, μπετονίτη, σκύρου και νερού με μειωμένη όμως την περιεκτικότητα σε τσιμέντο (ισχνό μίγμα). Για τον βέλτιστο σχεδιασμό πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον έδαφος ή βραχώμαζα και να προσαρμόζεται σύμφωνα με αυτό η αντοχή και η ευκαμψία του διαφράγματος ώστε να παραμορφώνονται μαζί. Σε αντίθετη περίπτωση, η συγκέντρωση των τάσεων πάνω στην κατασκευή θα είχε ως συνέπεια τη δημιουργία ρωγμών. Η κατασκευή γίνεται κατά φατνώματα και η επίχωση με χρήση σωλήνων έγχυσης (tremie pipe). Η διαπερατότητα σε ένα τέτοιο διάφραγμα κυμαίνεται συνήθως από 10^{-6} έως 10^{-8} cm/sec.

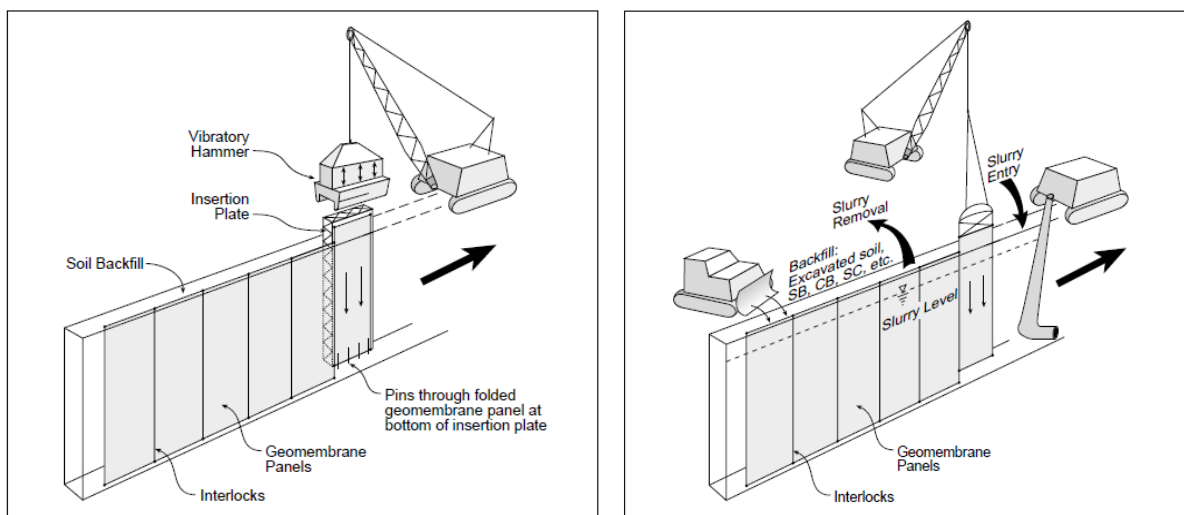
8.7. Διάφραγμα με χρήση γεωμεμβρανών

Η κατασκευή διαφράγματος με χρήση γεωμεμβρανών αποτελεί μια σχετικά σύγχρονη μέθοδο που αποκτά ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον. Η πρώτη κατασκευή χρονολογείται στις αρχές του 1980 (EPA, Μάρτιος 1999). Με τον όρο γεωμεμβράνη αναφερόμαστε σε ένα πρακτικώς «αδιαπέρατο» λεπτό εύκαμπτο φύλλο πάχους μερικών χιλιοστών από πολυμερικό υλικό (συνήθως υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο HDPE), το οποίο χρησιμοποιείται ως φραγμός για το υπόγειο νερό από μόνο του ή σε συνδυασμό με κάποια άλλη τεχνική. Η τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας που πετυχαίνουμε μέσα από τη χρήση αυτού του υλικού είναι 10^{-11} έως 10^{-12} cm/sec (Σ. Δ. Κωστόπουλος, 2008).

Σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (EPA) of United States και τις μελέτες που έχουν γίνει για τον περιορισμό της υπόγειας μόλυνσης υπάρχουν αρκετές μέθοδοι ανέγερσης διαφράγματος με χρήση γεωμεμβρανών. Οι διαφορές των μεθόδων σχετίζονται με

τη μορφή (συνεχόμενο ή σε τμήματα) και τον τρόπο τοποθέτησης του «αδιαπέρατου» αυτού υλικού. Έτσι, διαχωρίζονται σε εκείνες κατά τις οποίες οι γεωμεμβράνες εισέρχονται στο υπέδαφος μέσω δόνησης και σε εκείνες κατά τις οποίες ανοίγεται τάφρος όπου τοποθετούνται, υποστηριζόμενες ή όχι από σταθεροποιητικό πολτό. Στην πρώτη περίπτωση, η εφαρμογή των μεθόδων είναι αρκετά περιορισμένη και ως προς το βάθος (μέγιστο 9 m) και ως προς το εδαφικό υλικό στο οποίο δύναται να εφαρμοσθεί (μόνο σε πολύ χαλαρά εδάφη, χωρίς στοιχεία μεγάλης διαμέτρου). Συμπερασματικά, όταν στοχεύουμε στη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα η μέθοδος που θα ακολουθηθεί πρέπει να ανήκει στην δεύτερη κατηγορία.

Σαν μέθοδος λοιπόν, ξεκινά με την διάνοιξη τάφρου και την πλήρωσή της με σταθεροποιητικό πολτό (μπεντονικό αιώρημα). Στη συνέχεια τοποθετούνται τα τμήματα γεωμεμβράνης τα οποία θα αποτελέσουν και το στεγανό στοιχείο. Τα τμήματα αυτά παίρνουν την τελική τους θέση και μετά ακολουθεί η επίχωση της τάφρου με εδαφικό υλικό – μπεντονίτη ή πιο συνηθισμένα με τσιμέντο – μπεντονίτη. Έχοντας αναφέρει την αδυναμία των διαφραγμάτων από τσιμέντο – μπεντονίτη να πετύχουν αρκετά χαμηλή διαπερατότητα, η συνδυασμένη χρήση πολτού και γεωμεμβρανών οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα και μάλιστα στη δυνατότητα αποφυγής του μπεντονιτικού αιωρήματος (σύστημα μονής φάσης).

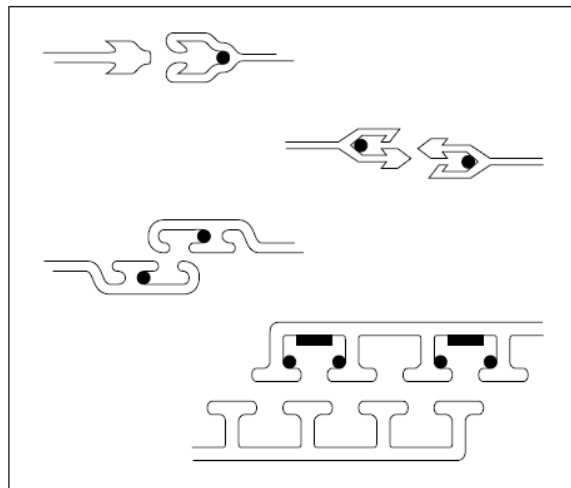


Σχήμα 8.13 Βασικές μέθοδοι τοποθέτησης γεωμεμβρανών

(Πηγή: <http://www.clu->

[in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf](http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf))

Αδύναμα σημεία σε τέτοιες κατασκευές όπου πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή είναι στη συρραφή των γεωμεμβρανών και στη σύνδεσή τους με το στεγανό υπόβαθρο καθώς αποτελούν πιθανά σημεία εμφάνισης διαρροών. Πιθανοί τρόποι σύνδεσης φαίνονται στο Σχήμα 8.14.



Σχήμα 8.14 Σύνδεσμοι στεγανωτικών γεωμεμβρανών

(Πηγή: <http://www.clu->

[in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf](http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf))

Συμπεραίνουμε πως η χρήση γεωμεμβρανών με στόχο τη δημιουργία διαφραγμάτων αποτελεί ένα γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο ελέγχου υπόγειας ροής. Παρ' όλα αυτά η εφαρμογή τους περιορίζεται έντονα με το βάθος και μπορεί να χαρακτηριστεί αδύνατη σε σκληρά εδάφη, ιδιαίτερα όταν τοποθετούνται μέσω δονητικής σφύρας απευθείας στο εδαφικό υπόστρωμα. Όταν η χρήση τους συνδυάζεται με αυτοσκληρυνόμενο πολτό τσιμέντου – μπετονίτη, το διάφραγμα μπορεί να φτάσει σε μεγαλύτερα βάθη και να επιτύχει χαμηλότερη τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας, αυξάνοντας όμως το κόστος κατασκευής. Σε έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές είναι δυνατό να επηρεαστούν οι διαστάσεις του στεγανού αυτού υλικού.



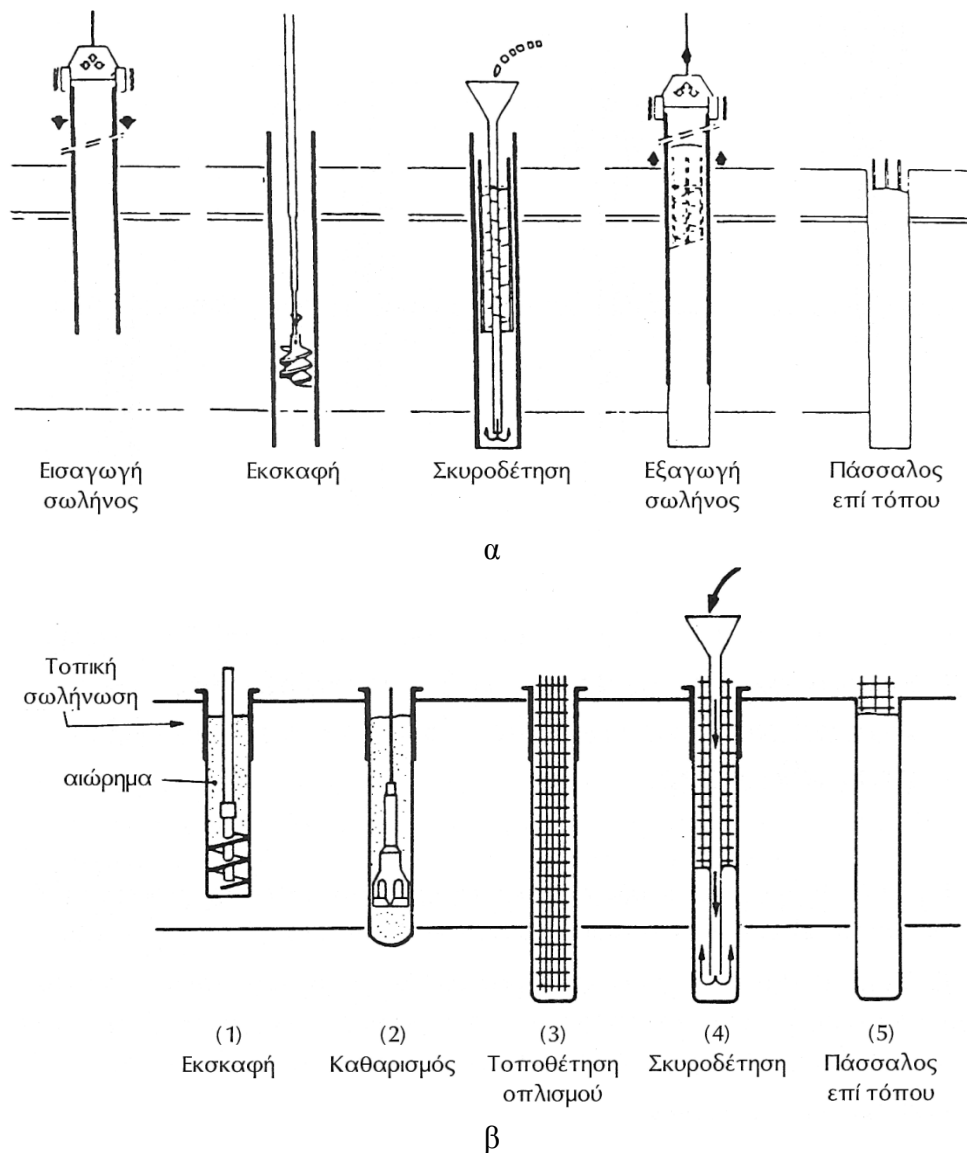
Εικόνα 8.8 Τοποθέτηση γεωμεμβράνης

(Πηγή: <http://www.xr-5.com/case-histories/ch.php?id=44>)

8.8. Διάφραγμα έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων

Το διάφραγμα έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων θεωρείται προκάτοχος του διαφραγματικού τοίχου (Ρ. Xanthakos, 1979). Πράγματι, η εξέλιξη του μηχανολογικού εξοπλισμού οδήγησε στη δυνατότητα διάνοιξης γραμμικής τάφρου και έκανε δυνατή την κατασκευή ευθύγραμμων τοίχων χωρίς τη χρήση αλληλοτεμνόμενων στοιχείων.

Σε αντίθεση με τους εμπηγνυόμενους πασσάλους, οι οποίοι εκτοπίζουν το περιβάλλον έδαφος κατά την διέλευσή τους, οι έγχυτοι πάσσαλοι υλοποιούνται με την διάνοιξη μιας οπής μέσα στην γεωμάζα, την αφαίρεση του εδαφικού υλικού και την εν συνεχεία αντικατάστασή του από σκυρόδεμα (συνήθως οπλισμένο). Η προσωρινή υποστήριξη των παρειών της οπής επιτυγχάνεται με χρήση μεταλλικού σωλήνα, ο οποίος ανασύρεται σταδιακά κατά τα σκυροδέτηση ή εναλλακτικά, μέσω πλήρωσης της οπής με αιώρημα μπεντονίτη (Σχήμα 8.15).



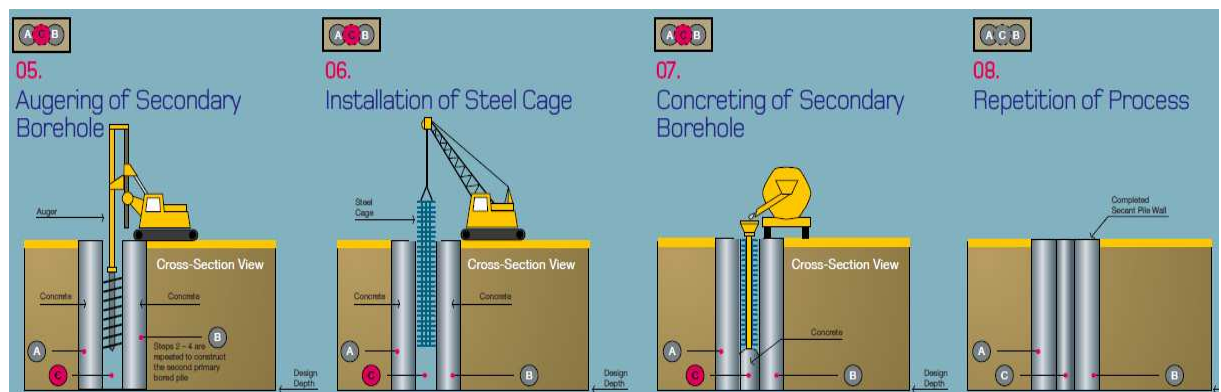
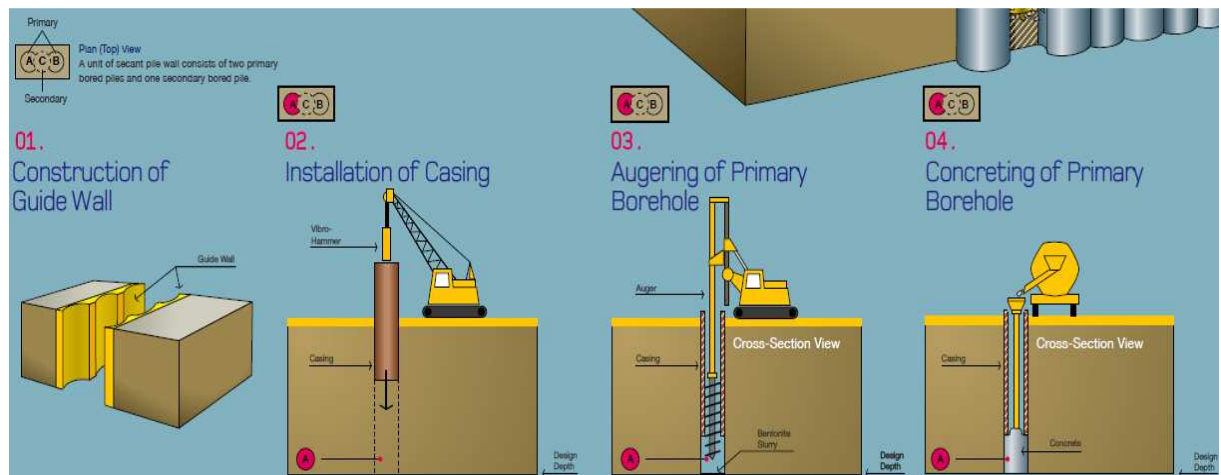
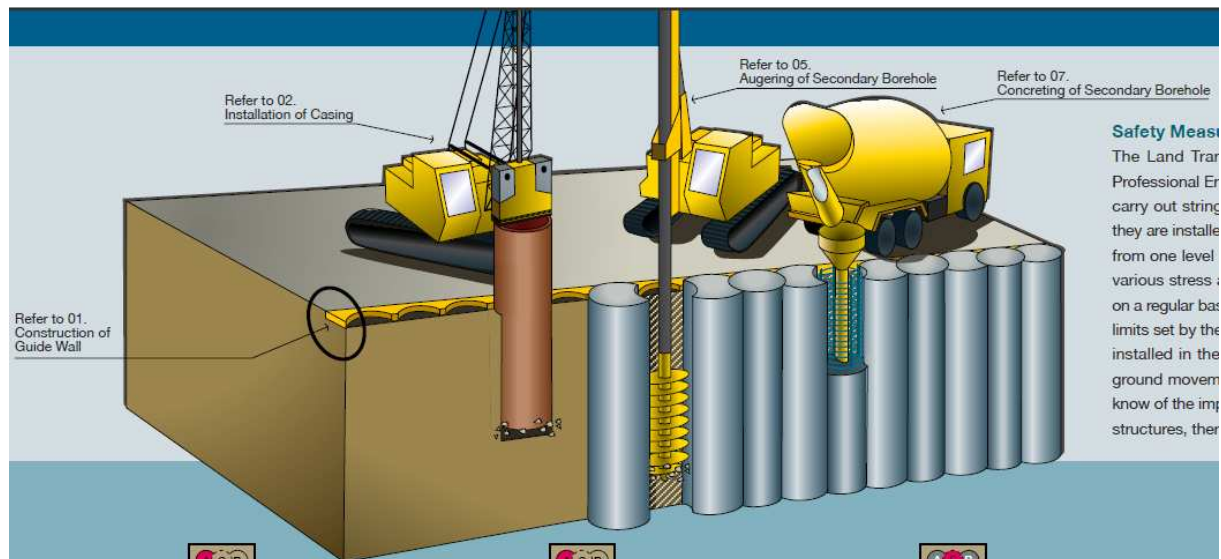
Σχήμα 8.15 Πάσσαλος δι' εκσκαφής κατασκευαζόμενος με τη βοήθεια (α) επενδύσεως, (β) αιωρήματος

(Πηγή: Θεμελιώσεις με πασσάλους, Α. Αναγνωστόπουλος, Β. Παπαδόπουλος, 2004)

Σημαντικότερο πλεονέκτημα της αλληλοεπικάλυψης των στοιχείων, πέρα από τη δημιουργία διαφράγματος που στοχεύει στη αντιστήριξη εδάφους και τη μεταφορά φορτίων, είναι η κατασκευή ενός στεγανού στοιχείου που λειτουργεί ως φραγμός στην υπόγεια ροή. Τα στάδια μιας τέτοιας κατασκευής ξεκινούν με τη δημιουργία των πρωτευόντων πασσάλων (female), αφήνοντας κενό μεταξύ τους λίγο μικρότερο από τη διάμετρό τους όπου στη συνέχεια θα κατασκευαστούν οι δευτερεύοντες (male). Οι τελευταίοι επικαλύπτουν μέρος των αρχικά κατασκευασμένων πασσάλων και πέρα από τη διάμετρο, διαφέρουν από αυτούς καθώς φέρουν οπλισμό. Η διάμετρος των στοιχείων ποικίλει ανάλογα τις απαιτήσεις της κατασκευής και η τιμή της επικάλυψης κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 10 – 15 cm (P. Xanthakos, 1979). Η διάνοιξη των πασσάλων μπορεί να γίνει μέσω συμβατικών μεθόδων διάτρησης είτε με χρήση ελικοειδούς στελέχους (CFA, Continuous Flight Auger) και συγκεκριμένα για τα δευτερεύοντα στοιχεία ξεκινά μετά από μία μέρα συνήθως όπου το σκυρόδεμα των πρώτων στοιχείων έχει αποκτήσει μέρος της αντοχής του.

Τα βήματα κατασκευής φαίνονται στο Σχήμα 8.16 και απαριθμούνται ως εξής:

- 1ο. Κατασκευή τοιχίσκων οδηγούν (guide wall) που καθορίζουν τη θέση διαφράγματος
- 2ο. Τοποθέτηση επένδυσης
- 3ο. Διάνοιξη των πρωτευόντων πασσάλων
- 4ο. Σκυροδέτηση των πρωτευόντων πασσάλων
- 5ο. Διάνοιξη δευτερευόντων πασσάλων
- 6ο. Τοποθέτηση οπλισμού
- 7ο. Σκυροδέτηση δευτερευόντων πασσάλων
- 8ο. Επανάληψη των άνω βημάτων



Σχήμα 8.16 Στάδια κατασκευής διαφράγματος αλληλοτεμνόμενων πασσάλων
(Πηγή: <http://www.lta.gov.sg/projects/images/Secant%20Final.pdf>)



Εικόνα 8.9 Εικόνες κατά την κατασκευή διαφράγματος αλληλοτεμνόμενων πασσάλων
(Πηγή: <http://www.bauer.co.id/v2/links-secantpile.html> και <http://www.spolmik.org/downloads/seminars/Themeliotechniki.pdf>)

Τα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει αυτού του είδους το διάφραγμα σχετίζονται με την ευρεία εφαρμογή του. Με άλλα λόγια, μπορεί να κατασκευαστεί σε κατοικημένες περιοχές, περιορισμένες σε χώρο, καθώς δεν προκαλεί έντονα προβλήματα με τον παραγόμενο θόρυβο και δόνηση. Ως προς τον τύπου εδάφους, η ύπαρξη κροκάλων και ογκολίθων δεν την καθιστά αδύνατη σαν μέθοδο και μάλιστα έχει τη δυνατότητα προσαρμογής του μήκους κάθε πασσάλου με βάση τις τοπικές συναντώμενες συνθήκες. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μόνιμα στοιχεία φέροντα κατακόρυφα ή οριζόντια φορτία. Από την

άλλη πλευρά, η εξασφάλιση της καθετότητας και της απόλυτης επαφής των πασσάλων είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί όταν αυξάνεται το βάθος. Σαν κατασκευή είναι επίφοβη για διαρροές ιδιαίτερα στα σημεία επαφής των πασσάλων και ίσως χρειαστεί να ληφθούν πρόσθετα μέτρα όπως ενέματα εισπίεσης. Το αυξημένο κόστος της συγκριτικά με άλλες μεθόδους δικαιολογείται μόνο όταν στόχος τους διαφράγματος πέρα από τη στεγανότητα είναι η ανάληψη φορτίων και η αυξημένη αντοχή.

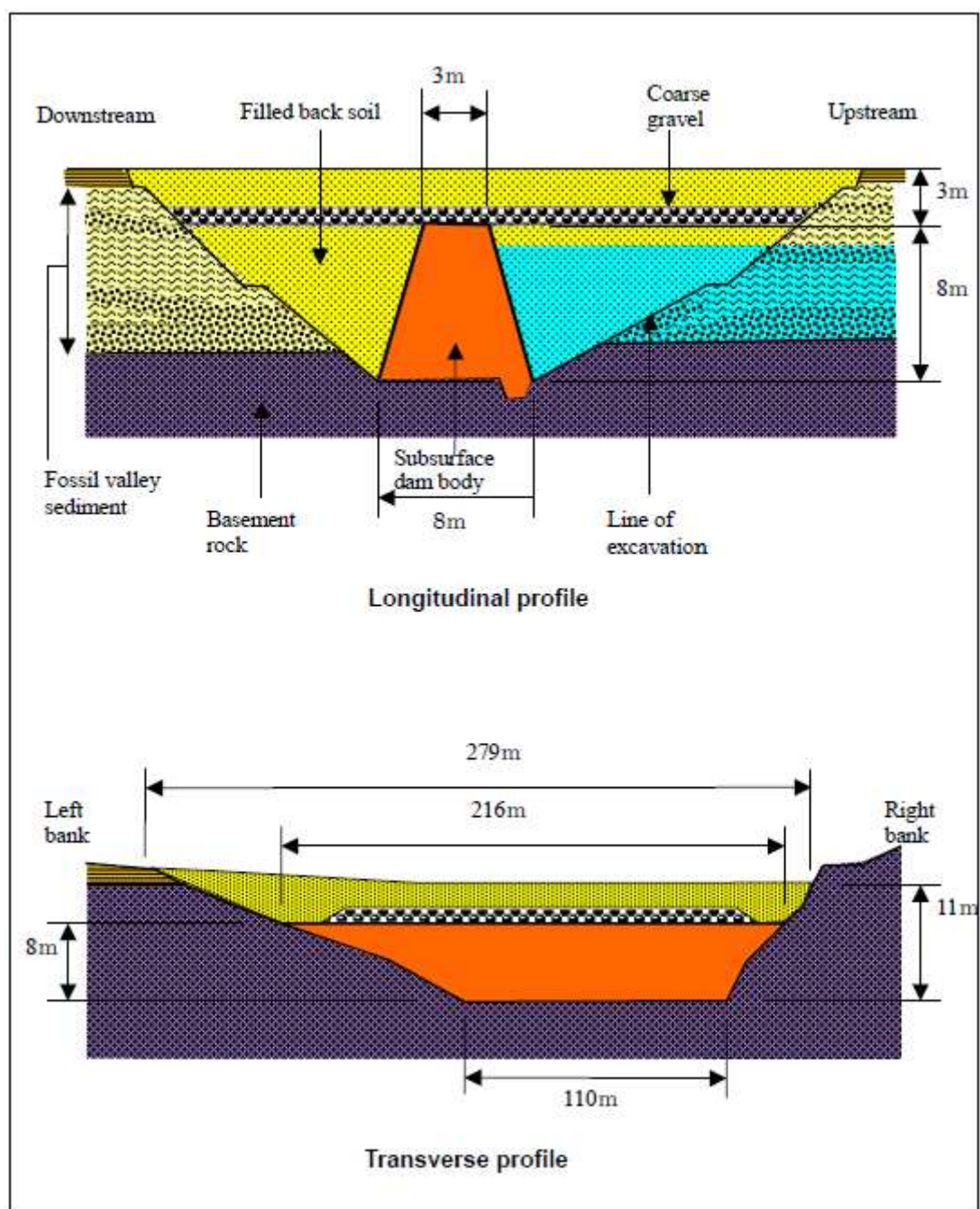
8.9. Διάφραγμα ρηχής τάφρου

Όταν η οροφή του αδιαπέρατου υποβάθρου βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους, η δημιουργία φραγμού για την υπόγεια ροή μπορεί να ξεκινήσει με ανοιχτή εκσκαφή μέσα στην οποία θα τοποθετηθούν αργότερα τα εκάστοτε υλικά που θα αποτελέσουν το στεγανό στοιχείο. Αυτού του είδους οι κατασκευές έχουν μεγάλη ιστορία και έχουν εφαρμοστεί σε πολλές χώρες ιδιαίτερα όταν υποφέρουν από το φαινόμενο της ερημοποίησης. Σαν μέθοδος δεν απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, εξοπλισμό ή υλικά και είναι εφαρμόσιμη απλά μέσω ανθρώπινης εργασίας.

Διαφράγματα ρηχής τάφρου εντοπίζονται πολλά, με μέγιστο βάθος περίπου 10 m. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το υπόγειο φράγμα Nare στη Μπουρκίνα Φάσο (Σχήμα 8.17). Όσο αυξάνεται το ύψος του διαφράγματος, όπως είναι γνωστό, αυξάνεται το βάθος εκσκαφής και συγχρόνως και το κόστος. Η κλίση στις παρειές εκσκαφής πρέπει να είναι ήπια και μάλιστα σε συνάρτηση με τον τύπου του εδαφικού υλικού, το βαθμό συμπύκνωσής του, τη γωνία τριβής κ.ά. Για μικρά βάθη και χαλαρά εδάφη πιθανή κλίση είναι 1:1 ή 1:1,2 («Japan Green Resources Agency», Μάρτιος 2004). Για λόγους ασφαλείας και σε περιπτώσεις αυξημένης στάθμης υδροφόρου ορίζοντα, η αύξηση του βάθους εκσκαφής απαιτεί πρόσθετη μείωση στην κλίση των παρειών ή ακόμα και δημιουργία αναβαθμών ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα κατάρρευσης.

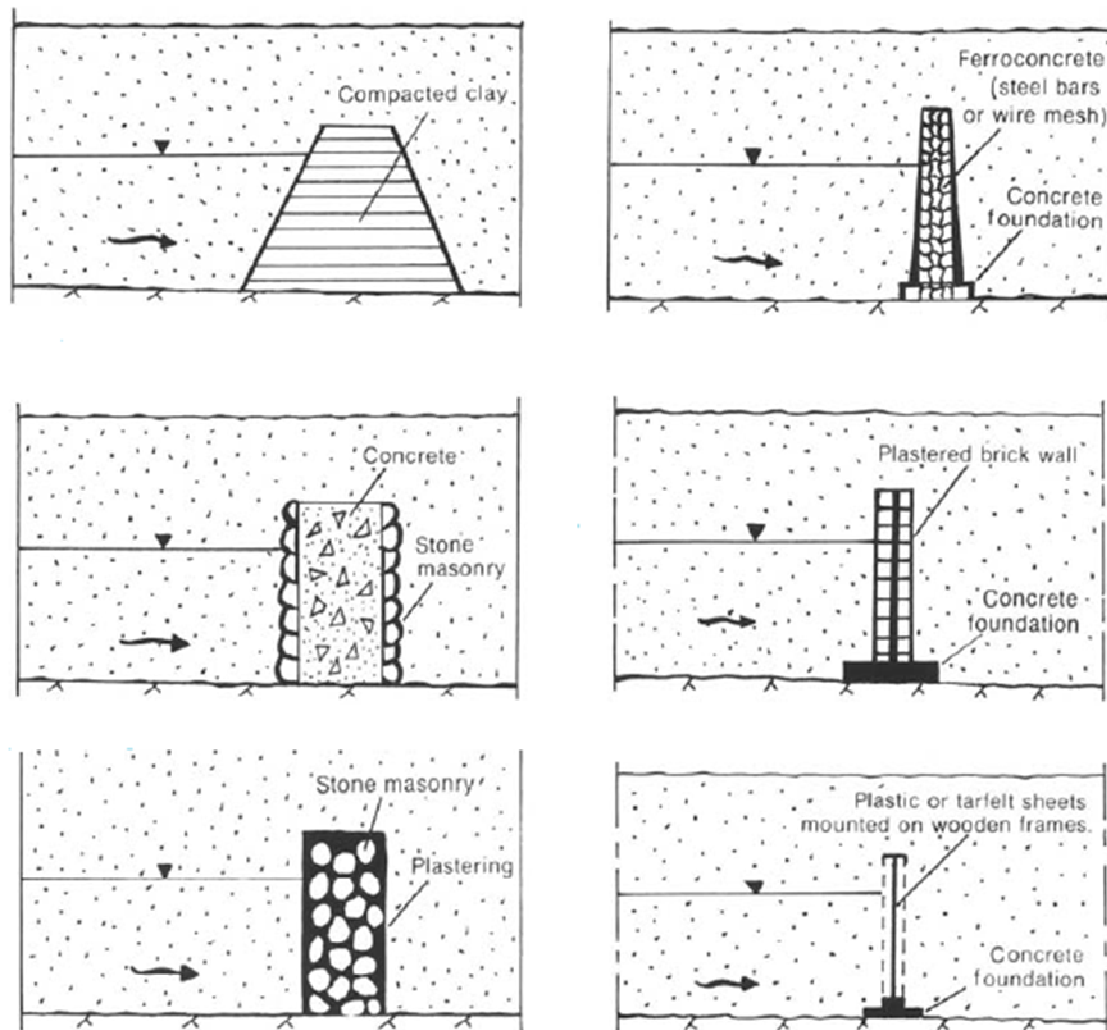
Τα υλικά επίχωσης που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσουν το στεγανό στοιχείο είναι άργιλος, σκυρόδεμα, οπτόπλινθοι, ογκόλιθοι και άλλα αδιαπέρατα υλικά (Σχήμα 8.18). Η χρήση αργίλου μπορεί να μειώσει αισθητά το κόστος ιδιαίτερα όταν είναι διαθέσιμη στο χώρο κατασκευής. Πέρα από το στεγανό στοιχείο, η ανοιχτή τάφρος επιχώνεται από το υλικό εκσκαφής το οποίο και συμπυκνώνεται. Κατά την εκτέλεση των εργασιών, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο τμήμα πάνω από το στεγανό στοιχείο ώστε να μην μειωθεί η περατότητα και να εξασφαλιστεί η ροή νερού σε περίπτωση υπερχείλισης.

Σαν κατασκευές είναι αρκετά απλές και λόγω του περιορισμού βάθους δεν είναι δυνατό να εφαρμοστούν σε μεγάλης κλίμακας έργα. Μπορεί όμως να συνδυαστούν με κάποια άλλη μέθοδο ώστε να δώσουν ένα οικονομικότερο αποτέλεσμα.



Σχήμα 8.17 Κατά μήκος και εγκάρσια τομή του φράγματος Nare

(Πηγή: Technical Report of the Subsurface Dam, March 2004, Ministry of the Environment, Overseas Environmental Cooperation Center)



Σχήμα 8.18 Τύποι διαφραγμάτων ραχηής τάφρου
(Πηγή: <http://www.20upload.org/w1/12832626041.pdf>)

8.10. Διάφραγμα εκτόπισης εδάφους με χρήση μεταλλικών πετασμάτων

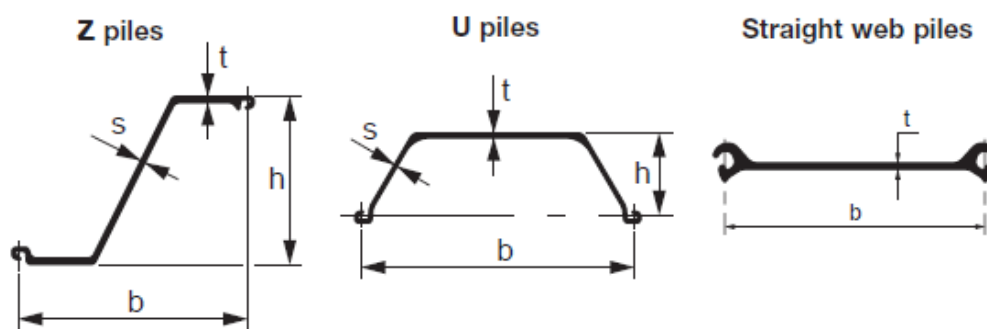
Τα διαφράγματα εκτόπισης εδάφους κατασκευάζονται με εισαγωγή πετασμάτων στο υπέδαφος (Εικόνα 8.10). Πρόκειται για δισδιάστατα στοιχεία, μη επίπεδα και λεπτά, κυρίως μεταλλικά (σπανιότερα από πλαστικό, βινύλιο, fiberglass, οπλισμένο σκυρόδεμα ή ξύλο). Η εγκατάστασή τους υλοποιείται με έμπηξη ή δόνηση συνεπώς χρησιμοποιούνται σε ασταθή, χαλαρά εδάφη όπως μαλακές άργιλοι, χαλαρές άμμοι, τα οποία όμως δεν περιέχουν εμπόδια όπως κροκάλες. Αν και έχουν ευρεία εφαρμογή στα έργα του πολιτικού μηχανικού όπως αντιστήριξη εδάφους, δημιουργία τοίχων σε εγκαταστάσεις λιμένα, έλεγχο στην υπόγεια ροή κ.ά., αδυνατούν να δημιουργήσουν πλήρως στεγανές συνθήκες λόγω διαρροών στα σημεία σύνδεσης. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η τοποθέτηση μαστίχης στα σημεία αυτά αφού πρώτα έχει απομακρυνθεί το εδαφικό υλικό που εισχώρησε κατά την έμπηξη. Η τιμή της περατότητας του διαφράγματος μπορεί να φτάσει και 10^{-7} cm/s (EPA, Ιούλιος 1998) αν το επιτρέπει το υλικό στεγάνωσης που χρησιμοποιείται στα σημεία σύνδεσης. Υπάρχουν πολλά προφίλ μεταλλικών πασσαλοσανίδων όπως σε σχήμα U, σε σχήμα Z, σε σχήμα κουτιού ή ακόμα και ευθεία, πολλά μεγέθη με βάση την εκάστοτε βιομηχανία παραγωγής (Σχήμα 8.19) και πολλοί τρόποι σύνδεσης (Σχήμα 8.20). Ενδεικτικά

αναφέρεται πως ένα μεταλλικό φύλλο μπορεί να έχει πλάτος περίπου 0,5 m και πάχος που ξεκινά με 10 mm (Nippon Steel's, Steel Sheet Piles).



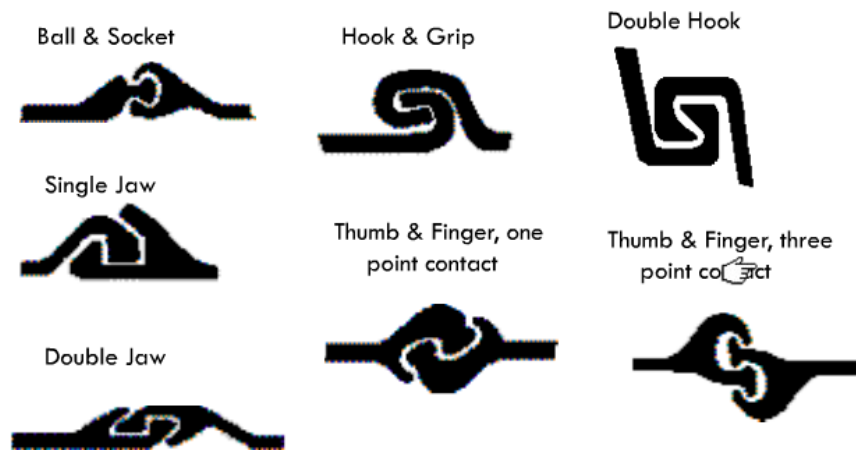
Εικόνα 8.10 Διάφραγμα με χρήση μεταλλικών πετασμάτων

(Πηγή: http://www.cmisheetpiling.com/sheet_piling_engineering/Case-Studies/022%20-%20martin%20park%20landfill.pdf)



Σχήμα 8.19 Τυπικά προφίλ πασσαλοσανίδων

(Πηγή: http://www.sheet-piling.arcelor.com/Documentation/Files/ARCELOR_Piling_Handbook.pdf)



Σχήμα 8.20 Συνδέσεις πασσαλοσανίδων

(Πηγή: <http://www.docstoc.com/docs/19550686/SHEET-PILING-AND-COFFERDAMS-IN-BRIDGE-CONSTRUCTION>)

Στις εικόνες που ακολουθούν (Εικόνα 8.11) φαίνονται οι δύο κυριότεροι τρόποι έμπτυξης των μεταλλικών στοιχείων (Nippon Steel Corporation). Στη πρώτη περίπτωση επιβάλλονται δονητικές δυνάμεις στο πέτασμα μέσω κατάλληλης σφύρας (vibration method), ενώ στη δεύτερη η έμπτυξη γίνεται με επιβολή πίεσης μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (press in method).



Εικόνα 8.11 Έμπτυξη μεταλλικών στοιχείων

(Πηγή: http://www.nsc.co.jp/en/product/construction/pdf/Steel_Sheet_Piles.pdf)

Σαν μέθοδος κατασκευής χαρακτηρίζεται από ευχερή χειρισμό και μεταφορά, δεν απαιτεί εκσκαφή, η επίδραση στο περιβάλλον είναι ελάχιστη, προσαρμόζεται στις εκάστοτε συνθήκες καθώς μπορούν να παραχθούν τεμάχια ειδικής μορφής και πάντα υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσής και επαναχρησιμοποίησης. Από την άλλη μεριά, κατά την εκτέλεση των εργασιών παράγεται θόρυβος και δόνηση, υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής όπου συναντώνται σημαντικά εμπόδια όπως και ο κίνδυνος λυγισμού κατά την έμπηξη, δεν μπορεί να διεισδύσει στο βραχώδες υπόστρωμα και σαν κατασκευή είναι τρωτή στη διάβρωση. Δεν πρέπει να παραλείψουμε πιθανές διαφυγές νερού όταν οι πασσαλοσανίδες δεν έχουν στεγανή σύνδεση μεταξύ τους.

8.11. Βαθειά ανάμιξη εδάφους

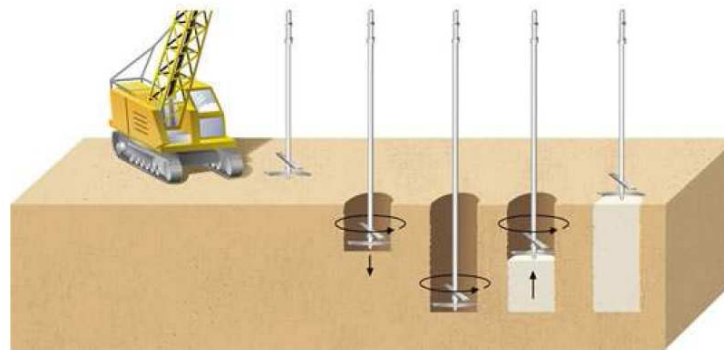
Ως βαθιά ανάμιξη νοείται η εις βάθος εμπλοκή του *in situ* εδάφους με σταθεροποιητικές ουσίες οι οποίες του προσδίδουν κατά κύριο λόγο υψηλότερη αντοχή, χαμηλότερη παραμορφωσιμότητα και περατότητα. Πρόκειται για μια σχετικά νέα μέθοδο, η βασική ιδέα της οποίας αναπτύχθηκε στο Ερευνητικό Ινστιτούτο Λιμένων της Ιαπωνίας και ξεκίνησε να εφαρμόζεται στο τέλος της δεκαετίας του 1960 (Σ. Κωστόπουλος, 2008). Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι η δημιουργία μεμονωμένων κατακόρυφων κυλινδρικών στοιχείων (Εικόνα 8.13) που όμως διαφέρουν από τους επί τόπου εγχυνόμενους πάσσαλους καθώς είναι υποδεέστερα τόσο στην ανάληψη των φορτίων όσο και στην αντοχή. Αυτό συμβαίνει λόγω του κύριου συστατικού τους που είναι το έδαφος και όχι το σκυρόδεμα. Σήμερα υπάρχουν τρεις βασικές παραλλαγές βαθιάς ανάμιξης, η «ξηρή μέθοδος» (Dry method), η «υγρή μέθοδος» (Wet method) και η εκτοξευμένη σιμεντένεση (Jet grouting). Η τελευταία θα εξεταστεί χωριστά ακολούθως καθώς σύμφωνα με αυτή διοχετεύεται αιώρημα τσιμέντου στη γεωμάζα υπό υψηλή πίεση, ενώ οι δύο πρώτες χρησιμοποιούν κάποιο είδος περιστρεφόμενων λεπίδων.

Για την κατασκευή υπόγειων φραγμών και μεγάλης κλίμακας έργων ακολουθείται η υγρή μέθοδος, ενώ η ξηρή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις σταθεροποίησης εδαφών και μείωσης καθιζήσεων. Με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου στελέχους που φέρει λεπίδες και την σύγχρονη διοχέτευση πολτού από αιώρημα μπεντονίτη ή μείγμα τσιμέντου – μπεντονίτη δημιουργούνται τα κατακόρυφα στοιχεία που θα αποτελέσουν το διάφραγμα (Σχήμα 8.21). Συγκεκριμένα, κατά την εισχώρηση και την ανάσχυση του περιστρεφόμενου στελέχους καταστρέφεται η δομή του εδάφους ενώ συγχρόνως το εδαφικό υλικό αναμειγνύεται πλήρως με τον «συνδετικό» πολτό. Τα κατακόρυφα κυλινδρικά στοιχεία κατασκευάζονται σε σειρά, με κάθε δεύτερη κολώνα να κατασκευάζεται πρώτη ενώ οι υπόλοιπες σε δεύτερη φάση (Σχήμα 8.22). Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού που φέρει περισσότερα από ένα λεπιδωτά στελέχη (Εικόνα 8.12). Το βάθος μιας τέτοιας κατασκευής συνήθως φτάνει μέχρι και 25 m ενώ η διάμετρος των κολώνων κυμαίνεται μεταξύ 0,5 έως 1 m, όση δηλαδή και η διάμετρος του λεπιδωτού στελέχους. Τονίζεται πως τα χαρακτηριστικά της κατασκευής είναι συνάρτηση τριών παραγόντων, των χαρακτηριστικών του σταθεροποιητικού πολτού, των χαρακτηριστικών στου εδάφους και των συνθηκών ανάμιξης. Παρ' όλα αυτά, η εκτιμώμενη τιμή περατότητας είναι 10^{-7} cm/sec (EPA, Ιούλιος 1998).

Για λόγους πληρότητας αναφέρονται οι κύριες διαφορές με την ξηρή μέθοδο οι οποίες είναι, η χρήση μείγματος από άνυδρη άσβεστο-τσιμέντο υπό μορφής σκόνης αντί πολτού και η διοχέτευσή του μέσω πεπιεσμένου αέρα, η χρήση μηχανολογικού εξοπλισμού με μικρότερο βάρος. Οι διαστάσεις των κολώνων είναι συνήθως μικρότερες τόσο σε διάμετρο όσο και

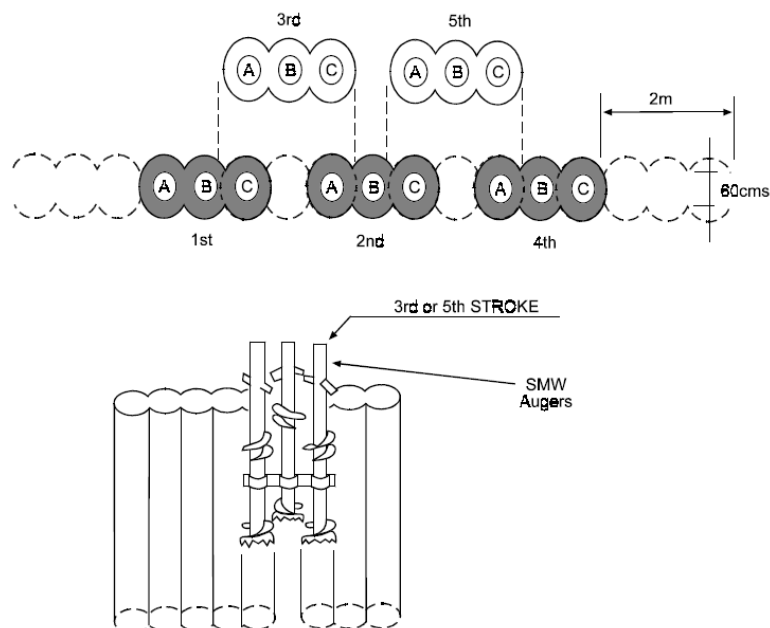
μήκος, χαρακτηρίζονται από χαμηλότερη αντοχή και τέλος εφαρμογή της μεθόδου γίνεται σε ακόμα πιο μαλακά εδάφη.

Ανατρέχοντας τη διαδικασία κατασκευής διαφράγματος μέσω βαθιάς ανάμιξης (υγρή μέθοδο) διαπιστώνουμε ότι πλεονεκτεί σε κάποια στοιχεία όπως είναι η ταχύτητα κατασκευής, η μη απαίτηση για χώρους απόθεσης εδαφικού υλικού εφόσον δεν απομακρύνεται και μάλιστα χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των κατακόρυφων στοιχείων, η απουσία φαινομένων κατάρρευσης και τέλος η δυνατότητα εφαρμογή της σε κατοικημένες περιοχές λόγω του μειωμένου παραγόμενου θορύβου και της έλλειψης δόνησης. Από την άλλη μεριά, η τεχνολογία αυτή απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και μηχανολογικό εξοπλισμό μεγάλων διαστάσεων και κόστους, συνεπώς μπορεί να αιτιολογηθεί μόνο για μεγάλης κλίμακας έργα. Κατά την κατασκευή είναι κρίσιμη και συγχρόνως δύσκολη η εξασφάλιση της συνέχειας και της αλληλοεπικάλυψης των στοιχείων. Σαν μέθοδος είναι αποτελεσματική για εδάφη μη περιέχοντα στοιχεία μεγάλης διαμέτρου καθώς δυσκολεύουν τόσο τη διάτρηση όσο και τη σωστή ανάμιξη και περιορίζεται έντονα με την αύξηση του βάθους.



Σχήμα 8.21 Μέθοδος βαθιάς ανάμιξης

(Πηγή: Load Transfer, Settlement, and Stability of Embankments Founded on Columns Installed by Deep Mixing Methods, George M. Filz)



Σχήμα 8.22 Κατασκευαστική διαδοχή και αλληλοεπικάλυψη κατακόρυφων στοιχείων μέσω βαθιάς ανάμιξης εδάφους

(Πηγή: Evaluation of Subsurface Engineered Barriers at Waste Sites, EPA, July 1998)



Εικόνα 8.12 Μηχανολογικός εξοπλισμός βαθιάς ανάμιξης εδάφους

(Πηγή: <http://www.raitoinc.com/projects.aspx> και Installation and Instrumented Load Testing of Deep Soil Mixing Columns, Kenneth R. Bell, Joseph E. Baka, Mahi Galagoda)



Εικόνα 8.13 Κατακόρυφα κυλινδρικά στοιχεία δημιουργούμενα μέσω βαθιάς ανάμιξης εδάφους

(Πηγή: <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/WetSoilMixing/default.aspx>)

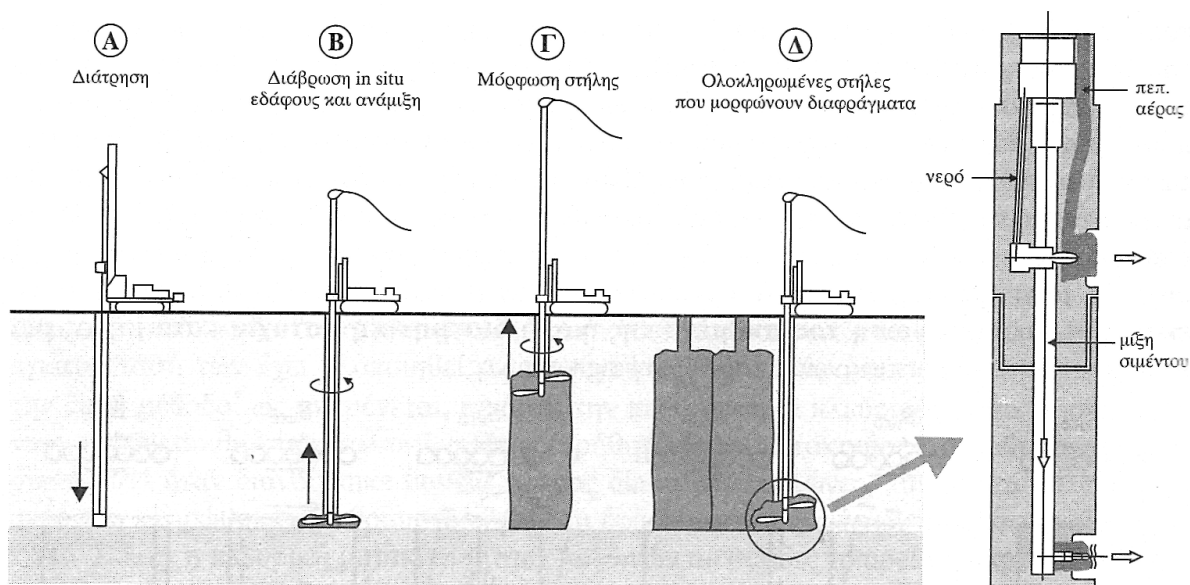
8.12. Μέθοδος ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας

Η μέθοδος ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας ή αλλιώς Jet Grouting όπως είναι γνωστή αποτελεί και αυτή μια μέθοδος βαθιάς ανάμιξης εδάφους που στοχεύει στην βελτίωση των χαρακτηριστικών του. Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνική η οποία ξεκίνησε στα μέσα της δεκαετίας του 1970 στην Ιαπωνία. Στόχος της είναι μέσω υψηλής πίεσης να διοχετεύσει ρευστό ή συνδετικό υλικό με πολύ υψηλή ταχύτητα (και όχι μέσω ανάδευσης όπως το Deep Soil Mixing) το οποίο θα καταστρέψει τη δομή του εδάφους, θα το ομογενοποιήσει και θα αναμιχθεί μαζί του. Έπειτα τη στερεοποίηση του μίγματος θα προκύψει το βελτιωμένο εδαφικό υλικό.

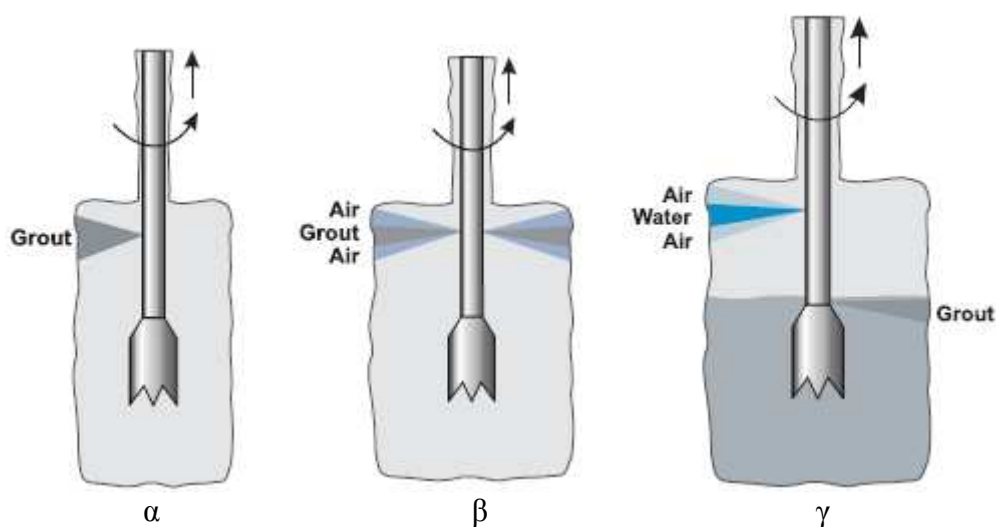
Πιο συγκεκριμένα, η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί ένα ειδικό κοπτικό άκρο προκειμένου να εκσκάψει το ζητούμενο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος και να παράξει σκληρές αδιαπέρατες κολώνες με την διοχέτευση ενέματος δια μέσου οριζόντιων ακροφυσίων, ενέματος το οποίο αναμιγνύεται με το υλικό θεμελίωσης καθώς το κοπτικό άκρο ανασύρεται (Σχήμα 8.23). Αποτέλεσμα είναι μια κατασκευή αποτελούμενη από αλληλεμπλεκόμενα κυλινδρικά στοιχεία που συντίθενται από εδαφικό υλικό και τσιμέντο και φέρουν την ονομασία “Soilcrete”. Η διάμετρος κάθε κολώνας (Εικόνα 8.15) και οι ιδιότητές της μπορεί να διαφέρουν σημαντικά καθώς συναρτώνται με την εφαρμοζόμενη τεχνική, τον εδαφικό τύπο, την πυκνότητα, την πλαστιμότητα, το ποσοστό υγρασίας όσο και από τη θέση του υπόγειου οριζοντα.

Η μέθοδος Jet Grouting μπορεί να εφαρμοσθεί μέσω τριών τεχνικών (Σχήμα 8.24):

1. Σύστημα ενός ρευστού (απλό): Το εισπιεζόμενο ρευστό είναι αποκλειστικός ένεμα το οποίο διοχετεύεται μέσω οριζόντιων ακροφυσίων με ταχύτητα που φτάνει τα 200 m/sec (Hayward Baker Inc.). Αυτή η ενέργεια θα προκαλέσει τη διάβρωση του εδάφους και τη μερική αντικατάστασή του από τον πολτό. Σε χαλικώδη εδάφη οι δημιουργούμενες κολώνες έχουν διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 0,6 έως 1,2 m ενώ σε λεπτότερα και πιο χαλαρά εδάφη μπορεί να δημιουργηθούν και μεγαλύτερες. Δυσκολίες αντιμετωπίζονται στα συνεκτικά εδάφη.
2. Σύστημα δύο ρευστών (διπλό): Σε αυτή την περίπτωση διοχετεύεται ένεμα και πεπιεσμένος αέρας από ομόκεντρα ακροφύσια με τον αέρα να περιβάλλει τη δέσμη ενέματος και να ενισχύει τη δράση του στη διάβρωση του εδάφους. Η διάμετρος των δημιουργούμενων κολώνων είναι μεγαλύτερη όπου σε πιο αδρομερή εδάφη είναι περίπου 1 m ενώ στα χαλαρά και μικρότερης διαμέτρου υλικά, σύμφωνα με την Hayward Baker Inc., μπορεί να φτάσει και 1,80 m.
3. Σύστημα τριών ρευστών (τριπλό): Στη διανοιγόμενη γεώτρηση εισπίζεται νερό, αέρας και ένεμα με τα δύο πρώτα να βγαίνουν από ομοαξονικά ακροφύσια με υψηλή ταχύτητα ενώ το ένεμα από διαφορετικά, χαμηλότερα σε θέση και με μικρότερη ταχύτητα. Κατά κάποιο τρόπο διαχωρίζονται τα στάδια διάβρωσης και τσιμεντένωσης με αποτέλεσμα την σχεδόν πλήρη αντικατάσταση του εδάφους και την καλύτερη εφαρμογή σε πιο συνεκτικά εδάφη. Τα δημιουργούμενα στοιχεία είναι περίπου όμοιων διαστάσεων με το διπλό σύστημα.



Σχήμα 8.23 Αρχή της μεθόδου ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας
(Πηγή: Σ. Δ. Κωστόπουλος, 2008)



Σχήμα 8.24 Τεχνικές Jet Grouting (α) σύστημα ενός ρευστού, (β) σύστημα δύο ρευστών, (γ) σύστημα τριών ρευστών
(Πηγή: Jet Grouting, Hayward Baker Incorporation, 2004)



Εικόνα 8.14 Μηχανολογικός εξοπλισμός μεθόδου Jet Grouting

(Πηγή: <http://www.geo-solutions.com/construction-technologies/jet-grouting.php> και http://www.earthtech.net/commercial/services_solutions_soilmix.php)



Εικόνα 8.15 Παραδείγματα κατακόρυφων στοιχείων δημιουργούμενα μέσω της μεθόδου Jet Grouting

(Πηγή: http://www.earthtech.net/commercial/services_solutions_jetgrouting.php)

Όταν εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος, κατά το σχεδιασμό πρέπει να ληφθούν υπόψη μεγέθη όπως η πίεση του ενέματος, ο αριθμός και το μέγεθος των ακροφυσίων, ο λόγος νερού προς τσιμέντο, ο ρυθμός ανάσυρσης του στελέχους, η ταχύτητα περιστροφής του κ.ά. Όσον αφορά το ένεμα, επειδή στόχος της κατασκευής μας είναι η στεγάνωση και όχι τόσο η ενίσχυση του εδάφους, η περιεκτικότητα σε νερό μειώνεται και προστίθενται ακόμα μπεντονίτης ή/και ιπτάμενη τέφρα. Σύμφωνα με τον Σ. Δ. Κωστόπουλο, η τιμή διαπερατότητας που επιτυγχάνεται μπορεί να κυμαίνεται από 10^{-6} έως και 10^{-9} cm/s. Τελικά, οι φυσικές ιδιότητες των δημιουργούμενων στοιχείων είναι συνάρτηση των in situ ιδιοτήτων της γεωμάζας πριν τη βελτίωση, των ιδιοτήτων του ενέματος και κυρίως των λειτουργικών παραμέτρων της τεχνικής.

Σαν μέθοδο έχει πολλές εφαρμογές και αυτό χάρη στα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος εδαφικών υλικών (αδρομερή υλικά έως και λεπτόκοκκα συνεκτικά) λόγω της δυνατότητάς της να προσαρμόζεται στις κάθε φορά επί τόπου συνθήκες. Ακόμα και σε περιορισμένες σε διαθεσιμότητα χώρου περιοχές, μπορεί να δημιουργήσει τα μεγάλα σε διάμετρο κατακόρυφα στοιχεία της από μία μικρή γεώτρηση, χάρη στην τεχνική της και στο μέγεθος του μηχανολογικού εξοπλισμού της (Εικόνα 8.14). Τα βάθη που μπορεί να πετύχει μπορεί να φτάσουν και τα 60 m (National Network of Environmental Management Studies Fellow, March 1999) ενώ τα κατακόρυφα στοιχεία μπορεί να κατασκευαστούν και υπό κλίση αν το έργο το επιβάλλει. Στα προτερήματα της μεθόδου ανήκουν και η ταχύτητα εφαρμογή της όπως και η έλλειψη δόνησης. Μία από τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στις κατασκευές με τη μέθοδο Jet Grouting είναι η εξασφάλιση της συνέχειας και η σύγχρονη παρακολούθηση της. Φαινόμενα έμφραξης των ακροφυσίων δεν απουσιάζουν, γεγονός που επιβάλλει το έλεγχο της εφαρμοζόμενης πίεσης. Έντονες διαφοροποιήσεις στην στρωματογραφία πλήττουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου και επηρεάζουν τις ιδιότητες των κατακόρυφων στοιχείων, ενώ υπόγεια κίνηση νερού με μεγάλη ταχύτητα μπορεί να οδηγήσει σε διαχωρισμό του ενέματος και του εδαφικού υλικού πριν την σκλήρυνση του. Τέλος, τα πλεονάζοντα προϊόντα εκσκαφής (spoils) πρέπει να διαχειρισθούν και να απομακρυνθούν.

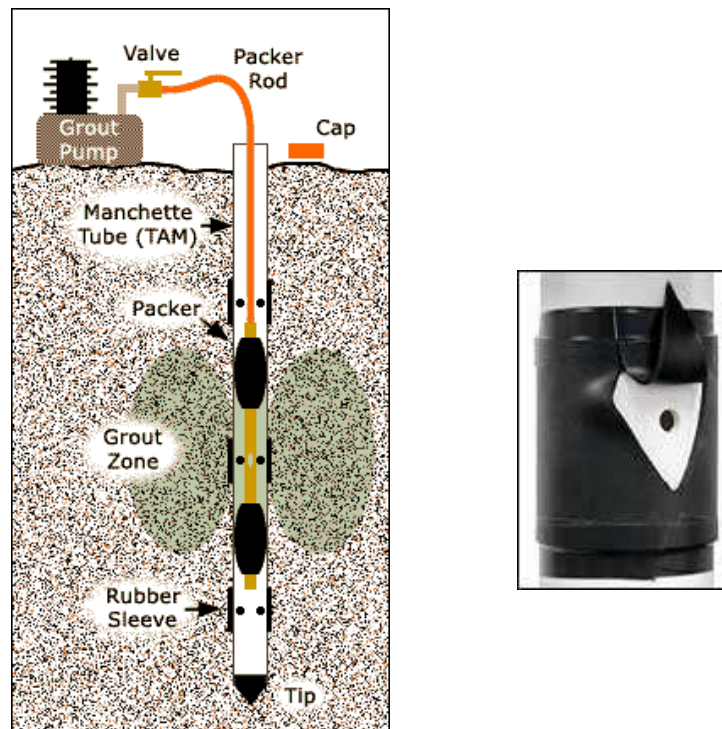
8.13. Διάφραγμα τσιμεντενέσεων

Άλλος ένας τρόπος ελέγχου της υπόγειας ροής του νερού είναι οι ενέσεις. Σύμφωνα με τον Σ. Δ. Κωστόπουλο, ως ένεση νοείται η διοχέτευση μέσα στην in situ γεωμάζα (έδαφος, βράχος) ρευστού υπό πίεση πηγνυόμενου σταδιακά σε ορισμένο χρόνο, με στόχο την αντικατάσταση του αέρα ή του νερού σε ασυνέχειες και πόρους (ενδεχομένως και συμπύκνωσή του), διαδικασία η οποία συνεπάγεται αξιοσημείωτη και μακράς διάρκειας βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων της γεωμάζας, όπως αύξηση της αντοχής, μείωση της διαπερατότητας και της παραμορφωσιμότητας. Ιστορικά η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε και εξακολουθεί να εφαρμόζεται σε βράχους για τη στεγανοποίηση της έδρασης φραγμάτων. Σκοπός της είναι η έμφραξη των διόδων ροής του νερού, ώστε να περιοριστεί η δυνατότητα και ο χώρος ροής, χρησιμοποιώντας ένεμα κατάλληλης σύστασης. Αν και τα αποτελέσματα της δεν είναι ικανοποιητικά όταν εφαρμόζεται σε γαιώδεις σχηματισμούς, υπενθυμίζουμε πως η υπόγεια ροή στις προσχωματικές λεκάνες που μας ενδιαφέρει, γίνεται μέσα σε γαιώδη υλικά διαμέσου των κενών των κόκκων και όχι εντός ασυνεχειών, όπως συμβαίνει στους βραχώδεις.

Οι διαστάσεις των πόρων αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην επιλογή του υλικού πλήρωσης και των ιδιοτήτων του, όπως η λεπτότητα άλεσης και η κοκκομετρική του διαβάθμιση. Αυτό συμβαίνει καθώς αν το ένεμα περιέχει κόκκους μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι ορίζει το πορώδες, τότε η διείσδυση του εμποδίζεται με συνέπεια τη μη αποτελεσματική διακοπή της ροής. Σύμφωνα με το κ. Ν. Μουτάφη («Έλεγχος υπόγειας ροής με τσιμεντενέσεις», Οκτώβριος 1989) για γαιώδη υλικά με συντελεστή διαπερατότητας μεγαλύτερο από 10^{-3} cm/sec, δηλαδή σε υλικά όπως άμμοι, χαλίκια και κροκάλες, ενδείκνυται η χρήση μίγματος νερού-τσιμέντου-μπετονίτη ενώ σε υλικά με μικρότερο συντελεστή μπορούν να διεισδύσουν κυρίως χημικά ενέματα. Η προσθήκη μπετονίτη παίζει καθοριστικό ρόλο στο ένεμα και αυτό λόγω της έντονης διακύμανσης των διαστάσεων των πόρων που επηρεάζει τις ταχύτητες ροής του ενέματος. Ο ρόλος του μπετονίτη είναι να κρατά σε αιώρηση τα στερεά του τσιμέντου μέσα στο νερό ώστε να διεισδύει σωστά το τσιμεντένεμα χωρίς να διακόπτεται η ροή από το φράξιμο των πόρων μέσω της καθίζησης των στερεών κοντά στην οπή τσιμεντένεσης. Άλλα προβλήματα που προκαλεί η έντονη

ανομοιομορφία του πορώδους είναι η δυσκολία στον ορισμό της πίεσης του ενέματος και η εμφάνιση φαινομένων επιλεκτικής ροής του. Τα παραπάνω οδηγούν είτε στη μη ικανοποιητική στεγάνωση του εδάφους, είτε στην άσκοπη σπατάλη ενέματος.

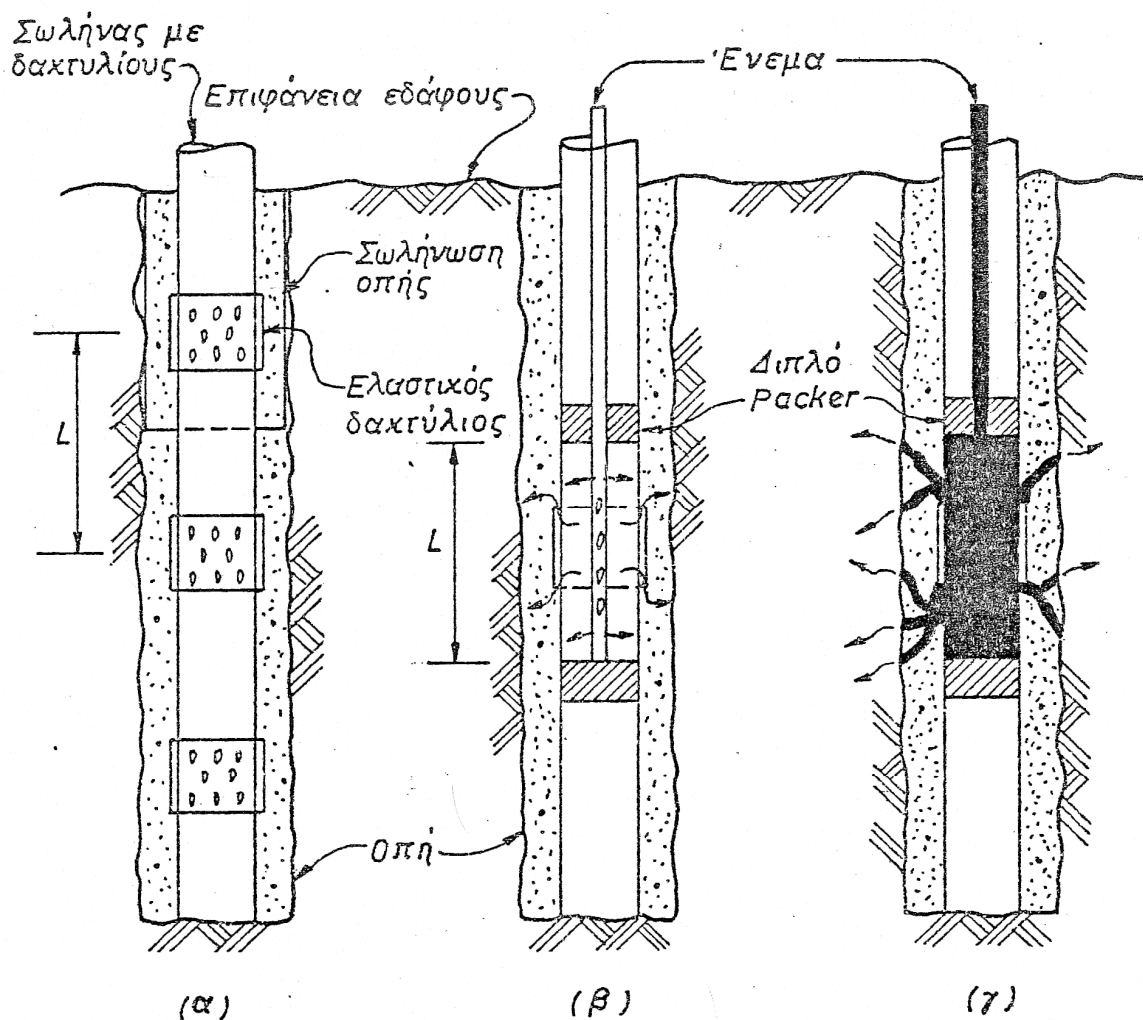
Συμπεραίνουμε λοιπόν πως δεν είναι δυνατό να ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία τσιμεντένωσης με εκείνη των βραχιδών σχηματισμών ενώ τα μήκη εκτέλεσης των σταδίων τσιμεντένωσης είναι πλέον της τάξης 0,5 m (στους βραχώδεις συνήθως 3 έως 5 m). Μία αποτελεσματική λύση είναι η εφαρμογή της μεθόδου “Tube a Manchette” ή αλλιώς μέθοδος του σωλήνα με δακτυλίους. Το βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η χρήση μεταλλικού ή πλαστικού σωλήνα, διάτρητου κατά διαστήματα από μικρές κυκλικές οπές, οι οποίες είναι καλυμμένες με δακτύλιο (κολλάρο – manchette) από καουτσούκ ή άλλο ελαστικό υλικό (Σχήμα 8.25).



Σχήμα 8.25 Τσιμεντένωση με τη μέθοδο Tube a Manchette και ελαστικός δακτύλιος
(Πηγή: http://www.strata-tech.com/manchette/tam_system.html)

Αρχικά διανοίγεται η οπή όπου θα εκτελεστεί η τσιμεντένωση η οποία και σωληνώνεται ώστε να αντιμετωπιστούν τα φαινόμενα κατάπτωσης που παρατηρούνται στα γαιώδη υλικά. Ο σωλήνας με τους ελαστικούς δακτυλίους τοποθετείται στην οπή ενώ ο χώρος μεταξύ αυτού και των τοιχωμάτων της οπής πληρούται με μίγμα τσιμέντου- μπετονίτη χαμηλής αντοχής. Κατά τη φάση πλήρωσης των οπών με το μίγμα, οι σωληνώσεις αντιστήριξης ανασύρονται σταδιακά. Ο σωλήνας στο εσωτερικό του φέρει διπλό παρέμβυσμα σε τέτοιες θέσεις ώστε κάθε φορά να απομονώνεται ένα διάτρητο τμήμα που εμπεριέχει ελαστικό δακτύλιο. Μετά την παρέλευση αρκετού χρόνου ώστε το μίγμα τσιμέντου – μπετονίτη να έχει αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή, εισπνέζεται το ένεμα το οποίο οδηγεί στην πλήρωση του τμήματος που περικλείεται από το διπλό παρέμβυσμα. Το εισπνέζόμενο ένεμα αναγκάζει τον ελαστικό δακτύλιο να ανασηκωθεί και ακολούθως διαφεύγει στην περιβάλλουσα γεωμάζα, αφού πρώτα σπάσει το μικρής αντοχής περίβλημα από στερεοποιημένο μίγμα τσιμέντου – μπετονίτη. Μετά την παύση της τσιμεντένωσης ο ελαστικός δακτύλιος επανέρχεται στην

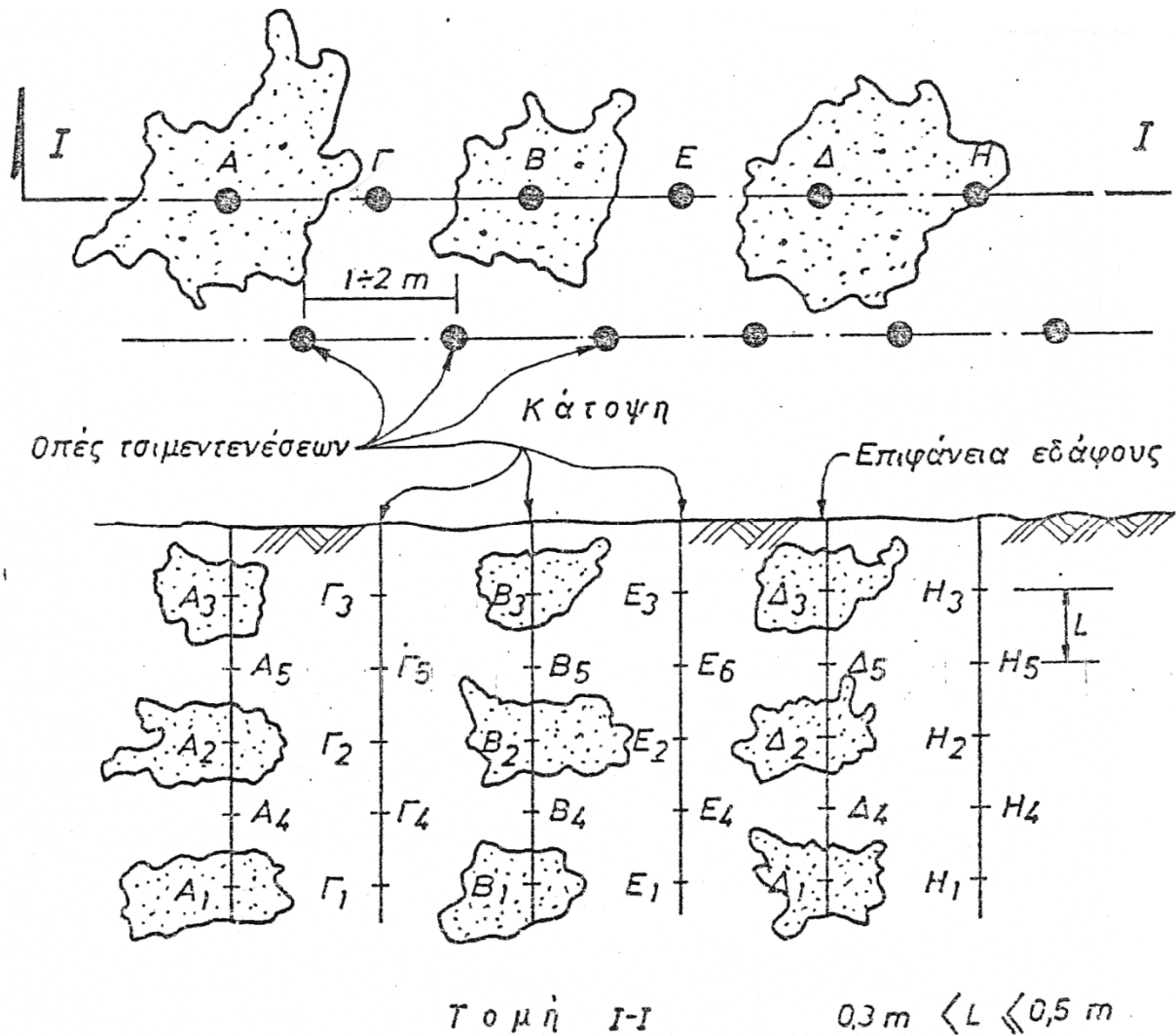
αρχική του θέση φράσσοντας τις οπές του σωλήνα (Σχήμα 8.26). Με αυτό τον τρόπο εμποδίζεται το τσιμεντένεμα του περιβάλλοντα χώρου να εισχωρήσει στο σωλήνα. Σε περίπτωση μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων, το σύστημα των ελαστικών δακτυλίων δίνει τη δυνατότητα επαναληπτικής τσιμεντένεσης από τον ίδιο δακτύλιο με τσιμεντένεμα διαφορετικής σύνθεσης ή με χημικό ένεμα.



Σχήμα 8.26 Εκτέλεση τσιμεντένεσης με τη μέθοδο Tube a Manchette
(Πηγή: Μουτάφης, 1989)

Με στόχο τη δημιουργία διαφράγματος απαιτούνται οπές τσιμεντενέσεων διατεταγμένες σε μία σειρά (κουρτίνα ή πέτασμα τσιμεντενέσεων). Η διάταξη των τσιμεντενέσεων και η σειρά των εργασιών φαίνεται στο Σχήμα 8.27. Με αυτό τον τρόπο εκτέλεσης επιτυγχάνονται δύο διαφορετικοί στόχοι. Κατά την πρώτη φάση εισπίεσης σε μία οπή φράσσονται μερικές από τις διόδους υψηλής διαπερατότητας ώστε σε επόμενο στάδιο η πίεση στο ένεμα να είναι υψηλότερη, άρα και η τσιμεντένεση αποτελεσματικότερη. Ακόμα, η σύγκριση των απορροφήσεων στους δακτυλίους δίνει τη δυνατότητα συνεχούς ελέγχου.

Σε περίπτωση μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων, ακολουθεί δεύτερη σειρά τσιμεντενέσεων με τις οπές διατεταγμένες ενδιάμεσα στις αρχικές ή ακόμα και τρίτη.



Σχήμα 8.27 Στάδια εκτέλεσης διαφράγματος τσιμεντενέσεων
(Πηγή: Μουτάφης, 1989)

Γενικότερα, οι τσιμεντενέσεις χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα εκτέλεσής τους και πλεονεκτούν καθώς δεν απαιτούν εκσκαφή εδάφους. Ακόμα, λόγω του μικρού σχετικά μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιούν είναι δυνατό να εφαρμοσθούν σε κατοικημένες περιοχές χωρίς ιδιαίτερη όχληση. Από την άλλη μεριά υστερούν καθώς έχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο σε βραχώδη εδάφη και μάλιστα υπόκεινται σε περιορισμούς σχετικά με την εφαρμοζόμενη πίεση του τσιμεντενέματος (αποφυγή διατάραξης δομής γεωμάζας). Σημαντικότερο μειονέκτημα είναι η αδυναμία εξασφάλισης της συνέχειας του διαφράγματος και η δυσκολία πρόβλεψης της ροής του ενέματος. Η διαφοροποιήσεις της γεωμάζας αναγκάζουν το ένεμα να ακολουθεί τον «ευκολότερο» δρόμο κάτι που μπορεί να οδηγήσει σε ανεξέλεγκτη σπατάλη του και αύξηση του κόστους χωρίς η τσιμεντένεση να ικανοποιεί το σκοπό της. Όλα τα παραπάνω την καθιστούν ακατάλληλη σαν μέθοδο για τη δημιουργία διαφράγματος σε προσχωματική λεκάνη, όμως εξετάζεται, καθώς ίσως χρησιμοποιηθεί σε συνεργασία με κάποια άλλη μέθοδο για να καλύψει τυχόν ατέλειες στην κατασκευή.

9. Δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του Μύρτους Λασιθίου

9.1. Εισαγωγή

Με στόχο τον εμπλουτισμό του υδατικού ισοζυγίου στις νότιες περιοχές του νομού Λασιθίου, η Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λασιθίου προώθησε ερευνητικό πρόγραμμα εκπονούμενο από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και το τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Σκοπός του προγράμματος είναι να διαπιστωθεί αν τα υπόγεια νερά από τον υδροφορέα του Μύρτους που σήμερα χάνονται στη θάλασσα μπορούν να αξιοποιηθούν. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα που θα έχει την ικανότητα να αποθηκεύσει επαρκείς ποσότητες νερού για ύδρευση και άρδευση.

9.2. Λεκάνη απορροής του ποταμού Μύρτους

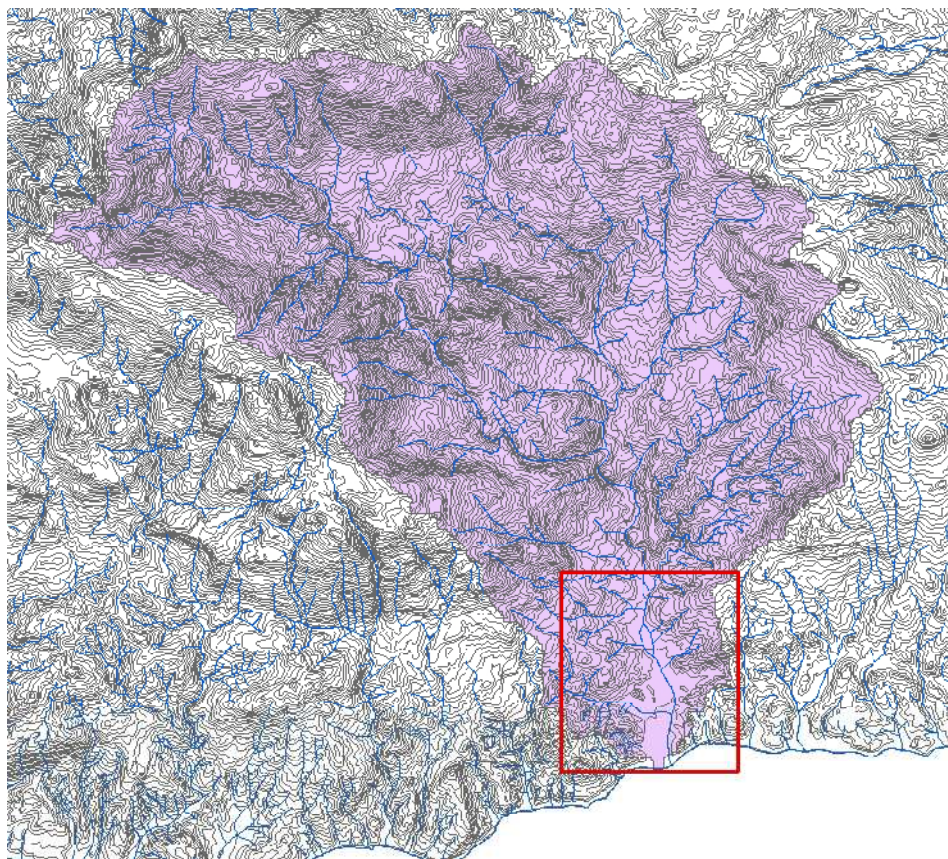
Η λεκάνη απορροής του Μύρτους, με συνολική έκταση περίπου 99 km², εκτείνεται από τη νότια πλευρά του όρους Δίχτη μέχρι το Λιβικό Πέλαγος (Σχήμα 9.1, Σχήμα 9.2). Ανατολικά, ορίζεται από τις κορυφές Ρούσο Ξύλο και Μεγάλη Κορυφή, ενώ δυτικά από τις κορυφές Αφέντης Χριστός, Ψαρί Μαδάρα, Σαρακινό Καράβι, Κυλιάρια και Αγία Αικατερίνη.

Το σχήμα της λεκάνης είναι ακανόνιστο γεωμετρικά με υψόμετρα που κυμαίνονται από ± 0 έως +2148 από το μέσο υψόμετρο της θάλασσας και χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερό της τμήμα από ήπιο, λοφώδες τοπογραφικό ανάγλυφο. Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι γενικά πυκνό, με κύριο αποδέκτη τον χειμάρρο Μύρτο. Σ' αυτό βοηθά η γενική γεωλογική δομή της λεκάνης απορροής, που συνιστάται κυρίως από αδιαπέρατους ή ελάχιστα περατούς σχηματισμούς, γεγονός που οδηγεί στην γρήγορη επιφανειακή αποστράγγιση της λεκάνης. Συγκεκριμένα, ο χειμάρρος Μύρτος διασχίζει την λεκάνη απορροής με συνολικό μήκος 20,80 km και δέχεται πολλά νερά από παραχειμάρρους και πηγές, ο κύριος κλάδος του οποίου έχει σχεδόν μόνιμη ροή από ΒΒΔ προς ΝΝΑ. Η κλίση του χειμάρρου στο ανάντη τμήμα είναι μεγάλη (6 – 36 %) με μέση κλίση 16% ενώ στα κατάντη μικρότερη (1,5 – 6 %) με μέση τιμή 3%.



Σχήμα 9.1 Χάρτης Δήμων και κυρίων λεκανών απορροής Κρήτης

(Πηγή: Βασιλική Μπούρα, 2010)



Σχήμα 9.2 Όρια υδρολογικής λεκάνης του Μύρτους, το υδρογραφικό δίκτυο και η περιοχή μελέτης

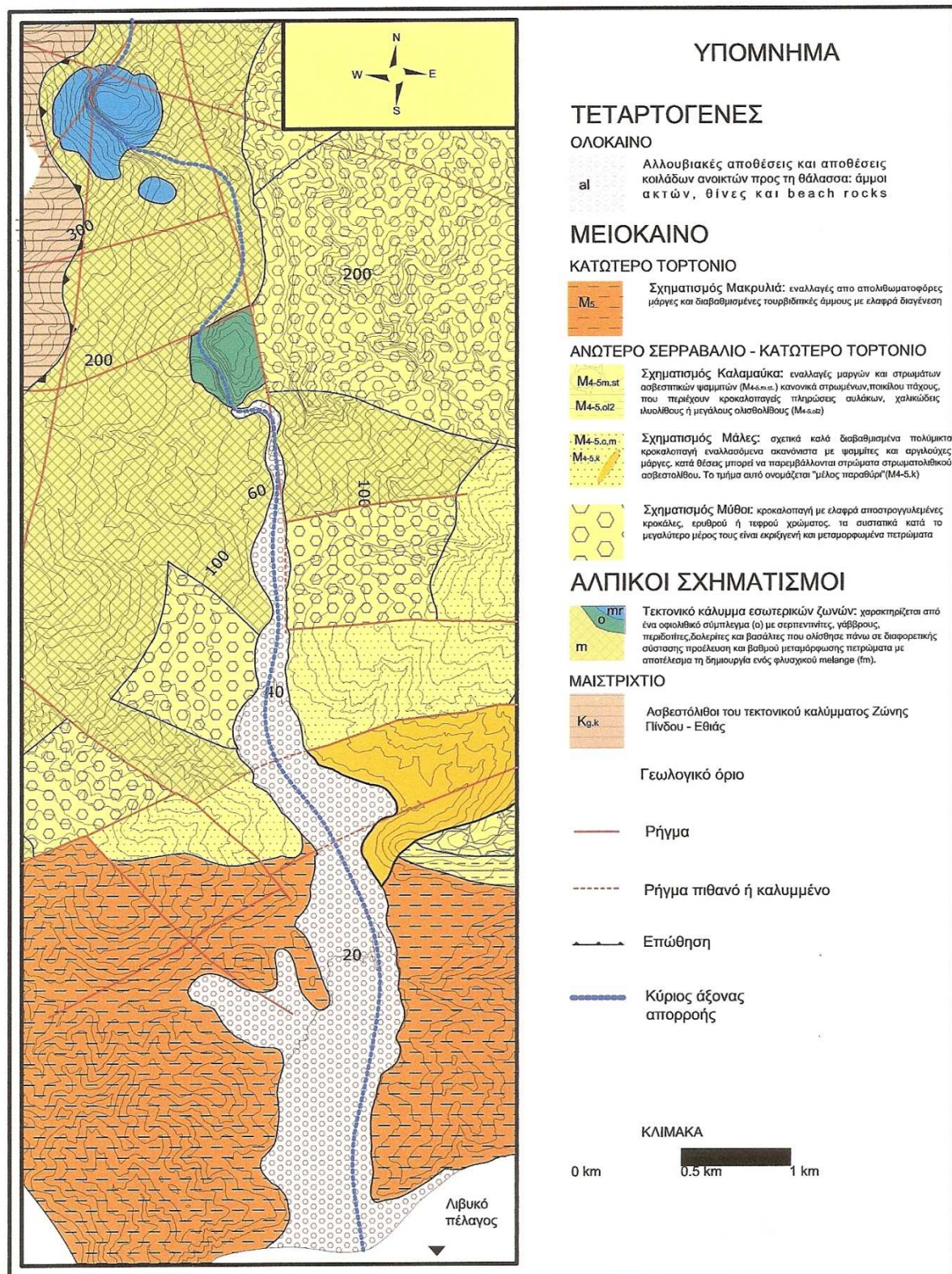
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας, 2009)

Όσον αφορά τη γεωλογία της περιοχής, σύμφωνα με γεωλογικές μελέτες, πρόκειται για ένα σύστημα νεαρό σε εξέλιξη στην ανάπτυξη του οποίου επικρατεί η κατακόρυφη και πλευρική διάβρωση. Αισθητή κάνουν την παρουσία τους αλλουβιακές αποθέσεις, ιδιαίτερα κατά μήκος του ποταμού Μύρτους, πλευρικά κορήματα και κατακρημνισμένοι ασβεστολιθικοί όγκοι. Ακόμα, εμφανίζονται απολιθωματοφόρες μάργες, κροκαλοπαγή, οφιολιθικά συμπλέγματα, ιζήματα φλύσχη και ασβεστόλιθοι. Οι γεωλογικοί αυτοί σχηματισμοί που απαντώνται στη λεκάνη απορροής παρουσιάζουν διαφορετική ικανότητα μεταβίβασης και αποθήκευσης νερού, η οποία καθορίζεται από το πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες, τη λιθολογική σύσταση και την τεκτονική καταπόνηση του εκάστοτε σχηματισμού. Με περισσότερες λεπτομέρειες θα αναφερθούμε στην περιοχή προσχωματικής λεκάνης του Μύρτους η οποία και μας ενδιαφέρει.

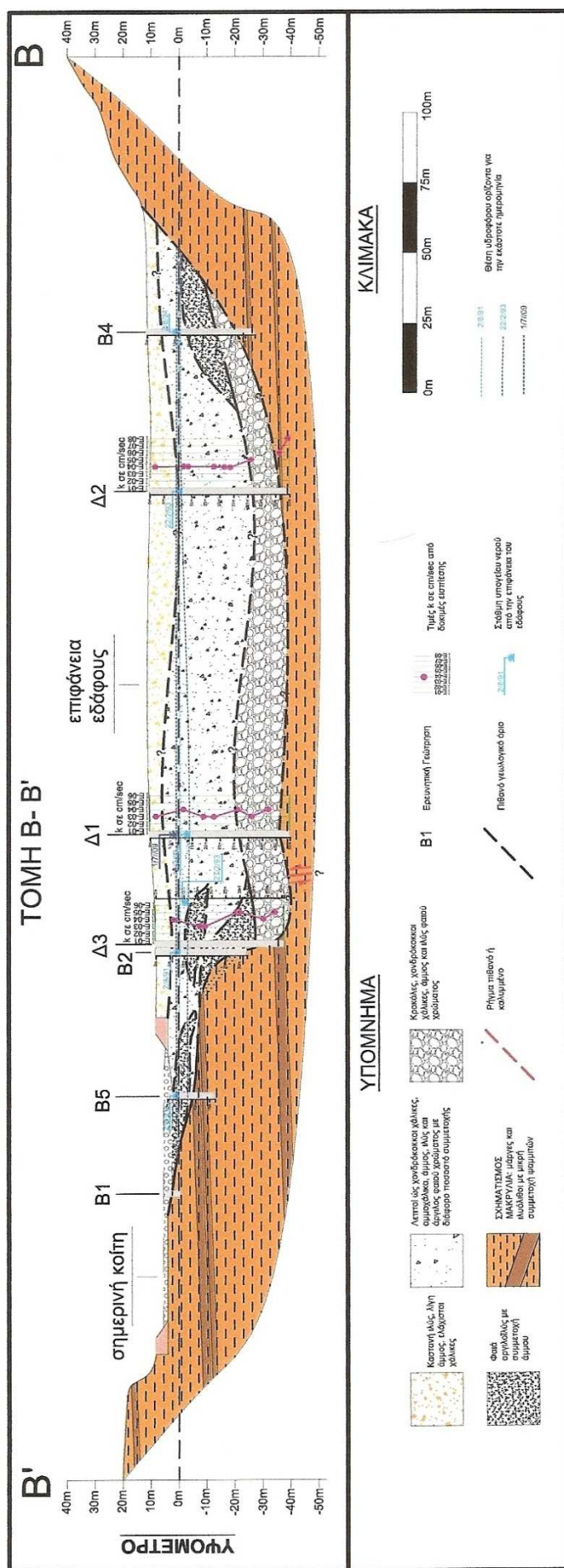
9.3. Προσχωματική λεκάνη ποταμού Μύρτους

Στο νότιο και πεδινό κομμάτι της λεκάνης απορροής του Μύρτους εντοπίζεται η προσχωματική λεκάνη του Μύρτους. Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής, όπως παρουσιάζεται στην μεταπτυχιακή εργασία του Δριβέλα Αλέξανδρου, φαίνεται στο Σχήμα 9.3. Ακόμα, περιέχονται η εκτιμώμενη γεωλογική τομή στην πιθανή θέση κατασκευής διαφράγματος (Σχήμα 9.4) και η εκτιμώμενη γεωλογική τομή κατά μήκος των αποθέσεων

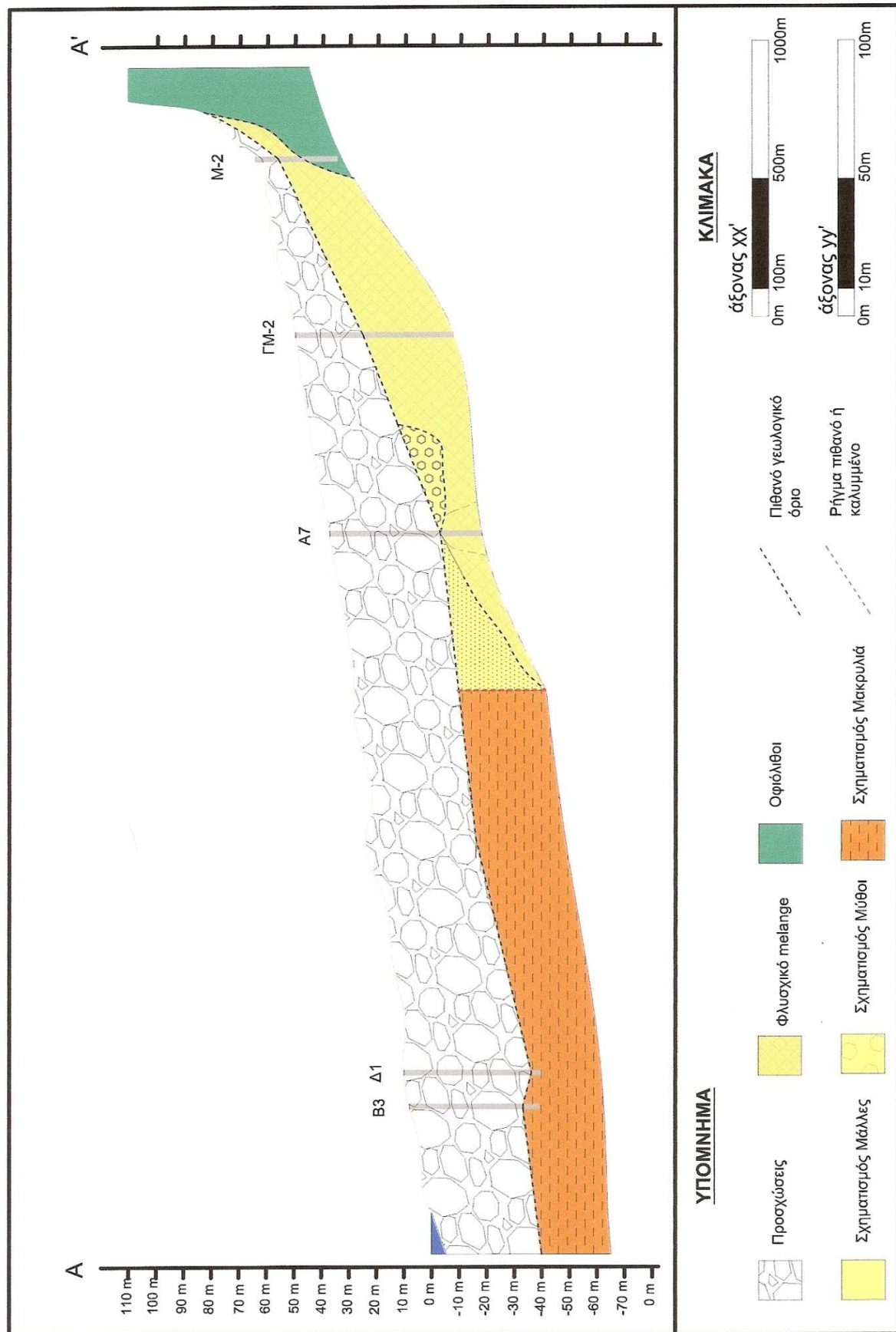
(Σχήμα 9.5). Στηριζόμενοι πάνω σε αυτά τα στοιχεία, που παραθέτει ο γεωλόγος Αλέξανδρος Δριβέλας, συμπεραίνουμε τα ακόλουθα.



Σχήμα 9.3 Γεωλογικός χάρτης
 (Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)



Σχήμα 9.4 Γεωλογική τομή Β-Β'
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)



Σχήμα 9.5 Γεωλογική τομή A-A'
(Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)

Οι αλλουβιακές αποθέσεις, μέσα στις οποίες προβλέπεται και η δημιουργία του υπόγειου ταμιευτήρα, αποτελούνται από αμμοχαλικώδη υλικά με παρουσία κροκάλων (Εικόνα 9.2). Το πάχος τους διατηρείται σχεδόν σταθερό στα κατάντη, περίπου 40 m, ενώ καθώς κατευθυνόμαστε προς τα ανάντη μειώνεται και φτάνει μέχρι και τα 10 m (γεωλογική τομή Α-Α'). Ο συνολικός όγκος των προσχώσεων σύμφωνα με εκτιμήσεις ανέρχεται σε 23.500.000 m³ (Α. Δριβέλας, 2009). Πρόκειται για αποθέσεις μέσης έως και μεγάλης περατότητας με τιμές $k = 10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sec μέσα στις οποίες αναπτύσσεται υδροφορία. Αναλυτικότερα, βασιζόμενοι στη γεωλογική τομή Β-Β', παρατηρούμε πως οι ποτάμιες αποθέσεις αυτές απαρτίζονται από τρεις επιμέρους στρώσεις.

Στη βάση των προσχώσεων εμφανίζεται ένα στρώμα χονδρόκοκκων χαλίκων – κροκάλων με παρουσία άμμου και ιλύος μέγιστου πάχους περίπου 18 m και εκτιμώμενο συντελεστή διαπερατότητας $k = 10^{-3} - 10^{-4}$ cm/sec. Σημειώνεται πως από μαρτυρίες κατοίκων το μέγεθος των κροκάλων μπορεί να ξεπερνά και τα 20 cm πράγμα που αιτιολογείται αν παρατηρήσουμε τα μεγάλης διαμέτρου υλικά στις σημερινές αποθέσεις του ποταμού Μύρτους (Εικόνα 9.1). Το επόμενο στρώμα ανεβαίνοντας προς την επιφάνεια αποτελείται κυρίως από αμμοχάλικα με συμμετοχή μικρότερων ποσοστών ιλύος, άμμου και αργίλου. Το μέγιστο πάχος των αμμοχάλικων φτάνει περίπου τα 27 m ενώ κάνουν την εμφάνισή τους φακοειδείς αποθέσεις με αργιλοίλυ και άμμο που ίσως οφείλονται σε ποτάμιους μηχανισμούς που αναλύθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο (καμπύλες ποταμών, μαίανδροι, πλευρικά κορήματα, κλπ.). Ο συντελεστής περατότητας κυμαίνεται και εδώ από $10^{-3} - 10^{-4}$ cm/sec αλλά σε θέσεις με έντονη εμφάνιση της αργιλοίλυς μπορεί να φτάσει και το 10^{-5} cm/sec. Στην επιφάνεια εμφανίζεται στρώμα αποθέσεων αποτελούμενο από καστανή ιλύ, λίγη άμμο και ελάχιστους χάλικες. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας προέκυψαν με τις δοκιμές Maag (σε θέσεις με έντονη εμφάνιση ιλύος) και Lefranc (όπου επικρατούν αδρομερή υλικά).

Όσον αφορά το υπόβαθρο κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις περιγράφεται από τους γεωλόγους (Δριβέλας, 2009) ως πρακτικά υδατοστεγανό ή σχεδόν στεγανό με τιμή συντελεστή διαπερατότητας να κυμαίνεται μεταξύ $10^{-6} - 10^{-8}$ cm/sec. Συγκεκριμένα, οι σχηματισμοί Μακρυλιά και Μαλλών είναι ιδιαίτερα στεγανοί, ο σχηματισμός Μύθων χαρακτηρίζεται ημιπερατός ενώ το φλυσχικό mélange αδιαπέρατο σε θέσεις όπου εμφανίζονται σχιστόλιθοι. Σε θέσεις όπου επικρατούν οφιόλιθοι η στεγανότητα δεν είναι βέβαιη.

Τα παραπάνω στοιχεία δεν ήταν τα μοναδικά που είχαμε στη διάθεσή μας. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (σημερινό Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) μέσω του μελετητή Γ. Καραβοκύρη εκπόνησε Μελέτη Συμπληρωματικών Εγγειοβελτιωτικών Έργων στην περιοχή Ιεράπετρας. Στόχος του προγράμματος ήταν η διερεύνηση της δυνατότητας εξοικονομήσεως νερού για εμπλουτισμό του φράγματος Μπραμιανού και η αποδοτικότερη εκμετάλλευση του υπόλοιπου υδροφόρου ορίζοντα του χειμάρρου Μύρτους για τοπική χρήση. Επιβλέποντας του έργου από πλευράς Υπηρεσίας, επί του έργου, στο Παράρτημα Ιεράπετρας, ήταν ο κ. Σ. Καραχάλιος. Έπειτα από επικοινωνία μαζί του προέκυψαν και τα ακόλουθα στοιχεία.

Στα πλαίσια γεωτεχνικής έρευνας, εκτελέστηκαν ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην περιοχή κατασκευής του διαφράγματος (300 μέτρα περίπου ανάντη των εκβολών του χειμάρρου Μύρτου), με στόχο την έρευνα της στρωματογραφίας, τον προσδιορισμό του πάχους των προσχωματικών υλικών της κοίτης του Μύρτους και του βάθους του στεγανού γεωλογικού υποβάθρου (νεογενή). Οι γεωτρήσεις αυτές έγιναν σε δύο διαφορετικές περιόδους με τις πρώτες πέντε να λαμβάνουν χώρα την περίοδο Ιούνιος – Ιούλιος 1991 και τις επόμενες τρεις συμπληρωματικές στο διάστημα Ιανουάριος – Φεβρουάριος 1993 (Σχήμα

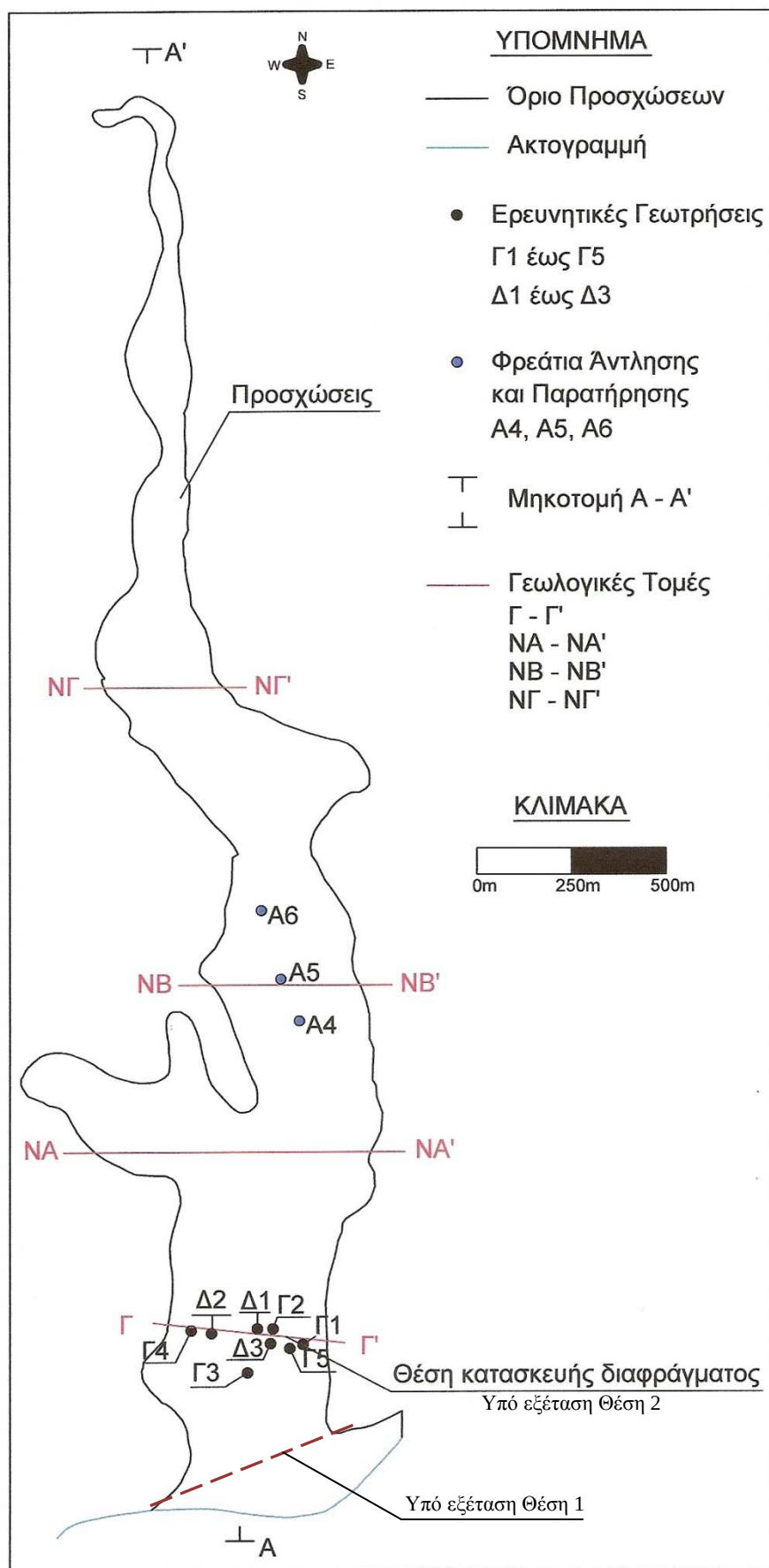
9.6). Λαμβάνοντας υπόψη και συνδυάζοντας τα στοιχεία των γεωτρήσεων που προέκυψαν (περιέχονται στο Παράρτημα, 2^ο μέρος) σχεδιάστηκε η γεωλογική τομή Γ – Γ' (Σχήμα 9.7).

Σύμφωνα λοιπόν με αυτή την τομή, παρατηρούμε πως η επαφή των προσχωματικών υλικών με τους νεογενείς σχηματισμούς (στεγανό υπόβαθρο) βρίσκεται σε μέγιστο βάθος περίπου 46 m, με τις αποθέσεις να δημιουργούν επιμέρους στρώσεις. Συγκεκριμένα, ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω, διακρίνουμε μία στρώση κροκάλων και αμμοχάλικων με εμφάνιση ογκολίθων από ασβεστόλιθο και περιδοτίτη. Οι ογκόλιθοι αυτοί, πιθανότατα αποτελούν προϊόντα έντονης αποσάθρωσης και μεταφοράς, αφού σύμφωνα με τη γεωλογική έρευνα (Ιούνιος 1993), η λεκάνη απορροής του ποταμού καλύπτεται κατά κύριο λόγο από ασβεστόλιθο, φλύσχη και οφιολιθικά συμπλέγματα. Οι επόμενες στρώσεις καθώς ανεβαίνουμε προς τα πάνω, απαρτίζονται κυρίως από άργιλο, ιλύ και λεπτή άμμο. Στη συνέχεια εμφανίζεται μία στρώση από αμμοχάλικα και κροκάλες, την οποία διαδέχεται μία στρώση από άμμο. Στην επιφάνεια του εδάφους κάνουν την εμφάνιση τους αμμοχάλικα.

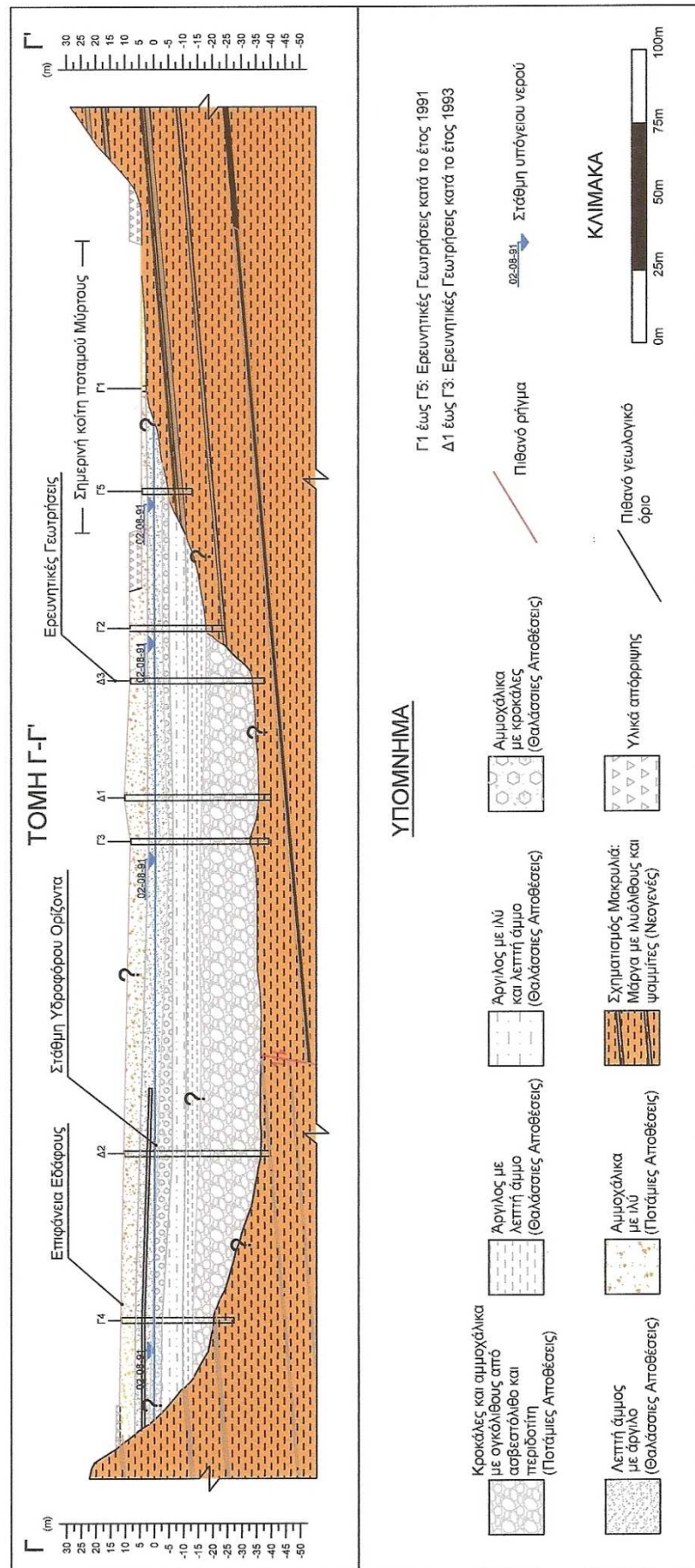
Σύμφωνα με τον γεωλόγο κ. Σ. Καραχάλιο, οι αποθέσεις αυτές πιθανόν δημιουργήθηκαν από την εποχή των παγετώνων και μετά κάτι που αιτιολογεί το μεγάλο βάθος τους. Αναλυτικότερα, κατά την εποχή εκείνη, το νερό ήταν δεσμευμένο στους πόλους και η μέση στάθμη της θάλασσας ήταν πολύ χαμηλά. Αργότερα, το λιώσιμο των πάγων και η σύγχρονη εμφάνιση των έντονων βροχοπτώσεων οδήγησαν στη ροή νερού προς τη θάλασσα συνοδευόμενη από έντονη στερεοπαροχή. Έτσι λοιπόν, εξαιτίας της μεγάλης αυτής ενέργειας μεταφοράς υλικού αιτιολογείται και η στρώση πάνω από τη μάργα, με τις κροκάλες και τους ογκόλιθους. Όταν η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε αρκετά, είχε ως αποτέλεσμα την είσοδό της στη στεριά. Αυτό δικαιολογεί και το μεγάλο ποσοστό άμμου που βρίσκεται στις μεσαίες στρώσεις το οποίο κατά κύριο λόγο πρόκειται για θαλάσσιες αποθέσεις. Η επιφάνεια των προσχώσεων όπου κυριαρχούν τα αμμοχάλικα έχει διαμορφωθεί με την επίδραση της ροής του ποταμού Μύρτους. Πρόκειται δηλαδή για αλλοούβια η προέλευση των οποίων είναι τόσο ασβεστολιθική όσο και φλύσχη, από τους σχηματισμούς δηλαδή που συναντούνται ανάντη, κατά τον ρου του χειμάρρου. Η κατά καιρούς χειμαρρώδης δίαυτος του ποταμού αιτιολογεί και την εμφάνιση υλικών μεγάλης διαμέτρου, ιδιαίτερα στη σημερινή κοίτη (Εικόνα 9.1).

Η περατότητα των αμμοχαλικωδών αποθέσεων όπως περιγράφεται στη Μελέτη Συμπληρωματικών Εγγειοβελτιωτικών Έργων στην περιοχή Ιεράπετρας (Ιούνιος 1993) προέκυψε σημαντική από τις δοκιμές, όπως ήταν αναμενόμενο, με συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας της τάξης $10^{-3} - 10^{-4}$ cm/sec. Αναλυτικότερα, σε θέσεις με αδρομερή υλικά εφαρμόστηκε η δοκιμή σταθερού φορτίου (Lefranc) η οποία έδωσε αποτελέσματα υδραυλικής αγωγιμότητας K της τάξης 10^{-3} cm/sec. Η δοκιμή μεταβλητού φορτίου (Maag) εκτελέστηκε σε στρώσεις με λεπτόκοκκο υλικό και έδωσε τιμές K από $10^{-3} - 10^{-5}$ cm/sec ανάλογα την περιεκτικότητα σε χάλικες. Στον πυθμένα των ερευνητικών γεωτρήσεων όπου εμφανίζεται και το στεγανό υπόβαθρο προσδιορίστηκε η τιμή του συντελεστή K μέσω της δοκιμής Lugeon το εύρος του οποίου κυμάνθηκε μεταξύ 10^{-5} cm/sec και 10^{-8} cm/sec επηρεαζόμενο από την εμφάνιση στρώσεων ψαμμίτη. Η τελευταία δοκιμή χαρακτηρίζει το στεγανό υπόβαθρο ως πρακτικά αδιαπέρατο ή σχεδόν στεγανό όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Πέρα από τα παραπάνω στοιχεία, η διάνοιξη των γεωτρήσεων προσδιόρισε και τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τη συγκεκριμένη περίοδο η οποία ήταν στα 10 μέτρα περίπου.



Σχήμα 9.6 Θέσεις νέων γεωλογικών τομών και ερευνητικών γεωτρήσεων



Σχήμα 9.7 Γεωλογική Τομή Γ-Γ'



Εικόνα 9.1 Σημερινές αποθέσεις της κοίτης του ποταμού Μύρτους
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)



Εικόνα 9.2 Αντιπροσωπευτική τομή των αποθέσεων του ποταμού Μύρτους
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)

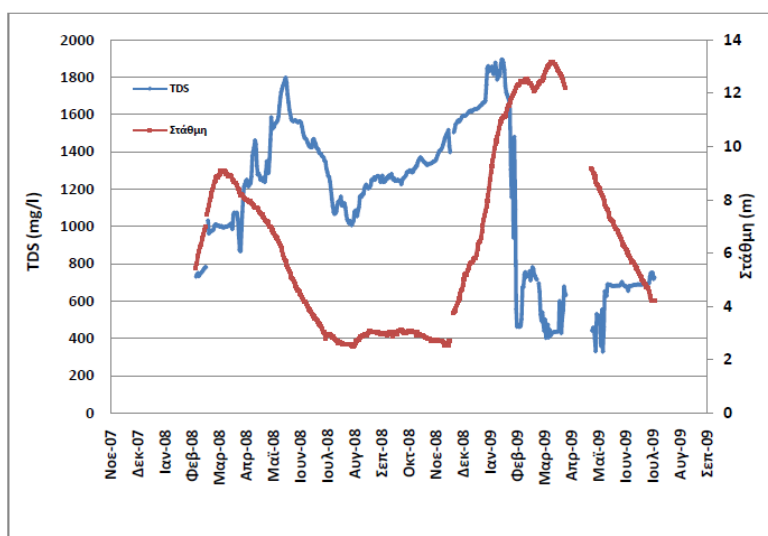
9.4. Ο αναπτυσσόμενος υδροφόρος

Με στόχο τη διερεύνηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα έγιναν μετρήσεις από εγκατεστημένα πιεζόμετρα, γεωτρήσεις και πηγάδια σε διάφορες χρονικές περιόδους. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στο Σχήμα 9.9 όπου παρουσιάζεται το προφίλ της στάθμης (Α. Δριβέλας 2009).

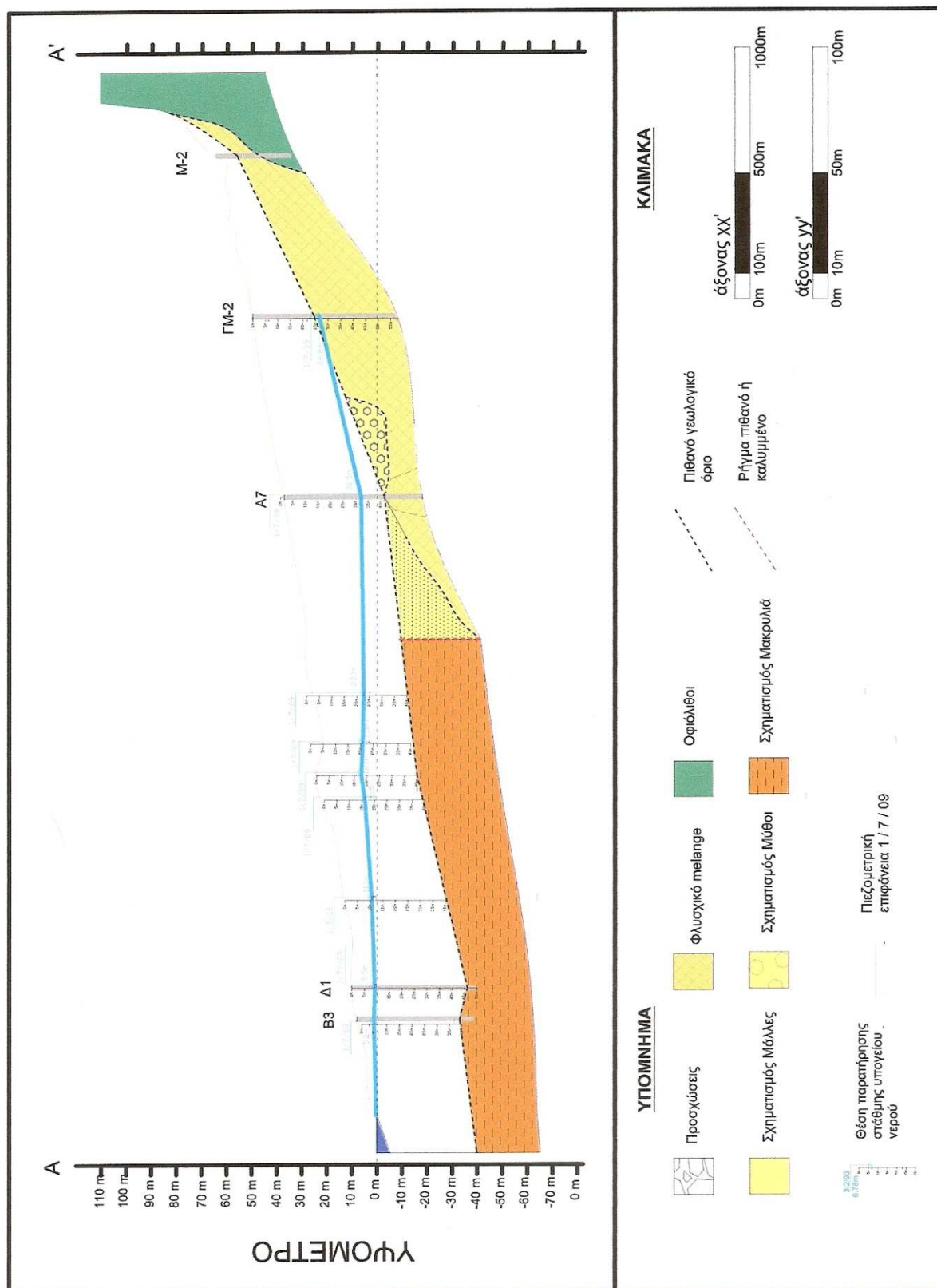
Απαραίτητη είναι και η διερεύνηση του υδροφορέα ως προς τη ρύπανση. Δύο βασικοί παράμετροι που πρέπει να εξεταστούν είναι η περιεκτικότητα σε νιτρικά και σε χλώριο. Μέσω του πρώτου δείκτη εξετάζεται η επιβάρυνση του υπόγειου νερού από λιπάσματα λόγω των αναπτυσσόμενων καλλιεργειών στη γύρω περιοχή ενώ μέσω του χλωρίου εντοπίζεται πιθανή θαλάσσια διείσδυση στον υδροφορέα. Όσον αφορά τις τιμές των νιτρικών, τα αποτελέσματα έδειξαν πως κυμαίνονται μεταξύ 3-7,7 mg/l με το ενδεικτικό όριο να είναι 50 mg/l. Για την εξέταση πιθανής εμφάνισης του φαινομένου της υφαλμύρωσης δεν φτάνει μια συγκεκριμένη τιμή. Έτσι λοιπόν, εγκαταστάθηκε αυτόματος καταγραφικός σταθμός. Το διάγραμμα διακύμανσης στάθμης υπόγειου νερού και τιμής δείκτη TDS (Total Dissolved Solids) φαίνεται στο Σχήμα 9.8. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα το διάγραμμα δίνονται τα παρακάτω όρια μέσω των οποίων χαρακτηρίζεται το νερό (Γ. Καλλέργης, 2000):

- Γλυκό νερό: $TDS < 1.000 \text{ mg/l}$
- Υφάλμυρο: $1.000 \text{ mg/l} < TDS < 10.000 \text{ mg/l}$
- Αλμυρό: $10.000 \text{ mg/l} < TDS < 100.000 \text{ mg/l}$
- «Σαλαμούρα»: $TDS > 100.000 \text{ mg/l}$

Παρατηρώντας το διάγραμμα και έχοντας υπόψη τα παραπάνω όρια αντιλαμβανόμαστε πως ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται υπό την πίεση υφάλμυρης ζώνης. Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού πέφτει το υφάλμυρο μέτωπο κινείται προς την ενδοχώρα ενώ όταν έχουμε τροφοδοσία του υδροφορέα το υφάλμυρο μέτωπο απομακρύνεται. Το παραπάνω φαινόμενο επαναλαμβάνεται και μάλιστα παρουσιάζει και σταθερότητα ως προς το μήνα εμφάνισης των εκάστοτε αλλαγών. Η ύπαρξη αυτή του υφάλμυρου μετώπου καθιστά για ακόμα ένα λόγο την κατασκευή του διαφράγματος απαραίτητη.

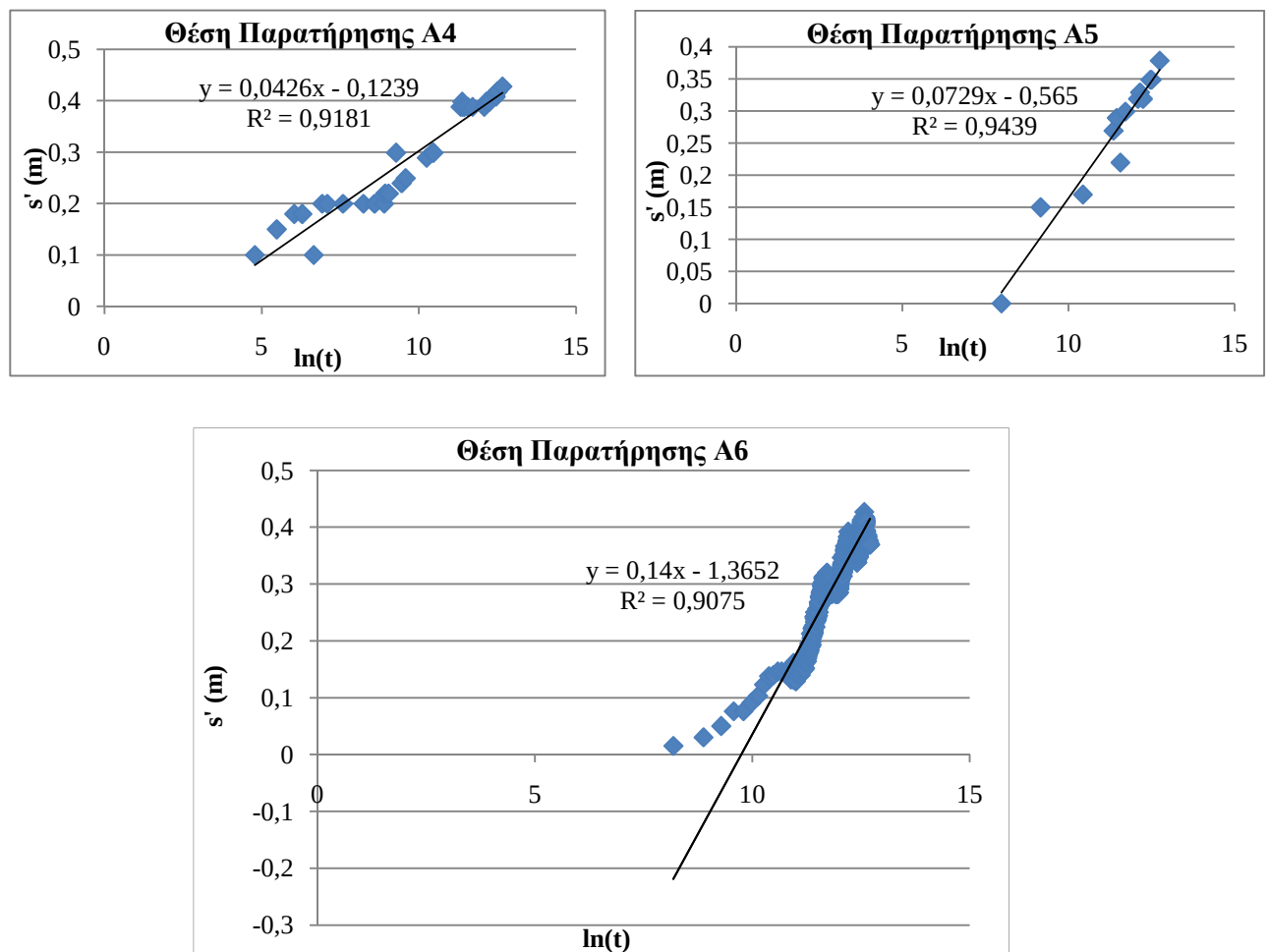


Σχήμα 9.8 Διάγραμμα διακύμανσης τιμής των TDS και της στάθμης του υπόγειου νερού για την περίοδο λειτουργίας του αυτόματου καταγραφικού σταθμού
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)



Σχήμα 9.9 Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα
(Πηγή: Αλέξανδρος Δριβέλας 2009)

Για την καλύτερη κατανόηση του υδροφορέα (πάχους 40 m) και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του εκτελέστηκε δοκιμαστική άντληση με διάτρηση όλου του πάχους των προσχώσεων στη γεώτρηση A4 (Σχήμα 9.6) με συνολική διάρκεια περίπου 4 ημέρες και παροχή άντλησης σταθερή και ίση με 48 m³/hr (οι μετρήσεις χρόνου – πτώση στάθμης που καταγράφηκαν περιέχονται στο Παράρτημα, 3^ο μέρος). Θέσεις παρατήρησης αποτέλεσαν οι γεωτρήσεις A4, A5 και A6. Η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων της δοκιμαστικής άντλησης έγινε με τη μέθοδο Cooper – Jacob αφού πρώτα έγιναν κάποιες διορθώσεις καθώς πρόκειται για ελεύθερο υδροφορέα, οι οποίες σχετίζονται με την πτώση στάθμης του υδροφορέα, την κατακόρυφη ροή πλησίον της γεώτρησης και την καθυστέρηση της ροής εξαιτίας της βαρύτητας (Μιμίκου, 2006). Η γενική μορφή της σχέσης Cooper – Jacob έχει τη μορφή $s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{r^2 S}$ όπου s η πτώση στάθμης (m), Q η παροχή άντλησης (m³/s), T η διοχετευτικότητα (m²/s), S η αποθηκευτικότητα (αδιάστατο) και t ο χρόνος άντλησης (sec). Οι παρατηρημένες πτώσεις στάθμης διορθώθηκαν με χρήση της εξίσωσης $s' = s - \frac{s^2}{2b}$ [L] όπου s' η διορθωμένη πτώση στάθμης, s η παρατηρούμενη και b το πάχος του υδροφορέα. Στη συνέχεια, οι τιμές χρόνου μετατράπηκαν σε δευτερόλεπτα και υπολογίστηκε ο λογάριθμός τους (ln). Τα ζεύγη τιμών για κάθε θέση, δημιούργησαν τα ακόλουθα γραφήματα (Σχήμα 9.10) από τα οποία υπολογίστηκε η κλίση και η τεταγμένη της ευθείας που συσχετίζει γραμμικά τους λογαρίθμους των χρόνων με την πτώση στάθμης.



Σχήμα 9.10 Συσχέτιση λογαρίθμων των χρόνων με την πτώση στάθμης

Από την γραμμική παλινδρόμηση υπολογίζεται η παροχευτικότητα T και η αποθηκευτικότητα S σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις και έχοντας γνωστά από τα διαγράμματα τα a , b :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25Tt}{r^2 S} = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25T}{r^2 S} + \frac{Q}{4\pi T} \ln t = a + b \cdot \ln t$$

$$\text{όπου } a = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25T}{r^2 S} \text{ και } b = \frac{Q}{4\pi T}$$

Για να ισχύουν τα μεγέθη S , T και να μένουν ανεπηρέαστα στον ελεύθερο υδροφορέα, σύμφωνα με τους Hantush και Stallman πρέπει ο χρόνος άντλησης να είναι μεγαλύτερος από $t > 5b \frac{S}{T/b}$ και $t > 10S \frac{S}{T/b}$. Στην δική μας περίπτωση αρκεί να είναι $t > 1\text{hr}$ κάτι που ισχύει.

Η τελική τιμή της αποθηκευτικότητας διορθώνεται με χρήση της εξίσωσης $S' = \frac{(b-s)S}{b}$ όπου S η εκτιμημένη αποθηκευτικότητα, S' η διορθωμένη τιμή της και s η διορθωμένη πτώση στάθμης στο τέλος της άντλησης.

Η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας υπολογίστηκε από τη σχέση $T = Kb \Rightarrow K = \frac{T}{b}$

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.1 που ακολουθεί.

Θέση	Απόσταση r (m)	Διοχευτικότητα T (m^2/sec)	Αποθηκευτικότητα S	Υδραυλική Αγωγιμότητα K (m/sec)
A6	319,00	$7,580 \cdot 10^{-3}$	$2,850 \cdot 10^{-3}$	$1,895 \cdot 10^{-4}$
A5	125,50	$1,455 \cdot 10^{-2}$	$4,770 \cdot 10^{-3}$	$3,638 \cdot 10^{-4}$
A4	0,00	$2,491 \cdot 10^{-2}$	-	$6,228 \cdot 10^{-4}$

Πίνακας 9.1 Αποτελέσματα επεξεργασίας δοκιμαστικής άντλησης

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα διακρίνουμε πως η τιμή της διοχευτικότητας T είναι της τάξης 10^{-2} έως $10^{-3} \text{ m}^2/\text{sec}$ και η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας της τάξης $10^{-4} \text{ m}/\text{sec}$, συνήθεις τιμές για αμμοχαλικώδεις αποθέσεις και μάλιστα χαρακτηρίζουν τον υδροφορέα ως καλής υδροπερατότητας. Αν και στους ελεύθερους υδροφορείς η αποθηκευτικότητα ισούται με το ενεργό πορώδες παρατηρούμε ότι εδώ δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο ($S \approx 10^{-3}$ τιμή ιδιαίτερα μικρή για αμμοχαλικώδεις αποθέσεις). Πιθανά η γεώτρηση να μην αντλεί από όλο το πάχος των προσχώσεων και μάλιστα οι τιμές αυτές αιτιολογούνται σε θέσεις με υψηλό ποσοστό χαλίκων και πλήρωση των μεταξύ τους κενών με λεπτόκοκκο υλικό. Γνωρίζοντας την ευαισθησία του υδροφορέα στο φαινόμενο της υφαλμύρωσης, κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης έγιναν μετρήσεις οι οποίες εξασφάλισαν ότι το νερό δεν προερχόταν από την θάλασσα.

9.5. Διαστασιολόγηση διαφράγματος και ο δημιουργούμενος υπόγειος ταμιευτήρας

Ξεκινώντας τη διαστασιολόγηση του διαφράγματος κρίνεται σκόπιμο να υπενθυμίσουμε πως σκοπός της κατασκευής είναι η δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα ώστε να αποθηκευτούν

επαρκείς ποσότητες νερού για ύδρευση και άρδευση των νότιων περιοχών του νομού Λασιθίου. Το δημιουργούμενο όμως υφάλμυρο μέτωπο στην περιοχή μελέτης πρόσθεσε ακόμα ένα λόγο και αύξησε τις απαιτήσεις στεγανότητας.

9.5.1. Επιλογή θέσης και άξονα διαφράγματος

Για την κατασκευή του διαφράγματος εξετάστηκαν δύο πιθανές θέσεις (Σχήμα 9.6). Βασικά κριτήρια ήταν η μέγιστη εκμετάλλευση των προσχώσεων και η οικονομία της κατασκευής, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των διαστάσεων της (βάθος και μήκος στέψης). Αν και η Θέση 1 φαίνεται να πλεονεκτεί, οι τοπικές συνθήκες επέβαλαν τη Θέση 2 (θέση τομής Γ-Γ'). Το χωριό Μύρτος περιόριζε τόσο τον χώρο κατασκευής όσο και την πρόσβαση του μηχανολογικού εξοπλισμού στη συγκεκριμένη θέση.

9.5.2. Διαστάσεις διαφράγματος

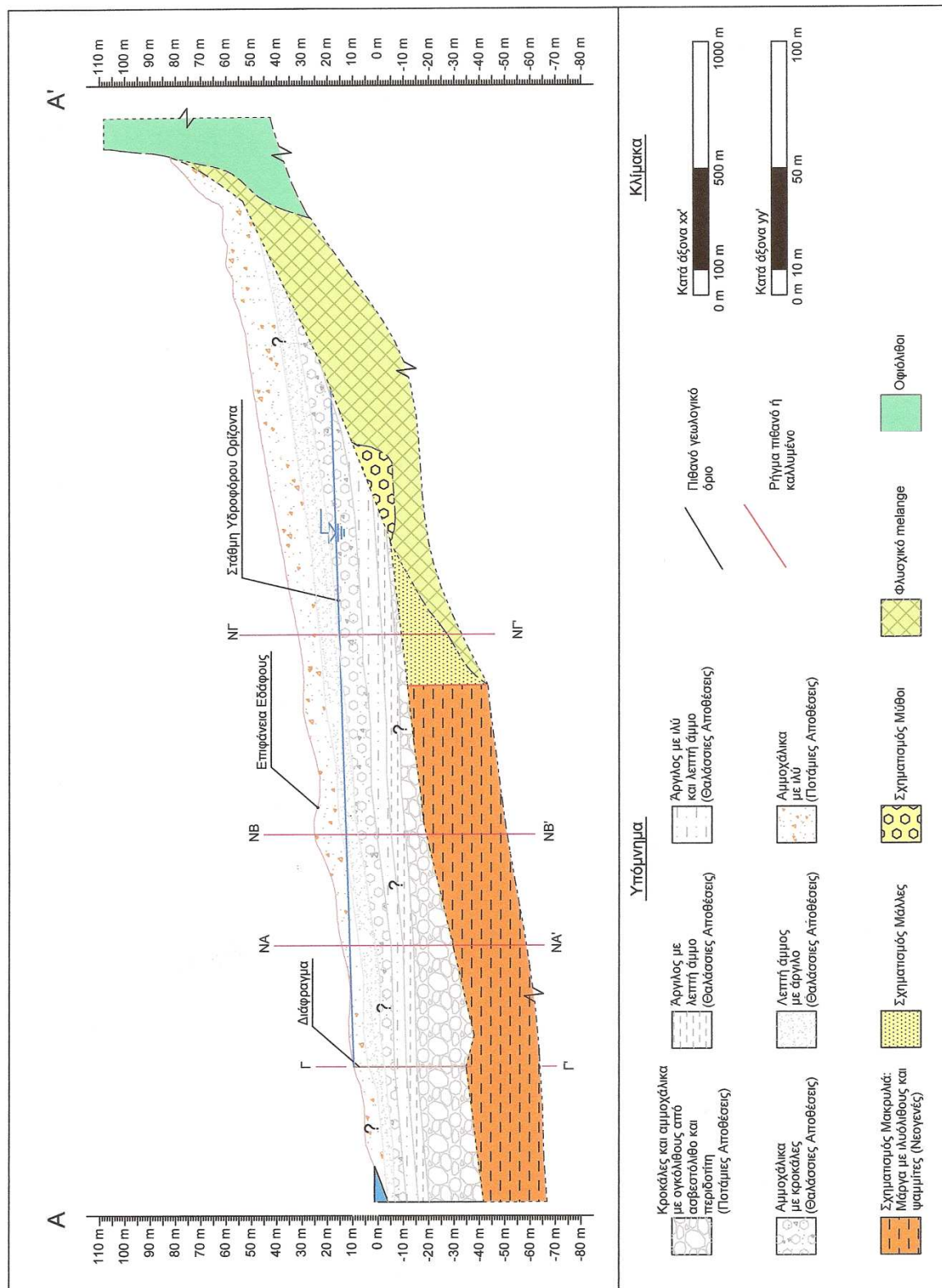
Έχοντας πλέον ορίσει τη θέση και τον άξονα του διαφράγματος και έχοντας γνωστή τη γεωμετρία των προσχώσεων και του στεγανού υποβάθρου εκτιμάμε τις διαστάσεις του διαφραγματικού τοίχου. Βασιζόμενοι στη γεωλογική τομή Γ-Γ' (Σχήμα 9.7) προσδιορίζουμε το μήκος στέψης το οποίο ανέρχεται στα 400 m. Το πάχος του διαφράγματος θα προσδιοριστεί ακολούθως, όταν θα επιλεγεί και η καταλληλότερη μέθοδος κατασκευής για την συγκεκριμένη προσχωματική λεκάνη. Ως προς το ύψος, όπως έχει ήδη οριστεί, αποτελεί άθροισμα του μήκους πάνω από την οροφή του υποβάθρου (Σχηματισμός Μακρυλιά) και του μήκους διείσδυσης σε αυτό (εξαρτάται και αυτό από τη μέθοδο κατασκευής). Η πρώτη διάσταση ανέρχεται στα 46 m ενώ ένα εύλογο μήκος διείσδυσης είναι 2 m. Συνεπώς, το ύψος του διαφράγματος είναι 48 m. Μια διάσταση την οποία δεν πρέπει να ξεχάσουμε είναι το ελεύθερο ύψος υπερχειλίσης. Για το συγκεκριμένο έργο δεν προβλέπεται και αυτό γιατί η στέψη βρίσκεται στο +9 m ενώ η σημερινή κοίτη του χειμάρρου βρίσκεται στο +4 m. Επομένως, σε περίπτωση που η στάθμη του ταμιευτήρα ξεπεράσει τη στάθμη στην οποία βρίσκεται η στέψη, η παραπάνω ποσότητα νερού θα εκφορτιστεί μέσω της κοίτης.

9.5.3. Εκτίμηση όγκου αποθήκευσης νερού υπόγειου ταμιευτήρα

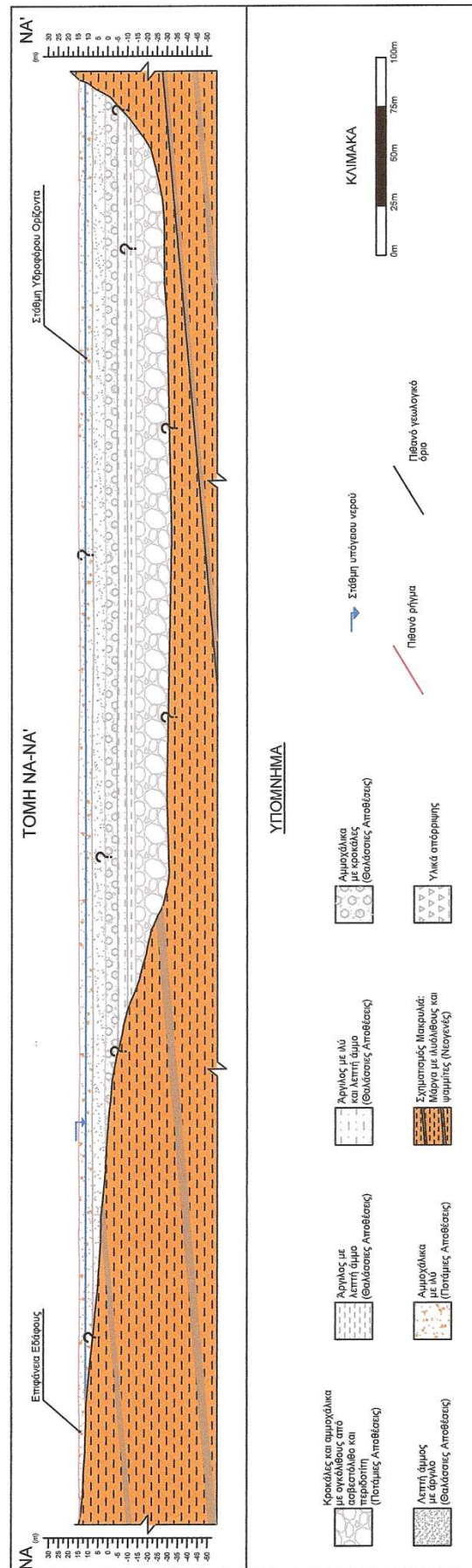
Πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε διαστασιολόγηση του διαφράγματος, κρίνεται σκόπιμο να εκτιμηθεί ο όγκος του ταμιευτήρα που θα δημιουργηθεί σε περίπτωση υλοποίησης της παραπάνω κατασκευής. Για να γίνει όμως αυτό, είναι απαραίτητη η περαιτέρω διερεύνηση της γεωμετρίας της προσχωματικής λεκάνης και η εκτίμηση του όγκου των προσχώσεων μέσα στον οποίο θα αποθηκευτεί το νερό.

Τα στοιχεία που μέχρι τώρα έχουμε στη διάθεσή μας και τα οποία θα αξιοποιηθούν για τον υπολογισμό του όγκου των προσχώσεων είναι η γεωλογική τομή Α-Α' (Σχήμα 9.5), η γεωλογική τομή Γ-Γ' (Σχήμα 9.7) και το προφίλ της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα (Σχήμα 9.9). Συγκεκριμένα, η γεωλογική τομή Α-Α' αποτελεί μηκοτομή της προσχωματικής λεκάνης μέσω της οποίας γίνεται γνωστή η γεωμετρία του στεγανού υποβάθρου και η επιφάνεια του εδάφους. Από την τομή Γ-Γ' διακρίνουμε τις σχηματιζόμενες επιμέρους στρώσεις των προσχώσεων ενώ από το προφίλ της στάθμης, το οποίο έχει προσδιορισθεί από μετρήσεις τον

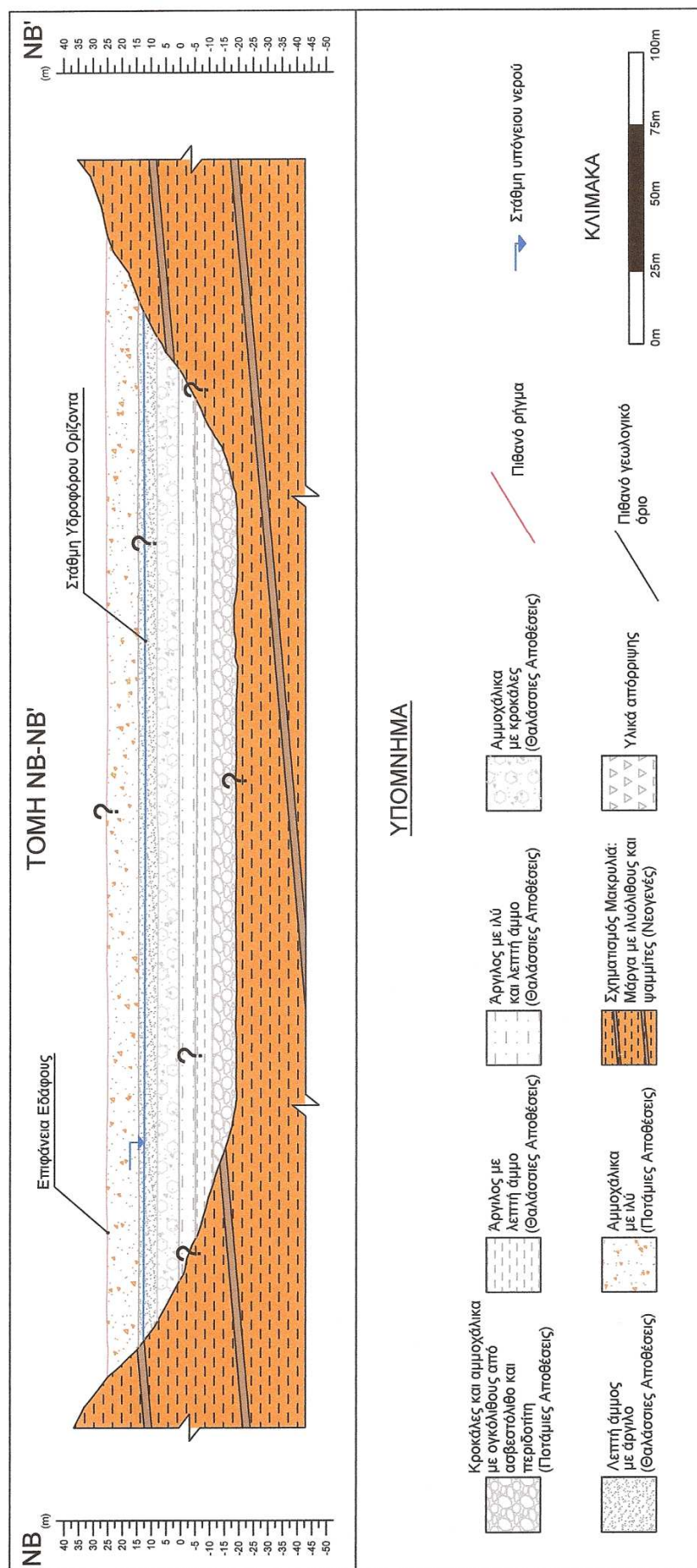
Ιούλιο του 2009 (Δριβέλας 2009), εκτιμάμε προσεγγιστικά την κλίση της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα. Συνθέτοντας τα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει η νέα κατά μήκος γεωλογική τομή A-A' (Σχήμα 9.11), που αφορά τις συνθήκες μετά την κατασκευή, πάνω στην οποία θα στηριχτούν οι επόμενες τομές NA-NA' (Σχήμα 9.12), NB-NB' (Σχήμα 9.13) και ΝΓ-ΝΓ' (Σχήμα 9.14).



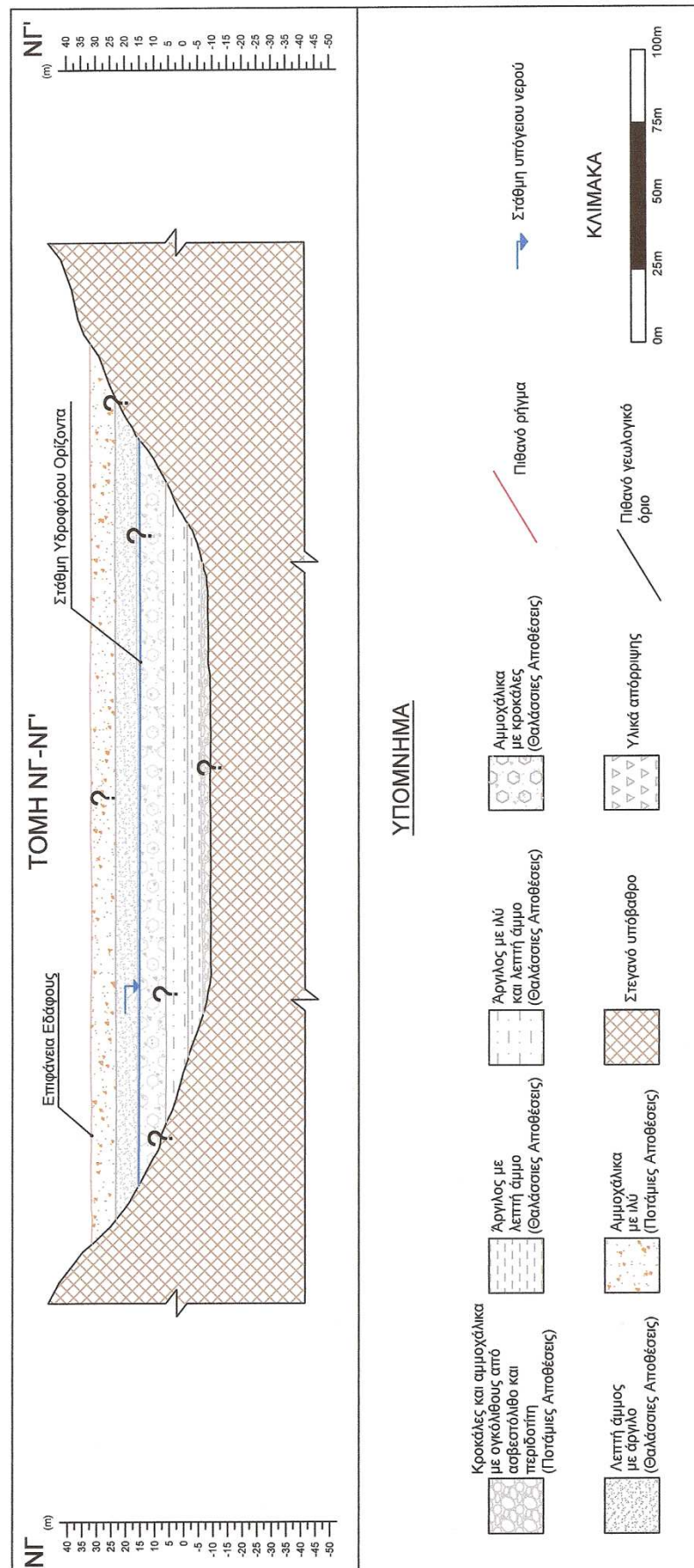
Σχήμα 9.11 Νέα Γεωλογική Τομή A - A' (μετά την κατασκευή διαφράγματος)



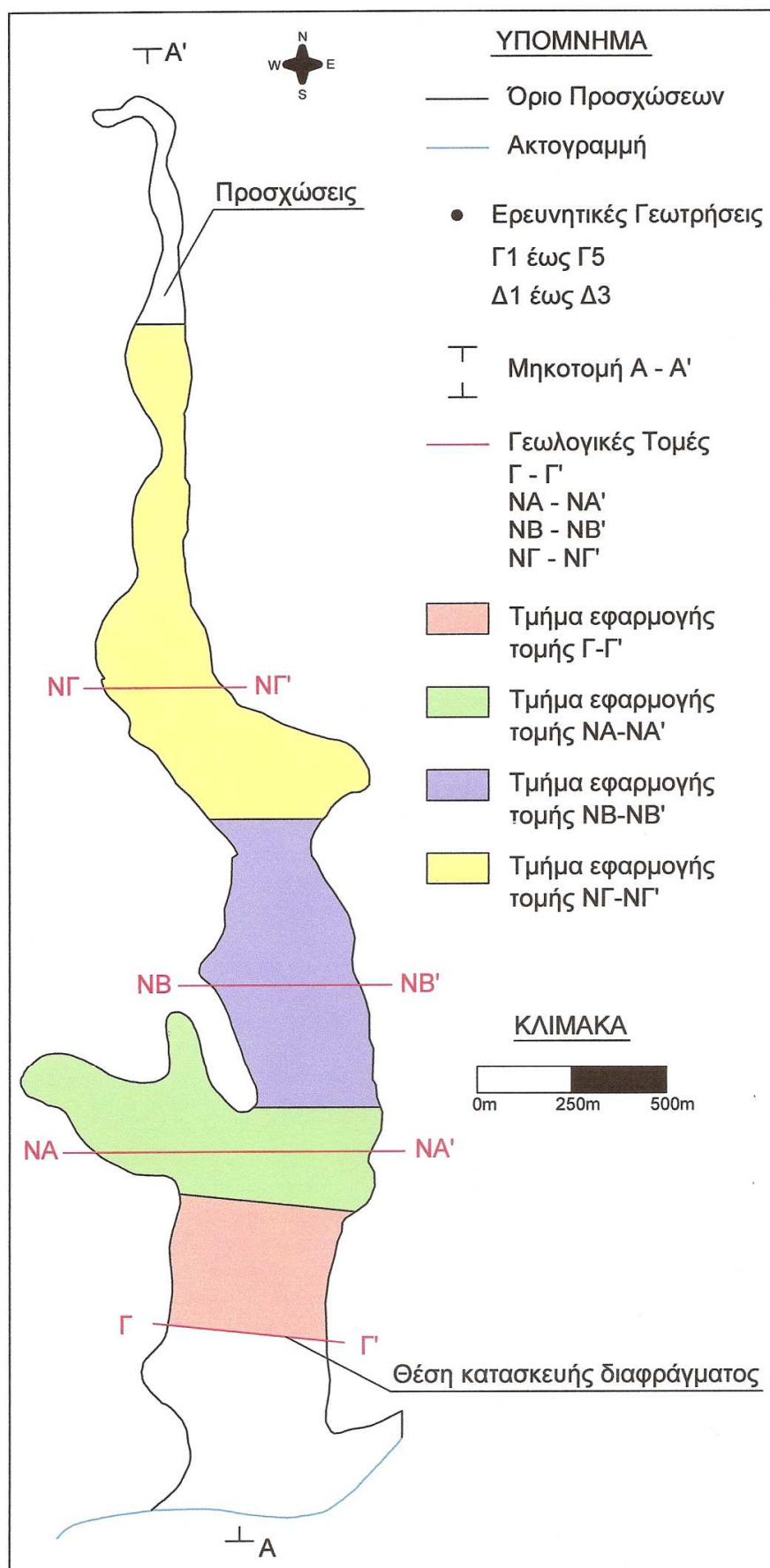
Σχήμα 9.12 Γεωλογική τομή ΝΑ – ΝΑ' (μετά την κατασκευή διαφράγματος)



Σχήμα 9.13 Γεωλογική τομή NB – NB' (μετά την κατασκευή του διαφράγματος)



Σχήμα 9.14 Γεωλογική τομή ΝΓ – ΝΓ' (μετά την κατασκευή του διαφράγματος)



Σχήμα 9.15 Θέση γεωλογικών τομών και τμήμα εφαρμογής κάθε τομής

Με δεδομένες πλέον τις παραπάνω τομές, είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε τον όγκο των υλικών. Τονίζεται πως θα εργασθούμε μόνο στην περιοχή που βρίσκεται κάτω από την εκτιμώμενη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα που θα διαμορφωθεί μετά την κατασκευή. Όσον αφορά τις στρώσεις των αποθέσεων, οι υπολογισμοί που ακολουθούν αφορούν κάθε μία ξεχωριστά, λόγω της διαφορετικής ικανότητας αποθήκευσης νερού. Ακόμα, για την καλύτερη εκτίμηση του όγκου, υποθέτουμε ένα μήκος, σύμφωνα με την κάτοψη των προσχώσεων, κατά το οποίο κάθε εγκάρσια γεωλογική τομή θεωρείται πιο αντιπροσωπευτική (Σχήμα 9.15).

Η εμβαδομέτρηση της εκάστοτε στρώσης σε κάθε γεωλογική τομή επί το μήκος του τμήματος κατά το οποίο θεωρείται κάθε τομή αντιπροσωπευτική, θα δώσουν τους επιθυμητούς όγκους. Τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.2.

Τομή Γ-Γ'			
Μήκος εφαρμογής τομής Γ-Γ' (m)		346	
A/A	Υλικό Στρώσης	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος (m ³)
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα με ογκόλιθους	4.235	1.465.310
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	1.327	459.142
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	1.675	579.550
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	954	330.084
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	1.942	671.932
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	1.718	594.428

Τομή NA-NA'			
Μήκος εφαρμογής τομής NA-NA' (m)		254	
A/A	Υλικό Στρώσης	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος (m ³)
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα	6.422	1.631.188
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	1.906	484.124
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	2.190	556.260
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	3.114	790.956
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	3.775	958.850
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	2.276	578.104

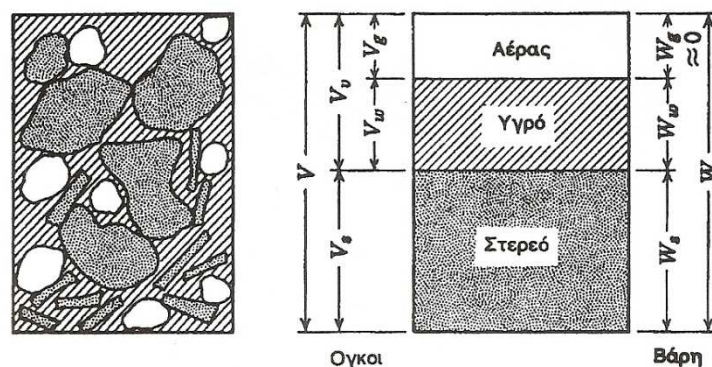
Τομή NB-NB'			
Μήκος εφαρμογής τομής NB-NB' (m)		766	
A/A	Υλικό Στρώσης	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος (m ³)
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα	1.923	1.473.018
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	1.514	1.159.724
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	1.763	1.350.458
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	2.420	1.853.720
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	1.506	1.153.596
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	-	-

Τομή ΝΓ-ΝΓ'			
Μήκος εφαρμογής τομής ΝΓ-ΝΓ' (m)		1312	
A/A	Υλικό Στρώσης	Εμβαδόν (m ²)	Όγκος (m ³)
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα	393	515.616
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	827	1.085.024
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	1.522	1.996.864
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	2.124	2.786.688
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	-	-
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	-	-

Συνολικός Όγκος Προσχώσεων		
A/A	Υλικό Στρώσης	Όγκος (m ³)
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα	5.085.132
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	3.188.014
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	4.483.132
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	5.761.448
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	2.784.378
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	1.172.532
Σύνολο προσχώσεων		22.474.636

Πίνακας 9.2 Όγκος προσχώσεων υπό τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (μετά την κατασκευή του διαφράγματος)

Υπενθυμίζουμε πως ζητούμενο είναι να υπολογιστεί ο όγκος νερού που μπορεί να αποθηκευτεί στην συγκεκριμένη προσχωματική λεκάνη. Για να το πετύχουμε αυτό, απαραίτητο μέγεθος είναι το πορώδες και μάλιστα το ενεργό. Ανατρέχουμε λοιπόν στη φύση του εδάφους και στη σχέση μεταξύ των φάσεων (Σχήμα 9.16).



Σχήμα 9.16 Φάσεις των εδαφικών υλικών

(Πηγή: Καββαδάς, 2007)

Οι σχέσεις οι οποίες ισχύουν είναι: $\rho = \frac{M}{V}$ και $\gamma = \rho \cdot g$

όπου ρ η πυκνότητα, M η μάζα, V ο όγκος, γ το ειδικό βάρος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

Από την βιβλιογραφία είναι ακόμα γνωστά η πυκνότητα του στερεού σωματιδίου και του νερού ($\rho_s \approx 2,7 \text{ Mg/m}^3$ και $\rho_w \approx 1 \text{ Mg/m}^3$)

Παρατηρώντας το Σχήμα 9.16 συμπεραίνουμε ότι ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$M_{ολ} = M_s + M_w + M_g \quad \text{και} \quad V_{ολ} = V_s + V_w + V_g$$

Υπενθυμίζουμε ότι δουλεύουμε πάντα κάτω από την στάθμη του Υ.Ο. συνεπώς το έδαφος είναι κορεσμένο και όλα τα κενά (πόροι) έχουν πληρωθεί με νερό. Έτσι, η μάζα και ο όγκος του αέρα είναι μηδέν ($M_g = V_g = 0$). Οι παραπάνω σχέσεις λοιπόν παίρνουν την ακόλουθη μορφή.

$$M_{ολ} = M_s + M_w \quad \text{και} \quad V_{ολ} = V_s + V_w \quad \Leftrightarrow \quad V_w = V_{ολ} - V_s$$

Συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω προκύπτει:

$$M_{ολ} = M_s + M_w \quad \Leftrightarrow \quad \rho_{ολ} \cdot V_{ολ} = \rho_s \cdot V_s + \rho_w \cdot V_w \quad \Leftrightarrow$$

$$\rho_{ολ} \cdot V_{ολ} = \rho_s \cdot V_s + \rho_w \cdot (V_{ολ} - V_s)$$

$$\text{Επιλύοντας ως προς των όγκο των στερεών προκύπτει:} \quad V_s = \frac{(\rho_{ολ} - \rho_w)V_{ολ}}{(\rho_s - \rho_w)}$$

Βασιζόμενοι στη βιβλιογραφία κάνουμε παραδοχές ως προς το ειδικό βάρος κάθε στρώσης.

- Κροκάλες και αμμοχάλικα: $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3 \quad \Leftrightarrow \quad \rho = 2,243 \text{ Mg/m}^3$
- Άργιλος με λεπτή άμμο: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad \Leftrightarrow \quad \rho = 1,937 \text{ Mg/m}^3$
- Αμμοχάλικα με κροκάλες: $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3 \quad \Leftrightarrow \quad \rho = 2,141 \text{ Mg/m}^3$
- Λεπτή άμμος με άργιλο: $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3 \quad \Leftrightarrow \quad \rho = 1,937 \text{ Mg/m}^3$
- Αμμοχάλικα με ιλύ: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3 \quad \Leftrightarrow \quad \rho = 2,039 \text{ Mg/m}^3$

Είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε το V_s και μέσω της διαφοράς του με το $V_{ολ}$ κάθε στρώσης, να βρούμε τον όγκο των κενών. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το πορώδες (n) το οποίο εξ ορισμού ισούται με τον λόγο του όγκου των κενών προς τον ολικό όγκο ($n = \frac{V_v}{V_{ολ}}$).

Το ενεργό πορώδες (n_{ef}) επειδή εκφράζει μόνο το ποσοστό των κενών διαμέσου των οποίων μπορεί να κινηθεί το νερό και όχι το σύνολο, όπως εκφράζει το ολικό πορώδες, είναι κατά συνέπεια μικρότερο ή ίσο με το τελευταίο. Ενδεικτικά αναφέρεται, όπως γνωρίζουμε από την υδρογεωλογία, ότι το ενεργό πορώδες των χονδρόκοκκων εδαφικών υλικών είναι πρακτικώς ίσο με το ολικό πορώδες ενώ στα λεπτόκοκκα εδάφη μπορεί να είναι μόνο το 10% - 20% του συνολικού. Στηριζόμενοι στα παραπάνω κάνουμε τις ακόλουθες παραδοχές.

- Κροκάλες και αμμοχάλικα: $n_{ef} = n$
- Άργιλος με λεπτή άμμο: $n_{ef} = 10\% \cdot n$
- Αμμοχάλικα με κροκάλες: $n_{ef} = 80\% \cdot n$
- Λεπτή άμμος με άργιλο: $n_{ef} = 15\% \cdot n$
- Αμμοχάλικα με ιλύ: $n_{ef} = 60\% \cdot n$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 9.3.

A/A	Υλικό Στρώσης	Συνολικός όγκος προσχώσεων $V_{ολ} (m^3)$	Όγκος στερεών $V_s (m^3)$	Όγκος κενών $V_v (m^3)$	Πορώδες n	Ενεργό πορώδες n_{ef}	Όγκος νερού $V_w (m^3)$
1	Κροκάλες και αμμοχάλικα	5.085.132	3.716.961	1.368.171	0,27	0,27	1.368.171
2	Άργιλος με λεπτή άμμο	3.188.014	1.756.782	1.431.232	0,45	0,04	143.123
3	Άργιλος με ιλύ και λεπτή άμμο	4.483.132	αμελητέος αποθηκευμένος όγκος νερού				
4	Αμμοχάλικα με κροκάλες	5.761.448	3.865.839	1.895.609	0,33	0,26	1.516.487
5	Λεπτή άμμος με άργιλο	2.784.378	1.534.355	1.250.023	0,45	0,07	187.503
6	Αμμοχάλικα με ιλύ	1.172.532	716.442	456.090	0,39	0,23	273.654
						Σύνολο	3.488.939

Πίνακας 9.3 Εκτίμηση όγκου νερού

Ο μέγιστος όγκος νερού που εκτιμάται ότι μπορεί να φιλοξενήσει η συγκεκριμένη προσχωματική λεκάνη για τις δεδομένες διαστάσεις κατασκευής διαφραγματικού τοίχου είναι περίπου $3.500.000 m^3$.

9.5.4. Επιλογή μεθόδου κατασκευής διαφράγματος

Η ανάλυση των μεθόδων κατασκευής (Κεφάλαιο 8) και η εκτίμηση των συνθηκών πεδίου μας καθιστά ικανούς πλέον να προσδιορίσουμε τον τύπο του διαφράγματος. Αρχικά, απορρίπτουμε τις μεθόδους οι οποίες είναι αδύνατο να εφαρμοσθούν στην συγκεκριμένη προσχωματική λεκάνη. Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσεται το διάφραγμα ρηχής τάφρου καθώς πρόκειται για έργο που φτάνει τα 48 m βάθος. Η παράμετρος αυτή, προκαλεί πρόσθετες δυσκολίες και στις υπόλοιπες μεθόδους. Η παρουσία στοιχείων μεγάλης διαμέτρου καθιστούν ακατάλληλη τόσο τη χρήση γεωμεμβρανών όσο και των μεταλλικών πετασμάτων προκαλώντας αδυναμία διεύθυνσης και προβλήματα λυγισμού. Ακόμα, η παρουσία των κροκάλων ευθύνεται για την αναποτελεσματικότητα της μεθόδου βαθείας ανάμιξης. Η μέθοδος ανάμιξης με δέσμη υψηλής ταχύτητας είναι δύσκολο να εφαρμοσθεί και αυτό λόγω των έντονων διαφοροποιήσεων στη στρωματογραφία, ενώ οι τσιμεντενέσεις αδυνατούν να καλύψουν τα κενά μέσα από τα οποία κινείται το νερό σε γαιώδεις σχηματισμούς.

Σε αυτή τη φάση, φαίνονται κατάλληλα τα συμβατικά διαφράγματα και οι έγχυτοι αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι. Ο διαφραγματικός τοίχος από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί μία ακριβή λύση και μάλιστα αιτιολογείται μόνο σε περιπτώσεις ανάληψης μεγάλων φορτίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο στόχος της κατασκευής και οι σχετικά μικρές αναπτυσσόμενες υδροστατικές πιέσεις δεν αιτιολογούν την εφαρμογή του. Για τον ίδιο λόγο, σε συνδυασμό με τις πιθανές διαρροές στα σημεία σύνδεσης, απορρίπτεται και η χρήση προκατασκευασμένων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ακόμα, οι απαιτήσεις ως προς την κοκκομετρική διαβάθμιση δεν επιτρέπουν το εδαφικό υλικό – μπεντονίτη να δημιουργήσει το στεγανό στοιχείο. Η μέθοδος που φαίνεται να δίνει λύση όσον αφορά τα συμβατικά διαφράγματα είναι η χρήση τσιμέντου – μπεντονίτη. Επιτρέπει την εφαρμογή του

συστήματος μονής φάσης, εφαρμόζεται σε κάθε είδους εδαφικό υλικό, σε οποιοδήποτε βάθος και χωρίς να επηρεάζεται από την παρουσία υπόγειων νερών.

Καταλήγουμε λοιπόν, πως οι καταλληλότεροι τύποι διαφραγμάτων για τις συγκεκριμένες συνθήκες είναι οι έγχυτοι αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι και το διάφραγμα τσιμέντου – μπετονίτη. Για την τελευταία όμως μέθοδο υπάρχουν προβληματισμοί ως προς την επιλογή του μηχανολογικού εξοπλισμού διάνοιξης τάφρων (Εικόνα 8.3). Γενικά, η διάνοιξη διαφραγμάτων γίνεται μέσω της διαφραγματικής αρπάγης (μπένα) ή της υδροφρέζας. Η ύπαρξη των ογκολίθων και το μεγάλο βάθος εκσκαφής μας επιβάλλουν την επιλογή της υδροφρέζας.

Η τεχνική αυτή είναι κατάλληλη για σκληρά εδάφη και μεγάλα βάθη κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (τυπικό βάθος εκσκαφής 60 m, μέγιστο 150 m), όπου οι απαιτήσεις καθετότητας είναι σημαντικές. Με αφορμή το Μετρό Θεσσαλονίκης, ο κ. Σιδέρης Νικόλαος (Πολιτικός Μηχανικός) περιγράφει στο Ενημερωτικό Δελτίο του Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών της Βορ. Ελλάδος (Τεύχος 9) τη συγκεκριμένη μέθοδο εκσκαφής διαφραγματικού τοίχου:

«Η υδροφρέζα είναι ένα μηχάνημα εκσκαφής που λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές της αντίστροφης κυκλοφορίας. Αποτελείται από ένα βαρύ χαλύβδινο σκελετό στον πυθμένα του οποίου τοποθετούνται δύο κιβώτια μετάδοσης κίνησης. Στα κιβώτια αυτά, είναι στερεωμένα τύμπανα τροχών κοπής στα οποία έχει προσαρμοστεί μια σειρά οδοντώσεων. Περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, σπάνε το χώμα και το αναμιγνύουν με το ελαιώρημα του μπετονίτη. Καθώς στο κοπτικό μηχανήμα διεισδύει χώμα, βράχοι και μπετονίτης μεταφέρονται προς τα ανοίγματα του κιβωτίου αναρρόφησης. Από εκεί αντλούνται με φυγοκεντρική αντλία, που βρίσκεται ακριβώς πάνω από τους τροχούς του κοπτικού μηχανήματος, διαμέσου του σωλήνα μίγματος μπετονίτη, που είναι ενσωματωμένος στον σκελετό του κοπτικού μηχανήματος, μέσα στο σύστημα που μεταφέρει το μίγμα μπετονίτη στα εργοστάσια απόσβεσης. Εκεί, τα στερεά σωματίδια χώματος και βράχων και ο υγρός μπετονίτης διαχωρίζονται και ο τελευταίος αντλείται πίσω στην τάφρο.

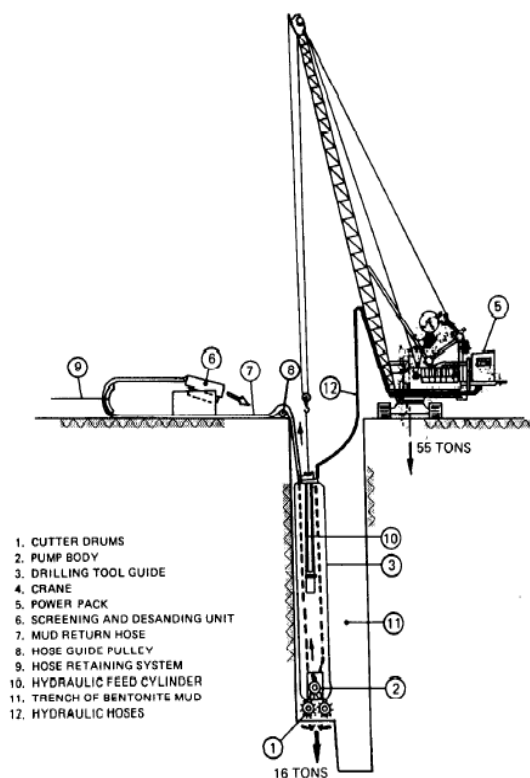
Η παραγόμενη από τους τροχούς του κοπτικού μηχανήματος ροπή, σε συνδυασμό με το βάρος του, επαρκεί για να διεισδύσει σε οποιονδήποτε τύπο εδάφους και για να συνθλίψει χαλίκια, μικρούς ογκολίθους, ή μαλακούς βράχους ή για υπερκοπή του σκυροδέματος των γειτονικών πλαισίων. Ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι οδοντώσεων κοπής, που ποικίλουν από αιχμηρές οδοντώσεις για την κοπή λεπτόκοκκου εδάφους έως και οδοντώσεις για κρουστική διάτρηση, για τη σύνθλιψη ογκολίθων. Για να προστατευτούν τα κιβώτια μετάδοσης κίνησης του κοπτικού μηχανήματος από υπερβολικά δυναμικά φορτία κατά τη σύνθλιψη λίθων, ελαστικοί αποσβεστήρες κραδασμών βρίσκονται ανάμεσα στα τύμπανα των τροχών κοπής και στα κιβώτια μετάδοσης κίνησης.

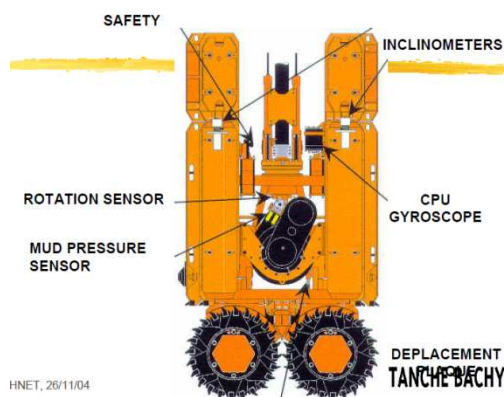
Η καθετότητα του κοπτικού μηχανήματος τάφρου και επομένως η ευθυγράμμιση της τάφρου, μετράται γενικά σε δύο άξονες με τη βοήθεια δύο ανεξάρτητων κλισιόμετρων, του άξονα ‘Χ’, που είναι κάθετος στην διεύθυνση ευθυγράμμισης της τάφρου και του κατακόρυφου άξονα ‘Υ’. Τα δεδομένα που παρέχονται από αυτά τα κλισιόμετρα, υποβάλλονται σε επεξεργασία από τον υπολογιστή επάνω στον μεταφορέα βάσης και εμφανίζονται σε σύνδεση. Με αυτό τον τρόπο, ο χειριστής μπορεί να παρακολουθεί διαρκώς και εάν είναι απαραίτητο, να διορθώνει την καθετότητα του κοπτικού μηχανήματος. Η ρύθμιση της καθετότητας στις δύο διευθύνσεις γίνεται από ένα σύστημα πλακών οδήγησης. Σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας εκσκαφής, ο χειριστής του γεωτρύπανου υποβοηθείται

από το λογισμικό του μηχανήματος που υπολογίζει την κατάστασή του και δείχνει την πιο κατάλληλη ενέργεια που πρέπει να γίνει. Όλες οι πληροφορίες μπορούν να ληφθούν σε μία “Αναφορά πλαισίου” που μπορεί να εκτυπωθεί μετά την ολοκλήρωση του κάθε πλαισίου και να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς διασφάλισης/διαχείρισης ποιότητας.

Η πρόοδος του κοπτικού μηχανήματος μπορεί να ελέγχεται επιλεκτικά, σε σχέση με την ταχύτητα διείσδυσης (σε μαλακά εδάφη) είτε με το βάρος του κοπτικού μηχανήματος (συνισταμένη δύναμη σε σκληρά εδάφη), χρησιμοποιώντας τα κομβία πίεσης, στον πίνακα ελέγχου. Αυτά ενεργοποιούν τον ιδιαίτερα ευαίσθητο κύριο διακόπτη που είναι τοποθετημένος στον μεταφορέα βάσης.

Η οθόνη του πίνακα ελέγχου δείχνει τις τρέχουσες καταστάσεις λειτουργίας του κοπτικού μηχανήματος και δίνει τη δυνατότητα μικρορύθμισης της προόδου του, της ταχύτητας των τροχών και του όγκου άντλησης της αντλίας μίγματος.»





Σχήμα 9.17 Σχηματικό διάγραμμα και εικόνες Υδροφρέζας

(Πηγή: Διαλέξεις Εδαφομηχανικής Ι, Μ. Καββαδάς 2010 και Diaphragm Walls: Technological advances, Hamelin, 2004)

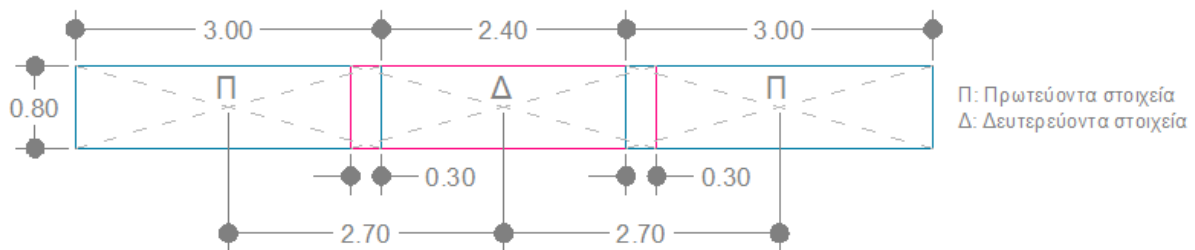
Η τελική επιλογή της μεθόδου θα γίνει βάση οικονομικών κριτηρίων που εξετάζονται στη συνέχεια.

9.5.5. Κόστος κατασκευής

Η επιλογή της κατασκευαστικής μεθόδου σε οποιοδήποτε έργο στηρίζεται αρχικά σε τεχνικά κριτήρια που την καθιστούν εφικτή σαν λύση. Για να είναι όμως εφαρμόσιμη και βέλτιστη τεchnοοικονομικά πρέπει πάντα να εξετάζεται και το κόστος. Έτσι λοιπόν και εδώ, θα προσπαθήσουμε να εκτιμήσουμε το κόστος κατασκευής ανά τετραγωνικό μέτρο του διαφραγματικού τοίχου για τις δύο μεθόδους. Συγκεκριμένα, θα εξεταστεί η μέθοδος κατασκευής διαφράγματος από τσιμέντο – μπετονίτη με χρήση υδροφρέζας και το διάφραγμα αποτελούμενο από έγχυτους αλληλοτεμνόμενους πασσάλους (και αυτό από τσιμέντο – μπετονίτη). Για την τελευταία λύση θα εξεταστούν επιπρόσθετα πάσσαλοι τριών διαφορετικών διαμέτρων και αυτό για να βρούμε τη διάμετρο που θα δώσει τα οικονομικότερα αποτελέσματα. Αρκεί να σκεφτούμε ότι μπορεί με την αύξηση της διαμέτρου του πασσάλου να αυξάνουμε το κόστος του μεμονωμένου στοιχείου, συγχρόνως όμως κερδίζουμε σε πλήθος πασσάλων που χρειάζονται για να καλύψουμε το άνοιγμα των 400 m.

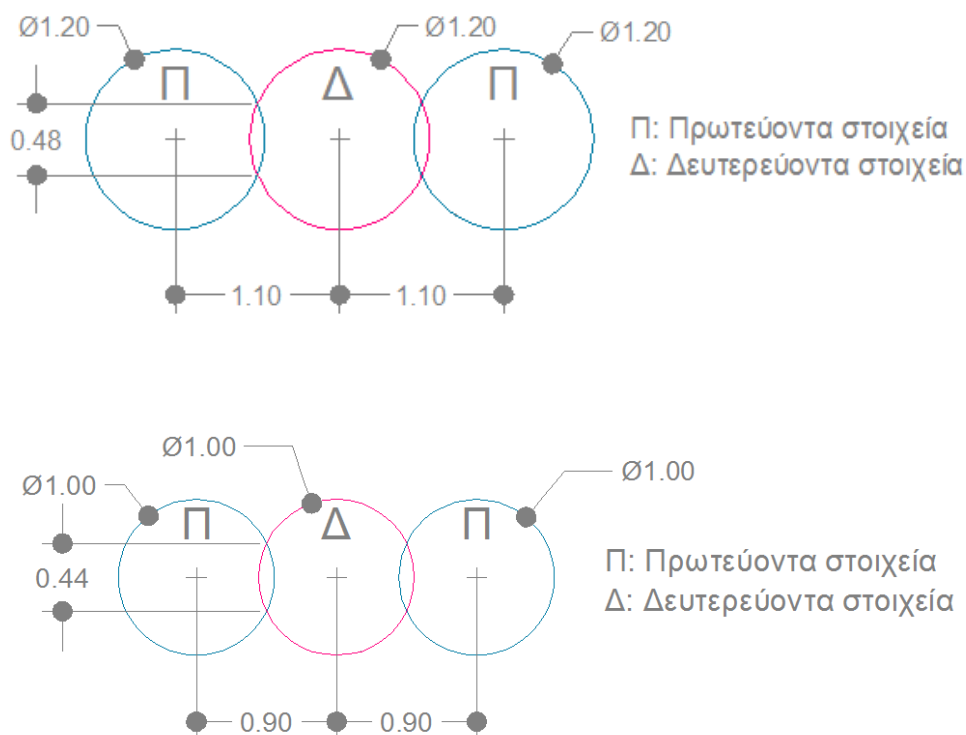
Η χρήση της υδροφρέζας για τη διάνοιξη της τάφρου επιβάλλει αυτόματα και τις διαστάσεις των διανοιγόμενων φατνωμάτων. Το μήκος του καθενός θα είναι 3 m και το πάχος 0,8 m. Η απαραίτητη αλληλοεπικάλυψη των στοιχείων ανέρχεται στα 0,3 m. Τα παραπάνω θα δώσουν την απόσταση των αξόνων δύο διαδοχικών φατνωμάτων και με γνώση του μήκους του διαφράγματος θα προκύψει το πλήθος τους. Επαρκές μήκος διεύθυνσης εκτιμάται ίσο με 2 m και σε συνδυασμό με την γεωμετρία την προσχωματικής λεκάνης και τη θέση στην οποία

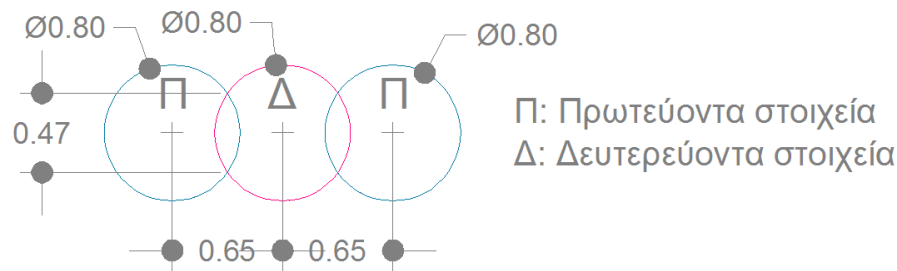
βρίσκεται το καθένα θα δώσουν το ύψος εκσκαφής (Παράρτημα, 4^ο μέρος). Έτσι λοιπόν, μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο εκσκαφής για κάθε φάτνωμα. Στο Σχήμα 9.18 φαίνονται οι διαστάσεις των στοιχείων τα οποία για να καλύψουν τα 400 m πρέπει να είναι σε πλήθος 148.



Σχήμα 9.18 Λεπτομέρεια κατασκευής διαφραγματικού τοίχου από τσιμέντο-μπετονίτη

Όσον αφορά τη μέθοδο κατασκευής με πασσάλους, τα συνήθη μεγέθη διαμέτρων τα οποία θα εξεταστούν είναι $0,8 \div 1,0 \div 1,2$ m. Το μήκος της επικάλυψης όπως και η αξονική απόσταση δύο διαδοχικών στοιχείων πρέπει να οριστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται στεγανότητα στα σημεία ένωσης. Για να το πετύχουμε αυτό, αρκεί το μήκος της επικάλυψης κατά την διεύθυνση της ροής να κυμαίνεται μεταξύ $0,40 \div 0,50$ m. Συνδυάζοντας τα παραπάνω προκύπτουν τα μήκη των αντίστοιχων διαστάσεων (Σχήμα 9.19). Συμπεραίνουμε πως για να δημιουργήσουμε διάφραγμα μήκους 400 m πρέπει να κατασκευαστούν 364 πάσσαλοι με διάμετρο 1,2 m ή 445 πάσσαλοι διαμέτρου 1,0 m ή 615 με διάμετρο 0,8 m. Για τη συγκεκριμένη μέθοδο επιλέγεται βάθος έμπηξης 1,50 m. Το μήκος κάθε πασσάλου θα προσδιορισθεί και εδώ βάση της θέσης του και της γεωμετρίας και θα συνυπολογιστεί με το μήκος διεύθυνσης. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Παράρτημα (4^ο μέρος).





Σχήμα 9.19 Λεπτομέρειες κατασκευής διαφραγματικού τοίχου από έγχυτους αλληλοτεμνόμενους πασσάλους για τιμές διαμέτρου $D=1,20\text{ m}$, $D=1,00\text{ m}$, $D=0,80\text{ m}$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτουν οι διαστάσεις των στοιχείων, συνεπώς ο όγκος εκσκαφής και ο απαιτούμενος όγκος υλικού που θα χρειαστεί για να πληρωθούν. Για να εκτιμηθεί όμως το κόστος τους και συνεπώς το κόστος κατασκευής διαφραγματικού τοίχου είναι απαραίτητες οι τιμές ανά μονάδα μέτρησης κάθε εργασίας. Γι' αυτό το λόγο, ανατρέξαμε στην ιστοσελίδα της Γενικής Γραμματείας Δημοσίων Έργων (www.ggde.gr) και αναζητήσαμε τα Τιμολόγια που αφορούν στα Δημόσια Έργα. Συγκεκριμένα, λόγω της φύσης του έργου που εξετάζουμε, αναζητήσαμε τα Ενιαία Τιμολόγια Υδραυλικών Έργων όπου περιέχονται τόσο ο Πίνακας Τιμών, όσο και το Περιγραφικό Τιμολόγιο μέσα στο οποίο αναφέρεται τι περιέχει η τιμή της εκάστοτε εργασίας. Ο Πίνακας Τιμών που χρησιμοποιήσαμε έχει ενσωματωμένες όλες τις διορθώσεις και τροποποιήσεις που μέχρι σήμερα έχουν γίνει (Διορθώσεις - Τροποποιήσεις των αποφάσεων ΦΕΚ 822Β'/4-5-2009, 2630Β'/29-12-2009 και 518Β'/26-4-2010). Διευκρινίζεται ότι η εκτίμηση κόστους περιορίστηκε μόνο στην κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου, συνεπώς οι εργασίες που συμπεριλήφθηκαν είναι η εκσκαφή ή αλλιώς διάτρηση εδάφους (ανάλογα τη μέθοδο) και η πλήρωση με μίγμα από τσιμέντο – μπετονίτη.

Πρόσθετες δυσκολίες αντιμετωπίστηκαν στην εύρεση του κόστους εκσκαφής με υδροφρέζα καθώς δεν συμπεριλαμβάνεται στα Τιμολόγια. Πρόκειται για μια νέα μέθοδο διάνοιξης διαφραγμάτων η οποία δεν είχε εφαρμοσθεί μέχρι σήμερα στη χώρα μας. Μάλιστα, από συζητήσεις με μηχανικούς επιχειρήθηκε να χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν κάτι που όμως δεν έγινε ποτέ. Σήμερα, η κατασκευαστική εταιρία ΑΕΓΕΚ έχει στην κατοχή της το συγκεκριμένο μηχάνημα το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή των διαφραγματικών τοίχων στο μετρό Θεσσαλονίκης. Οι μηχανικοί κ. Κάρκας και κ. Στεφανάκος επικοινωνήσαν με μηχανικούς που εργάζονται στο έργο αυτό και μας έδωσαν την τιμή 400 €/m^3 κατασκευής διαφράγματος. Η τιμή αυτή αντιστοιχεί για πάχος τοίχου $0,80\text{ m}$ και περιλαμβάνει το κόστος εκσκαφής, την πλήρωση με τσιμέντο-μπετονίτη και την τοποθέτηση οπλισμού. Μην ξεχνάμε ότι στο συγκεκριμένο έργο (μετρό) απαιτείται ανάληψη σημαντικών φορτίων από το διάφραγμα. Για να εκτιμήσουμε το κόστος χωρίς να συμπεριλάβουμε το κόστος του οπλισμού κάναμε την υπόθεση ότι σε κάθε κυβικό μέτρο χρησιμοποιούνται 30 Kg και η τιμή του $1,80\text{ €/Kg}$. Υπολογίζοντας έτσι το κόστος του και αφαιρώντας από το συνολικό προκύπτει η τιμή των 350 €/m^3 η οποία και χρησιμοποιήθηκε για το δικό μας έργο. Ανατρέχοντας λοιπόν στις διαστάσεις των 148 φατνωμάτων προέκυψε ότι η κατασκευή τους θα στοιχίσει $3.935.106\text{ €}$. Η επιφάνεια διαφραγματικού τοίχου που θα κατασκευαστεί είναι 12.650 m^2 άρα το τελικό κόστος κατασκευής ανά μονάδα επιφάνειας του τοίχου είναι 311 €/m^2 . Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιήσαμε εξ αρχής την τιμή 280 €/m^2 ($= 0,8\text{m}$ το πάχος του τοίχου επί 350 €/m^3) είναι γιατί θέλαμε να συνυπολογίσουμε το κόστος των αλληλοεπικαλύψεων των στοιχείων. Δεν πρέπει να αμελήσουμε το κόστος των ποιοτικών

ελέγχων για το οποίο απαιτείται προσαύξηση της τάξης του 3%. Τελική τιμή κατασκευής διαφραγματικού τοίχου από τσιμέντο-μπετονίτη με χρήση υδροφρέζας είναι 320 €/m².

Η κατασκευή πασσάλων είναι μια γνώριμη τεχνική για την οποία ήταν ευκολότερο να βρούμε τιμές. Ανατρέχοντας στους πίνακες τιμών των Ενιαίων Τιμολογίων, παρατηρούμε ότι τιμές στις εργασίες που μας ενδιαφέρουν διαφοροποιούνται ανάλογα τον εκτιμώμενο προϋπολογισμό του έργου, την φύση του εδάφους, το βάθος κ.ά. Συγκεκριμένα ως προς τον προϋπολογισμό, οι τιμές διαφοροποιούνται σε έργα έως 1,5 εκ. €, έργα από 1,5 έως 5 εκ. € και έργα άνω 5 εκ. €. Αν και αρχικά έγινε η υπόθεση ότι το έργο μας ανήκει στην πρώτη κατηγορία, η εφαρμογή των αντίστοιχων τιμών έδειξε ότι κατατάσσεται στη δεύτερη. Ως προς την σκληρότητα του εδάφους, οι αποθέσεις ανήκουν στην κατηγορία των γαιωδών – ημιβραχωδών εδαφών, ενώ η μάργα πάνω στην οποία θα θεμελιωθεί το διάφραγμα χαρακτηρίζεται ως βραχώδες έδαφος. Για κοστολόγηση της διάνοιξης των οπών χρησιμοποιήθηκε το άρθρο 15 που αφορά τις εργασίες υδρογεωτρήσεων και συγκεκριμένα τα άρθρα 15.01.01, 15.01.03, 15.01.05 για το τμήμα των αποθέσεων ενώ η διάτρηση της μάργας κοστολογήθηκε σύμφωνα με τα 15.02.01, 15.02.03, 15.02.05 (Πίνακας 9.4). Οι τιμές αυτές σύμφωνα με το Περιγραφικό Τιμολόγιο ισχύουν μέχρι το βάθος των 20 m, συνεπώς έγινε προσαύξηση 25% για μεγαλύτερα βάθη. Το μήκος κάθε πασσάλου είναι γνωστό και σε συνδυασμό με το κόστος διάτρησης ανά μέτρο μήκους πασσάλου θα δώσουν το συνολικό για κάθε διάμετρο. Αναλυτικά φαίνονται οι υπολογισμοί στο Παράρτημα (4^ο μέρος).

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	Κωδικός Αναθ/σης	Μον. Μετρ.	ΕΡΓΑ έως 1,5 εκ. €	ΕΡΓΑ από 1,5 έως 5 εκ. €	ΕΡΓΑ άνω των 5 εκ. €
15. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ						
15.01 Διάνοιξη υδρογεωτρήσεως από Φ 800 μέχρι Φ 1200 mm σε πετρώματα μαλακά						
15.01.01	Για διάμετρο οπής 800 mm	ΥΔΡ 7101.1	m	152,00	147,00	140,00
15.01.02	Για διάμετρο οπής 900 mm	ΥΔΡ 7101.2	m	162,00	158,00	150,00
15.01.03	Για διάμετρο οπής 1000 mm	ΥΔΡ 7101.3	m	167,00	163,00	155,00
15.01.04	Για διάμετρο οπής 1100 mm	ΥΔΡ 7101.4	m	178,00	173,00	165,00
15.01.05	Για διάμετρο οπής 1200 mm	ΥΔΡ 7101.5	m	190,00	185,00	175,00
15.02 Διάνοιξη υδρογεωτρήσεως από Φ 800 μέχρι Φ 1200 mm σε πετρώματα σκληρά						
15.02.01	Για διάμετρο οπής 800 mm	ΥΔΡ 7102.1	m	305,00	294,00	280,00
15.02.02	Για διάμετρο οπής 900 mm	ΥΔΡ 7102.2	m	325,00	315,00	300,00
15.02.03	Για διάμετρο οπής 1000 mm	ΥΔΡ 7102.3	m	350,00	340,00	325,00
15.02.04	Για διάμετρο οπής 1100 mm	ΥΔΡ 7102.4	m	380,00	370,00	350,00
15.02.05	Για διάμετρο οπής 1200 mm	ΥΔΡ 7102.5	m	420,00	410,00	390,00

Πίνακας 9.4 Τμήμα πίνακα τιμών Ενιαίων Τιμολογίων Υδραυλικών Έργων

(Πηγή: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων)

Διάμετρος πασσάλου (mm)	Συνολικό κόστος διάτρησης (€)	Επιφάνεια διαφράγματος (m ²)	Κόστος διάτρησης ανά μον. επιφάνειας (€/m ²)
800	3.306.002	12.446	266
1000	2.658.325	12.447	214
1200	2.483.761	12.446	200

Πίνακας 9.5 Κόστος διάτρησης πασσάλων

Για το μίγμα τσιμέντου-μπετονίτη είναι απαραίτητη η δημιουργία νέας τιμής που θα βοηθήσει στον υπολογισμό του κόστους, καθώς δεν υπάρχει αναφορά στους Πίνακες Τιμών. Πριν όμως εκτιμήσουμε το κόστος του μίγματος ανά κυβικό προσδιορίσαμε τη σύνθεση του και εντοπίσαμε τις εργασίες που χρειάζεται για να το κατασκευάσουν. Βασιζόμενοι στα Αναλυτικά Τιμολόγια (Πανελλήνιος Σύνδεσμος Ανώνυμων, Περιορισμένης Ευθύνης και Προσωπικών Τεχνικών Εταιρειών, ΣΑΤΕ) και στη ΦΕΚ 429Β'/1-4-1976 εντοπίσαμε την ανάλυση τιμής του σκυροδέματος. Με όμοιο τρόπο, εργαστήκαμε για τον προσδιορισμό της τιμής του μίγματος τσιμέντο-μπετονίτη. Για το σύστημα μονής φάσης θα χρειαστούν για την παραγωγή 1m³ μίγματος 270Kg τσιμέντου, 50Kg μπετονίτη, 893 lt νερού και 1Kg επιβραδυντικού. Η απαραίτητη ποσότητα νερού προέκυψε ως εξής:

- Τσιμέντο: 270 Kg
Ειδικό βάρος τσιμέντου: 3100 Kg/m³
Απαιτούμενος όγκος: $V_{τσιμ} = \frac{270}{3100} = 0,087 \text{ m}^3$
- Μπετονίτης: 50Kg
Ειδικό βάρος μπετονίτη: 2600 Kg/m³
Απαιτούμενος όγκος: $V_{μπεντ} = \frac{50}{2600} = 0,019 \text{ m}^3$
- Επιβραδυντικό: $V_{επιβ} = 1 \text{ lt}$

Γνωρίζοντας ότι 1m³ = 1000 lt, μετατρέπουμε τις παραπάνω μονάδες και υπολογίζουμε το άθροισμα τους: $V_{τσιμ} + V_{μπεντ} + V_{επιβ} = 87 \text{ lt} + 19 \text{ lt} + 1 \text{ lt} = 107 \text{ lt}$

Άρα στα 1000 lt μίγματος χρειαζόμαστε: 1000 lt – 107 lt = 893 lt νερό.

Με γνωστή τη σύνθεση του μίγματος προβήκαμε στην ανάλυση τιμής. Οι τιμές είναι γνωστές από τα Αναλυτικά Τιμολόγια (4^ο εξάμηνο 2010) όμως λείπουν η τιμή του μπετονίτη και του επιβραδυντικού. Ενδεικτικά, η εταιρεία ISOMAT πουλάει επιβραδυντικό με 27 €/20 Kg ή αλλιώς 1,35 €/Kg και η εταιρία ΠΡΟΛΑΤ τον μπετονίτη 180 €/1 tn, άρα 0,18€/Kg.

ΑΝΑΛΥΣΗ

Υλικά:

α. Τσιμέντο	Kg	270 x 0,099	= 26,73
β. Μπετονίτης	Kg	50 x 0,18	= 9,00
γ. Νερό	lt	893 x 0,00267	= 2,39
δ. Επιβραδυντικό	Kg	1 x 1,35	= 1,35

Εργασία:

Αναμικτήρας	ΗΔ	0,05 x 529,99	= 26,50
Εργάτης	h	3,50 x 15,74	= 55,09
Τεχνίτης	h	2,00 x 20,42	= 40,84

Τιμή ενός m³ σε € = 161,90

Το συνολικό κόστος επίχωσης με μίγμα τσιμέντου-μπετονίτη προέκυψε με γνωστή τη γεωμετρία του κάθε πασσάλου και την τιμή ανά μονάδα m³. Όπως στον διαφραγματικό τοίχο, έτσι και εδώ εργαστήκαμε για κάθε πάσσαλο ξεχωριστά ώστε να λάβουμε υπόψη τα μήκη

των επικαλύψεων και την απορρόφηση του μίγματος. Η τελική τιμή και εδώ ανήχθη ανά m^2 επίχωσης.

Διάμετρος πασσάλου (mm)	Συνολικό κόστος επίχωσης (€)	Επιφάνεια διαφράγματος (m^2)	Κόστος επίχωσης ανά μον. επιφάνειας ($€/m^2$)
800	1.559.080	12.446	125
1000	1.759.134	12.447	141
1200	2.072.422	12.446	167

Πίνακας 9.6 Κόστος επίχωσης πασσάλων με μίγμα τσιμέντου-μπετονίτη

Το συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος από έγχυτους αλληλοτεμνόμενους πασσάλους εκτιμήθηκε και παρουσιάζεται στον Πίνακα 9.7 και στον Πίνακα 9.8. Ομοίως έγινε η προσαύξηση 3% για ποιοτικούς ελέγχους. Η βέλτιστη οικονομικά λύση προέκυψε με κατασκευή πασσάλων διαμέτρου 1 m.

Διάμετρος πασσάλου (mm)	Συνολικό κόστος διάτρησης (€)	Συνολικό κόστος επίχωσης (€)	Συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος (€)
800	3.306.002	1.559.080	4.865.082
1000	2.658.325	1.759.134	4.417.459
1200	2.483.761	2.072.422	4.556.183

Πίνακας 9.7 Συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος από αλληλοτεμνόμενους πασσάλους

Διάμετρος πασσάλου (mm)	Κόστος διάτρησης ανά μον. επιφάνειας ($€/m^2$)	Κόστος επίχωσης ανά μον. επιφάνειας ($€/m^2$)	Συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος ($€/m^2$)	Συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος με προσαύξηση 3% ($€/m^2$)
800	266	125	391	403
1000	214	141	355	366
1200	200	167	367	378

Πίνακας 9.8 Συνολικό κόστος κατασκευής διαφράγματος από αλληλοτεμνόμενους πασσάλους ανά τετραγωνικό μέτρο κατασκευής

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μεθόδων από άποψη κόστους προκύπτει ότι το διάφραγμα τσιμέντου-μπετονίτη με χρήση υδροφρέζας είναι οικονομικότερο από το διάφραγμα έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων διαμέτρου 1m.

10. Συμπεράσματα

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της διπλωματική εργασίας είμαστε σε θέση να διεξάγουμε κάποια συμπεράσματα. Σε πρώτο στάδιο, αφορούν τους υπόγειους ταμιευτήρες και τις μεθόδους κατασκευής του στεγανού στοιχείου, ενώ στη συνέχεια επικεντρώνονται στη δυνατότητα δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτου.

Υπόγειος ταμιευτήρας είναι δυνατό να δημιουργηθεί μέσω της κατασκευής διαφράγματος, εγκάρσια στην υπόγεια ροή. Ο αποθηκευμένος όγκος νερού φιλοξενείται εντός των γεωλογικών στρωμάτων ενώ η αξιοποίηση του βασίζεται σε συστήματα άντλησης. Τα πλεονεκτήματα που συγκεντρώνει αφορούν την απουσία επιφανειακής κατάκλυσης, τη μειωμένη εξάτμιση, το καλής ποιότητας αποθηκευμένο νερό, την απουσία κινδύνου για τις κατάντη περιοχές και τη μικρή περιβαλλοντική όχληση. Από την άλλη, εμπόδια δημιουργούνται λόγω της δυσκολίας εύρεσης κατάλληλων θέσεων κατασκευής, της μειωμένης αποθηκευτικής ικανότητας και της διακοπής της υπόγειας ροής.

Απαραίτητες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούν οι υποψήφιες θέσεις δημιουργίας υπόγειου ταμιευτήρα είναι η παρουσία υπόγειου νερού με μεγάλη ρευστότητα, το μεγάλο ενεργό πορώδες των γεωλογικών σχηματισμών και η ύπαρξη στεγανού βραχώδους υποστρώματος πάνω στο οποίο θα θεμελιωθεί το διάφραγμα.

Προσχωματικές λεκάνες έχουν φιλοξενήσει κατά καιρούς ανά τον κόσμο τέτοια υπόγεια συστήματα συλλογής νερού. Καθοριστικός παράγοντας ήταν πάντα η γεωλογική δομή και η κοκκομετρική τους διαβάθμιση. Κύριοι μηχανισμοί διαμόρφωσης της διανομής των προσχώσεων είναι φαινόμενα τεκτονισμού, διαγένεσης, αυξομειώσεις στη στάθμη της θάλασσας, καμπύλες ποταμών, μαιανδρισμοί, πλευρικές καταπτώσεις και αιολικές αποθέσεις. Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ο σχηματισμός αλλουβιακών πεδιάδων αποτελούμενες από συμπλέγματα φακοειδών σωμάτων και ασυνεχή στρώματα από χαλίκια, άμμο, ιλύ και άργιλο ανακατεμένα σε διάφορα ποσοστά.

Η έρευνα του υπεδάφους δίνει τα απαραίτητα στοιχεία για το σχεδιασμό του ταμιευτήρα και του διαφράγματος. Δειγματοληψία και δοκιμές όπως η Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης εκτιμούν τη γεωλογική δομή ενώ η αποθηκευτική ικανότητα του ταμιευτήρα προκύπτει μέσω δοκιμαστικών αντλήσεων και δοκιμών εισπίεσεων (Maag, Lefranc, Lugeon).

Όταν ο υδροφορέας που φιλοξενεί τον ταμιευτήρα είναι παράκτιος, η λειτουργία του διαφράγματος είναι διπλή. Συγκεκριμένα, εμποδίζει την θαλάσσια διείσδυση και βοηθά στην αντιμετώπιση του φαινομένου τις υφαλμύρωσης. Συγχρόνως, αποτελεί και ένα τρόπο επιδιόρθωσης του, όπως αποδεικνύουν πειραματικά αποτελέσματα. Γεωλογικοί παράγοντες και ανθρώπινη επέμβαση είναι οι αιτίες πρόκλησης του φαινομένου.

Ο σχεδιασμός του έργου στηρίζεται στη λειτουργία του διαφράγματος και στις απαιτήσεις στεγανότητας ενώ σε συνδυασμό με την γεωμετρία της προσχωματικής λεκάνης και τη θέση, καθορίζονται οι διαστάσεις και η μέθοδος κατασκευής του στεγανού στοιχείου.

Με βάση τον τρόπο κατασκευής, τα διαφράγματα διαχωρίστηκαν σε διαφράγματα απομάκρυνσης εδαφικού υλικού και πλήρωση με το υλικό του στεγανού στοιχείου, σε διαφράγματα εκτόπισης εδάφους, επί τόπου ανάμιξης και εισπίεσης.

Η κατασκευή διαφράγματος της πρώτης κατηγορίας ξεκινά με τη διάνοιξη τάφρου με τη βοήθεια μπένας, υδροφρέζας ή τσάπας και την απομάκρυνση του υλικού εκσκαφής. Ακολουθεί η επίχωση με σύστημα μονής ή διπλής φάσης ανάλογα το εκάστοτε υλικό που θα αποτελέσει το στεγανό στοιχείο. Σαν τεχνική είναι γνώριμη και εύκολα εφαρμόσιμη εξαιτίας των παραλλαγών της ενώ η τελική απόδοση καθορίζεται με βάση το υλικό στεγάνωσης. Τα διαφράγματα εκτόπισης εδάφους υλοποιούνται με την έμπηξη μεταλλικών στοιχείων στο έδαφος. Χαρακτηρίζονται από ταχύτητα εφαρμογής και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης όμως η πρόκληση θορύβου, τα προβλήματα λυγισμού και διάβρωσης δεν τα φέρνουν πρώτα στις προτιμήσεις μας. Πρόσφατη τεχνική είναι τα διαφράγματα επί τόπου ανάμιξης τα οποία δημιουργούνται μέσω σταθεροποιητικών ουσιών που προσδίδουν στο έδαφος αντοχή και μειωμένη περατότητα. Χαρακτηρίζονται και αυτά από γρήγορη εφαρμογή, όμως η αποδοτικότητα τους είναι απόλυτα συνδεδεμένη με τον τύπο του εδάφους και την κοκκομετρική του διαβάθμιση. Τελευταία κατηγορία διαφραγμάτων είναι τα εισπίεσης μέσω των οποίων διοχετεύεται ένεμα που αντικαθιστά το νερό και τον αέρα από τους πόρους και τις ασυνέχειες. Σαν μέθοδο δεν απαιτεί εκσκαφή αλλά είναι δαπανηρή και η χρήση της συνιστάται μόνο σε βραχώδη εδάφη.

Η προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτους εντοπίζεται στο νότιο και πεδινό κομμάτι της λεκάνης απορροής του που εκτείνεται από τη νότια πλευρά του όρους Δίχτη μέχρι το Λιβυκό Πέλαγος. Η επιφανειακή της εξάπλωση είναι περίπου $1,2 \text{ Km}^2$, έχει μέγιστο πάχος αποθέσεων 46 m το οποίο εντοπίζεται στο νότιο τμήμα και μειώνεται καθώς κινούμαστε προς το Βορρά. Ο όγκος των προσχώσεων εκτιμήθηκε περίπου ίσος με $22.500.000 \text{ m}^3$. Το στεγανό υπόβαθρο, από γεωλογικές έρευνες που έγιναν στην περιοχή, φαίνεται να ακολουθεί την κλίση της επιφάνειας του εδάφους και αποτελείται κυρίως από μάρμα, κροκαλοπαγή, ασβεστόλιθους και οφιολιθικά συμπλέγματα.

Ως προς την φύση των αποθέσεων, πρόκειται κατά κύριο λόγο από αλλουβιακές αποθέσεις με συμμετοχή θαλάσσιων. Αναλυτικότερα, στη βάση κάνουν την εμφάνισή τους, κροκάλες και αμμοχάλικα με παρουσία ογκολίθων από ασβεστόλιθο και περιδοτίτη. Σε μικρότερο βάθος κυριαρχούν κυρίως πιο λεπτά υλικά όπως άμμος, άργιλος και ιλύ με μία ενδιάμεση στρώση από αμμοχάλικα και κροκάλες. Η επιφανειακή στρώση είναι προϊόν πρόσφατων ποτάμιων αποθέσεων και στο σύνολο της αποτελείται από αμμοχάλικα. Κατά καιρούς, η χειμαρρώδης ροή μεταφέρει και υλικά μεγαλύτερης διαμέτρου.

Για τον προσδιορισμό της περατότητας των αποθέσεων εκτελέστηκαν δοκιμές εισπίεσεων. Στα αδρομερή υλικά συγκεκριμένα εφαρμόστηκε η δοκιμή σταθερού φορτίου (Lefranc) και έδωσε τιμή υδραυλικής αγωγιμότητας 10^{-3} cm/sec . Η τιμή του K για τα λεπτότερα κυμάνθηκε μεταξύ $10^{-3} - 10^{-5} \text{ cm/sec}$ μέσω της δοκιμής μεταβλητού φορτίου (Maag). Για να εξακριβωθεί η στεγανότητα του βραχώδους υποβάθρου εκτελέστηκε η δοκιμή Lugeon τα αποτελέσματα της οποίας ήταν μεταξύ 10^{-5} cm/sec και 10^{-8} cm/sec . Πρόκειται δηλαδή για αδιαπέρατο σχηματισμό εκτός των θέσεων όπου εμφανίζονται στρώσεις ψαμμίτη.

Κατά τη διερεύνηση του αναπτυσσόμενου υδροφορέα έγιναν μετρήσεις ως προς την περιεκτικότητα του νερού σε νιτρικά και χλώριο. Οι τιμές των νιτρικών κυμάνθηκαν μεταξύ $3,00 - 7,70 \text{ mg/Lt}$ με όριο το 50 mg/Lt , τιμή καθησυχαστική για το φαινόμενο της νιτρορύπανσης, όμως τα αποτελέσματα αυτόματου καταγραφικού σταθμού ως προς το χλώριο δεν ήταν το ίδιο καλά. Ο συγκεκριμένος υδροφορέας δέχεται πίεση από υφάλμυρο μέτωπο κατά τις περιόδους που η στάθμη του είναι χαμηλή.

Η δοκιμαστική άντληση που εκτελέστηκε με διάτρηση όλου του πάχους των προσχώσεων, διήρκεσε 4 ημέρες με παροχή άντλησης $48 \text{ m}^3/\text{hr}$ και παρείχε στοιχεία χρόνου – πτώσης

στάθμης. Μέσω της μεθόδου Cooper-Jacob για ελεύθερους υδροφορείς επεξεργάστηκαν τα αποτελέσματα των σταθμημετρήσεων και έγινε εκτίμηση της διοχετευτικότητας (10^{-2} έως 10^{-3} m²/sec), της αποθηκευτικότητας (10^{-3}) και της υδραυλικής αγωγιμότητας (10^{-4} m/sec). Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας και της διοχετευτικότητας ήταν αντιπροσωπευτικές για αμμοχαλικώδεις αποθέσεις. Δεν συνέβαινε όμως το ίδιο και για την τιμή της αποθηκευτικότητας. Πρόκειται για εξαιρετικά μικρή τιμή αν σκεφτεί κανείς πως στους ελεύθερους υδροφορείς ισούται με το ενεργό πορώδες. Πιθανά, η γεώτρηση να μην αντλούσε από όλο το πάχος των προσχώσεων.

Κατάλληλη θέση κατασκευής διαφράγματος ορίστηκε η Θέση 2 από περιορισμούς που επέβαλε η παρουσία του χωριού Μύρτους και ο στόχος για τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση του όγκου των προσχώσεων. Ο ορισμός του άξονα στη θέση αυτή προσδιόρισε το μήκος στέψης (400 m) και το ύψος του διαφράγματος (48 m) αφού συνυπολογίστηκε το απαιτούμενο μήκος διείσδυσης. Ελεύτερο ύψος υπερχείλισης δεν λήφθηκε υπόψη καθότι η στέψη του διαφράγματος βρίσκεται ψηλότερα από την σημερινή κοίτη του ποταμού Μύρτους, πράγμα που σημαίνει πως ο όγκος υπερχείλισης θα διοχετεύεται από εκεί.

Ο όγκος νερού που μπορεί να φιλοξενηθεί μέσα στα γεωλογικά στρώματα συνδέεται άμεσα με το ύψος της κατασκευής. Για την εκτίμηση του ήταν απαραίτητος πρώτα ο υπολογισμός του όγκου των προσχώσεων και η εκτίμηση της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα που θα διαμορφωθεί μετά από τη δημιουργία του στεγανού στοιχείου. Για την κατανόηση της γεωμετρίας των αποθέσεων, πέρα από τη γεωλογική τομή στον άξονα του διαφράγματος (τομή Γ-Γ'), διαμορφώθηκε μια νέα κατά μήκος τομή (τομή Α-Α') και σχεδιάστηκαν ακόμα τρεις νέες τομές (ΝΑ-ΝΑ', ΝΒ-ΝΒ', ΝΓ-ΝΓ'). Σ' αυτές φαίνονται οι δημιουργούμενες στρώσεις υλικού και η στάθμη του Υ.Ο. Ο σχεδιασμός των στρώσεων βασίστηκε στη γεωλογική τομή Γ-Γ' που προέκυψε από τις ερευνητικές γεωτρήσεις ενώ η κλίση της στάθμης από υπάρχουσες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αφορούσαν κάθε στρώση ξεχωριστά λόγω της διαφορετικής ικανότητας αποθήκευσης νερού με τον συνολικό όγκο υλικού να ανέρχεται στα 22.500.000m³.

Το μέγεθος που θα καθορίσει τον όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί και να αξιοποιηθεί εντός των γεωλογικών στρωμάτων είναι το ενεργό πορώδες. Βασιζόμενοι στις αρχές της εδαφομηχανικής εκτιμήσαμε την τιμή του για κάθε στρώση. Η βαθύτερη στρώση με τους ογκόλιθους έχει εκτιμώμενη τιμή ενεργού πορώδους 27%, των αμμοχάλικων 23-26% ανάλογα την περιεκτικότητα τους σε κροκάλες, της λεπτής άμμου 7% και της στρώση αργίλου με λεπτή άμμο που εκτιμάται σε 4%.

Τα αποτελέσματα έδειξαν πως ο μέγιστος δυνατός όγκος αποθήκευσης νερού ανέρχεται στα 3.500.000 m³ για τις δεδομένες διαστάσεις διαφράγματος και τις παραδοχές που έγιναν.

Επόμενο στάδιο ήταν η επιλογή της κατασκευαστικής μεθόδου. Το εξαιρετικά μεγάλο βάθος των αποθέσεων σε συνδυασμό με τα μεγάλα τεμάχια υλικού (στρώση ογκόλιθων) περιόρισε αισθητά τις δυνατές τεχνικές υλοποίησης του διαφράγματος και το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό. Αναλυτικότερα, απορρίφθηκαν εξ αρχής το διάφραγμα ρηχής τάφρου, το διάφραγμα με χρήση γεωμεμβρανών και το διάφραγμα εκτόπισης εδάφους με χρήση μεταλλικών πετασμάτων. Οι αυξημένες απαιτήσεις κοκκομετρικής διαβάθμισης δεν χαρακτήρισαν το διάφραγμα από εδαφικό υλικό-μπεντονίτη ως πιθανή λύση, ενώ το αυξημένο κόστος και η απουσία ανάληψης σημαντικών φορτίων απέρριψαν το διάφραγμα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για τον ίδιο λόγο με το τελευταίο απορρίφθηκε και εκείνο με προκατασκευασμένα στοιχεία, σε συνδυασμό με την πιθανή εμφάνιση διαρροών στα σημεία ένωσης. Η αποτελεσματικότητα της βαθιάς ανάμιξης αμφισβητείται με τη παρουσία

εδαφικών στοιχείων μεγαλύτερης διαμέτρου ενώ η διαφοροποίηση της στρωματογραφίας γεννά αμφιβολίες για τη μέθοδο jet grouting. Οι τσιμεντενέσεις απορρίπτονται καθώς έχουν αποτελέσματα μόνο σε βραχώδη εδάφη για τη σφράγιση ασυνεχειών και όχι στην πλήρωση των πόρων των γαιωδών εδαφών. Θα μπορούσε όμως να χρησιμοποιηθεί σαν μέθοδος σε περίπτωση που απαιτηθούν πρόσθετα μέτρα στεγάνωσης σε ήδη κατασκευασμένο διάφραγμα. Οι τύποι διαφραγμάτων που τελικά φαίνονται εφαρμόσιμοι είναι των έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων και του τσιμέντο-μπετονίτη. Όσον αφορά το τελευταίο είναι δυνατή η κατασκευή του μόνο μέσω την εκσκαφής των φατνωμάτων με υδροφρέζα. Η διαφραγματική αρπάγη δεν μπορεί να απομακρύνει στοιχεία μεγάλης διαμέτρου και το μέγιστο βάθος που φτάνει είναι 30-40 m.

Για να βρεθεί η βέλτιστη λύση και από θέμα κόστους εκτιμήθηκε το κόστος κατασκευής διαφραγματικού τοίχου και για τις δύο μεθόδους. Μάλιστα η μέθοδος των πασσάλων διερευνήθηκε και ως προς τη διάμετρο για να βρεθεί η οικονομικότερη λύση. Το μήκος και το πλάτος κάθε φατνώματος με χρήση υδροφρέζας ορίστηκε 3,00m και 0,80m αντίστοιχα ενώ το ύψος του ορίστηκε από τη θέση και τη γεωμετρία της λεκάνης. Για λόγους στεγανότητας το μήκος διείσδυσης στο στεγανό υπόβαθρο ορίστηκε 2 m ενώ το μήκος αλληλοεπικάλυψης των στοιχείων ίσο με 0,30 m. Οι εξεταζόμενοι πάσσαλοι είχαν διάμετρο $0,80 \div 1,0 \div 1,20$ m, το μήκος αλληλοεπικάλυψης κατά τη διεύθυνση της ροής κυμάνθηκε μεταξύ 0,4 m και 0,5 m και το μήκος κάθε πασσάλου από τη γεωμετρία της λεκάνης. Το μήκος διείσδυσης σε αυτή τη μέθοδο ορίζεται ίσο με 1,50 m.

Η κοστολόγηση περιορίστηκε μόνο στην κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου, στη διάτρηση και στην επίχωση με τσιμέντο-μπετονίτη. Συνυπολογίστηκαν ακόμα τα τμήματα αλληλοεπικάλυψης των στοιχείων, η απορρόφηση του μίγματος και το κόστος ποιοτικών ελέγχων (προσαύξηση 3%). Η τιμή διάτρησης των πασσάλων ορίστηκε από τα Ενιαία Τιμολόγια Υδραυλικών Έργων ενώ για την τιμή του μίγματος από τσιμέντο-μπετονίτη χρειάστηκε να δημιουργήσουμε νέα τιμή ανατρέχοντας στα Αναλυτικά Τιμολόγια και επικοινωνώντας με εταιρίες που προωθούν επιβραδυντικά και μπετονίτη. Δυσκολότερο ήταν να προσδιορισθεί το κόστος της υδροφρέζας καθώς αποτελεί μηχανολογικό εξοπλισμό που μόλις πρόσφατα εισήχθη στην Ελλάδα από την εταιρία ΑΕΓΕΚ για την αξιοποίηση του στο μετρό Θεσσαλονίκης.

Από τους υπολογισμούς κόστους προέκυψαν οι τιμές:

- Διάφραγμα τσιμέντου-μπετονίτη με υδροφρέζα: 320 €/m²
- Διάφραγμα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων D800: 403 €/m²
- Διάφραγμα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων D1000: 366 €/m²
- Διάφραγμα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων D1200: 378 €/m²

Συμπεραίνουμε πως οικονομικότερη μέθοδος είναι η κατασκευή διαφράγματος από τσιμέντο-μπετονίτη με χρήση υδροφρέζας έναντι των πασσάλων. Παρ' όλα αυτά, σε περίπτωση που η χρήση υδροφρέζας κριθεί ανέφικτη, προτείνεται η λύση των έγχυτων αλληλοτεμνόμενων πασσάλων με διάμετρο 1m.

Ενημερωτικά, πριν κλείσουμε αυτή την εργασία, καλό θα ήταν να αναφέρουμε και μία άλλη πιθανή λύση. Με αφορμή το φράγμα του Μόρνου, για την κατασκευή του στεγανού στοιχείου θα μπορούσαμε να συνδυάσουμε τη μέθοδος κατασκευής διαφραγματικού τοίχου από τσιμέντο-μπετονίτη με αρπάγη και τη μέθοδο jet grouting. Συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να φτάσουμε με την πρώτη τεχνική μέχρι το βάθος των 15-20m και στη συνέχεια, μόλις το μίγμα σταθεροποιηθεί να διεισδύσουμε μέσα από τον τοίχο με τον

εξοπλισμό του jet grouting και να στεγανοποιήσουμε μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο. Για την καλύτερη απόδοση της δεύτερης μεθόδου θα δημιουργηθούν δύο σειρές στοιχείων. Η συνδυασμένη αυτή τεχνική, όπως μαρτυρούν μηχανικοί, εφαρμόστηκε το 1985 για την κατασκευή πετάσματος στον άξονα του φράγματος αντί του πετάσματος των τσιμεντενέσεων και είχε 95% επιτυχία. Και σε εκείνη τη περίπτωση το βάθος ήταν μεγάλος και προβλήματα δημιουργούσαν στοιχεία μεγάλης διαμέτρου («πατάτες» όπως ονομάζουν οι μηχανικοί).

Κατασκευαστικά λοιπόν είναι εφικτή η δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα στην προσχωματική λεκάνη του ποταμού Μύρτους με μία από τις παραπάνω μεθόδους και παρ' ότι στηρίζομαστε σε εκτιμήσεις, είναι αξιόλογη και η αποθηκευτική ικανότητα των αποθέσεων. Όμως η τελική απόφαση θα στηριχθεί στον υπολογισμό του υδρογεωλογικού ισοζυγίου, στη γνώση των εισροών και εκροών όπως επίσης και στη συνδυασμένη λειτουργία των έργων που έχουν ή πρόκειται να κατασκευαστούν στην ευρύτερη περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΒΙΒΛΙΑ

- BREUSERS H.N.C. , RAUDKIVI A.J. . Scouring . 1st ed. . Rotterdam , A.A. Balkema , 1991
- DIETRICH W. E. , GALLINATI J. D. . Fluvial Geomorphology . 1st ed. . Rotterdam , O. Slaymaker , 1991
- FELL R. , MACGREGOR P , STAPLEDON D. . Geotechnical engineering of embankment dams . 1st ed. . Rotterdam , A. A. Balkema , 1992
- GARCIA , Marcelo . Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice . Classic ed. . Reston , American Society of Civil , 2007
- MARCELO , Garcia . Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling, and Practice . 1st ed. . Virginia , The American Society of Civil Engineers , 2007
- NILSSON , Ake . Groundwater dams for Small-Scale water supply . 1st ed. . United States of America , Practical Action , 1988
- NING C. , ZHAOHUN W. . Mechanics of Sediment Transport . 1st ed. . Reston , ASCE Press , 1999
- PULLER , Malcolm . Deep Excavations: a practical manual . 1st ed. . London , Thomas Telford , 1996
- XANTHAKOS , Petros . Slurry Walls . 1st ed. . United States of America , McGraw-Hill , 1979
- ΑΝΑΓΝΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Β. . Θεμελιώσεις με πασσάλους . 1^η εκδ. . Αθήνα , ΣΥΜΕΩΝ , 2004
- ΓΚΑΖΕΤΑΣ Γ. . Σημειώσεις Εδαφομηχανικής . 2.7 εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2007
- ΚΑΒΒΑΔΑΣ , Μ. . Σημειώσεις Θεμελιώσεων Τεχνικών Έργων . 3^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2008
- ΚΑΒΒΑΔΑΣ , Μ. . Στοιχεία Εδαφομηχανικής . 13^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2007
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ , Γ.Α. . Εφαρμοσμένη – Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία . 3^η εκδ. . Αθήνα , Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος , 2001
- ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ , Σ.Δ. . Γεωτεχνικές Κατασκευές . 2^η εκδ. . Αθήνα , ΙΩΝ , 2003 , 2τ.
- ΜΑΡΑΓΚΟΣ , Χρήστος . Τεχνικά έργα υποδομής: κατασκευές στην επιφάνεια βράχου, υπόγειες κατασκευές, φράγματα . 1^η εκδ. . Θεσσαλονίκη , [χ.ό.] , 1997
- ΜΑΡΙΝΟΣ , Παύλος . Κεφάλαια Γεωλογίας Μηχανικού . 1^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 1993
- ΜΑΡΙΝΟΣ , Παύλος . Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας . (Με προσθήκες κατά το 2001) . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 1998

- ο ΜΑΡΙΝΟΣ Π.Γ. , ΤΣΙΑΜΠΑΟΣ Γ.Κ. . Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας . 1^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2005
- ο ΜΙΜΙΚΟΥ , Μαρία . Τεχνική Υδρολογία . 4^η εκδ. . Αθήνα , Παπασωτηρίου , 2006
- ο ΜΙΜΙΚΟΥ , Μαρία . Τεχνολογία Υδατικών Πόρων . 3^η εκδ. . Αθήνα , Παπασωτηρίου , 2006
- ο ΝΑΝΟΥ Α., ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ Τ. . Υδραυλική Υπογείων Νερών . 1^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2008
- ο ΝΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ Γ., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ Γ., ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΑΔΗΣ Τ. . Υδραυλική Ανοιχτών Αγωγών . 1^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2007
- ο ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ Μ., ΚΟΖΑΝΗΣ Σ. . Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής . 1^η εκδ. . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2003

2. ΕΓΚΥΚΛΟΠΑΙΔΕΙΕΣ

- ο ASLAN , A. . Fluvial Environments: Sediments . Encyclopedia of Quaternary Science . United States of America , Elsevier , 2007 , pp 672-685
- ο CURCH M., CONIGLIO M., HARDIE L.A., LONGSTAFFE F.J. . Encyclopedia of Sediments and Sedimentary Rocks . Netherland , Springer , 2003
- ο LEWIN J., BREWER P.A. . Sedimentary Processes: Fluvial Geomorphology . Encyclopedia of Geology . United Kingdom , Elsevier , 2005 , pp 650-663

3. ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- ο AGGOUR S. , RADDING R. . Research Report Standard Penetration Test (SPT) Correction . Maryland , State Highway Administration , 2001
- ο BELL K., BAKA J., GALAGODA M. . Installation and Instrumented Load Testing of Deep Soil Mixing Columns . United States of America , [χ.ό.] , 2005
- ο ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY . Evaluation of Subsurface Engineered Barriers at Waste Sites . United States of America , Environmental Protection Agency , 1998
- ο EVANS , Jeffrey . Soil and cement based vertical barriers with focus on materials. United States of America , Bucknell University, 1995
- ο FILZ , George . Load Transfer, Settlement, and Stability of Embankments Founded on Columns Installed by Deep Mixing Methods . Athens , 26th DFI Annual Conference , 2001
- ο FILZ G., MITCHELL J. . Design, construction and performance of soil and cement based vertical barriers . United States of America , Virginia Polytechnic Institute and State University , 1995
- ο ISEYA F., IKEDA H. . Sedimentation in coarse-grained sand-bedded meanders: Distinctive deposition of suspended sediment . Tokyo , Terra Scientific Publishing Company , 1989
- ο KIERSCH , George . Environmental/engineering geology of alluvial settings . Tuscon , Elsevier B.V. , 1996

- KOERNER R., GUGLIELMETTI J. . Vertical Barriers: Geomembranes . Philadelphia , Drexel University , 1995
- MCMAHON , Donald . Vertical Barriers: Sheet Piles . New York , McMahon and Mann Consulting Engineers , 1995
- ONDER H., YILMAZ M. . Underground Dams: A tool of Sustainable Development and Management of Groundwater Resources . Ankara , E. W. Publications , 2005
- PEARLMAN , Leslie . Subsurface Containment and Monitoring Systems: Barriers and Beyond . United States of America , Environmental Protection Agency , 1999
- ROGERS , David . Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test . Rolla , The Geological Society of America , 2006
- TAKAHITO , Misaki . Technical Reference for Effective Groundwater Development . Japan , Japan Green Resources Agency , 2004
- TIWARI , Binod . Constant head an falling head permeability test . California , Cal State Fullerton , 2008
- WRIGHT P. , MARRIOTT S. . The sequence stratigraphy of fluvial depositional system: the role of floodplain sediment storage . Amsterdam , Elsevier Science Publishers B.V. , 1993
- YILMAZ , Metin . Control of groundwater by underground dams . Άγκυρα , The Middle East Technical University , 2003
- ΑΒΡΑΜΙΔΟΥ , Ελένη . Το φαινόμενο της Υφαλμύρωσης στον Ελλαδικό Χώρο . Θεσσαλονίκη , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , 2007
- ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ , Ν. . Κατασκευή Δ/Φ τοίχων από τσιμέντο-μπετονίτη . Πάτρα , 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής , 1997
- ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Ν. , ΚΑΛΑΪΤΖΗΣ Θ. , ΝΑΣΚΟΣ Ν. , ΧΑΤΖΗΘΕΟΔΟΣΙΟΥ Ν. . Κατασκευή Δ/Φ Τοίχων από Τσιμέντο – Μπετονίτη . Πάτρα , 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής , 1997
- ΔΑΣΚΑΛΑΚΗ , Αγγελική . Υφαλμύριση Γεωτρήσεων: Η ένταση της υφαλμύρισης του νερού των γεωτρήσεων Δήμου Μαλίων . Χανιά , [χ.ό.] , 2008
- ΔΡΙΒΕΛΑΣ , Αλέξανδρος . Διερεύνηση του αλλουβιακού υδροφορέα του Μύρτους Λασιθίου για τη δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα με διαφραγματικό τοίχο . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2009
- ΙΩΑΝΝΟΥ , Ν. . Θεμελιώσεις – Διογκούμενα Εδάφη . Λευκωσία . [χ.ό.] , 2010
- ΚΑΤΗ , Μαριάννα . Απόθεση – διαγένεση - εξέλιξη πορώδους των ιωκαινικών σχηματισμών της προαπούλιας ζώνης στη νήσο Ζάκυνθο . Αθήνα , Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών , 1999
- ΚΟΥΜΟΥΛΟΣ Δ.Γ. . Διαφραγματικοί Τοίχοι – Εργαστηριακή Έρευνα . Αθήνα , 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής , 1988
- ΜΟΝΤΕΣΑΝΤΟΥ , Βαρβάρα . Ποτάμια Υδροσυστήματα . Αθήνα , [χ.ό.] , 1999
- ΜΟΥΤΑΦΗΣ , Νικόλαος . Έλεγχος υπόγειας ροής με τσιμεντενέσεις . Αθήνα , Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος , 1989
- ΜΟΥΤΑΦΗΣ , Νικόλαος . Σημειώσεις: Υδραυλικές Κατασκευές - Φράγματα . Αθήνα , [χ.ό.] , 2010
- ΜΟΥΤΑΦΗΣ , Νικόλαος . Τεχνολογία Γεωφραγμάτων: Θεμελιώσεις Φραγμάτων . Αθήνα , [χ.ό.] , 2010

- ο ΜΠΟΥΡΑ , Βασιλική . Προσδιορισμός Συστημάτων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στην Κρήτη . Αθήνα , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2010
- ο ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ.Θ. , ΦΙΚΙΡΗΣ Ι.Φ. . Τσιμεντενέσεις Στεγάνωσης Φράγματος Ευήνου . Αθήνα , 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής , 2001
- ο ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ Δ., ΔΗΜΟΥ Γ. . Σημειώσεις μηχανικής των φερτών υλικών . Αθήνα , [χ.ό.] , 2010
- ο ΤΣΙΒΟΥΡΑΚΗ – ΠΑΠΑΦΩΤΙΟΥ , Βασιλική . Γεωφυσικές διασκοπήσεις και επεξεργασία του γεωφυσικού σήματος . Θεσσαλονίκη , Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , 2004
- ο ΚΑΒΒΑΔΑΣ , Μ. Διαλέξεις: Εδαφομηχανική Ι . Αθήνα , [χ.ό.] , 2010

4. ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ

- ο HANSON G. , NILLSON A. . “Ground – Water Dams for Rural – Water Supplies in Developing Countries” . GroundnWater , Volume 24 , July-August 1986
- ο LUYUN Jr R., MOMII K., NAKAGAWA K. . “Laboratory – scale saltwater behavior due to subsurface cutoff wall” . Journal of Hydrology , Volume 377 , 30 October 2009 , pp. 227-236
- ο NICHOLS G.J. , FISHER J.A. . “Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits . Sedimentary Geology , Volume 195 , February 2007 , pp. 75-90
- ο ROGERS , David . “Subsurface Exploration Using the Standard Penetration Test and the Cone Penetrometer Test” . Environmental and Engineering Geoscience , Volume 12 , May 2006 , pp. 161-179
- ο SATOSHI I. , MOTOI K. , EIICHI A. . “Construction of subsurface dams and their impact on the environment” . Materials and Geoenvironment , Volume 50 , 2003 , pp. 149-152
- ο ΔΟΥΛΓΕΡΗΣ , Χάρης . “Το φαινόμενο της υφαλμύρινσης των παράκτιων υδροφορέων” . ΑΜΦΙΒΙΟΝ , τεύχ. 58 , Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 2004 , σσ. 7-9
- ο ΣΙΔΕΡΗΣ , Νικόλαος . “Μετρό Θεσσαλονίκης” . Ενημερωτικό Δελτίο Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Βορ. Ελλάδος , τεύχ. 9 , Οκτώβριος – Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2007 , σσ. 5-14

5. ΜΕΛΕΤΕΣ

- ο Γ. ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ . Μελέτη Συμπληρωματικών Εγγειοβελτιωτικών Έργων Περιοχής Ιεράπετρας (Αριθμός Μελέτης 8972706) , 2^η Συμπληρωματική Σύμβαση . Φορέας ΥΠΕΧΩΔΕ, Γ.Γ.Δ.Ε., Δ7 , Ιούνιος 1993

6. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

- ο Clamshell bucket . University of Chicago . Διαθέσιμα από: “
<http://www.flickr.com/photos/uchicagolibrary/3276939424/in/set-72157613741383353>”

- Clamshell bucket excavates between guide walls . University of Chicago . Διαθέσιμα από: “ <http://www.flickr.com/photos/uchicagolibrary/page33> ”
- Colluvial Environment . Soil Formation and Parent Material . Διαθέσιμα από : “ <http://soilweb.landfood.ubc.ca/landscape/colluvial-environment> ”
- Constant Head Permeability test in Sand . University of Texas at Arlington . Διαθέσιμα από: “ http://www.uta.edu/ce/geotech/lab/Main/Soil%20Lab/08_Permeability/permeability_lecture%20note.pdf ”
- Construction of secant pile wall . Land Transport Authority . Διαθέσιμα από: “ <http://www.lta.gov.sg/projects/images/Secant%20Final.pdf> ”
- Controlled Pumping Test . Environmental Protection Agency . Διαθέσιμα από: “ <http://www.dem.ri.gov/pubs/sops/wmsr2045.pdf> ”
- Crane lowers rebar into place . University of Chicago . Διαθέσιμα από: “ <http://www.flickr.com/photos/uchicagolibrary/3276950077/in/photostream> ”
- Debris Flow Area, Alluvial Fans and Unpredictable Floods . Unnatural Disasters . Διαθέσιμα από : “ <http://lang.sbsun.com/projects/fireflood/articles/alluvialfan.asp> ”
- Deep soil mixing . Hayward Baker geotechnical constructions . Διαθέσιμα από: “ <http://www.haywardbaker.com/WhatWeDo/Techniques/GroundImprovement/WetSoilMixing/default.aspx> ”
- Diaphragm Walls: Technological Advances . Jean – Pierre Hamelin . Διαθέσιμα από: “ <http://www.geotechnet.org/upload/documents/Keynote%20Hamelin.pdf> ”
- Formation of a meander . BBC Higher Bitesize . Διαθέσιμα από : “ http://www.bbc.co.uk/scotland/learning/bitesize/higher/geography/physical/hydrosphere_rev3.shtml ”
- Geomembranes . XR Geomembranes . Διαθέσιμα από: “ <http://www.xr-technology.com> ”
- Ground – Water Restoration . CEPIS/OPS . Διαθέσιμα από: “ <http://www.bvsde.ops-oms.org/muwww/fulltext/repind46/restora/restora.html> ”
- Groundwater Barriers an Outlets . Iowa Storm water Management . Διαθέσιμα από: “ <http://www.ctre.iastate.edu/pubs/stormwater/documents/2M-2GroundwaterBarriersOutlets.pdf> ”
- Groundwater Development . Japan Green Resource Agency . Διαθέσιμα από: “ <http://www.green.go.jp/green/gyoumu/kaigai/manual/groundwater/english/appendix.pdf> ”
- Hydrofraise . Diaphragm wall and barrettes . Διαθέσιμα από: “ [http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/\\$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf](http://www.bachy-soletanche.com/SBF/sitev4_uk.nsf/technique/diaphragm-wall/$File/Parois%20moul%C3%A9es%20%26%20Barrettes%20va.pdf) ”
- Jet Grouting . Geo - Solutions . Διαθέσιμα από: “ <http://www.geo-solutions.com/construction-technologies/jet-grouting.php> ”
- Jet Grouting . Hayward Baker geotechnical constructions . Διαθέσιμα από: “ http://www.revbase.com/ttserverroot/Download/387214_G32%20-%20Jet%20Grouting%20Brochure%20rev.%207-04.pdf ”
- Leakage between prefabricates wall panels . Emerald http://www.emeraldinsight.com/content_images/fig/1100210403012.png ”

- Lecture 6: Meandering River . University Kebangsaan . Διαθέσιμα από : “
<http://pkukmweb.ukm.my/~kamal/sedimentologi/berliku-1.pdf> ”
- Let’s Talk Water . Dr. Mike Strobel . Διαθέσιμα από: “
<http://nevada.usgs.gov/barcass/articles/Ely30.pdf> ”
- Lugeon Test . The United States Society on Dams . Διαθέσιμα από: “
<http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/405-414.pdf> ”
- Lugeon test interpretation, Revisited . URS Corporation . Διαθέσιμα από: “
<http://ussdams.com/proceedings/2010Proc/405-414.pdf> ”
- Method of test for permeability of soils . State of California Department of transportation . Διαθέσιμα από: “ http://www.dot.ca.gov/hq/esc/ctms/pdf/CT_220.pdf ”
- Model Project to Combat Desertification in NARE Village, BURKINA FASO : Technical Report of the Subsurface Dam . Ministry of the environment Government of Japan . Διαθέσιμα από : “ <http://www.env.go.jp/earth/report/h16-08/eng/PDF/012.pdf> ”
- Natural Levees . Missouri University of Science and Tecnology . Διαθέσιμα από : “<http://web.mst.edu/~rogersda/levees/Should%20I%20Trust%20That%20Levee.htm>”
- Natural Levees . University of Wisconsin Stevens Point . Διαθέσιμα από : “
http://uwsp.edu/geo/faculty/ozsvath/review_questions/Pictures/Geo30910.jpg”
- Permeability Test . The University of Texas at Arlington . Διαθέσιμα από: “
http://geotech.uta.edu/lab/Main/Soil%20Lab/08_Permability/permeability_lecture%20note.pdf ”
- Permeability test B . Geotechnical laboratory experiments . Διαθέσιμα από: “
<http://home.iitk.ac.in/~madhav/expt7.html> ”
- Piling Handbook . Arcelor RPS . Διαθέσιμα από: “ http://www.sheet-piling.arcelor.com/Documentation/Files/ARCELOR_Piling_Handbook.pdf ”
- Prefabricated wall panel . Diaphragm wall . Διαθέσιμα από: “
http://www.zakladani.cz/download/web_technologie/3_podzemni_steny.pdf ”
- Pumping Test . University of Illinois Engineers without Borders . Διαθέσιμα από: “
<http://ewb-uiuc.org/system/files/Ely17.pdf> ”
- Remediation Actions . TheCAT . Διαθέσιμα από: “
<http://web.cecs.pdx.edu/~gjohnson/Containment%20Options.pdf> ”
- River & Streams . Rensselaer Polytechnic Institute . Διαθέσιμα από : “
http://ees2.geo.rpi.edu/abrajanoCourses/public_html/RiverIntro.ppt ”
- River Systems . Woods Hole Oceanographic Institute . Διαθέσιμα από : “
http://www.whoi.edu/pclift/Rivers_files/Rivers.ppt ”
- Secant Pile Wall . Bauer . Διαθέσιμα από: “ <http://www.bauer.co.id/v2/links-secantpile.html> ”
- Sedimentation and Stratigraphy, Rivers: The fluvial Environment . KFUPM Open Courseware . Διαθέσιμα από : “
http://opencourseware.kfupm.edu.sa/colleges/cs/es/geol307/files%5C5-Handouts_Lec_13.pdf ”

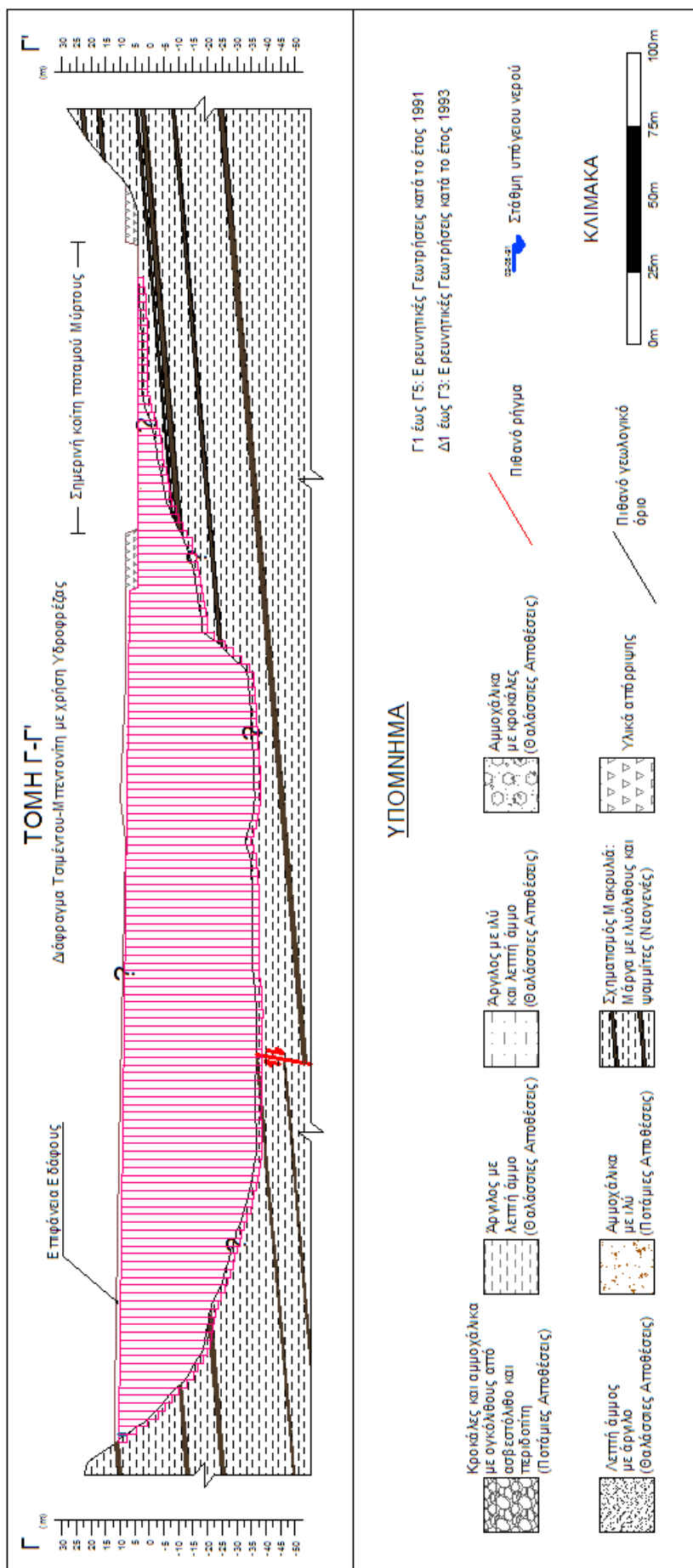
- Sedimentation in coarse-grained sand-bedded meanders: Distinctive deposition of suspended sediment . Terra Scientific Publishing Company . Διαθέσιμα από : “ <http://svr4.terrapub.co.jp/e-library/taira/pdf/081.pdf> ”
- Sheet Piling . Crane Materials International . Διαθέσιμα από: “ http://www.cmisheetpiling.com/sheet_piling_engineering/Case-Studies/022%20-%20martin%20park%20landfill.pdf ”
- Sheet piling and cofferdams in bridge construction . Documents for small business and professionals . Διαθέσιμα από: “ <http://www.docstoc.com/docs/19550686/SHEET-PILING-AND-COFFERDAMS-IN-BRIDGE-CONSTRUCTION> ”
- Sinuosity of natural channels . Fluvial Geomorphology . Διαθέσιμα από : “ http://www.fgmorph.com/fg_3_12.php ”
- Slurry Walls . Geo – solutions . Διαθέσιμα από: “ <http://www.geo-solutions.com/> ”
- Slurry Walls . TekTracker . Διαθέσιμα από: “ <http://www.TekTracker.com/> ”
- Soil Cement Bentonite slurry wall . Construction of a soil-cement-bentonite-slurry wall for a levee strengthening program . Διαθέσιμα από: “ http://magnuspacific.com/publications/SCB_SlurryWall_Levee_Strengthening.pdf ”
- Soil mixing . Earth – Tech . Διαθέσιμα από: “ http://www.earthtech.net/commercial/services_solutions_soilmix.php ”
- Standard penetration test . University of Rhodes Island . Διαθέσιμα από: “ <http://oce.uri.edu/oce483/Section%205-SPT.pdf> ”
- Standard Test Procedures Manual . Saskatchewan Highways and transportation . Διαθέσιμα από: “ <http://www.highways.gov.sk.ca/240-20/> ”
- Steel Sheet Piles . Nippon Steel Corporation . Διαθέσιμα από: “ http://www.nsc.co.jp/en/product/construction/pdf/Steel_Sheet_Piles.pdf ”
- Stream and Drainage . Earth Science Australlia . Διαθέσιμα από : “ http://earthsci.org/flood/J_Flood04/stream/stream.html#Streams ”
- Streams 2 . University of Meriland . Διαθέσιμα από : “ <http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol100/lectures/29.html> ”
- Streams and Water Quality . Medina County, Soil and Water Conservation District . Διαθέσιμα από : “ <http://www.medinaswcd.org/streams.htm> ”
- Subsurface Barriers for Contaminated Sites . A PDH Online Course for Engineers . Διαθέσιμα από: “ <http://www.pdhonline.org/courses/c192/c192.htm> ”
- Subsurface dams . WaterAid international site . Διαθέσιμα από : “ http://www.wateraid.org/international/what_we_do/sustainable_technologies/technology_notes/2http://www.wateraid.org/international/what_we_do/sustainable_technologies/technology_notes/2057.asphttp://www.wateraid.org/international/what_we_do/sustainable_technologies/technology_notes/2057.asp057.asp ”
- Subsurface Dams: a simple, safe and affordable technology for pastoralists . Friends of Kitui . Διαθέσιμα από : “ http://friendsofkitui.com/images/PDFs/Sub_surface_dams_VSF.pdf ”
- The Meandering River . Paleocurrents . Διαθέσιμα από : “ http://www.paleocurrents.com/castle_rock/docs/meandering_river.html ”

- Tremie pipe . Bilfinger Berger civil . Διαθέσιμα από: “
[http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL89058GPAREN/\\$FILE/Diaphragm%20walls.pdf](http://www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de/C1257130005050D5/vwContentByKey/N276DL89058GPAREN/$FILE/Diaphragm%20walls.pdf) ”
- Trench excavation . Deere and Ault Consultants Inc. . Διαθέσιμα από: “
<http://deereault.com/dam-reservoir-design/stagecoach-reservoir.php> ”
- Triple auger rig . RATIO Inc. Geotechnical Construction Specialist . Διαθέσιμα από:
“ <http://www.raitoinc.com/projects.aspx> ”
- Tube a Manchette . Strata – Tech . Διαθέσιμα από: “ http://www.strata-tech.com/manchette/tam_system.html ”
- Vertical Barriers . Contaminates Site Clean-Up Information . Διαθέσιμα από: “
[http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment Technologies/Containment-1995.pdf](http://www.clu-in.org/download/contaminantfocus/dnapl/Treatment_Technologies/Containment-1995.pdf) ”
- Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM D422-1980 . American Society for Testing and Materials . Διαθέσιμα από: “ <http://www.astm.org/Standard/index.shtml> ”
- Διαφραγματική αρπάγη . ΕΔΡΑΣΗ . Διαθέσιμα από: “
http://www.hssmge.gr/Lecture_Zervogiannis.pdf ”
- Δοκιμή Υδατοπερατότητας Lefranc – Maag . Εγνατία Οδός . Διαθέσιμα από: “
http://www.egnatia.gr/Files/Adverts/Texn-Prod_drills_4404.pdf ”
- Επί τόπου δοκιμές υδροπερατότητας . Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών . Διαθέσιμα από: “
http://www.metal.ntua.gr/uploads/4251/Askisi_2010.pdf ”
- Έρευνα Πεδίου . Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας . Διαθέσιμα από: “<http://www.geo.auth.gr/758/PDF/1.pdf> ”
- Κοκκομετρική διαβάθμιση . Πανεπιστήμιο Πατρών Τμήμα Γεωλογίας . Διαθέσιμα από: “ http://geo-sector.geology.upatras.gr/hydrogeology/images/stories/applied_hydrogeology_theory.pdf ”
- Προσδιορισμός Περρατότητας πετρωμάτων στο ύπαιθρο . Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών . Διαθέσιμα από: “
<http://www.civ.uth.gr/lessons/52%5Cdidaskalia.pdf> ”
- Τεχνητός Εμπλουτισμός . Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Τμήμα Γεωλογίας . Διαθέσιμα από: “ <http://www.geo.auth.gr/763/ch7.htm> ”
- Τεχνική Συμπεριφορά Εδαφών . Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών . Διαθέσιμα από: “ http://www.civ.uth.gr/lessons/52%5Ckephalaio_3.pdf ”

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Γεωλογικές τομές και σχέδια
2. Στοιχεία ερευνητικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων
3. Δεδομένα δοκιμαστικής άντλησης και η επεξεργασία τους
4. Διαστάσεις φατνωμάτων - πασσάλων και κοστολόγηση

1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑ

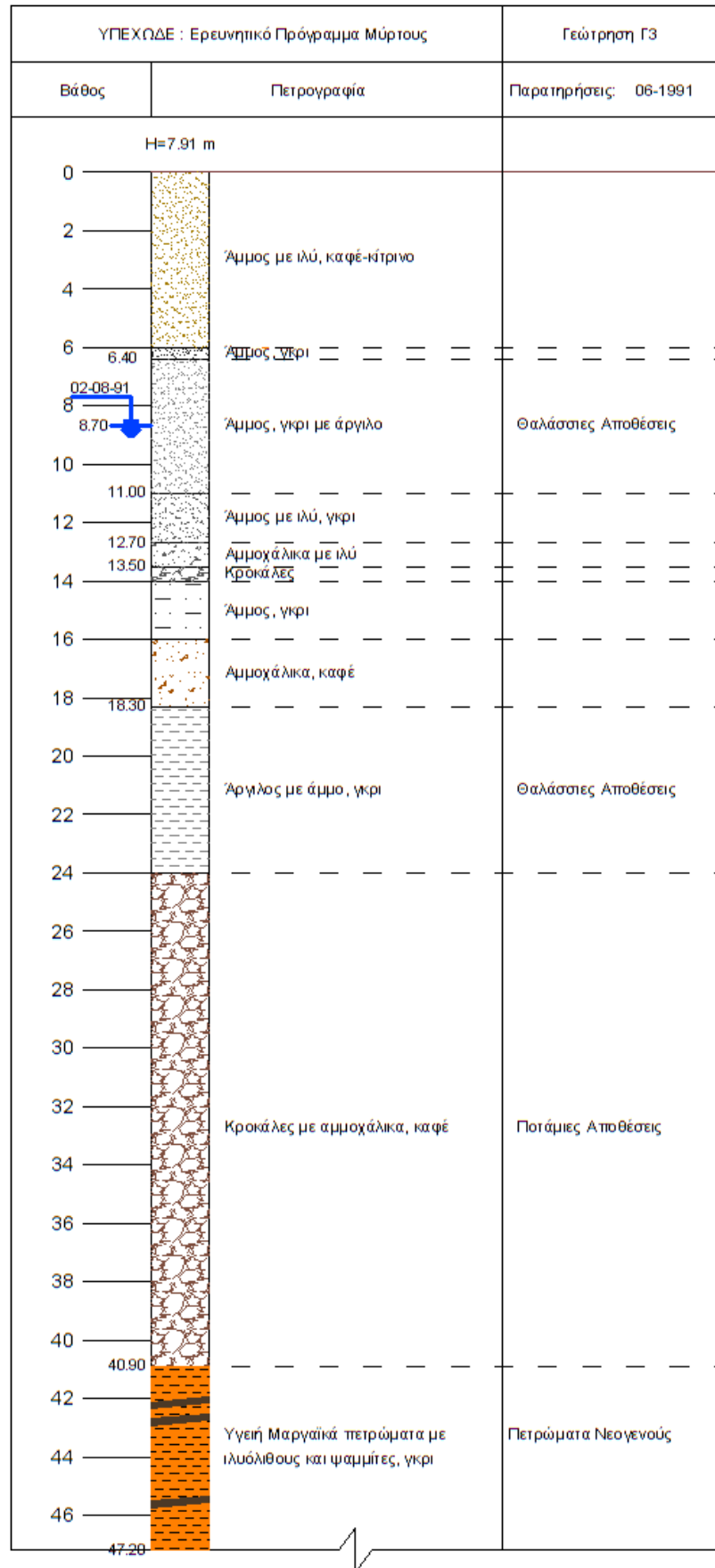


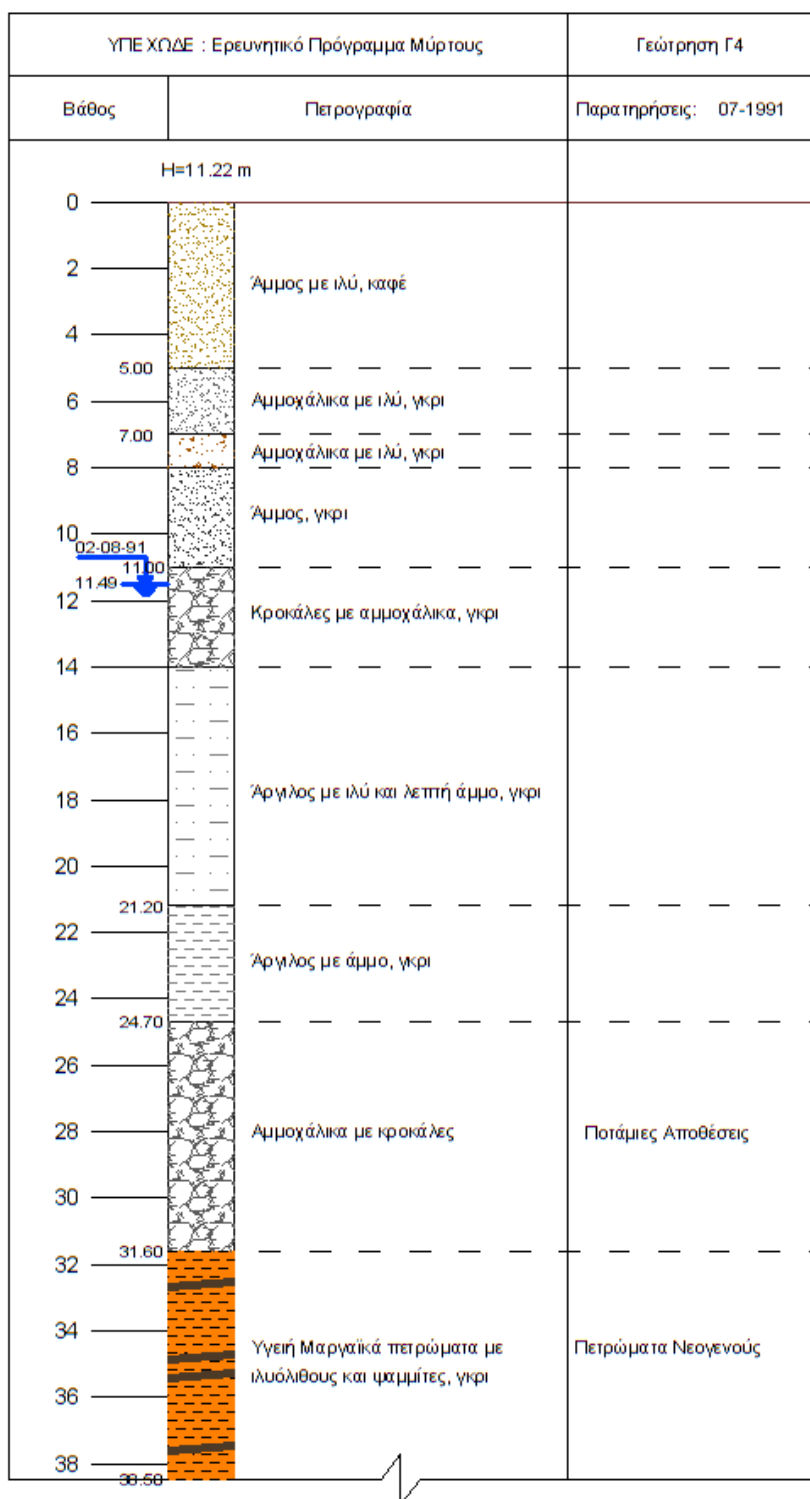
УПОМНИМА

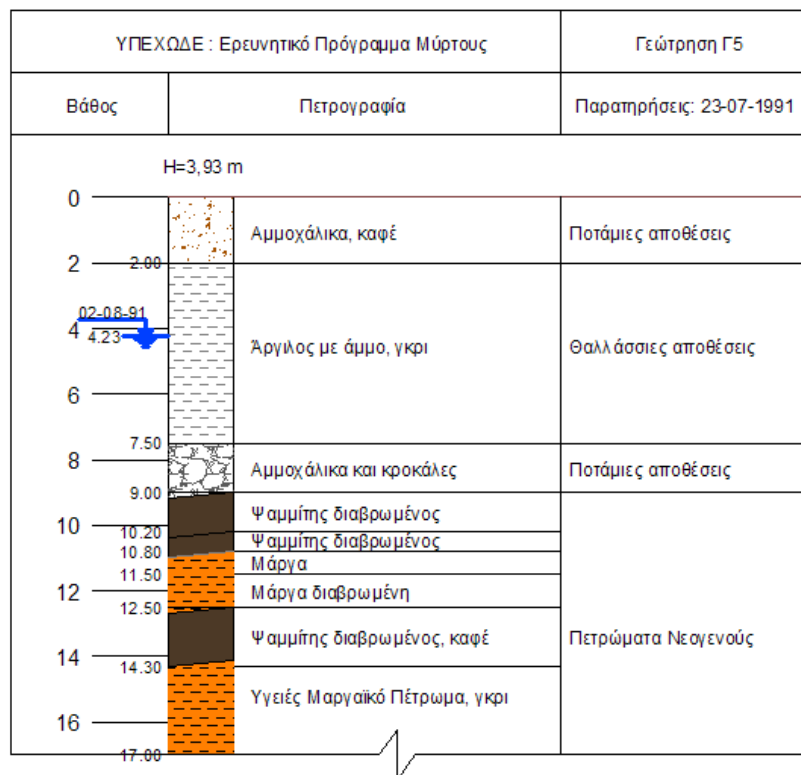
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

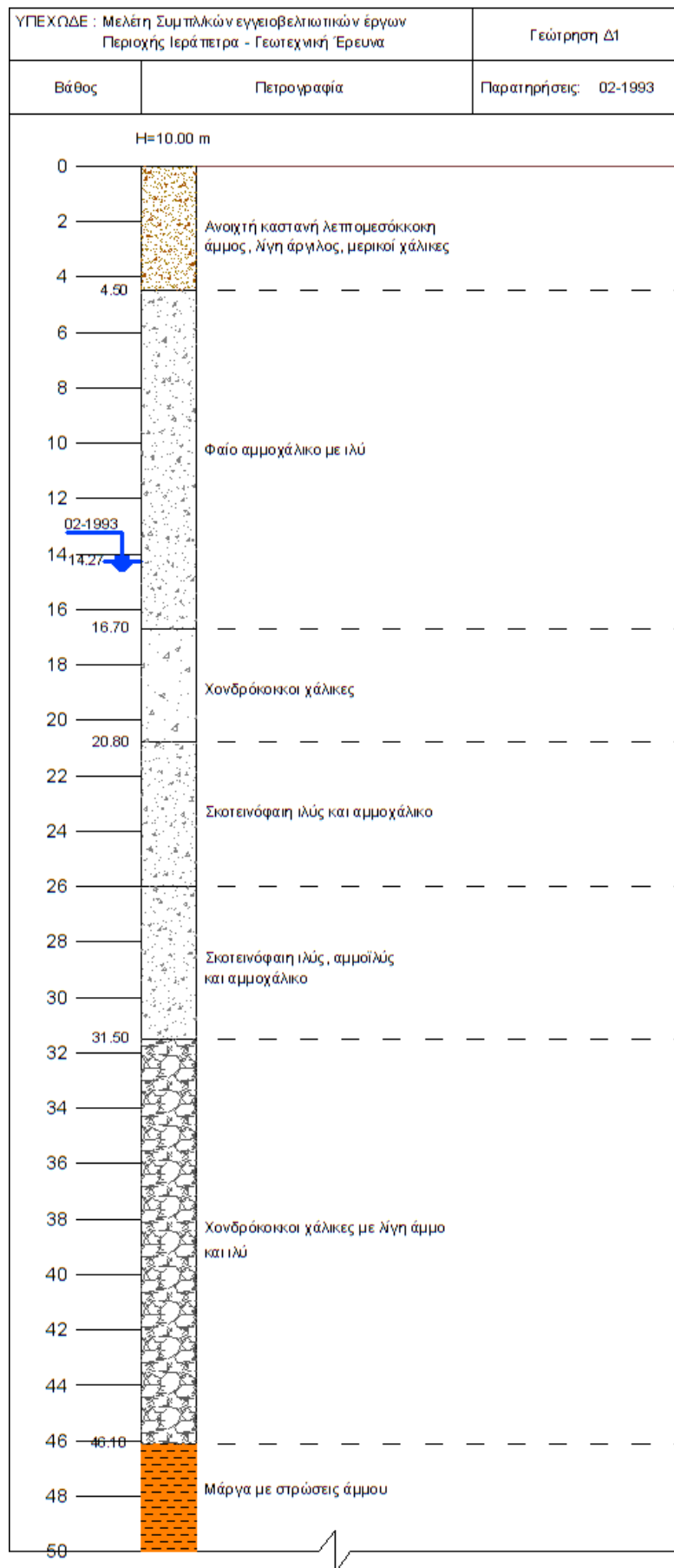
ΥΠΕΧΩΔΕ : Ερευνητικό Πρόγραμμα Μύρτου		Γεώτρηση Γ1
Βάθος	Πετρογραφία	Παρατηρήσεις: 07-06-1991
H=4,05 m 0 2 4 5.00 1.60 Αμμοχάλικα, καφέ Μαργακικό Πέτρωμα με ψαμμίτη και ιλυόλιθους		Ποτάμιες αποθέσεις Πέτρωμα Νεογενούς

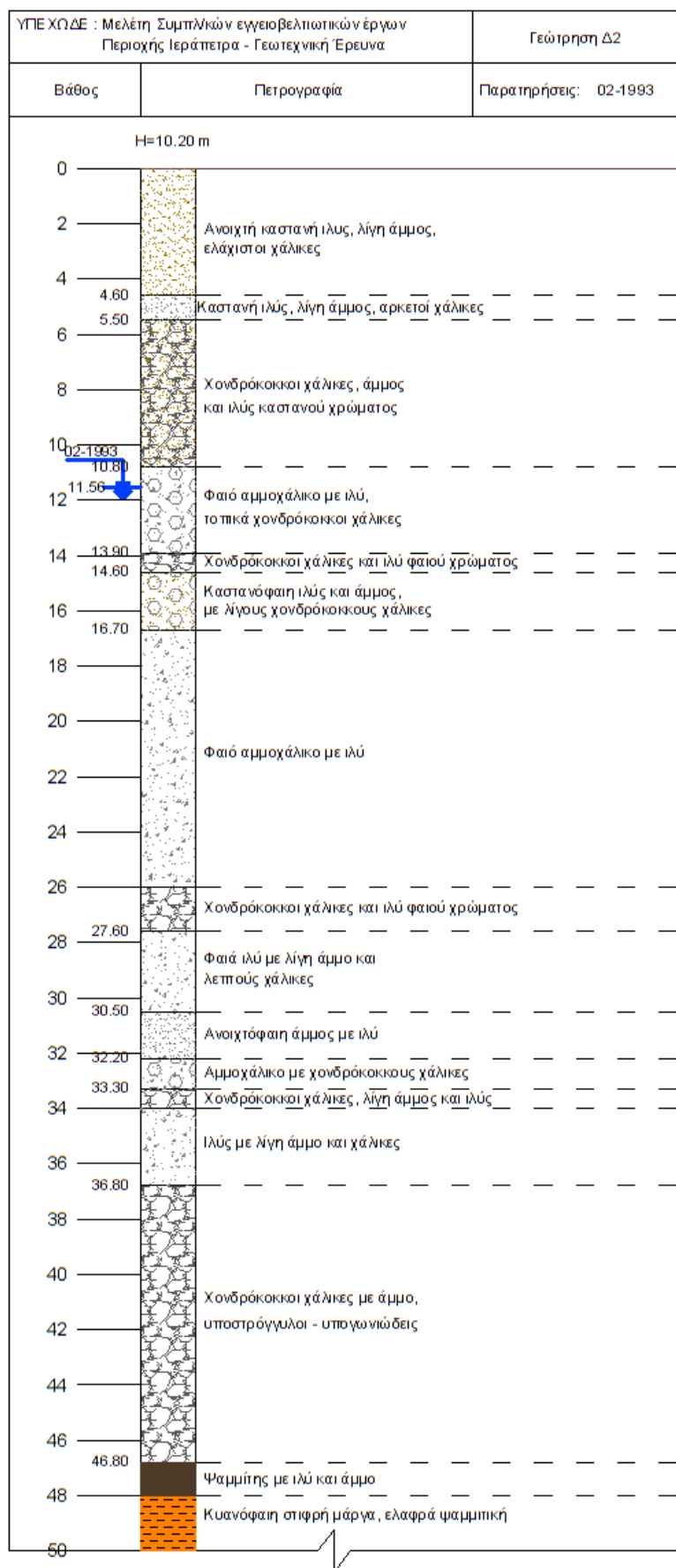
ΥΠΕΧΩΔΕ : Ερευνητικό Πρόγραμμα Μύρτου		Γεώτρηση Γ2
Βάθος	Πετρογραφία	Παρατηρήσεις: 13-06-1991
H=8,21 m 0 2 4 6 8 02-08-91 8.70 10 12 14 16 18 20 22 24 26 26.20 28 30 32 32.60 Αμμοχάλικα με κροκάλες και άργιλο κατά θέσεις Μαργαλικό Πέτρωμα με ψαμμίτη και ιλυόλιθους Πετρώματα Νεογενούς		

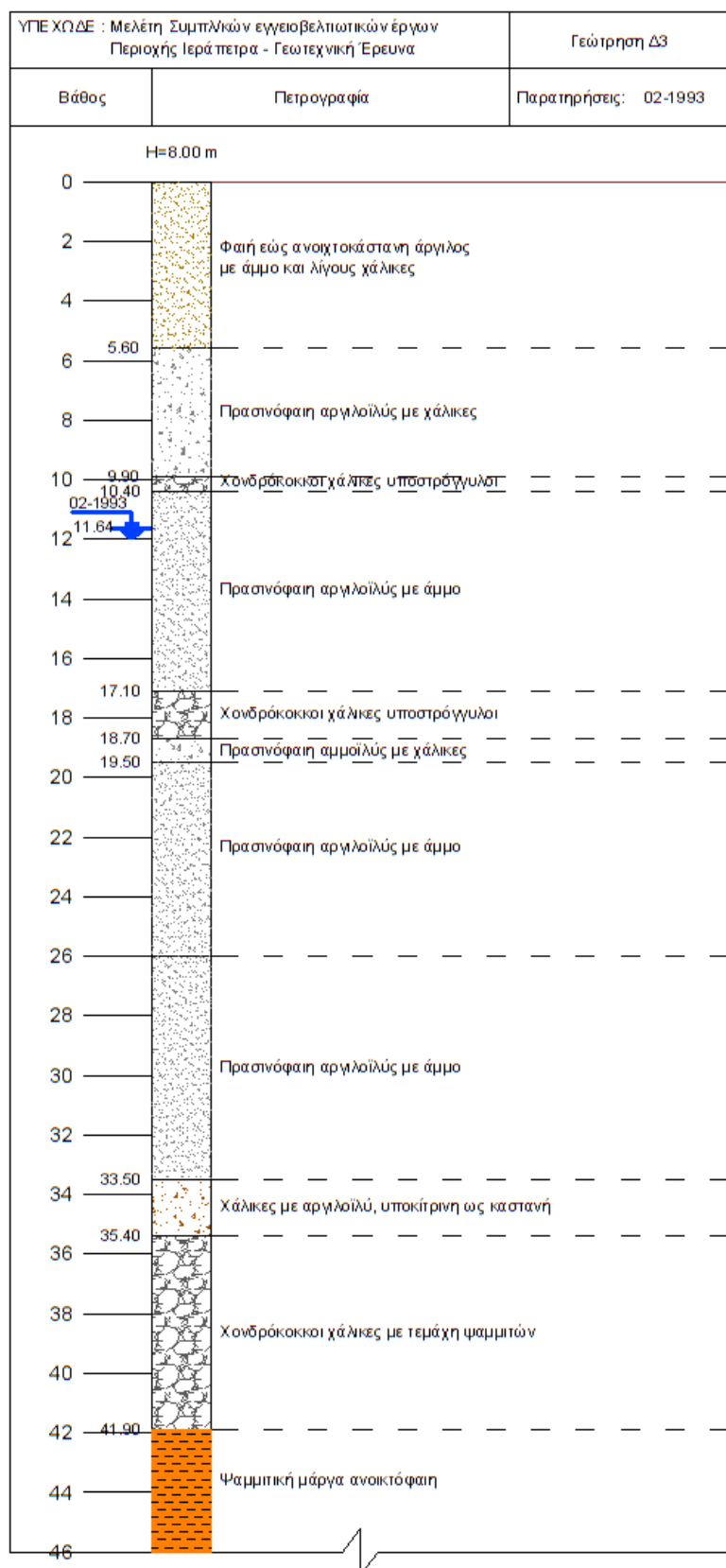






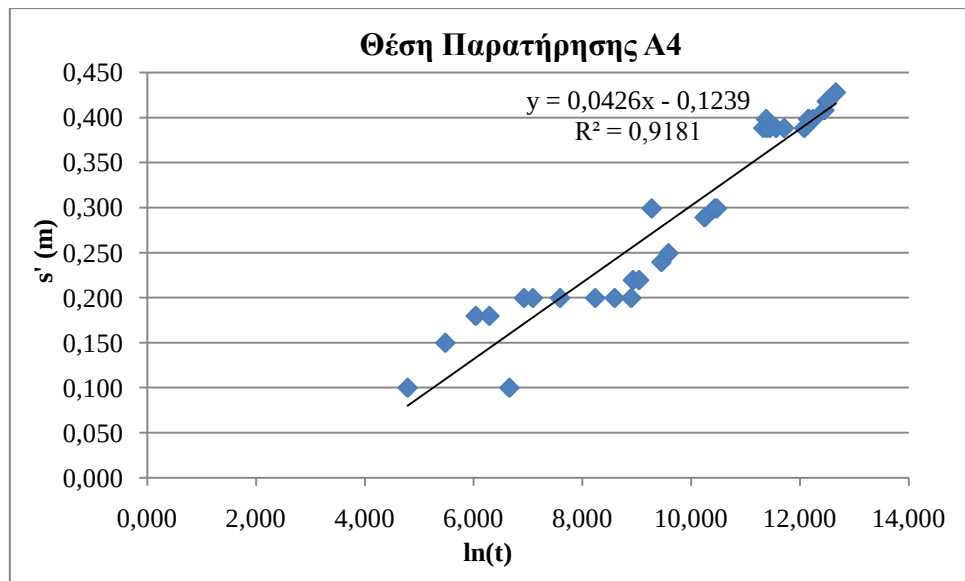




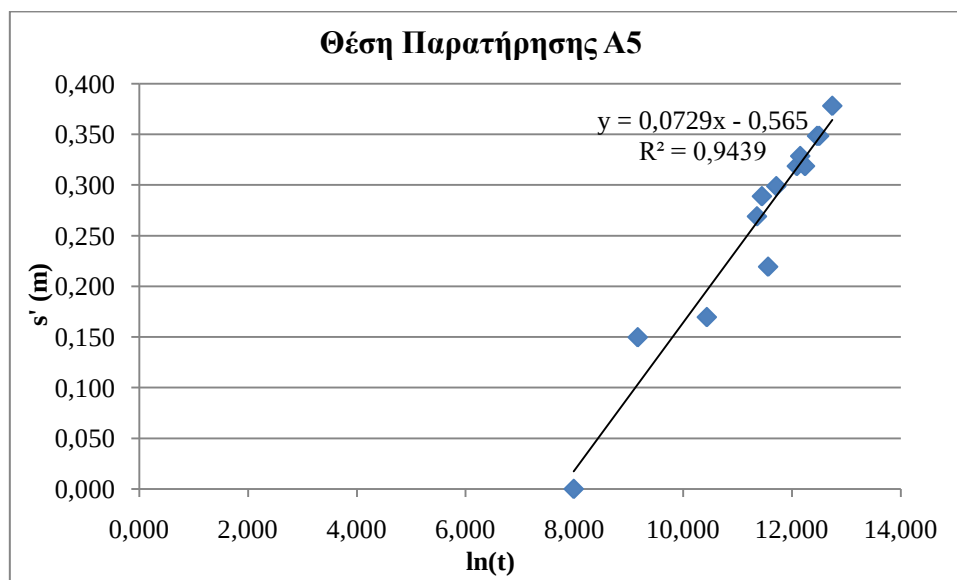


3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥΣ

A4				
X			64468	
Y			387603	
Z			24	
t (min)	t(sec)	Int	s	s'
2	120	4,787	0,100	0,100
3	180	5,193		
4	240	5,481	0,150	0,150
7	420	6,040	0,180	0,180
9	540	6,292	0,180	0,180
13	780	6,659	0,100	0,100
16	960	6,867		
17	1020	6,928	0,200	0,200
20	1200	7,090	0,200	0,200
33	1980	7,591	0,200	0,200
63	3780	8,237	0,200	0,200
90	5400	8,594	0,200	0,200
122	7320	8,898	0,200	0,200
126	7560	8,931	0,220	0,219
141	8460	9,043	0,220	0,219
178	10680	9,276	0,300	0,299
213	12780	9,456	0,240	0,239
242	14520	9,583	0,250	0,249
471	28260	10,249	0,290	0,289
567	34020	10,435	0,300	0,299
589	35340	10,473	0,300	0,299
1387	83220	11,329	0,390	0,388
1460	87600	11,381	0,400	0,398
1474	88440	11,390	0,390	0,388
1559	93540	11,446	0,390	0,388
1750	105000	11,562	0,390	0,388
2032	121920	11,711	0,390	0,388
2940	176400	12,081	0,390	0,388
3159	189540	12,152	0,400	0,398
3223	193380	12,172	0,400	0,398
3450	207000	12,240	0,400	0,398
4264	255840	12,452	0,410	0,408
4453	267180	12,496	0,420	0,418
4517	271020	12,510	0,420	0,418
5254	315240	12,661	0,430	0,428



A5				
X			644635	
Y			3875710	
Z			26,50	
Απόσταση από A4			125,40	
t (min)	t(sec)	ln t	s	s'
49	2940	7,986	0,000	0,000
159	9540	9,163	0,150	0,150
567	34020	10,435	0,170	0,170
1426	85560	11,357	0,270	0,269
1562	93720	11,448	0,290	0,289
1751	105060	11,562	0,220	0,219
2036	122160	11,713	0,300	0,299
2970	178200	12,091	0,320	0,319
3162	189720	12,153	0,330	0,329
3453	207180	12,241	0,320	0,319
4310	258600	12,463	0,350	0,348
4478	268680	12,501	0,350	0,348
5704	342240	12,743	0,380	0,378



A6				
X			644583	
Y			3875898	
Z			25,00	
Απόσταση από A4			319,00	
t (min)	t(sec)	Int	s	s'
60	3600	8,189	0,015	0,015
120	7200	8,882	0,030	0,030
180	10800	9,287	0,050	0,050
240	14400	9,575	0,076	0,076
300	18000	9,798	0,076	0,076
360	21600	9,980	0,091	0,091
420	25200	10,135	0,103	0,103
480	28800	10,268	0,123	0,123
540	32400	10,386	0,138	0,138
600	36000	10,491	0,140	0,140
660	39600	10,587	0,146	0,146
720	43200	10,674	0,146	0,146
780	46800	10,754	0,143	0,143
840	50400	10,828	0,149	0,149
845	50700	10,834	0,143	0,143
850	51000	10,840	0,138	0,138
855	51300	10,845	0,143	0,143
860	51600	10,851	0,140	0,140
865	51900	10,857	0,143	0,143
870	52200	10,863	0,140	0,140
875	52500	10,869	0,138	0,138
880	52800	10,874	0,138	0,138
885	53100	10,880	0,135	0,135
890	53400	10,886	0,143	0,143
895	53700	10,891	0,132	0,132
900	54000	10,897	0,143	0,143
905	54300	10,902	0,140	0,140
910	54600	10,908	0,146	0,146
915	54900	10,913	0,149	0,149
920	55200	10,919	0,140	0,140
925	55500	10,924	0,146	0,146
930	55800	10,930	0,149	0,149
935	56100	10,935	0,138	0,138
940	56400	10,940	0,132	0,132
945	56700	10,946	0,143	0,143
950	57000	10,951	0,161	0,161
955	57300	10,956	0,149	0,149
960	57600	10,961	0,149	0,149

965	57900	10,966	0,146	0,146
970	58200	10,972	0,146	0,146
975	58500	10,977	0,149	0,149
980	58800	10,982	0,138	0,138
985	59100	10,987	0,140	0,140
990	59400	10,992	0,140	0,140
995	59700	10,997	0,146	0,146
1000	60000	11,002	0,129	0,129
1005	60300	11,007	0,143	0,143
1010	60600	11,012	0,146	0,146
1015	60900	11,017	0,143	0,143
1020	61200	11,022	0,149	0,149
1025	61500	11,027	0,146	0,146
1030	61800	11,032	0,146	0,146
1035	62100	11,037	0,161	0,161
1040	62400	11,041	0,158	0,158
1045	62700	11,046	0,158	0,158
1050	63000	11,051	0,149	0,149
1055	63300	11,056	0,164	0,164
1060	63600	11,060	0,155	0,155
1065	63900	11,065	0,149	0,149
1070	64200	11,070	0,146	0,146
1075	64500	11,074	0,155	0,155
1080	64800	11,079	0,149	0,149
1085	65100	11,084	0,149	0,149
1090	65400	11,088	0,155	0,155
1095	65700	11,093	0,152	0,152
1100	66000	11,097	0,140	0,140
1105	66300	11,102	0,152	0,152
1110	66600	11,106	0,146	0,146
1115	66900	11,111	0,146	0,146
1120	67200	11,115	0,140	0,140
1125	67500	11,120	0,158	0,158
1130	67800	11,124	0,155	0,155
1135	68100	11,129	0,158	0,158
1140	68400	11,133	0,146	0,146
1145	68700	11,138	0,170	0,170
1150	69000	11,142	0,158	0,158
1155	69300	11,146	0,152	0,152
1160	69600	11,151	0,161	0,161
1165	69900	11,155	0,167	0,167
1170	70200	11,159	0,161	0,161
1175	70500	11,163	0,164	0,164
1180	70800	11,168	0,155	0,155

1185	71100	11,172	0,161	0,161
1190	71400	11,176	0,167	0,167
1195	71700	11,180	0,158	0,158
1200	72000	11,184	0,170	0,170
1205	72300	11,189	0,158	0,158
1210	72600	11,193	0,149	0,149
1215	72900	11,197	0,164	0,164
1220	73200	11,201	0,161	0,161
1225	73500	11,205	0,175	0,175
1230	73800	11,209	0,152	0,152
1235	74100	11,213	0,152	0,152
1240	74400	11,217	0,161	0,161
1245	74700	11,221	0,164	0,164
1250	75000	11,225	0,173	0,173
1255	75300	11,229	0,170	0,170
1260	75600	11,233	0,167	0,167
1265	75900	11,237	0,164	0,164
1270	76200	11,241	0,173	0,173
1275	76500	11,245	0,167	0,167
1280	76800	11,249	0,170	0,170
1285	77100	11,253	0,170	0,170
1290	77400	11,257	0,164	0,164
1295	77700	11,261	0,181	0,181
1300	78000	11,264	0,170	0,170
1305	78300	11,268	0,173	0,173
1310	78600	11,272	0,175	0,175
1315	78900	11,276	0,181	0,181
1320	79200	11,280	0,178	0,178
1325	79500	11,284	0,184	0,184
1330	79800	11,287	0,187	0,187
1335	80100	11,291	0,178	0,178
1340	80400	11,295	0,190	0,190
1345	80700	11,298	0,181	0,181
1350	81000	11,302	0,184	0,184
1355	81300	11,306	0,187	0,187
1360	81600	11,310	0,181	0,181
1365	81900	11,313	0,196	0,196
1370	82200	11,317	0,193	0,193
1375	82500	11,321	0,184	0,184
1380	82800	11,324	0,190	0,190
1385	83100	11,328	0,193	0,193
1390	83400	11,331	0,190	0,190
1395	83700	11,335	0,196	0,196
1400	84000	11,339	0,196	0,196

1405	84300	11,342	0,190	0,190
1410	84600	11,346	0,196	0,196
1415	84900	11,349	0,213	0,212
1420	85200	11,353	0,196	0,196
1425	85500	11,356	0,193	0,193
1430	85800	11,360	0,205	0,204
1435	86100	11,363	0,193	0,193
1440	86400	11,367	0,199	0,199
1445	86700	11,370	0,205	0,204
1450	87000	11,374	0,208	0,207
1455	87300	11,377	0,208	0,207
1460	87600	11,381	0,213	0,212
1465	87900	11,384	0,222	0,221
1470	88200	11,387	0,216	0,215
1475	88500	11,391	0,213	0,212
1480	88800	11,394	0,210	0,209
1485	89100	11,398	0,216	0,215
1490	89400	11,401	0,225	0,224
1495	89700	11,404	0,219	0,218
1500	90000	11,408	0,213	0,212
1505	90300	11,411	0,219	0,218
1510	90600	11,414	0,216	0,215
1515	90900	11,418	0,225	0,224
1520	91200	11,421	0,225	0,224
1525	91500	11,424	0,228	0,227
1530	91800	11,427	0,228	0,227
1535	92100	11,431	0,243	0,242
1540	92400	11,434	0,243	0,242
1545	92700	11,437	0,240	0,239
1550	93000	11,440	0,234	0,233
1555	93300	11,444	0,251	0,250
1560	93600	11,447	0,225	0,224
1565	93900	11,450	0,225	0,224
1570	94200	11,453	0,240	0,239
1575	94500	11,456	0,237	0,236
1580	94800	11,460	0,234	0,233
1585	95100	11,463	0,234	0,233
1590	95400	11,466	0,245	0,244
1595	95700	11,469	0,237	0,236
1600	96000	11,472	0,245	0,244
1605	96300	11,475	0,237	0,236
1610	96600	11,478	0,245	0,244
1615	96900	11,481	0,237	0,236
1620	97200	11,485	0,237	0,236

1625	97500	11,488	0,243	0,242
1630	97800	11,491	0,240	0,239
1635	98100	11,494	0,257	0,256
1640	98400	11,497	0,243	0,242
1645	98700	11,500	0,245	0,244
1650	99000	11,503	0,245	0,244
1655	99300	11,506	0,254	0,253
1660	99600	11,509	0,245	0,244
1665	99900	11,512	0,251	0,250
1670	100200	11,515	0,251	0,250
1675	100500	11,518	0,257	0,256
1680	100800	11,521	0,251	0,250
1685	101100	11,524	0,251	0,250
1690	101400	11,527	0,260	0,259
1695	101700	11,530	0,269	0,268
1700	102000	11,533	0,266	0,265
1705	102300	11,536	0,266	0,265
1710	102600	11,539	0,266	0,265
1715	102900	11,542	0,266	0,265
1720	103200	11,544	0,263	0,262
1725	103500	11,547	0,278	0,277
1730	103800	11,550	0,269	0,268
1735	104100	11,553	0,263	0,262
1740	104400	11,556	0,280	0,279
1745	104700	11,559	0,269	0,268
1750	105000	11,562	0,275	0,274
1755	105300	11,565	0,269	0,268
1760	105600	11,567	0,280	0,279
1765	105900	11,570	0,280	0,279
1770	106200	11,573	0,286	0,285
1775	106500	11,576	0,286	0,285
1780	106800	11,579	0,283	0,282
1785	107100	11,582	0,286	0,285
1790	107400	11,584	0,286	0,285
1795	107700	11,587	0,289	0,288
1800	108000	11,590	0,286	0,285
1805	108300	11,593	0,286	0,285
1810	108600	11,595	0,289	0,288
1815	108900	11,598	0,301	0,300
1820	109200	11,601	0,298	0,297
1825	109500	11,604	0,298	0,297
1830	109800	11,606	0,292	0,291
1835	110100	11,609	0,292	0,291
1840	110400	11,612	0,289	0,288

1845	110700	11,615	0,301	0,300
1850	111000	11,617	0,295	0,294
1855	111300	11,620	0,295	0,294
1860	111600	11,623	0,304	0,303
1865	111900	11,625	0,304	0,303
1870	112200	11,628	0,304	0,303
1875	112500	11,631	0,301	0,300
1880	112800	11,633	0,313	0,312
1885	113100	11,636	0,310	0,309
1890	113400	11,639	0,301	0,300
1895	113700	11,641	0,298	0,297
1900	114000	11,644	0,301	0,300
1905	114300	11,647	0,304	0,303
1910	114600	11,649	0,295	0,294
1915	114900	11,652	0,298	0,297
1920	115200	11,654	0,310	0,309
1925	115500	11,657	0,292	0,291
1930	115800	11,660	0,315	0,314
1935	116100	11,662	0,304	0,303
1940	116400	11,665	0,304	0,303
1945	116700	11,667	0,301	0,300
1950	117000	11,670	0,304	0,303
1955	117300	11,672	0,307	0,306
1960	117600	11,675	0,304	0,303
1965	117900	11,678	0,313	0,312
1970	118200	11,680	0,307	0,306
1975	118500	11,683	0,315	0,314
1980	118800	11,685	0,315	0,314
1985	119100	11,688	0,310	0,309
1990	119400	11,690	0,313	0,312
1995	119700	11,693	0,301	0,300
2000	120000	11,695	0,304	0,303
2005	120300	11,698	0,313	0,312
2010	120600	11,700	0,310	0,309
2015	120900	11,703	0,315	0,314
2020	121200	11,705	0,310	0,309
2025	121500	11,708	0,315	0,314
2030	121800	11,710	0,307	0,306
2035	122100	11,713	0,313	0,312
2040	122400	11,715	0,310	0,309
2045	122700	11,717	0,321	0,320
2050	123000	11,720	0,315	0,314
2055	123300	11,722	0,313	0,312
2060	123600	11,725	0,310	0,309

2065	123900	11,727	0,313	0,312
2070	124200	11,730	0,313	0,312
2075	124500	11,732	0,307	0,306
2080	124800	11,734	0,301	0,300
2085	125100	11,737	0,301	0,300
2090	125400	11,739	0,301	0,300
2095	125700	11,742	0,310	0,309
2100	126000	11,744	0,307	0,306
2105	126300	11,746	0,292	0,291
2110	126600	11,749	0,289	0,288
2115	126900	11,751	0,301	0,300
2120	127200	11,754	0,289	0,288
2125	127500	11,756	0,295	0,294
2130	127800	11,758	0,283	0,282
2135	128100	11,761	0,301	0,300
2140	128400	11,763	0,289	0,288
2145	128700	11,765	0,295	0,294
2150	129000	11,768	0,280	0,279
2155	129300	11,770	0,286	0,285
2160	129600	11,772	0,289	0,288
2165	129900	11,775	0,292	0,291
2170	130200	11,777	0,289	0,288
2175	130500	11,779	0,286	0,285
2180	130800	11,781	0,295	0,294
2185	131100	11,784	0,295	0,294
2190	131400	11,786	0,292	0,291
2195	131700	11,788	0,289	0,288
2200	132000	11,791	0,298	0,297
2205	132300	11,793	0,295	0,294
2210	132600	11,795	0,292	0,291
2215	132900	11,797	0,289	0,288
2220	133200	11,800	0,298	0,297
2225	133500	11,802	0,289	0,288
2230	133800	11,804	0,295	0,294
2235	134100	11,806	0,292	0,291
2240	134400	11,809	0,292	0,291
2245	134700	11,811	0,289	0,288
2250	135000	11,813	0,292	0,291
2255	135300	11,815	0,289	0,288
2260	135600	11,817	0,283	0,282
2265	135900	11,820	0,286	0,285
2270	136200	11,822	0,292	0,291
2275	136500	11,824	0,292	0,291
2280	136800	11,826	0,292	0,291

2285	137100	11,828	0,283	0,282
2290	137400	11,831	0,289	0,288
2295	137700	11,833	0,286	0,285
2300	138000	11,835	0,289	0,288
2305	138300	11,837	0,310	0,309
2310	138600	11,839	0,304	0,303
2315	138900	11,842	0,310	0,309
2320	139200	11,844	0,292	0,291
2325	139500	11,846	0,292	0,291
2330	139800	11,848	0,292	0,291
2335	140100	11,850	0,298	0,297
2340	140400	11,852	0,286	0,285
2345	140700	11,854	0,295	0,294
2350	141000	11,857	0,289	0,288
2355	141300	11,859	0,295	0,294
2360	141600	11,861	0,292	0,291
2365	141900	11,863	0,295	0,294
2370	142200	11,865	0,301	0,300
2375	142500	11,867	0,295	0,294
2380	142800	11,869	0,295	0,294
2385	143100	11,871	0,298	0,297
2390	143400	11,873	0,289	0,288
2395	143700	11,875	0,289	0,288
2400	144000	11,878	0,289	0,288
2405	144300	11,880	0,289	0,288
2410	144600	11,882	0,298	0,297
2415	144900	11,884	0,298	0,297
2420	145200	11,886	0,301	0,300
2425	145500	11,888	0,289	0,288
2430	145800	11,890	0,292	0,291
2435	146100	11,892	0,304	0,303
2440	146400	11,894	0,298	0,297
2445	146700	11,896	0,301	0,300
2450	147000	11,898	0,292	0,291
2455	147300	11,900	0,289	0,288
2460	147600	11,902	0,295	0,294
2465	147900	11,904	0,292	0,291
2470	148200	11,906	0,304	0,303
2475	148500	11,908	0,301	0,300
2480	148800	11,910	0,292	0,291
2485	149100	11,912	0,301	0,300
2490	149400	11,914	0,301	0,300
2495	149700	11,916	0,283	0,282
2500	150000	11,918	0,292	0,291

2505	150300	11,920	0,298	0,297
2510	150600	11,922	0,307	0,306
2515	150900	11,924	0,295	0,294
2520	151200	11,926	0,289	0,288
2525	151500	11,928	0,304	0,303
2530	151800	11,930	0,292	0,291
2535	152100	11,932	0,295	0,294
2540	152400	11,934	0,298	0,297
2545	152700	11,936	0,292	0,291
2550	153000	11,938	0,295	0,294
2555	153300	11,940	0,304	0,303
2560	153600	11,942	0,292	0,291
2565	153900	11,944	0,301	0,300
2570	154200	11,946	0,298	0,297
2575	154500	11,948	0,289	0,288
2580	154800	11,950	0,301	0,300
2585	155100	11,952	0,295	0,294
2590	155400	11,954	0,298	0,297
2595	155700	11,956	0,301	0,300
2600	156000	11,958	0,301	0,300
2605	156300	11,960	0,298	0,297
2610	156600	11,961	0,298	0,297
2615	156900	11,963	0,283	0,282
2620	157200	11,965	0,295	0,294
2625	157500	11,967	0,292	0,291
2630	157800	11,969	0,298	0,297
2635	158100	11,971	0,289	0,288
2640	158400	11,973	0,292	0,291
2645	158700	11,975	0,292	0,291
2650	159000	11,977	0,301	0,300
2655	159300	11,979	0,295	0,294
2660	159600	11,980	0,286	0,285
2665	159900	11,982	0,286	0,285
2670	160200	11,984	0,298	0,297
2675	160500	11,986	0,295	0,294
2680	160800	11,988	0,286	0,285
2685	161100	11,990	0,304	0,303
2690	161400	11,992	0,298	0,297
2695	161700	11,993	0,286	0,285
2700	162000	11,995	0,298	0,297
2705	162300	11,997	0,298	0,297
2710	162600	11,999	0,292	0,291
2715	162900	12,001	0,298	0,297
2720	163200	12,003	0,295	0,294

2725	163500	12,005	0,301	0,300
2730	163800	12,006	0,307	0,306
2735	164100	12,008	0,301	0,300
2740	164400	12,010	0,315	0,314
2745	164700	12,012	0,304	0,303
2750	165000	12,014	0,310	0,309
2755	165300	12,016	0,310	0,309
2760	165600	12,017	0,310	0,309
2765	165900	12,019	0,307	0,306
2770	166200	12,021	0,307	0,306
2775	166500	12,023	0,315	0,314
2780	166800	12,025	0,310	0,309
2785	167100	12,026	0,315	0,314
2790	167400	12,028	0,315	0,314
2795	167700	12,030	0,313	0,312
2800	168000	12,032	0,313	0,312
2805	168300	12,034	0,315	0,314
2810	168600	12,035	0,318	0,317
2815	168900	12,037	0,313	0,312
2820	169200	12,039	0,313	0,312
2825	169500	12,041	0,310	0,309
2830	169800	12,042	0,318	0,317
2835	170100	12,044	0,318	0,317
2840	170400	12,046	0,321	0,320
2845	170700	12,048	0,315	0,314
2850	171000	12,049	0,315	0,314
2855	171300	12,051	0,321	0,320
2860	171600	12,053	0,318	0,317
2865	171900	12,055	0,324	0,323
2870	172200	12,056	0,348	0,346
2875	172500	12,058	0,330	0,329
2880	172800	12,060	0,333	0,332
2885	173100	12,062	0,324	0,323
2890	173400	12,063	0,324	0,323
2895	173700	12,065	0,336	0,335
2900	174000	12,067	0,327	0,326
2905	174300	12,069	0,315	0,314
2910	174600	12,070	0,315	0,314
2915	174900	12,072	0,327	0,326
2920	175200	12,074	0,339	0,338
2925	175500	12,075	0,330	0,329
2930	175800	12,077	0,321	0,320
2935	176100	12,079	0,321	0,320
2940	176400	12,081	0,315	0,314

2945	176700	12,082	0,330	0,329
2950	177000	12,084	0,327	0,326
2955	177300	12,086	0,324	0,323
2960	177600	12,087	0,330	0,329
2965	177900	12,089	0,330	0,329
2970	178200	12,091	0,333	0,332
2975	178500	12,092	0,324	0,323
2980	178800	12,094	0,339	0,338
2985	179100	12,096	0,327	0,326
2990	179400	12,097	0,333	0,332
2995	179700	12,099	0,333	0,332
3000	180000	12,101	0,336	0,335
3005	180300	12,102	0,336	0,335
3010	180600	12,104	0,336	0,335
3015	180900	12,106	0,339	0,338
3020	181200	12,107	0,353	0,351
3025	181500	12,109	0,336	0,335
3030	181800	12,111	0,345	0,344
3035	182100	12,112	0,350	0,348
3040	182400	12,114	0,353	0,351
3045	182700	12,116	0,342	0,341
3050	183000	12,117	0,348	0,346
3055	183300	12,119	0,345	0,344
3060	183600	12,121	0,350	0,348
3065	183900	12,122	0,350	0,348
3070	184200	12,124	0,348	0,346
3075	184500	12,125	0,362	0,360
3080	184800	12,127	0,359	0,357
3085	185100	12,129	0,362	0,360
3090	185400	12,130	0,350	0,348
3095	185700	12,132	0,368	0,366
3100	186000	12,134	0,356	0,354
3105	186300	12,135	0,339	0,338
3110	186600	12,137	0,345	0,344
3115	186900	12,138	0,348	0,346
3120	187200	12,140	0,342	0,341
3125	187500	12,142	0,353	0,351
3130	187800	12,143	0,356	0,354
3135	188100	12,145	0,368	0,366
3140	188400	12,146	0,348	0,346
3145	188700	12,148	0,365	0,363
3150	189000	12,150	0,353	0,351
3155	189300	12,151	0,356	0,354
3160	189600	12,153	0,365	0,363

3165	189900	12,154	0,353	0,351
3170	190200	12,156	0,353	0,351
3175	190500	12,157	0,359	0,357
3180	190800	12,159	0,356	0,354
3185	191100	12,161	0,365	0,363
3190	191400	12,162	0,362	0,360
3195	191700	12,164	0,362	0,360
3200	192000	12,165	0,359	0,357
3205	192300	12,167	0,368	0,366
3210	192600	12,168	0,362	0,360
3215	192900	12,170	0,359	0,357
3220	193200	12,171	0,353	0,351
3225	193500	12,173	0,362	0,360
3230	193800	12,175	0,365	0,363
3235	194100	12,176	0,365	0,363
3240	194400	12,178	0,371	0,369
3245	194700	12,179	0,365	0,363
3250	195000	12,181	0,374	0,372
3255	195300	12,182	0,368	0,366
3260	195600	12,184	0,359	0,357
3265	195900	12,185	0,371	0,369
3270	196200	12,187	0,377	0,375
3275	196500	12,188	0,377	0,375
3280	196800	12,190	0,371	0,369
3285	197100	12,191	0,377	0,375
3290	197400	12,193	0,374	0,372
3295	197700	12,195	0,374	0,372
3300	198000	12,196	0,385	0,383
3305	198300	12,198	0,371	0,369
3310	198600	12,199	0,380	0,378
3315	198900	12,201	0,377	0,375
3320	199200	12,202	0,368	0,366
3325	199500	12,204	0,374	0,372
3330	199800	12,205	0,383	0,381
3335	200100	12,207	0,374	0,372
3340	200400	12,208	0,394	0,392
3345	200700	12,210	0,385	0,383
3350	201000	12,211	0,371	0,369
3355	201300	12,213	0,380	0,378
3360	201600	12,214	0,368	0,366
3365	201900	12,216	0,374	0,372
3370	202200	12,217	0,374	0,372
3375	202500	12,218	0,383	0,381
3380	202800	12,220	0,374	0,372

3385	203100	12,221	0,377	0,375
3390	203400	12,223	0,383	0,381
3395	203700	12,224	0,374	0,372
3400	204000	12,226	0,380	0,378
3405	204300	12,227	0,374	0,372
3410	204600	12,229	0,380	0,378
3415	204900	12,230	0,377	0,375
3420	205200	12,232	0,388	0,386
3425	205500	12,233	0,377	0,375
3430	205800	12,235	0,371	0,369
3435	206100	12,236	0,377	0,375
3440	206400	12,238	0,380	0,378
3445	206700	12,239	0,383	0,381
3450	207000	12,240	0,388	0,386
3455	207300	12,242	0,380	0,378
3460	207600	12,243	0,385	0,383
3465	207900	12,245	0,380	0,378
3470	208200	12,246	0,380	0,378
3475	208500	12,248	0,374	0,372
3480	208800	12,249	0,368	0,366
3485	209100	12,251	0,374	0,372
3490	209400	12,252	0,371	0,369
3495	209700	12,253	0,371	0,369
3500	210000	12,255	0,365	0,363
3505	210300	12,256	0,365	0,363
3510	210600	12,258	0,368	0,366
3515	210900	12,259	0,368	0,366
3520	211200	12,261	0,362	0,360
3525	211500	12,262	0,371	0,369
3530	211800	12,263	0,368	0,366
3535	212100	12,265	0,371	0,369
3540	212400	12,266	0,365	0,363
3545	212700	12,268	0,365	0,363
3550	213000	12,269	0,371	0,369
3555	213300	12,270	0,377	0,375
3560	213600	12,272	0,371	0,369
3565	213900	12,273	0,368	0,366
3570	214200	12,275	0,365	0,363
3575	214500	12,276	0,362	0,360
3580	214800	12,277	0,362	0,360
3585	215100	12,279	0,362	0,360
3590	215400	12,280	0,359	0,357
3595	215700	12,282	0,368	0,366
3600	216000	12,283	0,368	0,366

3605	216300	12,284	0,365	0,363
3610	216600	12,286	0,362	0,360
3615	216900	12,287	0,365	0,363
3620	217200	12,289	0,368	0,366
3625	217500	12,290	0,353	0,351
3630	217800	12,291	0,362	0,360
3635	218100	12,293	0,356	0,354
3640	218400	12,294	0,359	0,357
3645	218700	12,295	0,356	0,354
3650	219000	12,297	0,362	0,360
3655	219300	12,298	0,353	0,351
3660	219600	12,300	0,362	0,360
3665	219900	12,301	0,359	0,357
3670	220200	12,302	0,365	0,363
3675	220500	12,304	0,368	0,366
3680	220800	12,305	0,356	0,354
3685	221100	12,306	0,356	0,354
3690	221400	12,308	0,350	0,348
3695	221700	12,309	0,353	0,351
3700	222000	12,310	0,350	0,348
3705	222300	12,312	0,365	0,363
3710	222600	12,313	0,356	0,354
3715	222900	12,314	0,356	0,354
3720	223200	12,316	0,350	0,348
3725	223500	12,317	0,345	0,344
3730	223800	12,319	0,356	0,354
3735	224100	12,320	0,359	0,357
3740	224400	12,321	0,356	0,354
3745	224700	12,323	0,359	0,357
3750	225000	12,324	0,359	0,357
3755	225300	12,325	0,359	0,357
3760	225600	12,327	0,359	0,357
3765	225900	12,328	0,368	0,366
3770	226200	12,329	0,362	0,360
3775	226500	12,331	0,362	0,360
3780	226800	12,332	0,368	0,366
3785	227100	12,333	0,365	0,363
3790	227400	12,334	0,362	0,360
3795	227700	12,336	0,368	0,366
3800	228000	12,337	0,362	0,360
3805	228300	12,338	0,365	0,363
3810	228600	12,340	0,371	0,369
3815	228900	12,341	0,371	0,369
3820	229200	12,342	0,374	0,372

3825	229500	12,344	0,368	0,366
3830	229800	12,345	0,365	0,363
3835	230100	12,346	0,356	0,354
3840	230400	12,348	0,359	0,357
3845	230700	12,349	0,356	0,354
3850	231000	12,350	0,353	0,351
3855	231300	12,351	0,359	0,357
3860	231600	12,353	0,368	0,366
3865	231900	12,354	0,353	0,351
3870	232200	12,355	0,359	0,357
3875	232500	12,357	0,350	0,348
3880	232800	12,358	0,362	0,360
3885	233100	12,359	0,356	0,354
3890	233400	12,361	0,350	0,348
3895	233700	12,362	0,353	0,351
3900	234000	12,363	0,359	0,357
3905	234300	12,364	0,365	0,363
3910	234600	12,366	0,359	0,357
3915	234900	12,367	0,345	0,344
3920	235200	12,368	0,362	0,360
3925	235500	12,369	0,359	0,357
3930	235800	12,371	0,350	0,348
3935	236100	12,372	0,353	0,351
3940	236400	12,373	0,350	0,348
3945	236700	12,375	0,345	0,344
3950	237000	12,376	0,350	0,348
3955	237300	12,377	0,362	0,360
3960	237600	12,378	0,356	0,354
3965	237900	12,380	0,356	0,354
3970	238200	12,381	0,359	0,357
3975	238500	12,382	0,359	0,357
3980	238800	12,383	0,348	0,346
3985	239100	12,385	0,350	0,348
3990	239400	12,386	0,348	0,346
3995	239700	12,387	0,348	0,346
4000	240000	12,388	0,350	0,348
4005	240300	12,390	0,345	0,344
4010	240600	12,391	0,348	0,346
4015	240900	12,392	0,350	0,348
4020	241200	12,393	0,345	0,344
4025	241500	12,395	0,348	0,346
4030	241800	12,396	0,348	0,346
4035	242100	12,397	0,365	0,363
4040	242400	12,398	0,353	0,351

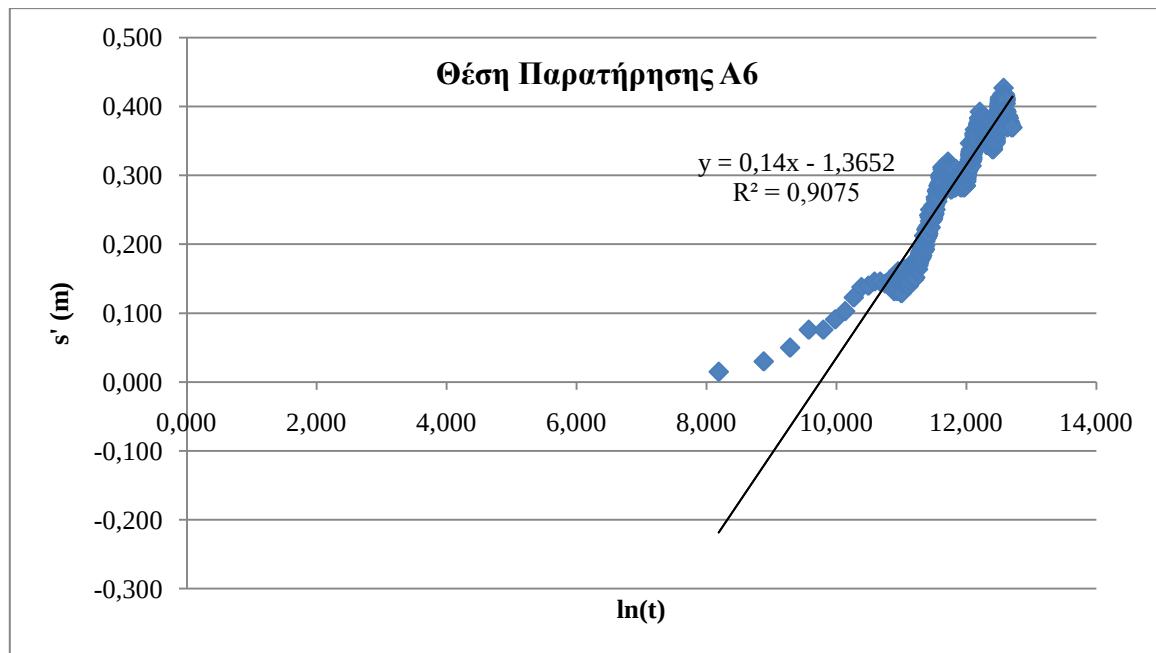
4045	242700	12,400	0,342	0,341
4050	243000	12,401	0,353	0,351
4055	243300	12,402	0,342	0,341
4060	243600	12,403	0,353	0,351
4065	243900	12,405	0,345	0,344
4070	244200	12,406	0,342	0,341
4075	244500	12,407	0,339	0,338
4080	244800	12,408	0,348	0,346
4085	245100	12,409	0,350	0,348
4090	245400	12,411	0,339	0,338
4095	245700	12,412	0,348	0,346
4100	246000	12,413	0,345	0,344
4105	246300	12,414	0,353	0,351
4110	246600	12,416	0,359	0,357
4115	246900	12,417	0,350	0,348
4120	247200	12,418	0,350	0,348
4125	247500	12,419	0,348	0,346
4130	247800	12,420	0,350	0,348
4135	248100	12,422	0,350	0,348
4140	248400	12,423	0,356	0,354
4145	248700	12,424	0,350	0,348
4150	249000	12,425	0,348	0,346
4155	249300	12,426	0,348	0,346
4160	249600	12,428	0,353	0,351
4165	249900	12,429	0,353	0,351
4170	250200	12,430	0,362	0,360
4175	250500	12,431	0,356	0,354
4180	250800	12,432	0,353	0,351
4185	251100	12,434	0,359	0,357
4190	251400	12,435	0,362	0,360
4195	251700	12,436	0,353	0,351
4200	252000	12,437	0,350	0,348
4205	252300	12,438	0,356	0,354
4210	252600	12,440	0,350	0,348
4215	252900	12,441	0,359	0,357
4220	253200	12,442	0,356	0,354
4225	253500	12,443	0,353	0,351
4230	253800	12,444	0,362	0,360
4235	254100	12,445	0,348	0,346
4240	254400	12,447	0,350	0,348
4245	254700	12,448	0,353	0,351
4250	255000	12,449	0,353	0,351
4255	255300	12,450	0,350	0,348
4260	255600	12,451	0,365	0,363

4265	255900	12,453	0,371	0,369
4270	256200	12,454	0,356	0,354
4275	256500	12,455	0,365	0,363
4280	256800	12,456	0,362	0,360
4285	257100	12,457	0,365	0,363
4290	257400	12,458	0,371	0,369
4295	257700	12,460	0,368	0,366
4300	258000	12,461	0,374	0,372
4305	258300	12,462	0,362	0,360
4310	258600	12,463	0,368	0,366
4315	258900	12,464	0,362	0,360
4320	259200	12,465	0,368	0,366
4325	259500	12,467	0,371	0,369
4330	259800	12,468	0,362	0,360
4335	260100	12,469	0,377	0,375
4340	260400	12,470	0,377	0,375
4345	260700	12,471	0,374	0,372
4350	261000	12,472	0,368	0,366
4355	261300	12,473	0,365	0,363
4360	261600	12,475	0,365	0,363
4365	261900	12,476	0,377	0,375
4370	262200	12,477	0,365	0,363
4375	262500	12,478	0,368	0,366
4380	262800	12,479	0,374	0,372
4385	263100	12,480	0,374	0,372
4390	263400	12,481	0,374	0,372
4395	263700	12,483	0,365	0,363
4400	264000	12,484	0,365	0,363
4405	264300	12,485	0,388	0,386
4410	264600	12,486	0,371	0,369
4415	264900	12,487	0,383	0,381
4420	265200	12,488	0,374	0,372
4425	265500	12,489	0,374	0,372
4430	265800	12,490	0,380	0,378
4435	266100	12,492	0,380	0,378
4440	266400	12,493	0,374	0,372
4445	266700	12,494	0,380	0,378
4450	267000	12,495	0,377	0,375
4455	267300	12,496	0,383	0,381
4460	267600	12,497	0,391	0,389
4465	267900	12,498	0,374	0,372
4470	268200	12,499	0,377	0,375
4475	268500	12,501	0,385	0,383
4480	268800	12,502	0,385	0,383

4485	269100	12,503	0,385	0,383
4490	269400	12,504	0,388	0,386
4495	269700	12,505	0,397	0,395
4500	270000	12,506	0,397	0,395
4505	270300	12,507	0,403	0,401
4510	270600	12,508	0,403	0,401
4515	270900	12,510	0,400	0,398
4520	271200	12,511	0,406	0,404
4525	271500	12,512	0,397	0,395
4530	271800	12,513	0,397	0,395
4535	272100	12,514	0,409	0,407
4540	272400	12,515	0,397	0,395
4545	272700	12,516	0,403	0,401
4550	273000	12,517	0,412	0,410
4555	273300	12,518	0,412	0,410
4560	273600	12,519	0,415	0,413
4565	273900	12,521	0,406	0,404
4570	274200	12,522	0,400	0,398
4575	274500	12,523	0,400	0,398
4580	274800	12,524	0,409	0,407
4585	275100	12,525	0,403	0,401
4590	275400	12,526	0,397	0,395
4595	275700	12,527	0,406	0,404
4600	276000	12,528	0,400	0,398
4605	276300	12,529	0,406	0,404
4610	276600	12,530	0,403	0,401
4615	276900	12,531	0,400	0,398
4620	277200	12,532	0,391	0,389
4625	277500	12,534	0,397	0,395
4630	277800	12,535	0,394	0,392
4635	278100	12,536	0,406	0,404
4640	278400	12,537	0,403	0,401
4645	278700	12,538	0,403	0,401
4650	279000	12,539	0,412	0,410
4655	279300	12,540	0,415	0,413
4660	279600	12,541	0,412	0,410
4665	279900	12,542	0,409	0,407
4670	280200	12,543	0,415	0,413
4675	280500	12,544	0,403	0,401
4680	280800	12,545	0,406	0,404
4685	281100	12,546	0,406	0,404
4690	281400	12,548	0,400	0,398
4695	281700	12,549	0,403	0,401
4700	282000	12,550	0,400	0,398

4705	282300	12,551	0,403	0,401
4710	282600	12,552	0,409	0,407
4715	282900	12,553	0,412	0,410
4720	283200	12,554	0,406	0,404
4725	283500	12,555	0,400	0,398
4730	283800	12,556	0,400	0,398
4735	284100	12,557	0,403	0,401
4740	284400	12,558	0,420	0,418
4745	284700	12,559	0,409	0,407
4750	285000	12,560	0,406	0,404
4755	285300	12,561	0,403	0,401
4760	285600	12,562	0,406	0,404
4765	285900	12,563	0,412	0,410
4770	286200	12,564	0,406	0,404
4775	286500	12,565	0,409	0,407
4780	286800	12,567	0,406	0,404
4785	287100	12,568	0,406	0,404
4790	287400	12,569	0,406	0,404
4795	287700	12,570	0,409	0,407
4800	288000	12,571	0,409	0,407
4805	288300	12,572	0,406	0,404
4810	288600	12,573	0,415	0,413
4815	288900	12,574	0,429	0,427
4820	289200	12,575	0,420	0,418
4825	289500	12,576	0,418	0,416
4830	289800	12,577	0,418	0,416
4835	290100	12,578	0,420	0,418
4840	290400	12,579	0,412	0,410
4845	290700	12,580	0,412	0,410
4850	291000	12,581	0,406	0,404
4855	291300	12,582	0,409	0,407
4860	291600	12,583	0,406	0,404
4865	291900	12,584	0,418	0,416
4870	292200	12,585	0,420	0,418
4875	292500	12,586	0,420	0,418
4880	292800	12,587	0,412	0,410
4885	293100	12,588	0,412	0,410
4890	293400	12,589	0,418	0,416
4895	293700	12,590	0,412	0,410
4900	294000	12,591	0,409	0,407
4905	294300	12,592	0,409	0,407
4910	294600	12,593	0,418	0,416
4915	294900	12,594	0,412	0,410
4920	295200	12,595	0,412	0,410

4925	295500	12,596	0,418	0,416
4930	295800	12,597	0,415	0,413
4935	296100	12,598	0,415	0,413
4940	296400	12,599	0,415	0,413
4945	296700	12,600	0,412	0,410
4950	297000	12,601	0,409	0,407
4955	297300	12,602	0,406	0,404
4960	297600	12,604	0,406	0,404
4965	297900	12,605	0,412	0,410
4970	298200	12,606	0,412	0,410
4975	298500	12,607	0,397	0,395
4980	298800	12,608	0,385	0,383
5040	302400	12,620	0,394	0,392
5100	306000	12,631	0,371	0,369
5160	309600	12,643	0,388	0,386
5220	313200	12,655	0,385	0,383
5280	316800	12,666	0,380	0,378
5340	320400	12,677	0,377	0,375
5400	324000	12,688	0,374	0,372
5460	327600	12,700	0,371	0,369
5520	331200	12,710	0,371	0,369



4. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΦΑΤΝΩΜΑΤΩΝ – ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ

Κόστος κατασκευής διαφράγματος με χρήση υδροφρέζας

Μήκος Φατνώματος (m)	3,00
Πλάτος Φατνώματος (m)	0,80
Τιμή Κατασκευής (€/m ³)	350

A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Συνολικό κόστος κατασκευής στοιχείου (€)
1	2,62	2.200,80
2	6,09	5.115,60
3	9,87	8.290,80
4	13,18	11.071,20
5	15,85	13.314,00
6	18,19	15.279,60
7	20,39	17.127,60
8	23,25	19.530,00
9	25,44	21.369,60
10	26,90	22.596,00
11	28,38	23.839,20
12	29,91	25.124,40
13	30,77	25.846,80
14	31,29	26.283,60
15	31,90	26.796,00
16	31,23	26.233,20
17	32,39	27.207,60
18	33,38	28.039,20
19	34,43	28.921,20
20	35,79	30.063,60
21	36,75	30.870,00
22	37,54	31.533,60
23	38,27	32.146,80
24	38,99	32.751,60
25	39,64	33.297,60
26	40,58	34.087,20
27	41,34	34.725,60
28	42,15	35.406,00
29	43,09	36.195,60
30	44,07	37.018,80
31	44,84	37.665,60
32	45,37	38.110,80
33	45,86	38.522,40
34	46,31	38.900,40
35	46,71	39.236,40
36	47,16	39.614,40
37	47,74	40.101,60
38	47,76	40.118,40
39	47,85	40.194,00

40	47,89	40.227,60
41	47,64	40.017,60
42	47,39	39.807,60
43	46,88	39.379,20
44	47,41	39.824,40
45	47,38	39.799,20
46	47,35	39.774,00
47	47,39	39.807,60
48	47,51	39.908,40
49	47,48	39.883,20
50	47,45	39.858,00
51	47,42	39.832,80
52	47,38	39.799,20
53	47,39	39.807,60
54	47,45	39.858,00
55	47,50	39.900,00
56	47,35	39.774,00
57	47,15	39.606,00
58	46,95	39.438,00
59	46,61	39.152,40
60	46,27	38.866,80
61	45,93	38.581,20
62	45,90	38.556,00
63	45,87	38.530,80
64	45,83	38.497,20
65	45,80	38.472,00
66	45,77	38.446,80
67	45,74	38.421,60
68	45,70	38.388,00
69	45,67	38.362,80
70	45,64	38.337,60
71	45,55	38.262,00
72	45,34	38.085,60
73	45,12	37.900,80
74	44,89	37.707,60
75	44,52	37.396,80
76	43,73	36.733,20
77	42,85	35.994,00
78	43,49	36.531,60
79	44,34	37.245,60
80	45,07	37.858,80
81	45,44	38.169,60
82	45,75	38.430,00
83	45,76	38.438,40
84	45,65	38.346,00
85	45,60	38.304,00
86	45,54	38.253,60
87	45,43	38.161,20
88	45,22	37.984,80
89	44,93	37.741,20

90	44,64	37.497,60
91	44,50	37.380,00
92	44,33	37.237,20
93	44,28	37.195,20
94	44,14	37.077,60
95	43,80	36.792,00
96	43,54	36.573,60
97	43,15	36.246,00
98	42,90	36.036,00
99	41,47	34.834,80
100	38,63	32.449,20
101	35,74	30.021,60
102	33,27	27.946,80
103	29,46	24.746,40
104	26,97	22.654,80
105	26,84	22.545,60
106	26,49	22.251,60
107	26,06	21.890,40
108	25,55	21.462,00
109	24,30	20.412,00
110	21,66	18.194,40
111	21,22	17.824,80
112	20,63	17.329,20
113	19,94	16.749,60
114	18,92	15.892,80
115	17,83	14.977,20
116	16,87	14.170,80
117	15,60	13.104,00
118	14,27	11.986,80
119	12,98	10.903,20
120	11,76	9.878,40
121	11,27	9.466,80
122	10,99	9.231,60
123	10,45	8.778,00
124	9,87	8.290,80
125	9,19	7.719,60
126	8,63	7.249,20
127	8,36	7.022,40
128	8,00	6.720,00
129	7,49	6.291,60
130	6,64	5.577,60
131	5,78	4.855,20
132	4,84	4.065,60
133	4,30	3.612,00
134	3,65	3.066,00
135	3,60	3.024,00
136	3,63	3.049,20
137	3,64	3.057,60
138	3,62	3.040,80
139	3,58	3.007,20

140	3,52	2.956,80
141	3,44	2.889,60
142	3,33	2.797,20
143	3,21	2.696,40
144	3,06	2.570,40
145	2,88	2.419,20
146	2,69	2.259,60
147	2,47	2.074,80
148	2,20	1.848,00
Συνολικό Κόστος Κατασκευής		3.935.106,00

Κόστος Διάτρησης για D = 1200 mm

	Τιμή ανά μέτρο μήκους διάτρησης (€/m)		Άρθρο 15.01.05: Διάνοιξη οπής 1200 mm σε μαλακά πετρώματα		Άρθρο 15.02.05: Διάνοιξη οπής 1200 mm σε σκληρά πετρώματα		
			185,00	231,25	410,00	512,50	
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Μήκος Στοιχείου χωρίς μήκος έμπνευ (m)	εώς 20,00 m	από 20,00 m	εώς 20,00 m	από 20,00 m	Συνολικό κόστος διάτρησης στοιχείου (€)
1	1,50	0			615,00		615,00
2	2,90	1,4	259,00		615,00		874,00
3	4,35	2,85	527,25		615,00		1.142,25
4	5,72	4,22	780,70		615,00		1.395,70
5	7,10	5,6	1.036,00		615,00		1.651,00
6	8,72	7,22	1.335,70		615,00		1.950,70
7	10,41	8,91	1.648,35		615,00		2.263,35
8	11,66	10,16	1.879,60		615,00		2.494,60
9	12,89	11,39	2.107,15		615,00		2.722,15
10	13,96	12,46	2.305,10		615,00		2.920,10
11	15,05	13,55	2.506,75		615,00		3.121,75
12	16,08	14,58	2.697,30		615,00		3.312,30
13	17,01	15,51	2.869,35		615,00		3.484,35
14	17,94	16,44	3.041,40		615,00		3.656,40
15	18,88	17,38	3.215,30		615,00		3.830,30
16	19,74	18,24	3.374,40		615,00		3.989,40
17	20,57	19,07	3.527,95		381,30	292,13	4.201,38
18	21,92	20,42	3.700,00	97,13		768,75	4.565,88
19	23,11	21,61	3.700,00	372,31		768,75	4.841,06
20	24,08	22,58	3.700,00	596,63		768,75	5.065,38
21	24,88	23,38	3.700,00	781,63		768,75	5.250,38
22	25,48	23,98	3.700,00	920,38		768,75	5.389,13
23	26,07	24,57	3.700,00	1.056,81		768,75	5.525,56
24	26,67	25,17	3.700,00	1.195,56		768,75	5.664,31
25	27,27	25,77	3.700,00	1.334,31		768,75	5.803,06
26	27,88	26,38	3.700,00	1.475,38		768,75	5.944,13
27	28,50	27	3.700,00	1.618,75		768,75	6.087,50
28	29,12	27,62	3.700,00	1.762,13		768,75	6.230,88
29	29,74	28,24	3.700,00	1.905,50		768,75	6.374,25
30	30,08	28,58	3.700,00	1.984,13		768,75	6.452,88
31	30,29	28,79	3.700,00	2.032,69		768,75	6.501,44
32	30,50	29	3.700,00	2.081,25		768,75	6.550,00
33	30,71	29,21	3.700,00	2.129,81		768,75	6.598,56
34	30,92	29,42	3.700,00	2.178,38		768,75	6.647,13
35	31,17	29,67	3.700,00	2.236,19		768,75	6.704,94
36	31,45	29,95	3.700,00	2.300,94		768,75	6.769,69
37	31,61	30,11	3.700,00	2.337,94		768,75	6.806,69
38	31,72	30,22	3.700,00	2.363,38		768,75	6.832,13
39	31,72	30,22	3.700,00	2.363,38		768,75	6.832,13
40	31,72	30,22	3.700,00	2.363,38		768,75	6.832,13
41	31,95	30,45	3.700,00	2.416,56		768,75	6.885,31
42	32,37	30,87	3.700,00	2.513,69		768,75	6.982,44
43	32,81	31,31	3.700,00	2.615,44		768,75	7.084,19
44	33,20	31,7	3.700,00	2.705,63		768,75	7.174,38
45	33,58	32,08	3.700,00	2.793,50		768,75	7.262,25
46	34,13	32,63	3.700,00	2.920,69		768,75	7.389,44
47	34,68	33,18	3.700,00	3.047,88		768,75	7.516,63
48	35,24	33,74	3.700,00	3.177,38		768,75	7.646,13
49	35,68	34,18	3.700,00	3.279,13		768,75	7.747,88
50	36,05	34,55	3.700,00	3.364,69		768,75	7.833,44
51	36,42	34,92	3.700,00	3.450,25		768,75	7.919,00
52	36,76	35,26	3.700,00	3.528,88		768,75	7.997,63
53	37,04	35,54	3.700,00	3.593,63		768,75	8.062,38
54	37,32	35,82	3.700,00	3.658,38		768,75	8.127,13
55	37,63	36,13	3.700,00	3.730,06		768,75	8.198,81
56	37,94	36,44	3.700,00	3.801,75		768,75	8.270,50
57	38,25	36,75	3.700,00	3.873,44		768,75	8.342,19

58	38,51	37,01	3.700,00	3.933,56		768,75	8.402,31
59	38,77	37,27	3.700,00	3.993,69		768,75	8.462,44
60	39,02	37,52	3.700,00	4.051,50		768,75	8.520,25
61	39,38	37,88	3.700,00	4.134,75		768,75	8.603,50
62	39,77	38,27	3.700,00	4.224,94		768,75	8.693,69
63	40,15	38,65	3.700,00	4.312,81		768,75	8.781,56
64	40,53	39,03	3.700,00	4.400,69		768,75	8.869,44
65	40,79	39,29	3.700,00	4.460,81		768,75	8.929,56
66	41,04	39,54	3.700,00	4.518,63		768,75	8.987,38
67	41,39	39,89	3.700,00	4.599,56		768,75	9.068,31
68	41,74	40,24	3.700,00	4.680,50		768,75	9.149,25
69	42,12	40,62	3.700,00	4.768,38		768,75	9.237,13
70	42,52	41,02	3.700,00	4.860,88		768,75	9.329,63
71	42,92	41,42	3.700,00	4.953,38		768,75	9.422,13
72	43,32	41,82	3.700,00	5.045,88		768,75	9.514,63
73	43,72	42,22	3.700,00	5.138,38		768,75	9.607,13
74	44,11	42,61	3.700,00	5.228,56		768,75	9.697,31
75	44,32	42,82	3.700,00	5.277,13		768,75	9.745,88
76	44,54	43,04	3.700,00	5.328,00		768,75	9.796,75
77	44,75	43,25	3.700,00	5.376,56		768,75	9.845,31
78	44,97	43,47	3.700,00	5.427,44		768,75	9.896,19
79	45,17	43,67	3.700,00	5.473,69		768,75	9.942,44
80	45,36	43,86	3.700,00	5.517,63		768,75	9.986,38
81	45,54	44,04	3.700,00	5.559,25		768,75	10.028,00
82	45,72	44,22	3.700,00	5.600,88		768,75	10.069,63
83	45,91	44,41	3.700,00	5.644,81		768,75	10.113,56
84	46,07	44,57	3.700,00	5.681,81		768,75	10.150,56
85	46,22	44,72	3.700,00	5.716,50		768,75	10.185,25
86	46,38	44,88	3.700,00	5.753,50		768,75	10.222,25
87	46,58	45,08	3.700,00	5.799,75		768,75	10.268,50
88	46,79	45,29	3.700,00	5.848,31		768,75	10.317,06
89	47,05	45,55	3.700,00	5.908,44		768,75	10.377,19
90	47,27	45,77	3.700,00	5.959,31		768,75	10.428,06
91	47,25	45,75	3.700,00	5.954,69		768,75	10.423,44
92	47,25	45,75	3.700,00	5.954,69		768,75	10.423,44
93	47,29	45,79	3.700,00	5.963,94		768,75	10.432,69
94	47,34	45,84	3.700,00	5.975,50		768,75	10.444,25
95	47,35	45,85	3.700,00	5.977,81		768,75	10.446,56
96	47,37	45,87	3.700,00	5.982,44		768,75	10.451,19
97	47,39	45,89	3.700,00	5.987,06		768,75	10.455,81
98	47,31	45,81	3.700,00	5.968,56		768,75	10.437,31
99	47,21	45,71	3.700,00	5.945,44		768,75	10.414,19
100	47,11	45,61	3.700,00	5.922,31		768,75	10.391,06
101	47,01	45,51	3.700,00	5.899,19		768,75	10.367,94
102	46,09	44,59	3.700,00	5.686,44		768,75	10.155,19
103	46,86	45,36	3.700,00	5.864,50		768,75	10.333,25
104	46,88	45,38	3.700,00	5.869,13		768,75	10.337,88
105	46,89	45,39	3.700,00	5.871,44		768,75	10.340,19
106	46,90	45,4	3.700,00	5.873,75		768,75	10.342,50
107	46,91	45,41	3.700,00	5.876,06		768,75	10.344,81
108	46,90	45,4	3.700,00	5.873,75		768,75	10.342,50
109	46,89	45,39	3.700,00	5.871,44		768,75	10.340,19
110	46,87	45,37	3.700,00	5.866,81		768,75	10.335,56
111	46,86	45,36	3.700,00	5.864,50		768,75	10.333,25
112	46,85	45,35	3.700,00	5.862,19		768,75	10.330,94
113	46,83	45,33	3.700,00	5.857,56		768,75	10.326,31
114	46,87	45,37	3.700,00	5.866,81		768,75	10.335,56
115	46,92	45,42	3.700,00	5.878,38		768,75	10.347,13
116	46,98	45,48	3.700,00	5.892,25		768,75	10.361,00
117	47,01	45,51	3.700,00	5.899,19		768,75	10.367,94
118	47,00	45,5	3.700,00	5.896,88		768,75	10.365,63
119	46,98	45,48	3.700,00	5.892,25		768,75	10.361,00
120	46,97	45,47	3.700,00	5.889,94		768,75	10.358,69
121	46,96	45,46	3.700,00	5.887,63		768,75	10.356,38
122	46,94	45,44	3.700,00	5.883,00		768,75	10.351,75
123	46,93	45,43	3.700,00	5.880,69		768,75	10.349,44
124	46,92	45,42	3.700,00	5.878,38		768,75	10.347,13
125	46,91	45,41	3.700,00	5.876,06		768,75	10.344,81
126	46,89	45,39	3.700,00	5.871,44		768,75	10.340,19

127	46,88	45,38	3.700,00	5.869,13		768,75	10.337,88
128	46,87	45,37	3.700,00	5.866,81		768,75	10.335,56
129	46,89	45,39	3.700,00	5.871,44		768,75	10.340,19
130	46,92	45,42	3.700,00	5.878,38		768,75	10.347,13
131	46,94	45,44	3.700,00	5.883,00		768,75	10.351,75
132	46,96	45,46	3.700,00	5.887,63		768,75	10.356,38
133	46,98	45,48	3.700,00	5.892,25		768,75	10.361,00
134	47,00	45,5	3.700,00	5.896,88		768,75	10.365,63
135	46,96	45,46	3.700,00	5.887,63		768,75	10.356,38
136	46,88	45,38	3.700,00	5.869,13		768,75	10.337,88
137	46,80	45,3	3.700,00	5.850,63		768,75	10.319,38
138	46,72	45,22	3.700,00	5.832,13		768,75	10.300,88
139	46,64	45,14	3.700,00	5.813,63		768,75	10.282,38
140	46,56	45,06	3.700,00	5.795,13		768,75	10.263,88
141	46,48	44,98	3.700,00	5.776,63		768,75	10.245,38
142	46,36	44,86	3.700,00	5.748,88		768,75	10.217,63
143	46,22	44,72	3.700,00	5.716,50		768,75	10.185,25
144	46,09	44,59	3.700,00	5.686,44		768,75	10.155,19
145	45,95	44,45	3.700,00	5.654,06		768,75	10.122,81
146	45,81	44,31	3.700,00	5.621,69		768,75	10.090,44
147	45,67	44,17	3.700,00	5.589,31		768,75	10.058,06
148	45,53	44,03	3.700,00	5.556,94		768,75	10.025,69
149	45,43	43,93	3.700,00	5.533,81		768,75	10.002,56
150	45,41	43,91	3.700,00	5.529,19		768,75	9.997,94
151	45,40	43,9	3.700,00	5.526,88		768,75	9.995,63
152	45,39	43,89	3.700,00	5.524,56		768,75	9.993,31
153	45,38	43,88	3.700,00	5.522,25		768,75	9.991,00
154	45,36	43,86	3.700,00	5.517,63		768,75	9.986,38
155	45,35	43,85	3.700,00	5.515,31		768,75	9.984,06
156	45,34	43,84	3.700,00	5.513,00		768,75	9.981,75
157	45,32	43,82	3.700,00	5.508,38		768,75	9.977,13
158	45,31	43,81	3.700,00	5.506,06		768,75	9.974,81
159	45,30	43,8	3.700,00	5.503,75		768,75	9.972,50
160	45,28	43,78	3.700,00	5.499,13		768,75	9.967,88
161	45,27	43,77	3.700,00	5.496,81		768,75	9.965,56
162	45,26	43,76	3.700,00	5.494,50		768,75	9.963,25
163	45,24	43,74	3.700,00	5.489,88		768,75	9.958,63
164	45,23	43,73	3.700,00	5.487,56		768,75	9.956,31
165	45,22	43,72	3.700,00	5.485,25		768,75	9.954,00
166	45,20	43,7	3.700,00	5.480,63		768,75	9.949,38
167	45,19	43,69	3.700,00	5.478,31		768,75	9.947,06
168	45,18	43,68	3.700,00	5.476,00		768,75	9.944,75
169	45,16	43,66	3.700,00	5.471,38		768,75	9.940,13
170	45,15	43,65	3.700,00	5.469,06		768,75	9.937,81
171	45,14	43,64	3.700,00	5.466,75		768,75	9.935,50
172	45,12	43,62	3.700,00	5.462,13		768,75	9.930,88
173	45,07	43,57	3.700,00	5.450,56		768,75	9.919,31
174	44,99	43,49	3.700,00	5.432,06		768,75	9.900,81
175	44,90	43,4	3.700,00	5.411,25		768,75	9.880,00
176	44,81	43,31	3.700,00	5.390,44		768,75	9.859,19
177	44,72	43,22	3.700,00	5.369,63		768,75	9.838,38
178	44,64	43,14	3.700,00	5.351,13		768,75	9.819,88
179	44,55	43,05	3.700,00	5.330,31		768,75	9.799,06
180	44,45	42,95	3.700,00	5.307,19		768,75	9.775,94
181	44,35	42,85	3.700,00	5.284,06		768,75	9.752,81
182	44,24	42,74	3.700,00	5.258,63		768,75	9.727,38
183	44,04	42,54	3.700,00	5.212,38		768,75	9.681,13
184	43,78	42,28	3.700,00	5.152,25		768,75	9.621,00
185	43,42	41,92	3.700,00	5.069,00		768,75	9.537,75
186	43,04	41,54	3.700,00	4.981,13		768,75	9.449,88
187	42,51	41,01	3.700,00	4.858,56		768,75	9.327,31
188	42,35	40,85	3.700,00	4.821,56		768,75	9.290,31
189	42,34	40,84	3.700,00	4.819,25		768,75	9.288,00
190	42,80	41,3	3.700,00	4.925,63		768,75	9.394,38
191	43,16	41,66	3.700,00	5.008,88		768,75	9.477,63
192	43,59	42,09	3.700,00	5.108,31		768,75	9.577,06
193	43,85	42,35	3.700,00	5.168,44		768,75	9.637,19
194	44,20	42,7	3.700,00	5.249,38		768,75	9.718,13
195	44,55	43,05	3.700,00	5.330,31		768,75	9.799,06

196	44,68	43,18	3.700,00	5.360,38		768,75	9.829,13
197	44,85	43,35	3.700,00	5.399,69		768,75	9.868,44
198	44,97	43,47	3.700,00	5.427,44		768,75	9.896,19
199	45,12	43,62	3.700,00	5.462,13		768,75	9.930,88
200	45,23	43,73	3.700,00	5.487,56		768,75	9.956,31
201	45,29	43,79	3.700,00	5.501,44		768,75	9.970,19
202	45,28	43,78	3.700,00	5.499,13		768,75	9.967,88
203	45,25	43,75	3.700,00	5.492,19		768,75	9.960,94
204	45,19	43,69	3.700,00	5.478,31		768,75	9.947,06
205	45,15	43,65	3.700,00	5.469,06		768,75	9.937,81
206	45,14	43,64	3.700,00	5.466,75		768,75	9.935,50
207	45,12	43,62	3.700,00	5.462,13		768,75	9.930,88
208	45,09	43,59	3.700,00	5.455,19		768,75	9.923,94
209	45,07	43,57	3.700,00	5.450,56		768,75	9.919,31
210	45,04	43,54	3.700,00	5.443,63		768,75	9.912,38
211	45,00	43,5	3.700,00	5.434,38		768,75	9.903,13
212	44,95	43,45	3.700,00	5.422,81		768,75	9.891,56
213	44,91	43,41	3.700,00	5.413,56		768,75	9.882,31
214	44,84	43,34	3.700,00	5.397,38		768,75	9.866,13
215	44,72	43,22	3.700,00	5.369,63		768,75	9.838,38
216	44,60	43,1	3.700,00	5.341,88		768,75	9.810,63
217	44,48	42,98	3.700,00	5.314,13		768,75	9.782,88
218	44,36	42,86	3.700,00	5.286,38		768,75	9.755,13
219	44,25	42,75	3.700,00	5.260,94		768,75	9.729,69
220	44,13	42,63	3.700,00	5.233,19		768,75	9.701,94
221	44,02	42,52	3.700,00	5.207,75		768,75	9.676,50
222	44,01	42,51	3.700,00	5.205,44		768,75	9.674,19
223	43,98	42,48	3.700,00	5.198,50		768,75	9.667,25
224	43,90	42,4	3.700,00	5.180,00		768,75	9.648,75
225	43,81	42,31	3.700,00	5.159,19		768,75	9.627,94
226	43,79	42,29	3.700,00	5.154,56		768,75	9.623,31
227	43,78	42,28	3.700,00	5.152,25		768,75	9.621,00
228	43,77	42,27	3.700,00	5.149,94		768,75	9.618,69
229	43,75	42,25	3.700,00	5.145,31		768,75	9.614,06
230	43,60	42,1	3.700,00	5.110,63		768,75	9.579,38
231	43,43	41,93	3.700,00	5.071,31		768,75	9.540,06
232	43,31	41,81	3.700,00	5.043,56		768,75	9.512,31
233	43,23	41,73	3.700,00	5.025,06		768,75	9.493,81
234	43,14	41,64	3.700,00	5.004,25		768,75	9.473,00
235	42,98	41,48	3.700,00	4.967,25		768,75	9.436,00
236	42,83	41,33	3.700,00	4.932,56		768,75	9.401,31
237	42,68	41,18	3.700,00	4.897,88		768,75	9.366,63
238	42,60	41,1	3.700,00	4.879,38		768,75	9.348,13
239	42,59	41,09	3.700,00	4.877,06		768,75	9.345,81
240	42,24	40,74	3.700,00	4.796,13		768,75	9.264,88
241	41,70	40,2	3.700,00	4.671,25		768,75	9.140,00
242	40,97	39,47	3.700,00	4.502,44		768,75	8.971,19
243	39,91	38,41	3.700,00	4.257,31		768,75	8.726,06
244	38,75	37,25	3.700,00	3.989,06		768,75	8.457,81
245	37,34	35,84	3.700,00	3.663,00		768,75	8.131,75
246	36,21	34,71	3.700,00	3.401,69		768,75	7.870,44
247	35,15	33,65	3.700,00	3.156,56		768,75	7.625,31
248	34,22	32,72	3.700,00	2.941,50		768,75	7.410,25
249	33,16	31,66	3.700,00	2.696,38		768,75	7.165,13
250	31,57	30,07	3.700,00	2.328,69		768,75	6.797,44
251	29,91	28,41	3.700,00	1.944,81		768,75	6.413,56
252	28,81	27,31	3.700,00	1.690,44		768,75	6.159,19
253	26,85	25,35	3.700,00	1.237,19		768,75	5.705,94
254	26,48	24,98	3.700,00	1.151,63		768,75	5.620,38
255	26,46	24,96	3.700,00	1.147,00		768,75	5.615,75
256	26,40	24,9	3.700,00	1.133,13		768,75	5.601,88
257	26,31	24,81	3.700,00	1.112,31		768,75	5.581,06
258	26,17	24,67	3.700,00	1.079,94		768,75	5.548,69
259	26,02	24,52	3.700,00	1.045,25		768,75	5.514,00
260	25,86	24,36	3.700,00	1.008,25		768,75	5.477,00
261	25,70	24,2	3.700,00	971,25		768,75	5.440,00
262	25,49	23,99	3.700,00	922,69		768,75	5.391,44
263	25,28	23,78	3.700,00	874,13		768,75	5.342,88
264	25,07	23,57	3.700,00	825,56		768,75	5.294,31

265	24,86	23,36	3.700,00	777,00		768,75	5.245,75
266	24,64	23,14	3.700,00	726,13		768,75	5.194,88
267	22,05	20,55	3.700,00	127,19		768,75	4.595,94
268	21,35	19,85	3.672,25		61,50	691,88	4.425,63
269	21,16	19,66	3.637,10		139,40	594,50	4.371,00
270	20,97	19,47	3.601,95		217,30	497,12	4.316,38
271	20,80	19,3	3.570,50		287,00	410,00	4.267,50
272	20,57	19,07	3.527,95		381,30	292,13	4.201,38
273	20,39	18,89	3.494,65		455,10	199,88	4.149,63
274	20,11	18,61	3.442,85		569,90	56,37	4.069,13
275	19,82	18,32	3.389,20		615,00		4.004,20
276	19,54	18,04	3.337,40		615,00		3.952,40
277	19,19	17,69	3.272,65		615,00		3.887,65
278	18,77	17,27	3.194,95		615,00		3.809,95
279	18,34	16,84	3.115,40		615,00		3.730,40
280	17,90	16,4	3.034,00		615,00		3.649,00
281	17,45	15,95	2.950,75		615,00		3.565,75
282	17,10	15,6	2.886,00		615,00		3.501,00
283	16,77	15,27	2.824,95		615,00		3.439,95
284	16,22	14,72	2.723,20		615,00		3.338,20
285	15,66	14,16	2.619,60		615,00		3.234,60
286	15,18	13,68	2.530,80		615,00		3.145,80
287	14,70	13,2	2.442,00		615,00		3.057,00
288	14,11	12,61	2.332,85		615,00		2.947,85
289	13,57	12,07	2.232,95		615,00		2.847,95
290	13,04	11,54	2.134,90		615,00		2.749,90
291	12,52	11,02	2.038,70		615,00		2.653,70
292	12,06	10,56	1.953,60		615,00		2.568,60
293	11,54	10,04	1.857,40		615,00		2.472,40
294	11,12	9,62	1.779,70		615,00		2.394,70
295	10,91	9,41	1.740,85		615,00		2.355,85
296	10,77	9,27	1.714,95		615,00		2.329,95
297	10,66	9,16	1.694,60		615,00		2.309,60
298	10,57	9,07	1.677,95		615,00		2.292,95
299	10,37	8,87	1.640,95		615,00		2.255,95
300	10,15	8,65	1.600,25		615,00		2.215,25
301	9,93	8,43	1.559,55		615,00		2.174,55
302	9,72	8,22	1.520,70		615,00		2.135,70
303	9,47	7,97	1.474,45		615,00		2.089,45
304	9,20	7,7	1.424,50		615,00		2.039,50
305	8,92	7,42	1.372,70		615,00		1.987,70
306	8,63	7,13	1.319,05		615,00		1.934,05
307	8,34	6,84	1.265,40		615,00		1.880,40
308	8,16	6,66	1.232,10		615,00		1.847,10
309	8,04	6,54	1.209,90		615,00		1.824,90
310	7,94	6,44	1.191,40		615,00		1.806,40
311	7,83	6,33	1.171,05		615,00		1.786,05
312	7,73	6,23	1.152,55		615,00		1.767,55
313	7,54	6,04	1.117,40		615,00		1.732,40
314	7,35	5,85	1.082,25		615,00		1.697,25
315	7,14	5,64	1.043,40		615,00		1.658,40
316	6,90	5,4	999,00		615,00		1.614,00
317	6,56	5,06	936,10		615,00		1.551,10
318	6,17	4,67	863,95		615,00		1.478,95
319	5,90	4,4	814,00		615,00		1.429,00
320	5,54	4,04	747,40		615,00		1.362,40
321	5,08	3,58	662,30		615,00		1.277,30
322	4,76	3,26	603,10		615,00		1.218,10
323	4,34	2,84	525,40		615,00		1.140,40
324	4,07	2,57	475,45		615,00		1.090,45
325	3,88	2,38	440,30		615,00		1.055,30
326	3,68	2,18	403,30		615,00		1.018,30
327	3,41	1,91	353,35		615,00		968,35
328	3,13	1,63	301,55		615,00		916,55
329	3,10	1,6	296,00		615,00		911,00
330	3,10	1,6	296,00		615,00		911,00
331	3,11	1,61	297,85		615,00		912,85
332	3,12	1,62	299,70		615,00		914,70
333	3,13	1,63	301,55		615,00		916,55

334	3,14	1,64	303,40		615,00		918,40
335	3,14	1,64	303,40		615,00		918,40
336	3,14	1,64	303,40		615,00		918,40
337	3,13	1,63	301,55		615,00		916,55
338	3,12	1,62	299,70		615,00		914,70
339	3,10	1,6	296,00		615,00		911,00
340	3,09	1,59	294,15		615,00		909,15
341	3,06	1,56	288,60		615,00		903,60
342	3,04	1,54	284,90		615,00		899,90
343	3,01	1,51	279,35		615,00		894,35
344	2,98	1,48	273,80		615,00		888,80
345	2,94	1,44	266,40		615,00		881,40
346	2,90	1,4	259,00		615,00		874,00
347	2,86	1,36	251,60		615,00		866,60
348	2,81	1,31	242,35		615,00		857,35
349	2,76	1,26	233,10		615,00		848,10
350	2,71	1,21	223,85		615,00		838,85
351	2,65	1,15	212,75		615,00		827,75
352	2,59	1,09	201,65		615,00		816,65
353	2,52	1,02	188,70		615,00		803,70
354	2,45	0,95	175,75		615,00		790,75
355	2,38	0,88	162,80		615,00		777,80
356	2,30	0,8	148,00		615,00		763,00
357	2,22	0,72	133,20		615,00		748,20
358	2,14	0,64	118,40		615,00		733,40
359	2,05	0,55	101,75		615,00		716,75
360	1,96	0,46	85,10		615,00		700,10
361	1,85	0,35	64,75		615,00		679,75
362	1,73	0,23	42,55		615,00		657,55
363	1,62	0,12	22,20		615,00		637,20
364	1,50	0			615,00		615,00
					Συνολικό κόστος διατήρησης (€)		2.483.761,31

Κόστος τσιμέντου - μπεντονίτη, D=1200 mm

Τιμή μίγματος τσιμέντου-μπετονίτη (€/m ³)			161,90
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Όγκος κάθε στοιχείου (m ³)	Κόστος τσιμέντου-μπετονίτη (€)
1	1,50	1,70	274,66
2	2,90	3,28	531,00
3	4,35	4,92	796,50
4	5,72	6,47	1.047,36
5	7,10	8,03	1.300,04
6	8,72	9,86	1.596,67
7	10,41	11,77	1.906,12
8	11,66	13,19	2.135,00
9	12,89	14,58	2.360,22
10	13,96	15,79	2.556,14
11	15,05	17,02	2.755,72
12	16,08	18,19	2.944,32
13	17,01	19,24	3.114,61
14	17,94	20,29	3.284,90
15	18,88	21,35	3.457,01
16	19,74	22,33	3.614,48
17	20,57	23,26	3.766,46
18	21,92	24,79	4.013,65
19	23,11	26,14	4.231,55
20	24,08	27,23	4.409,16
21	24,88	28,14	4.555,64
22	25,48	28,82	4.665,50
23	26,07	29,48	4.773,54
24	26,67	30,16	4.883,40
25	27,27	30,84	4.993,26
26	27,88	31,53	5.104,96
27	28,50	32,23	5.218,48
28	29,12	32,93	5.332,01
29	29,74	33,64	5.445,53
30	30,08	34,02	5.507,79
31	30,29	34,26	5.546,24
32	30,50	34,49	5.584,69
33	30,71	34,73	5.623,14
34	30,92	34,97	5.661,59
35	31,17	35,25	5.707,37
36	31,45	35,57	5.758,64
37	31,61	35,75	5.787,94
38	31,72	35,87	5.808,08
39	31,72	35,87	5.808,08
40	31,72	35,87	5.808,08
41	31,95	36,13	5.850,19
42	32,37	36,61	5.927,10
43	32,81	37,11	6.007,66
44	33,20	37,55	6.079,07
45	33,58	37,98	6.148,65
46	34,13	38,60	6.249,36
47	34,68	39,22	6.350,07
48	35,24	39,86	6.452,61
49	35,68	40,35	6.533,17
50	36,05	40,77	6.600,92
51	36,42	41,19	6.668,67
52	36,76	41,57	6.730,92
53	37,04	41,89	6.782,19
54	37,32	42,21	6.833,46
55	37,63	42,56	6.890,23
56	37,94	42,91	6.946,99
57	38,25	43,26	7.003,75
58	38,51	43,55	7.051,36
59	38,77	43,85	7.098,96

60	39,02	44,13	7.144,74
61	39,38	44,54	7.210,66
62	39,77	44,98	7.282,07
63	40,15	45,41	7.351,65
64	40,53	45,84	7.421,23
65	40,79	46,13	7.468,84
66	41,04	46,42	7.514,61
67	41,39	46,81	7.578,70
68	41,74	47,21	7.642,79
69	42,12	47,64	7.712,37
70	42,52	48,09	7.785,61
71	42,92	48,54	7.858,85
72	43,32	48,99	7.932,09
73	43,72	49,45	8.005,33
74	44,11	49,89	8.076,74
75	44,32	50,12	8.115,20
76	44,54	50,37	8.155,48
77	44,75	50,61	8.193,93
78	44,97	50,86	8.234,21
79	45,17	51,09	8.270,83
80	45,36	51,30	8.305,62
81	45,54	51,50	8.338,58
82	45,72	51,71	8.371,54
83	45,91	51,92	8.406,33
84	46,07	52,10	8.435,63
85	46,22	52,27	8.463,09
86	46,38	52,45	8.492,39
87	46,58	52,68	8.529,01
88	46,79	52,92	8.567,46
89	47,05	53,21	8.615,07
90	47,27	53,46	8.655,35
91	47,25	53,44	8.651,69
92	47,25	53,44	8.651,69
93	47,29	53,48	8.659,02
94	47,34	53,54	8.668,17
95	47,35	53,55	8.670,00
96	47,37	53,57	8.673,66
97	47,39	53,60	8.677,33
98	47,31	53,51	8.662,68
99	47,21	53,39	8.644,37
100	47,11	53,28	8.626,06
101	47,01	53,17	8.607,75
102	46,09	52,13	8.439,29
103	46,86	53,00	8.580,28
104	46,88	53,02	8.583,94
105	46,89	53,03	8.585,77
106	46,90	53,04	8.587,61
107	46,91	53,05	8.589,44
108	46,90	53,04	8.587,61
109	46,89	53,03	8.585,77
110	46,87	53,01	8.582,11
111	46,86	53,00	8.580,28
112	46,85	52,99	8.578,45
113	46,83	52,96	8.574,79
114	46,87	53,01	8.582,11
115	46,92	53,07	8.591,27
116	46,98	53,13	8.602,25
117	47,01	53,17	8.607,75
118	47,00	53,16	8.605,92
119	46,98	53,13	8.602,25
120	46,97	53,12	8.600,42
121	46,96	53,11	8.598,59
122	46,94	53,09	8.594,93
123	46,93	53,08	8.593,10
124	46,92	53,07	8.591,27
125	46,91	53,05	8.589,44
126	46,89	53,03	8.585,77
127	46,88	53,02	8.583,94
128	46,87	53,01	8.582,11

129	46,89	53,03	8.585,77
130	46,92	53,07	8.591,27
131	46,94	53,09	8.594,93
132	46,96	53,11	8.598,59
133	46,98	53,13	8.602,25
134	47,00	53,16	8.605,92
135	46,96	53,11	8.598,59
136	46,88	53,02	8.583,94
137	46,80	52,93	8.569,29
138	46,72	52,84	8.554,65
139	46,64	52,75	8.540,00
140	46,56	52,66	8.525,35
141	46,48	52,57	8.510,70
142	46,36	52,43	8.488,73
143	46,22	52,27	8.463,09
144	46,09	52,13	8.439,29
145	45,95	51,97	8.413,66
146	45,81	51,81	8.388,02
147	45,67	51,65	8.362,39
148	45,53	51,49	8.336,75
149	45,43	51,38	8.318,44
150	45,41	51,36	8.314,78
151	45,40	51,35	8.312,95
152	45,39	51,33	8.311,12
153	45,38	51,32	8.309,29
154	45,36	51,30	8.305,62
155	45,35	51,29	8.303,79
156	45,34	51,28	8.301,96
157	45,32	51,26	8.298,30
158	45,31	51,24	8.296,47
159	45,30	51,23	8.294,64
160	45,28	51,21	8.290,98
161	45,27	51,20	8.289,14
162	45,26	51,19	8.287,31
163	45,24	51,17	8.283,65
164	45,23	51,15	8.281,82
165	45,22	51,14	8.279,99
166	45,20	51,12	8.276,33
167	45,19	51,11	8.274,50
168	45,18	51,10	8.272,67
169	45,16	51,07	8.269,00
170	45,15	51,06	8.267,17
171	45,14	51,05	8.265,34
172	45,12	51,03	8.261,68
173	45,07	50,97	8.252,52
174	44,99	50,88	8.237,88
175	44,90	50,78	8.221,40
176	44,81	50,68	8.204,92
177	44,72	50,58	8.188,44
178	44,64	50,49	8.173,79
179	44,55	50,38	8.157,31
180	44,45	50,27	8.139,00
181	44,35	50,16	8.120,69
182	44,24	50,03	8.100,55
183	44,04	49,81	8.063,93
184	43,78	49,51	8.016,32
185	43,42	49,11	7.950,40
186	43,04	48,68	7.880,82
187	42,51	48,08	7.783,78
188	42,35	47,90	7.754,48
189	42,34	47,89	7.752,65
190	42,80	48,41	7.836,88
191	43,16	48,81	7.902,79
192	43,59	49,30	7.981,53
193	43,85	49,59	8.029,14
194	44,20	49,99	8.093,22
195	44,55	50,38	8.157,31
196	44,68	50,53	8.181,11
197	44,85	50,72	8.212,24

198	44,97	50,86	8.234,21
199	45,12	51,03	8.261,68
200	45,23	51,15	8.281,82
201	45,29	51,22	8.292,81
202	45,28	51,21	8.290,98
203	45,25	51,18	8.285,48
204	45,19	51,11	8.274,50
205	45,15	51,06	8.267,17
206	45,14	51,05	8.265,34
207	45,12	51,03	8.261,68
208	45,09	51,00	8.256,19
209	45,07	50,97	8.252,52
210	45,04	50,94	8.247,03
211	45,00	50,89	8.239,71
212	44,95	50,84	8.230,55
213	44,91	50,79	8.223,23
214	44,84	50,71	8.210,41
215	44,72	50,58	8.188,44
216	44,60	50,44	8.166,46
217	44,48	50,31	8.144,49
218	44,36	50,17	8.122,52
219	44,25	50,05	8.102,38
220	44,13	49,91	8.080,41
221	44,02	49,79	8.060,26
222	44,01	49,77	8.058,43
223	43,98	49,74	8.052,94
224	43,90	49,65	8.038,29
225	43,81	49,55	8.021,81
226	43,79	49,53	8.018,15
227	43,78	49,51	8.016,32
228	43,77	49,50	8.014,49
229	43,75	49,48	8.010,83
230	43,60	49,31	7.983,36
231	43,43	49,12	7.952,23
232	43,31	48,98	7.930,26
233	43,23	48,89	7.915,61
234	43,14	48,79	7.899,13
235	42,98	48,61	7.869,84
236	42,83	48,44	7.842,37
237	42,68	48,27	7.814,90
238	42,60	48,18	7.800,26
239	42,59	48,17	7.798,42
240	42,24	47,77	7.734,34
241	41,70	47,16	7.635,46
242	40,97	46,34	7.501,79
243	39,91	45,14	7.307,70
244	38,75	43,83	7.095,30
245	37,34	42,23	6.837,13
246	36,21	40,95	6.630,22
247	35,15	39,75	6.436,13
248	34,22	38,70	6.265,84
249	33,16	37,50	6.071,75
250	31,57	35,70	5.780,61
251	29,91	33,83	5.476,66
252	28,81	32,58	5.275,24
253	26,85	30,37	4.916,36
254	26,48	29,95	4.848,61
255	26,46	29,93	4.844,95
256	26,40	29,86	4.833,96
257	26,31	29,76	4.817,48
258	26,17	29,60	4.791,85
259	26,02	29,43	4.764,38
260	25,86	29,25	4.735,08
261	25,70	29,07	4.705,79
262	25,49	28,83	4.667,34
263	25,28	28,59	4.628,88
264	25,07	28,35	4.590,43
265	24,86	28,12	4.551,98
266	24,64	27,87	4.511,70

267	22,05	24,94	4.037,46
268	21,35	24,15	3.909,28
269	21,16	23,93	3.874,49
270	20,97	23,72	3.839,70
271	20,80	23,52	3.808,58
272	20,57	23,26	3.766,46
273	20,39	23,06	3.733,50
274	20,11	22,74	3.682,23
275	19,82	22,42	3.629,13
276	19,54	22,10	3.577,86
277	19,19	21,70	3.513,78
278	18,77	21,23	3.436,87
279	18,34	20,74	3.358,14
280	17,90	20,24	3.277,57
281	17,45	19,74	3.195,18
282	17,10	19,34	3.131,09
283	16,77	18,97	3.070,66
284	16,22	18,34	2.969,96
285	15,66	17,71	2.867,42
286	15,18	17,17	2.779,53
287	14,70	16,63	2.691,64
288	14,11	15,96	2.583,61
289	13,57	15,35	2.484,73
290	13,04	14,75	2.387,68
291	12,52	14,16	2.292,47
292	12,06	13,64	2.208,24
293	11,54	13,05	2.113,03
294	11,12	12,58	2.036,12
295	10,91	12,34	1.997,67
296	10,77	12,18	1.972,04
297	10,66	12,06	1.951,89
298	10,57	11,95	1.935,42
299	10,37	11,73	1.898,79
300	10,15	11,48	1.858,51
301	9,93	11,23	1.818,23
302	9,72	10,99	1.779,78
303	9,47	10,71	1.734,00
304	9,20	10,40	1.684,56
305	8,92	10,09	1.633,29
306	8,63	9,76	1.580,19
307	8,34	9,43	1.527,09
308	8,16	9,23	1.494,13
309	8,04	9,09	1.472,16
310	7,94	8,98	1.453,85
311	7,83	8,86	1.433,71
312	7,73	8,74	1.415,40
313	7,54	8,53	1.380,61
314	7,35	8,31	1.345,82
315	7,14	8,08	1.307,37
316	6,90	7,80	1.263,42
317	6,56	7,42	1.201,17
318	6,17	6,98	1.129,76
319	5,90	6,67	1.080,32
320	5,54	6,27	1.014,40
321	5,08	5,75	930,17
322	4,76	5,38	871,58
323	4,34	4,91	794,67
324	4,07	4,60	745,24
325	3,88	4,39	710,45
326	3,68	4,16	673,82
327	3,41	3,86	624,39
328	3,13	3,54	573,12
329	3,10	3,51	567,62
330	3,10	3,51	567,62
331	3,11	3,52	569,46
332	3,12	3,53	571,29
333	3,13	3,54	573,12
334	3,14	3,55	574,95
335	3,14	3,55	574,95

336	3,14	3,55	574,95
337	3,13	3,54	573,12
338	3,12	3,53	571,29
339	3,10	3,51	567,62
340	3,09	3,49	565,79
341	3,06	3,46	560,30
342	3,04	3,44	556,64
343	3,01	3,40	551,14
344	2,98	3,37	545,65
345	2,94	3,33	538,33
346	2,90	3,28	531,00
347	2,86	3,23	523,68
348	2,81	3,18	514,52
349	2,76	3,12	505,37
350	2,71	3,06	496,21
351	2,65	3,00	485,23
352	2,59	2,93	474,24
353	2,52	2,85	461,42
354	2,45	2,77	448,61
355	2,38	2,69	435,79
356	2,30	2,60	421,14
357	2,22	2,51	406,49
358	2,14	2,42	391,84
359	2,05	2,32	375,36
360	1,96	2,22	358,88
361	1,85	2,09	338,74
362	1,73	1,96	316,77
363	1,62	1,83	296,63
364	1,50	1,70	274,66
Συνολικό κόστος τσιμέντου-μπετονίτη (€)			2.072.421,65

Κόστος Διάτρησης για D = 1000 mm

	Τιμή ανά μέτρο μήκους διάτρησης (€/m)		Άρθρο 15.01.03: Διάνοιξη οπής 1000 mm σε μαλακά πετρώματα		Άρθρο 15.02.03: Διάνοιξη οπής 1000 mm σε σκληρά πετρώματα		
			163,00	203,75	340,00	425,00	
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Μήκος Στοιχείου χωρίς μήκος έμπηξης (m)	εώς 20,00 m	από 20,00 m	εώς 20,00 m	από 20,00 m	Συνολικό κόστος διάτρησης στοιχείου (€)
1	1,50	0,00			510,00		510,00
2	2,64	1,14	185,82		510,00		695,82
3	3,82	2,32	378,16		510,00		888,16
4	4,97	3,47	565,61		510,00		1.075,61
5	6,09	4,59	748,17		510,00		1.258,17
6	7,22	5,72	932,36		510,00		1.442,36
7	8,55	7,05	1.149,15		510,00		1.659,15
8	10,06	8,56	1.395,28		510,00		1.905,28
9	10,09	8,59	1.400,17		510,00		1.910,17
10	12,11	10,61	1.729,43		510,00		2.239,43
11	13,08	11,58	1.887,54		510,00		2.397,54
12	13,96	12,46	2.030,98		510,00		2.540,98
13	14,85	13,35	2.176,05		510,00		2.686,05
14	15,74	14,24	2.321,12		510,00		2.831,12
15	16,50	15,00	2.445,00		510,00		2.955,00
16	17,27	15,77	2.570,51		510,00		3.080,51
17	18,03	16,53	2.694,39		510,00		3.204,39
18	18,79	17,29	2.818,27		510,00		3.328,27
19	19,52	18,02	2.937,26		510,00		3.447,26
20	20,19	18,69	3.046,47		445,40	80,75	3.572,62
21	21,01	19,51	3.180,13		166,60	429,25	3.775,98
22	22,18	20,68	3.260,00	138,55		637,50	4.036,05
23	23,11	21,61	3.260,00	328,04		637,50	4.225,54
24	23,90	22,40	3.260,00	489,00		637,50	4.386,50
25	24,67	23,17	3.260,00	645,89		637,50	4.543,39
26	25,16	23,66	3.260,00	745,73		637,50	4.643,23
27	25,64	24,14	3.260,00	843,53		637,50	4.741,03
28	26,13	24,63	3.260,00	943,36		637,50	4.840,86
29	26,62	25,12	3.260,00	1.043,20		637,50	4.940,70
30	27,10	25,60	3.260,00	1.141,00		637,50	5.038,50
31	27,60	26,10	3.260,00	1.242,88		637,50	5.140,38
32	28,11	26,61	3.260,00	1.346,79		637,50	5.244,29
33	28,62	27,12	3.260,00	1.450,70		637,50	5.348,20
34	29,12	27,62	3.260,00	1.552,58		637,50	5.450,08
35	29,63	28,13	3.260,00	1.656,49		637,50	5.553,99
36	30,00	28,50	3.260,00	1.731,88		637,50	5.629,38
37	30,17	28,67	3.260,00	1.766,51		637,50	5.664,01
38	30,35	28,85	3.260,00	1.803,19		637,50	5.700,69
39	30,52	29,02	3.260,00	1.837,83		637,50	5.735,33
40	30,69	29,19	3.260,00	1.872,46		637,50	5.769,96
41	30,87	29,37	3.260,00	1.909,14		637,50	5.806,64
42	31,04	29,54	3.260,00	1.943,78		637,50	5.841,28
43	31,27	29,77	3.260,00	1.990,64		637,50	5.888,14
44	31,50	30,00	3.260,00	2.037,50		637,50	5.935,00
45	31,61	30,11	3.260,00	2.059,91		637,50	5.957,41
46	31,70	30,20	3.260,00	2.078,25		637,50	5.975,75
47	31,73	30,23	3.260,00	2.084,36		637,50	5.981,86
48	31,72	30,22	3.260,00	2.082,33		637,50	5.979,83
49	31,79	30,29	3.260,00	2.096,59		637,50	5.994,09
50	31,98	30,48	3.260,00	2.135,30		637,50	6.032,80

51	32,33	30,83	3.260,00	2.206,61		637,50	6.104,11
52	32,69	31,19	3.260,00	2.279,96		637,50	6.177,46
53	33,02	31,52	3.260,00	2.347,20		637,50	6.244,70
54	33,33	31,83	3.260,00	2.410,36		637,50	6.307,86
55	33,67	32,17	3.260,00	2.479,64		637,50	6.377,14
56	34,13	32,63	3.260,00	2.573,36		637,50	6.470,86
57	34,58	33,08	3.260,00	2.665,05		637,50	6.562,55
58	35,04	33,54	3.260,00	2.758,78		637,50	6.656,28
59	35,48	33,98	3.260,00	2.848,43		637,50	6.745,93
60	35,78	34,28	3.260,00	2.909,55		637,50	6.807,05
61	36,08	34,58	3.260,00	2.970,68		637,50	6.868,18
62	36,38	34,88	3.260,00	3.031,80		637,50	6.929,30
63	36,68	35,18	3.260,00	3.092,93		637,50	6.990,43
64	36,92	35,42	3.260,00	3.141,83		637,50	7.039,33
65	37,14	35,64	3.260,00	3.186,65		637,50	7.084,15
66	37,37	35,87	3.260,00	3.233,51		637,50	7.131,01
67	37,63	36,13	3.260,00	3.286,49		637,50	7.183,99
68	37,88	36,38	3.260,00	3.337,43		637,50	7.234,93
69	38,14	36,64	3.260,00	3.390,40		637,50	7.287,90
70	38,38	36,88	3.260,00	3.439,30		637,50	7.336,80
71	38,58	37,08	3.260,00	3.480,05		637,50	7.377,55
72	38,79	37,29	3.260,00	3.522,84		637,50	7.420,34
73	38,99	37,49	3.260,00	3.563,59		637,50	7.461,09
74	39,28	37,78	3.260,00	3.622,68		637,50	7.520,18
75	39,59	38,09	3.260,00	3.685,84		637,50	7.583,34
76	39,91	38,41	3.260,00	3.751,04		637,50	7.648,54
77	40,22	38,72	3.260,00	3.814,20		637,50	7.711,70
78	40,53	39,03	3.260,00	3.877,36		637,50	7.774,86
79	40,75	39,25	3.260,00	3.922,19		637,50	7.819,69
80	40,91	39,41	3.260,00	3.954,79		637,50	7.852,29
81	41,20	39,70	3.260,00	4.013,88		637,50	7.911,38
82	41,49	39,99	3.260,00	4.072,96		637,50	7.970,46
83	41,77	40,27	3.260,00	4.130,01		637,50	8.027,51
84	42,09	40,59	3.260,00	4.195,21		637,50	8.092,71
85	42,41	40,91	3.260,00	4.260,41		637,50	8.157,91
86	42,74	41,24	3.260,00	4.327,65		637,50	8.225,15
87	43,07	41,57	3.260,00	4.394,89		637,50	8.292,39
88	43,39	41,89	3.260,00	4.460,09		637,50	8.357,59
89	43,72	42,22	3.260,00	4.527,33		637,50	8.424,83
90	44,05	42,55	3.260,00	4.594,56		637,50	8.492,06
91	44,25	42,75	3.260,00	4.635,31		637,50	8.532,81
92	44,42	42,92	3.260,00	4.669,95		637,50	8.567,45
93	44,60	43,10	3.260,00	4.706,63		637,50	8.604,13
94	44,77	43,27	3.260,00	4.741,26		637,50	8.638,76
95	45,95	44,45	3.260,00	4.981,69		637,50	8.879,19
96	45,12	43,62	3.260,00	4.812,58		637,50	8.710,08
97	45,27	43,77	3.260,00	4.843,14		637,50	8.740,64
98	45,42	43,92	3.260,00	4.873,70		637,50	8.771,20
99	45,57	44,07	3.260,00	4.904,26		637,50	8.801,76
100	45,72	44,22	3.260,00	4.934,83		637,50	8.832,33
101	45,87	44,37	3.260,00	4.965,39		637,50	8.862,89
102	46,01	44,51	3.260,00	4.993,91		637,50	8.891,41
103	46,14	44,64	3.260,00	5.020,40		637,50	8.917,90
104	46,27	44,77	3.260,00	5.046,89		637,50	8.944,39
105	46,39	44,89	3.260,00	5.071,34		637,50	8.968,84
106	46,56	45,06	3.260,00	5.105,98		637,50	9.003,48
107	46,74	45,24	3.260,00	5.142,65		637,50	9.040,15
108	46,91	45,41	3.260,00	5.177,29		637,50	9.074,79
109	47,16	45,66	3.260,00	5.228,23		637,50	9.125,73
110	47,26	45,76	3.260,00	5.248,60		637,50	9.146,10
111	47,25	45,75	3.260,00	5.246,56		637,50	9.144,06
112	47,24	45,74	3.260,00	5.244,53		637,50	9.142,03
113	47,28	45,78	3.260,00	5.252,68		637,50	9.150,18

114	47,31	45,81	3.260,00	5.258,79		637,50	9.156,29
115	47,34	45,84	3.260,00	5.264,90		637,50	9.162,40
116	47,36	45,86	3.260,00	5.268,98		637,50	9.166,48
117	47,37	45,87	3.260,00	5.271,01		637,50	9.168,51
118	47,38	45,88	3.260,00	5.273,05		637,50	9.170,55
119	47,36	45,86	3.260,00	5.268,98		637,50	9.166,48
120	47,27	45,77	3.260,00	5.250,64		637,50	9.148,14
121	47,19	45,69	3.260,00	5.234,34		637,50	9.131,84
122	47,11	45,61	3.260,00	5.218,04		637,50	9.115,54
123	47,02	45,52	3.260,00	5.199,70		637,50	9.097,20
124	46,94	45,44	3.260,00	5.183,40		637,50	9.080,90
125	46,86	45,36	3.260,00	5.167,10		637,50	9.064,60
126	46,86	45,36	3.260,00	5.167,10		637,50	9.064,60
127	46,88	45,38	3.260,00	5.171,18		637,50	9.068,68
128	46,89	45,39	3.260,00	5.173,21		637,50	9.070,71
129	46,90	45,40	3.260,00	5.175,25		637,50	9.072,75
130	46,91	45,41	3.260,00	5.177,29		637,50	9.074,79
131	46,91	45,41	3.260,00	5.177,29		637,50	9.074,79
132	46,90	45,40	3.260,00	5.175,25		637,50	9.072,75
133	46,89	45,39	3.260,00	5.173,21		637,50	9.070,71
134	46,88	45,38	3.260,00	5.171,18		637,50	9.068,68
135	46,86	45,36	3.260,00	5.167,10		637,50	9.064,60
136	46,85	45,35	3.260,00	5.165,06		637,50	9.062,56
137	46,84	45,34	3.260,00	5.163,03		637,50	9.060,53
138	46,83	45,33	3.260,00	5.160,99		637,50	9.058,49
139	46,86	45,36	3.260,00	5.167,10		637,50	9.064,60
140	46,91	45,41	3.260,00	5.177,29		637,50	9.074,79
141	46,95	45,45	3.260,00	5.185,44		637,50	9.082,94
142	47,00	45,50	3.260,00	5.195,63		637,50	9.093,13
143	47,01	45,51	3.260,00	5.197,66		637,50	9.095,16
144	47,00	45,50	3.260,00	5.195,63		637,50	9.093,13
145	46,99	45,49	3.260,00	5.193,59		637,50	9.091,09
146	46,98	45,48	3.260,00	5.191,55		637,50	9.089,05
147	46,97	45,47	3.260,00	5.189,51		637,50	9.087,01
148	46,95	45,45	3.260,00	5.185,44		637,50	9.082,94
149	46,94	45,44	3.260,00	5.183,40		637,50	9.080,90
150	46,93	45,43	3.260,00	5.181,36		637,50	9.078,86
151	46,92	45,42	3.260,00	5.179,33		637,50	9.076,83
152	46,91	45,41	3.260,00	5.177,29		637,50	9.074,79
153	46,09	44,59	3.260,00	5.010,21		637,50	8.907,71
154	46,89	45,39	3.260,00	5.173,21		637,50	9.070,71
155	46,88	45,38	3.260,00	5.171,18		637,50	9.068,68
156	46,87	45,37	3.260,00	5.169,14		637,50	9.066,64
157	46,88	45,38	3.260,00	5.171,18		637,50	9.068,68
158	46,90	45,40	3.260,00	5.175,25		637,50	9.072,75
159	46,92	45,42	3.260,00	5.179,33		637,50	9.076,83
160	46,94	45,44	3.260,00	5.183,40		637,50	9.080,90
161	46,96	45,46	3.260,00	5.187,48		637,50	9.084,98
162	46,98	45,48	3.260,00	5.191,55		637,50	9.089,05
163	46,99	45,49	3.260,00	5.193,59		637,50	9.091,09
164	47,01	45,51	3.260,00	5.197,66		637,50	9.095,16
165	46,95	45,45	3.260,00	5.185,44		637,50	9.082,94
166	46,88	45,38	3.260,00	5.171,18		637,50	9.068,68
167	46,87	45,37	3.260,00	5.169,14		637,50	9.066,64
168	46,75	45,25	3.260,00	5.144,69		637,50	9.042,19
169	46,69	45,19	3.260,00	5.132,46		637,50	9.029,96
170	46,62	45,12	3.260,00	5.118,20		637,50	9.015,70
171	46,56	45,06	3.260,00	5.105,98		637,50	9.003,48
172	46,49	44,99	3.260,00	5.091,71		637,50	8.989,21
173	46,40	44,90	3.260,00	5.073,38		637,50	8.970,88
174	46,29	44,79	3.260,00	5.050,96		637,50	8.948,46
175	46,17	44,67	3.260,00	5.026,51		637,50	8.924,01
176	46,06	44,56	3.260,00	5.004,10		637,50	8.901,60

177	45,95	44,45	3.260,00	4.981,69		637,50	8.879,19
178	45,83	44,33	3.260,00	4.957,24		637,50	8.854,74
179	45,72	44,22	3.260,00	4.934,83		637,50	8.832,33
180	45,61	44,11	3.260,00	4.912,41		637,50	8.809,91
181	45,49	43,99	3.260,00	4.887,96		637,50	8.785,46
182	45,43	43,93	3.260,00	4.875,74		637,50	8.773,24
183	45,42	43,92	3.260,00	4.873,70		637,50	8.771,20
184	45,41	43,91	3.260,00	4.871,66		637,50	8.769,16
185	45,39	43,89	3.260,00	4.867,59		637,50	8.765,09
186	45,38	43,88	3.260,00	4.865,55		637,50	8.763,05
187	45,37	43,87	3.260,00	4.863,51		637,50	8.761,01
188	45,36	43,86	3.260,00	4.861,48		637,50	8.758,98
189	45,35	43,85	3.260,00	4.859,44		637,50	8.756,94
190	45,34	43,84	3.260,00	4.857,40		637,50	8.754,90
191	45,33	43,83	3.260,00	4.855,36		637,50	8.752,86
192	45,32	43,82	3.260,00	4.853,33		637,50	8.750,83
193	45,31	43,81	3.260,00	4.851,29		637,50	8.748,79
194	45,30	43,80	3.260,00	4.849,25		637,50	8.746,75
195	45,29	43,79	3.260,00	4.847,21		637,50	8.744,71
196	45,27	43,77	3.260,00	4.843,14		637,50	8.740,64
197	45,26	43,76	3.260,00	4.841,10		637,50	8.738,60
198	45,25	43,75	3.260,00	4.839,06		637,50	8.736,56
199	45,24	43,74	3.260,00	4.837,03		637,50	8.734,53
200	45,23	43,73	3.260,00	4.834,99		637,50	8.732,49
201	45,22	43,72	3.260,00	4.832,95		637,50	8.730,45
202	45,21	43,71	3.260,00	4.830,91		637,50	8.728,41
203	45,20	43,70	3.260,00	4.828,88		637,50	8.726,38
204	45,19	43,69	3.260,00	4.826,84		637,50	8.724,34
205	45,18	43,68	3.260,00	4.824,80		637,50	8.722,30
206	45,17	43,67	3.260,00	4.822,76		637,50	8.720,26
207	45,16	43,66	3.260,00	4.820,73		637,50	8.718,23
208	45,14	43,64	3.260,00	4.816,65		637,50	8.714,15
209	45,13	43,63	3.260,00	4.814,61		637,50	8.712,11
210	45,12	43,62	3.260,00	4.812,58		637,50	8.710,08
211	45,09	43,59	3.260,00	4.806,46		637,50	8.703,96
212	45,02	43,52	3.260,00	4.792,20		637,50	8.689,70
213	44,95	43,45	3.260,00	4.777,94		637,50	8.675,44
214	44,88	43,38	3.260,00	4.763,68		637,50	8.661,18
215	44,80	43,30	3.260,00	4.747,38		637,50	8.644,88
216	44,73	43,23	3.260,00	4.733,11		637,50	8.630,61
217	44,66	43,16	3.260,00	4.718,85		637,50	8.616,35
218	44,59	43,09	3.260,00	4.704,59		637,50	8.602,09
219	44,52	43,02	3.260,00	4.690,33		637,50	8.587,83
220	44,43	42,93	3.260,00	4.671,99		637,50	8.569,49
221	44,35	42,85	3.260,00	4.655,69		637,50	8.553,19
222	44,27	42,77	3.260,00	4.639,39		637,50	8.536,89
223	44,11	42,61	3.260,00	4.606,79		637,50	8.504,29
224	43,94	42,44	3.260,00	4.572,15		637,50	8.469,65
225	43,68	42,18	3.260,00	4.519,18		637,50	8.416,68
226	43,39	41,89	3.260,00	4.460,09		637,50	8.357,59
227	43,08	41,58	3.260,00	4.396,93		637,50	8.294,43
228	42,68	41,18	3.260,00	4.315,43		637,50	8.212,93
229	42,36	40,86	3.260,00	4.250,23		637,50	8.147,73
230	42,35	40,85	3.260,00	4.248,19		637,50	8.145,69
231	42,40	40,90	3.260,00	4.258,38		637,50	8.155,88
232	42,80	41,30	3.260,00	4.339,88		637,50	8.237,38
233	43,10	41,60	3.260,00	4.401,00		637,50	8.298,50
234	43,44	41,94	3.260,00	4.470,28		637,50	8.367,78
235	43,73	42,23	3.260,00	4.529,36		637,50	8.426,86
236	43,93	42,43	3.260,00	4.570,11		637,50	8.467,61
237	44,23	42,73	3.260,00	4.631,24		637,50	8.528,74
238	44,53	43,03	3.260,00	4.692,36		637,50	8.589,86
239	44,63	43,13	3.260,00	4.712,74		637,50	8.610,24

240	44,77	43,27	3.260,00	4.741,26		637,50	8.638,76
241	44,89	43,39	3.260,00	4.765,71		637,50	8.663,21
242	45,00	43,50	3.260,00	4.788,13		637,50	8.685,63
243	45,12	43,62	3.260,00	4.812,58		637,50	8.710,08
244	45,21	43,71	3.260,00	4.830,91		637,50	8.728,41
245	45,28	43,78	3.260,00	4.845,18		637,50	8.742,68
246	45,28	43,78	3.260,00	4.845,18		637,50	8.742,68
247	45,27	43,77	3.260,00	4.843,14		637,50	8.740,64
248	45,24	43,74	3.260,00	4.837,03		637,50	8.734,53
249	45,19	43,69	3.260,00	4.826,84		637,50	8.724,34
250	45,15	43,65	3.260,00	4.818,69		637,50	8.716,19
251	45,14	43,64	3.260,00	4.816,65		637,50	8.714,15
252	45,13	43,63	3.260,00	4.814,61		637,50	8.712,11
253	45,11	43,61	3.260,00	4.810,54		637,50	8.708,04
254	45,09	43,59	3.260,00	4.806,46		637,50	8.703,96
255	45,07	43,57	3.260,00	4.802,39		637,50	8.699,89
256	45,05	43,55	3.260,00	4.798,31		637,50	8.695,81
257	45,02	43,52	3.260,00	4.792,20		637,50	8.689,70
258	44,98	43,48	3.260,00	4.784,05		637,50	8.681,55
259	44,95	43,45	3.260,00	4.777,94		637,50	8.675,44
260	44,91	43,41	3.260,00	4.769,79		637,50	8.667,29
261	44,87	43,37	3.260,00	4.761,64		637,50	8.659,14
262	44,77	43,27	3.260,00	4.741,26		637,50	8.638,76
263	44,68	43,18	3.260,00	4.722,93		637,50	8.620,43
264	44,58	43,08	3.260,00	4.702,55		637,50	8.600,05
265	44,48	42,98	3.260,00	4.682,18		637,50	8.579,68
266	44,39	42,89	3.260,00	4.663,84		637,50	8.561,34
267	44,29	42,79	3.260,00	4.643,46		637,50	8.540,96
268	44,19	42,69	3.260,00	4.623,09		637,50	8.520,59
269	44,09	42,59	3.260,00	4.602,71		637,50	8.500,21
270	44,02	42,52	3.260,00	4.588,45		637,50	8.485,95
271	44,01	42,51	3.260,00	4.586,41		637,50	8.483,91
272	44,00	42,50	3.260,00	4.584,38		637,50	8.481,88
273	43,93	42,43	3.260,00	4.570,11		637,50	8.467,61
274	43,87	42,37	3.260,00	4.557,89		637,50	8.455,39
275	43,80	42,30	3.260,00	4.543,63		637,50	8.441,13
276	43,79	42,29	3.260,00	4.541,59		637,50	8.439,09
277	43,78	42,28	3.260,00	4.539,55		637,50	8.437,05
278	43,77	42,27	3.260,00	4.537,51		637,50	8.435,01
279	43,76	42,26	3.260,00	4.535,48		637,50	8.432,98
280	43,72	42,22	3.260,00	4.527,33		637,50	8.424,83
281	43,58	42,08	3.260,00	4.498,80		637,50	8.396,30
282	43,44	41,94	3.260,00	4.470,28		637,50	8.367,78
283	43,33	41,83	3.260,00	4.447,86		637,50	8.345,36
284	43,27	41,77	3.260,00	4.435,64		637,50	8.333,14
285	43,20	41,70	3.260,00	4.421,38		637,50	8.318,88
286	43,11	41,61	3.260,00	4.403,04		637,50	8.300,54
287	42,98	41,48	3.260,00	4.376,55		637,50	8.274,05
288	42,86	41,36	3.260,00	4.352,10		637,50	8.249,60
289	42,74	41,24	3.260,00	4.327,65		637,50	8.225,15
290	42,61	41,11	3.260,00	4.301,16		637,50	8.198,66
291	42,60	41,10	3.260,00	4.299,13		637,50	8.196,63
292	42,56	41,06	3.260,00	4.290,98		637,50	8.188,48
293	42,28	40,78	3.260,00	4.233,93		637,50	8.131,43
294	41,86	40,36	3.260,00	4.148,35		637,50	8.045,85
295	41,35	39,85	3.260,00	4.044,44		637,50	7.941,94
296	40,62	39,12	3.260,00	3.895,70		637,50	7.793,20
297	39,70	38,20	3.260,00	3.708,25		637,50	7.605,75
298	38,75	37,25	3.260,00	3.514,69		637,50	7.412,19
299	37,58	36,08	3.260,00	3.276,30		637,50	7.173,80
300	36,62	35,12	3.260,00	3.080,70		637,50	6.978,20
301	35,69	34,19	3.260,00	2.891,21		637,50	6.788,71
302	34,90	33,40	3.260,00	2.730,25		637,50	6.627,75

303	34,13	32,63	3.260,00	2.573,36		637,50	6.470,86
304	33,25	31,75	3.260,00	2.394,06		637,50	6.291,56
305	32,12	30,62	3.260,00	2.163,83		637,50	6.061,33
306	30,62	29,12	3.260,00	1.858,20		637,50	5.755,70
307	29,36	27,86	3.260,00	1.601,48		637,50	5.498,98
308	28,65	27,15	3.260,00	1.456,81		637,50	5.354,31
309	26,85	25,35	3.260,00	1.090,06		637,50	4.987,56
310	26,48	24,98	3.260,00	1.014,68		637,50	4.912,18
311	26,47	24,97	3.260,00	1.012,64		637,50	4.910,14
312	26,45	24,95	3.260,00	1.008,56		637,50	4.906,06
313	26,38	24,88	3.260,00	994,30		637,50	4.891,80
314	26,30	24,80	3.260,00	978,00		637,50	4.875,50
315	26,18	24,68	3.260,00	953,55		637,50	4.851,05
316	26,06	24,56	3.260,00	929,10		637,50	4.826,60
317	25,93	24,43	3.260,00	902,61		637,50	4.800,11
318	25,81	24,31	3.260,00	878,16		637,50	4.775,66
319	25,66	24,16	3.260,00	847,60		637,50	4.745,10
320	25,49	23,99	3.260,00	812,96		637,50	4.710,46
321	25,32	23,82	3.260,00	778,33		637,50	4.675,83
322	25,15	23,65	3.260,00	743,69		637,50	4.641,19
323	24,97	23,47	3.260,00	707,01		637,50	4.604,51
324	24,80	23,30	3.260,00	672,38		637,50	4.569,88
325	24,63	23,13	3.260,00	637,74		637,50	4.535,24
326	22,40	20,90	3.260,00	183,38		637,50	4.080,88
327	21,41	19,91	3.245,33		30,60	599,25	3.875,18
328	21,25	19,75	3.219,25		85,00	531,25	3.835,50
329	21,08	19,58	3.191,54		142,80	459,00	3.793,34
330	20,94	19,44	3.168,72		190,40	399,50	3.758,62
331	20,80	19,30	3.145,90		238,00	340,00	3.723,90
332	20,66	19,16	3.123,08		285,60	280,50	3.689,18
333	20,49	18,99	3.095,37		343,40	208,25	3.647,02
334	20,26	18,76	3.057,88		421,60	110,50	3.589,98
335	20,03	18,53	3.020,39		499,80	12,75	3.532,94
336	19,80	18,30	2.982,90		510,00		3.492,90
337	19,57	18,07	2.945,41		510,00		3.455,41
338	19,31	17,81	2.903,03		510,00		3.413,03
339	18,96	17,46	2.845,98		510,00		3.355,98
340	18,61	17,11	2.788,93		510,00		3.298,93
341	18,26	16,76	2.731,88		510,00		3.241,88
342	17,90	16,40	2.673,20		510,00		3.183,20
343	17,53	16,03	2.612,89		510,00		3.122,89
344	17,22	15,72	2.562,36		510,00		3.072,36
345	16,96	15,46	2.519,98		510,00		3.029,98
346	16,62	15,12	2.464,56		510,00		2.974,56
347	16,17	14,67	2.391,21		510,00		2.901,21
348	15,71	14,21	2.316,23		510,00		2.826,23
349	15,31	13,81	2.251,03		510,00		2.761,03
350	14,93	13,43	2.189,09		510,00		2.699,09
351	14,48	12,98	2.115,74		510,00		2.625,74
352	14,01	12,51	2.039,13		510,00		2.549,13
353	13,57	12,07	1.967,41		510,00		2.477,41
354	13,13	11,63	1.895,69		510,00		2.405,69
355	12,69	11,19	1.823,97		510,00		2.333,97
356	12,31	10,81	1.762,03		510,00		2.272,03
357	11,92	10,42	1.698,46		510,00		2.208,46
358	11,49	9,99	1.628,37		510,00		2.138,37
359	11,14	9,64	1.571,32		510,00		2.081,32
360	10,97	9,47	1.543,61		510,00		2.053,61
361	10,83	9,33	1.520,79		510,00		2.030,79
362	10,72	9,22	1.502,86		510,00		2.012,86
363	10,65	9,15	1.491,45		510,00		2.001,45
364	10,57	9,07	1.478,41		510,00		1.988,41
365	10,41	8,91	1.452,33		510,00		1.962,33

366	10,43	8,93	1.455,59		510,00		1.965,59
367	10,05	8,55	1.393,65		510,00		1.903,65
368	9,87	8,37	1.364,31		510,00		1.874,31
369	9,70	8,20	1.336,60		510,00		1.846,60
370	9,50	8,00	1.304,00		510,00		1.814,00
371	9,28	7,78	1.268,14		510,00		1.778,14
372	9,05	7,55	1.230,65		510,00		1.740,65
373	8,82	7,32	1.193,16		510,00		1.703,16
374	8,58	7,08	1.154,04		510,00		1.664,04
375	8,34	6,84	1.114,92		510,00		1.624,92
376	8,18	6,68	1.088,84		510,00		1.598,84
377	8,08	6,58	1.072,54		510,00		1.582,54
378	7,99	6,49	1.057,87		510,00		1.567,87
379	7,91	6,41	1.044,83		510,00		1.554,83
380	7,82	6,32	1.030,16		510,00		1.540,16
381	7,74	6,24	1.017,12		510,00		1.527,12
382	7,59	6,09	992,67		510,00		1.502,67
383	7,43	5,93	966,59		510,00		1.476,59
384	7,28	5,78	942,14		510,00		1.452,14
385	7,09	5,59	911,17		510,00		1.421,17
386	6,90	5,40	880,20		510,00		1.390,20
387	6,63	5,13	836,19		510,00		1.346,19
388	6,30	4,80	782,40		510,00		1.292,40
389	6,05	4,55	741,65		510,00		1.251,65
390	5,83	4,33	705,79		510,00		1.215,79
391	5,49	3,99	650,37		510,00		1.160,37
392	5,11	3,61	588,43		510,00		1.098,43
393	4,85	3,35	546,05		510,00		1.056,05
394	4,53	3,03	493,89		510,00		1.003,89
395	4,20	2,70	440,10		510,00		950,10
396	4,03	2,53	412,39		510,00		922,39
397	3,88	2,38	387,94		510,00		897,94
398	3,73	2,23	363,49		510,00		873,49
399	3,52	2,02	329,26		510,00		839,26
400	3,29	1,79	291,77		510,00		801,77
401	3,10	1,60	260,80		510,00		770,80
402	3,10	1,60	260,80		510,00		770,80
403	3,10	1,60	260,80		510,00		770,80
404	3,11	1,61	262,43		510,00		772,43
405	3,12	1,62	264,06		510,00		774,06
406	3,13	1,63	265,69		510,00		775,69
407	3,13	1,63	265,69		510,00		775,69
408	3,14	1,64	267,32		510,00		777,32
409	3,14	1,64	267,32		510,00		777,32
410	3,14	1,64	267,32		510,00		777,32
411	3,13	1,63	265,69		510,00		775,69
412	3,13	1,63	265,69		510,00		775,69
413	3,12	1,62	264,06		510,00		774,06
414	3,11	1,61	262,43		510,00		772,43
415	3,09	1,59	259,17		510,00		769,17
416	3,08	1,58	257,54		510,00		767,54
417	3,06	1,56	254,28		510,00		764,28
418	3,04	1,54	251,02		510,00		761,02
419	3,01	1,51	246,13		510,00		756,13
420	2,98	1,48	241,24		510,00		751,24
421	2,96	1,46	237,98		510,00		747,98
422	2,93	1,43	233,09		510,00		743,09
423	2,89	1,39	226,57		510,00		736,57
424	2,85	1,35	220,05		510,00		730,05
425	2,82	1,32	215,16		510,00		725,16
426	2,78	1,28	208,64		510,00		718,64
427	2,73	1,23	200,49		510,00		710,49
428	2,69	1,19	193,97		510,00		703,97

429	2,64	1,14	185,82		510,00		695,82
430	2,59	1,09	177,67		510,00		687,67
431	2,53	1,03	167,89		510,00		677,89
432	2,48	0,98	159,74		510,00		669,74
433	2,42	0,92	149,96		510,00		659,96
434	2,36	0,86	140,18		510,00		650,18
435	2,29	0,79	128,77		510,00		638,77
436	2,23	0,73	118,99		510,00		628,99
437	2,16	0,66	107,58		510,00		617,58
438	2,09	0,59	96,17		510,00		606,17
439	2,01	0,51	83,13		510,00		593,13
440	1,94	0,44	71,72		510,00		581,72
441	1,85	0,35	57,05		510,00		567,05
442	1,75	0,25	40,75		510,00		550,75
443	1,66	0,16	26,08		510,00		536,08
444	1,55	0,05	8,15		510,00		518,15
445	1,50	0,00			510,00		510,00
					Συνολικό κόστος διατήρησης (€)		2.658.324,91

Κόστος τσιμέντου - μπετονίτη, D=1000 mm

Τιμή μίγματος τσιμέντου-μπετονίτη (€/m ³)			161,90
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Όγκος κάθε στοιχείου (m ³)	Κόστος τσιμέντου-μπετονίτη (€)
1	1,50	1,18	190,73
2	2,64	2,07	335,69
3	3,82	3,00	485,74
4	4,97	3,90	631,97
5	6,09	4,78	774,38
6	7,22	5,67	918,07
7	8,55	6,72	1.087,18
8	10,06	7,90	1.279,19
9	10,09	7,92	1.283,00
10	12,11	9,51	1.539,86
11	13,08	10,27	1.663,20
12	13,96	10,96	1.775,10
13	14,85	11,66	1.888,27
14	15,74	12,36	2.001,43
15	16,50	12,96	2.098,07
16	17,27	13,56	2.195,98
17	18,03	14,16	2.292,62
18	18,79	14,76	2.389,26
19	19,52	15,33	2.482,08
20	20,19	15,86	2.567,28
21	21,01	16,50	2.671,55
22	22,18	17,42	2.820,32
23	23,11	18,15	2.938,57
24	23,90	18,77	3.039,03
25	24,67	19,38	3.136,94
26	25,16	19,76	3.199,24
27	25,64	20,14	3.260,28
28	26,13	20,52	3.322,59
29	26,62	20,91	3.384,89
30	27,10	21,28	3.445,93
31	27,60	21,68	3.509,50
32	28,11	22,08	3.574,35
33	28,62	22,48	3.639,20
34	29,12	22,87	3.702,78
35	29,63	23,27	3.767,63
36	30,00	23,56	3.814,68
37	30,17	23,70	3.836,30
38	30,35	23,84	3.859,18
39	30,52	23,97	3.880,80
40	30,69	24,10	3.902,42
41	30,87	24,25	3.925,30
42	31,04	24,38	3.946,92
43	31,27	24,56	3.976,17
44	31,50	24,74	4.005,41
45	31,61	24,83	4.019,40
46	31,70	24,90	4.030,84
47	31,73	24,92	4.034,66
48	31,72	24,91	4.033,39
49	31,79	24,97	4.042,29
50	31,98	25,12	4.066,45
51	32,33	25,39	4.110,95
52	32,69	25,67	4.156,73

53	33,02	25,93	4.198,69
54	33,33	26,18	4.238,11
55	33,67	26,44	4.281,34
56	34,13	26,81	4.339,83
57	34,58	27,16	4.397,05
58	35,04	27,52	4.455,54
59	35,48	27,87	4.511,49
60	35,78	28,10	4.549,64
61	36,08	28,34	4.587,79
62	36,38	28,57	4.625,93
63	36,68	28,81	4.664,08
64	36,92	29,00	4.694,60
65	37,14	29,17	4.722,57
66	37,37	29,35	4.751,82
67	37,63	29,55	4.784,88
68	37,88	29,75	4.816,67
69	38,14	29,96	4.849,73
70	38,38	30,14	4.880,25
71	38,58	30,30	4.905,68
72	38,79	30,47	4.932,38
73	38,99	30,62	4.957,81
74	39,28	30,85	4.994,69
75	39,59	31,09	5.034,10
76	39,91	31,35	5.074,79
77	40,22	31,59	5.114,21
78	40,53	31,83	5.153,63
79	40,75	32,00	5.181,61
80	40,91	32,13	5.201,95
81	41,20	32,36	5.238,83
82	41,49	32,59	5.275,70
83	41,77	32,81	5.311,30
84	42,09	33,06	5.351,99
85	42,41	33,31	5.392,68
86	42,74	33,57	5.434,65
87	43,07	33,83	5.476,61
88	43,39	34,08	5.517,30
89	43,72	34,34	5.559,26
90	44,05	34,60	5.601,22
91	44,25	34,75	5.626,65
92	44,42	34,89	5.648,27
93	44,60	35,03	5.671,16
94	44,77	35,16	5.692,77
95	45,95	36,09	5.842,82
96	45,12	35,44	5.737,28
97	45,27	35,55	5.756,35
98	45,42	35,67	5.775,42
99	45,57	35,79	5.794,50
100	45,72	35,91	5.813,57
101	45,87	36,03	5.832,64
102	46,01	36,14	5.850,45
103	46,14	36,24	5.866,98
104	46,27	36,34	5.883,51
105	46,39	36,43	5.898,77
106	46,56	36,57	5.920,38
107	46,74	36,71	5.943,27
108	46,91	36,84	5.964,89
109	47,16	37,04	5.996,68
110	47,26	37,12	6.009,39
111	47,25	37,11	6.008,12
112	47,24	37,10	6.006,85
113	47,28	37,13	6.011,93
114	47,31	37,16	6.015,75
115	47,34	37,18	6.019,56

116	47,36	37,20	6.022,11
117	47,37	37,20	6.023,38
118	47,38	37,21	6.024,65
119	47,36	37,20	6.022,11
120	47,27	37,13	6.010,66
121	47,19	37,06	6.000,49
122	47,11	37,00	5.990,32
123	47,02	36,93	5.978,87
124	46,94	36,87	5.968,70
125	46,86	36,80	5.958,53
126	46,86	36,80	5.958,53
127	46,88	36,82	5.961,07
128	46,89	36,83	5.962,34
129	46,90	36,84	5.963,61
130	46,91	36,84	5.964,89
131	46,91	36,84	5.964,89
132	46,90	36,84	5.963,61
133	46,89	36,83	5.962,34
134	46,88	36,82	5.961,07
135	46,86	36,80	5.958,53
136	46,85	36,80	5.957,26
137	46,84	36,79	5.955,99
138	46,83	36,78	5.954,71
139	46,86	36,80	5.958,53
140	46,91	36,84	5.964,89
141	46,95	36,87	5.969,97
142	47,00	36,91	5.976,33
143	47,01	36,92	5.977,60
144	47,00	36,91	5.976,33
145	46,99	36,91	5.975,06
146	46,98	36,90	5.973,79
147	46,97	36,89	5.972,52
148	46,95	36,87	5.969,97
149	46,94	36,87	5.968,70
150	46,93	36,86	5.967,43
151	46,92	36,85	5.966,16
152	46,91	36,84	5.964,89
153	46,09	36,20	5.860,62
154	46,89	36,83	5.962,34
155	46,88	36,82	5.961,07
156	46,87	36,81	5.959,80
157	46,88	36,82	5.961,07
158	46,90	36,84	5.963,61
159	46,92	36,85	5.966,16
160	46,94	36,87	5.968,70
161	46,96	36,88	5.971,24
162	46,98	36,90	5.973,79
163	46,99	36,91	5.975,06
164	47,01	36,92	5.977,60
165	46,95	36,87	5.969,97
166	46,88	36,82	5.961,07
167	46,87	36,81	5.959,80
168	46,75	36,72	5.944,54
169	46,69	36,67	5.936,91
170	46,62	36,62	5.928,01
171	46,56	36,57	5.920,38
172	46,49	36,51	5.911,48
173	46,40	36,44	5.900,04
174	46,29	36,36	5.886,05
175	46,17	36,26	5.870,79
176	46,06	36,18	5.856,80
177	45,95	36,09	5.842,82
178	45,83	35,99	5.827,56

179	45,72	35,91	5.813,57
180	45,61	35,82	5.799,58
181	45,49	35,73	5.784,32
182	45,43	35,68	5.776,70
183	45,42	35,67	5.775,42
184	45,41	35,66	5.774,15
185	45,39	35,65	5.771,61
186	45,38	35,64	5.770,34
187	45,37	35,63	5.769,07
188	45,36	35,63	5.767,79
189	45,35	35,62	5.766,52
190	45,34	35,61	5.765,25
191	45,33	35,60	5.763,98
192	45,32	35,59	5.762,71
193	45,31	35,59	5.761,44
194	45,30	35,58	5.760,17
195	45,29	35,57	5.758,89
196	45,27	35,55	5.756,35
197	45,26	35,55	5.755,08
198	45,25	35,54	5.753,81
199	45,24	35,53	5.752,54
200	45,23	35,52	5.751,26
201	45,22	35,52	5.749,99
202	45,21	35,51	5.748,72
203	45,20	35,50	5.747,45
204	45,19	35,49	5.746,18
205	45,18	35,48	5.744,91
206	45,17	35,48	5.743,63
207	45,16	35,47	5.742,36
208	45,14	35,45	5.739,82
209	45,13	35,45	5.738,55
210	45,12	35,44	5.737,28
211	45,09	35,41	5.733,46
212	45,02	35,36	5.724,56
213	44,95	35,30	5.715,66
214	44,88	35,25	5.706,76
215	44,80	35,19	5.696,59
216	44,73	35,13	5.687,69
217	44,66	35,08	5.678,79
218	44,59	35,02	5.669,88
219	44,52	34,97	5.660,98
220	44,43	34,90	5.649,54
221	44,35	34,83	5.639,37
222	44,27	34,77	5.629,19
223	44,11	34,64	5.608,85
224	43,94	34,51	5.587,23
225	43,68	34,31	5.554,17
226	43,39	34,08	5.517,30
227	43,08	33,83	5.477,88
228	42,68	33,52	5.427,02
229	42,36	33,27	5.386,33
230	42,35	33,26	5.385,06
231	42,40	33,30	5.391,41
232	42,80	33,62	5.442,28
233	43,10	33,85	5.480,42
234	43,44	34,12	5.523,66
235	43,73	34,35	5.560,53
236	43,93	34,50	5.585,96
237	44,23	34,74	5.624,11
238	44,53	34,97	5.662,26
239	44,63	35,05	5.674,97
240	44,77	35,16	5.692,77
241	44,89	35,26	5.708,03

242	45,00	35,34	5.722,02
243	45,12	35,44	5.737,28
244	45,21	35,51	5.748,72
245	45,28	35,56	5.757,62
246	45,28	35,56	5.757,62
247	45,27	35,55	5.756,35
248	45,24	35,53	5.752,54
249	45,19	35,49	5.746,18
250	45,15	35,46	5.741,09
251	45,14	35,45	5.739,82
252	45,13	35,45	5.738,55
253	45,11	35,43	5.736,01
254	45,09	35,41	5.733,46
255	45,07	35,40	5.730,92
256	45,05	35,38	5.728,38
257	45,02	35,36	5.724,56
258	44,98	35,33	5.719,48
259	44,95	35,30	5.715,66
260	44,91	35,27	5.710,57
261	44,87	35,24	5.705,49
262	44,77	35,16	5.692,77
263	44,68	35,09	5.681,33
264	44,58	35,01	5.668,61
265	44,48	34,93	5.655,90
266	44,39	34,86	5.644,45
267	44,29	34,79	5.631,74
268	44,19	34,71	5.619,02
269	44,09	34,63	5.606,31
270	44,02	34,57	5.597,41
271	44,01	34,57	5.596,13
272	44,00	34,56	5.594,86
273	43,93	34,50	5.585,96
274	43,87	34,46	5.578,33
275	43,80	34,40	5.569,43
276	43,79	34,39	5.568,16
277	43,78	34,38	5.566,89
278	43,77	34,38	5.565,62
279	43,76	34,37	5.564,34
280	43,72	34,34	5.559,26
281	43,58	34,23	5.541,46
282	43,44	34,12	5.523,66
283	43,33	34,03	5.509,67
284	43,27	33,98	5.502,04
285	43,20	33,93	5.493,14
286	43,11	33,86	5.481,69
287	42,98	33,76	5.465,16
288	42,86	33,66	5.449,90
289	42,74	33,57	5.434,65
290	42,61	33,47	5.418,12
291	42,60	33,46	5.416,84
292	42,56	33,43	5.411,76
293	42,28	33,21	5.376,15
294	41,86	32,88	5.322,75
295	41,35	32,48	5.257,90
296	40,62	31,90	5.165,08
297	39,70	31,18	5.048,09
298	38,75	30,43	4.927,29
299	37,58	29,52	4.778,52
300	36,62	28,76	4.656,45
301	35,69	28,03	4.538,20
302	34,90	27,41	4.437,74
303	34,13	26,81	4.339,83
304	33,25	26,11	4.227,94

305	32,12	25,23	4.084,25
306	30,62	24,05	3.893,52
307	29,36	23,06	3.733,30
308	28,65	22,50	3.643,02
309	26,85	21,09	3.414,14
310	26,48	20,80	3.367,09
311	26,47	20,79	3.365,82
312	26,45	20,77	3.363,28
313	26,38	20,72	3.354,37
314	26,30	20,66	3.344,20
315	26,18	20,56	3.328,94
316	26,06	20,47	3.313,68
317	25,93	20,37	3.297,15
318	25,81	20,27	3.281,90
319	25,66	20,15	3.262,82
320	25,49	20,02	3.241,21
321	25,32	19,89	3.219,59
322	25,15	19,75	3.197,97
323	24,97	19,61	3.175,08
324	24,80	19,48	3.153,47
325	24,63	19,34	3.131,85
326	22,40	17,59	2.848,29
327	21,41	16,82	2.722,41
328	21,25	16,69	2.702,06
329	21,08	16,56	2.680,45
330	20,94	16,45	2.662,65
331	20,80	16,34	2.644,84
332	20,66	16,23	2.627,04
333	20,49	16,09	2.605,43
334	20,26	15,91	2.576,18
335	20,03	15,73	2.546,93
336	19,80	15,55	2.517,69
337	19,57	15,37	2.488,44
338	19,31	15,17	2.455,38
339	18,96	14,89	2.410,88
340	18,61	14,62	2.366,37
341	18,26	14,34	2.321,87
342	17,90	14,06	2.276,09
343	17,53	13,77	2.229,04
344	17,22	13,52	2.189,63
345	16,96	13,32	2.156,57
346	16,62	13,05	2.113,33
347	16,17	12,70	2.056,11
348	15,71	12,34	1.997,62
349	15,31	12,02	1.946,76
350	14,93	11,73	1.898,44
351	14,48	11,37	1.841,22
352	14,01	11,00	1.781,46
353	13,57	10,66	1.725,51
354	13,13	10,31	1.669,56
355	12,69	9,97	1.613,61
356	12,31	9,67	1.565,29
357	11,92	9,36	1.515,70
358	11,49	9,02	1.461,02
359	11,14	8,75	1.416,52
360	10,97	8,62	1.394,90
361	10,83	8,51	1.377,10
362	10,72	8,42	1.363,11
363	10,65	8,36	1.354,21
364	10,57	8,30	1.344,04
365	10,41	8,18	1.323,69
366	10,43	8,19	1.326,24
367	10,05	7,89	1.277,92

368	9,87	7,75	1.255,03
369	9,70	7,62	1.233,41
370	9,50	7,46	1.207,98
371	9,28	7,29	1.180,01
372	9,05	7,11	1.150,76
373	8,82	6,93	1.121,52
374	8,58	6,74	1.091,00
375	8,34	6,55	1.060,48
376	8,18	6,42	1.040,14
377	8,08	6,35	1.027,42
378	7,99	6,28	1.015,98
379	7,91	6,21	1.005,80
380	7,82	6,14	994,36
381	7,74	6,08	984,19
382	7,59	5,96	965,11
383	7,43	5,84	944,77
384	7,28	5,72	925,70
385	7,09	5,57	901,54
386	6,90	5,42	877,38
387	6,63	5,21	843,04
388	6,30	4,95	801,08
389	6,05	4,75	769,29
390	5,83	4,58	741,32
391	5,49	4,31	698,09
392	5,11	4,01	649,77
393	4,85	3,81	616,71
394	4,53	3,56	576,02
395	4,20	3,30	534,06
396	4,03	3,17	512,44
397	3,88	3,05	493,37
398	3,73	2,93	474,29
399	3,52	2,76	447,59
400	3,29	2,58	418,34
401	3,10	2,43	394,18
402	3,10	2,43	394,18
403	3,10	2,43	394,18
404	3,11	2,44	395,46
405	3,12	2,45	396,73
406	3,13	2,46	398,00
407	3,13	2,46	398,00
408	3,14	2,47	399,27
409	3,14	2,47	399,27
410	3,14	2,47	399,27
411	3,13	2,46	398,00
412	3,13	2,46	398,00
413	3,12	2,45	396,73
414	3,11	2,44	395,46
415	3,09	2,43	392,91
416	3,08	2,42	391,64
417	3,06	2,40	389,10
418	3,04	2,39	386,55
419	3,01	2,36	382,74
420	2,98	2,34	378,92
421	2,96	2,32	376,38
422	2,93	2,30	372,57
423	2,89	2,27	367,48
424	2,85	2,24	362,39
425	2,82	2,21	358,58
426	2,78	2,18	353,49
427	2,73	2,14	347,14
428	2,69	2,11	342,05
429	2,64	2,07	335,69
430	2,59	2,03	329,33

431	2,53	1,99	321,70
432	2,48	1,95	315,35
433	2,42	1,90	307,72
434	2,36	1,85	300,09
435	2,29	1,80	291,19
436	2,23	1,75	283,56
437	2,16	1,70	274,66
438	2,09	1,64	265,76
439	2,01	1,58	255,58
440	1,94	1,52	246,68
441	1,85	1,45	235,24
442	1,75	1,37	222,52
443	1,66	1,30	211,08
444	1,55	1,22	197,09
445	1,50	1,18	190,73
Συνολικό κόστος τσιμέντου-μπεντονίτη (€)			1.759.134,08

Κόστος Διάτρησης για D = 800 mm

		Τιμή ανά μέτρο μήκους διάτρησης (€/m)	Άρθρο 15.01.01: Διάνοιξη οπής 1000 mm σε μαλακά πετρώματα		Άρθρο 15.02.01: Διάνοιξη οπής 1000 mm σε σκληρά πετρώματα		
			147,00	183,75	294,00	367,50	
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Μήκος Στοιχείου χωρίς μήκος έμπηξης (m)	εώς 20,00 m	από 20,00 m	εώς 20,00 m	από 20,00 m	Συνολικό κόστος διάτρησης στοιχείου (€)
1	1,50	0,00			441,00		441,00
2	2,31	0,81	119,07		441,00		560,07
3	3,16	1,66	244,02		441,00		685,02
4	4,02	2,52	370,44		441,00		811,44
5	4,84	3,34	490,98		441,00		931,98
6	5,66	4,16	611,52		441,00		1.052,52
7	6,47	4,97	730,59		441,00		1.171,59
8	7,28	5,78	849,66		441,00		1.290,66
9	8,22	6,72	987,84		441,00		1.428,84
10	9,30	7,80	1.146,60		441,00		1.587,60
11	10,29	8,79	1.292,13		441,00		1.733,13
12	11,03	9,53	1.400,91		441,00		1.841,91
13	11,77	10,27	1.509,69		441,00		1.950,69
14	12,51	11,01	1.618,47		441,00		2.059,47
15	13,17	11,67	1.715,49		441,00		2.156,49
16	13,82	12,32	1.811,04		441,00		2.252,04
17	14,46	12,96	1.905,12		441,00		2.346,12
18	15,10	13,60	1.999,20		441,00		2.440,20
19	15,74	14,24	2.093,28		441,00		2.534,28
20	16,29	14,79	2.174,13		441,00		2.615,13
21	16,84	15,34	2.254,98		441,00		2.695,98
22	17,39	15,89	2.335,83		441,00		2.776,83
23	17,94	16,44	2.416,68		441,00		2.857,68
24	18,49	16,99	2.497,53		441,00		2.938,53
25	19,05	17,55	2.579,85		441,00		3.020,85
26	19,55	18,05	2.653,35		441,00		3.094,35
27	20,04	18,54	2.725,38		429,24	14,70	3.169,32
28	20,53	19,03	2.797,41		285,18	194,78	3.277,37
29	21,27	19,77	2.906,19		67,62	466,73	3.440,54
30	22,11	20,61	2.940,00	112,09		551,25	3.603,34
31	22,84	21,34	2.940,00	246,23		551,25	3.737,48
32	23,42	21,92	2.940,00	352,80		551,25	3.844,05
33	23,99	22,49	2.940,00	457,54		551,25	3.948,79
34	24,57	23,07	2.940,00	564,11		551,25	4.055,36
35	24,94	23,44	2.940,00	632,10		551,25	4.123,35
36	25,29	23,79	2.940,00	696,41		551,25	4.187,66
37	25,64	24,14	2.940,00	760,73		551,25	4.251,98
38	25,99	24,49	2.940,00	825,04		551,25	4.316,29
39	26,35	24,85	2.940,00	891,19		551,25	4.382,44
40	26,70	25,20	2.940,00	955,50		551,25	4.446,75
41	27,05	25,55	2.940,00	1.019,81		551,25	4.511,06
42	27,40	25,90	2.940,00	1.084,13		551,25	4.575,38
43	27,77	26,27	2.940,00	1.152,11		551,25	4.643,36
44	28,14	26,64	2.940,00	1.220,10		551,25	4.711,35
45	28,50	27,00	2.940,00	1.286,25		551,25	4.777,50
46	28,87	27,37	2.940,00	1.354,24		551,25	4.845,49
47	29,24	27,74	2.940,00	1.422,23		551,25	4.913,48

48	29,60	28,10	2.940,00	1.488,38		551,25	4.979,63
49	29,94	28,44	2.940,00	1.550,85		551,25	5.042,10
50	30,70	29,20	2.940,00	1.690,50		551,25	5.181,75
51	30,19	28,69	2.940,00	1.596,79		551,25	5.088,04
52	30,32	28,82	2.940,00	1.620,68		551,25	5.111,93
53	30,44	28,94	2.940,00	1.642,73		551,25	5.133,98
54	30,57	29,07	2.940,00	1.666,61		551,25	5.157,86
55	30,69	29,19	2.940,00	1.688,66		551,25	5.179,91
56	30,82	29,32	2.940,00	1.712,55		551,25	5.203,80
57	30,94	29,44	2.940,00	1.734,60		551,25	5.225,85
58	31,08	29,58	2.940,00	1.760,33		551,25	5.251,58
59	31,24	29,74	2.940,00	1.789,73		551,25	5.280,98
60	31,41	29,91	2.940,00	1.820,96		551,25	5.312,21
61	31,56	30,06	2.940,00	1.848,53		551,25	5.339,78
62	31,62	30,12	2.940,00	1.859,55		551,25	5.350,80
63	31,68	30,18	2.940,00	1.870,58		551,25	5.361,83
64	31,73	30,23	2.940,00	1.879,76		551,25	5.371,01
65	31,73	30,23	2.940,00	1.879,76		551,25	5.371,01
66	31,72	30,22	2.940,00	1.877,93		551,25	5.369,18
67	31,72	30,22	2.940,00	1.877,93		551,25	5.369,18
68	31,86	30,36	2.940,00	1.903,65		551,25	5.394,90
69	32,02	30,52	2.940,00	1.933,05		551,25	5.424,30
70	32,27	30,77	2.940,00	1.978,99		551,25	5.470,24
71	32,53	31,03	2.940,00	2.026,76		551,25	5.518,01
72	32,79	31,29	2.940,00	2.074,54		551,25	5.565,79
73	33,02	31,52	2.940,00	2.116,80		551,25	5.608,05
74	33,25	31,75	2.940,00	2.159,06		551,25	5.650,31
75	33,47	31,97	2.940,00	2.199,49		551,25	5.690,74
76	33,75	32,25	2.940,00	2.250,94		551,25	5.742,19
77	34,08	32,58	2.940,00	2.311,58		551,25	5.802,83
78	34,41	32,91	2.940,00	2.372,21		551,25	5.863,46
79	34,73	33,23	2.940,00	2.431,01		551,25	5.922,26
80	35,06	33,56	2.940,00	2.491,65		551,25	5.982,90
81	35,39	33,89	2.940,00	2.552,29		551,25	6.043,54
82	35,63	34,13	2.940,00	2.596,39		551,25	6.087,64
83	35,85	34,35	2.940,00	2.636,81		551,25	6.128,06
84	36,07	34,57	2.940,00	2.677,24		551,25	6.168,49
85	36,28	34,78	2.940,00	2.715,83		551,25	6.207,08
86	36,50	35,00	2.940,00	2.756,25		551,25	6.247,50
87	36,71	35,21	2.940,00	2.794,84		551,25	6.286,09
88	36,78	35,28	2.940,00	2.807,70		551,25	6.298,95
89	37,04	35,54	2.940,00	2.855,48		551,25	6.346,73
90	37,20	35,70	2.940,00	2.884,88		551,25	6.376,13
91	37,37	35,87	2.940,00	2.916,11		551,25	6.407,36
92	37,56	36,06	2.940,00	2.951,03		551,25	6.442,28
93	37,74	36,24	2.940,00	2.984,10		551,25	6.475,35
94	37,93	36,43	2.940,00	3.019,01		551,25	6.510,26
95	38,11	36,61	2.940,00	3.052,09		551,25	6.543,34
96	38,29	36,79	2.940,00	3.085,16		551,25	6.576,41
97	38,45	36,95	2.940,00	3.114,56		551,25	6.605,81
98	38,59	37,09	2.940,00	3.140,29		551,25	6.631,54
99	38,74	37,24	2.940,00	3.167,85		551,25	6.659,10
100	38,89	37,39	2.940,00	3.195,41		551,25	6.686,66
101	39,04	37,54	2.940,00	3.222,98		551,25	6.714,23
102	39,26	37,76	2.940,00	3.263,40		551,25	6.754,65
103	39,49	37,99	2.940,00	3.305,66		551,25	6.796,91
104	39,71	38,21	2.940,00	3.346,09		551,25	6.837,34
105	39,74	38,24	2.940,00	3.351,60		551,25	6.842,85
106	40,17	38,67	2.940,00	3.430,61		551,25	6.921,86
107	40,39	38,89	2.940,00	3.471,04		551,25	6.962,29
108	40,62	39,12	2.940,00	3.513,30		551,25	7.004,55

109	40,75	39,25	2.940,00	3.537,19		551,25	7.028,44
110	40,86	39,36	2.940,00	3.557,40		551,25	7.048,65
111	41,04	39,54	2.940,00	3.590,48		551,25	7.081,73
112	41,24	39,74	2.940,00	3.627,23		551,25	7.118,48
113	41,45	39,95	2.940,00	3.665,81		551,25	7.157,06
114	41,66	40,16	2.940,00	3.704,40		551,25	7.195,65
115	41,87	40,37	2.940,00	3.742,99		551,25	7.234,24
116	42,10	40,60	2.940,00	3.785,25		551,25	7.276,50
117	42,34	40,84	2.940,00	3.829,35		551,25	7.320,60
118	42,58	41,08	2.940,00	3.873,45		551,25	7.364,70
119	42,81	41,31	2.940,00	3.915,71		551,25	7.406,96
120	43,05	41,55	2.940,00	3.959,81		551,25	7.451,06
121	43,28	41,78	2.940,00	4.002,08		551,25	7.493,33
122	43,52	42,02	2.940,00	4.046,18		551,25	7.537,43
123	43,75	42,25	2.940,00	4.088,44		551,25	7.579,69
124	43,99	42,49	2.940,00	4.132,54		551,25	7.623,79
125	44,17	42,67	2.940,00	4.165,61		551,25	7.656,86
126	44,28	42,78	2.940,00	4.185,83		551,25	7.677,08
127	44,42	42,92	2.940,00	4.211,55		551,25	7.702,80
128	44,55	43,05	2.940,00	4.235,44		551,25	7.726,69
129	44,68	43,18	2.940,00	4.259,33		551,25	7.750,58
130	44,80	43,30	2.940,00	4.281,38		551,25	7.772,63
131	44,93	43,43	2.940,00	4.305,26		551,25	7.796,51
132	45,06	43,56	2.940,00	4.329,15		551,25	7.820,40
133	45,17	43,67	2.940,00	4.349,36		551,25	7.840,61
134	45,28	43,78	2.940,00	4.369,58		551,25	7.860,83
135	45,39	43,89	2.940,00	4.389,79		551,25	7.881,04
136	45,50	44,00	2.940,00	4.410,00		551,25	7.901,25
137	45,61	44,11	2.940,00	4.430,21		551,25	7.921,46
138	45,72	44,22	2.940,00	4.450,43		551,25	7.941,68
139	45,82	44,32	2.940,00	4.468,80		551,25	7.960,05
140	45,93	44,43	2.940,00	4.489,01		551,25	7.980,26
141	46,03	44,53	2.940,00	4.507,39		551,25	7.998,64
142	46,12	44,62	2.940,00	4.523,93		551,25	8.015,18
143	46,21	44,71	2.940,00	4.540,46		551,25	8.031,71
144	46,30	44,80	2.940,00	4.557,00		551,25	8.048,25
145	46,39	44,89	2.940,00	4.573,54		551,25	8.064,79
146	46,51	45,01	2.940,00	4.595,59		551,25	8.086,84
147	46,64	45,14	2.940,00	4.619,48		551,25	8.110,73
148	46,76	45,26	2.940,00	4.641,53		551,25	8.132,78
149	46,89	45,39	2.940,00	4.665,41		551,25	8.156,66
150	47,07	45,57	2.940,00	4.698,49		551,25	8.189,74
151	47,21	45,71	2.940,00	4.724,21		551,25	8.215,46
152	47,26	45,76	2.940,00	4.733,40		551,25	8.224,65
153	47,25	45,75	2.940,00	4.731,56		551,25	8.222,81
154	47,25	45,75	2.940,00	4.731,56		551,25	8.222,81
155	47,25	45,75	2.940,00	4.731,56		551,25	8.222,81
156	47,28	45,78	2.940,00	4.737,08		551,25	8.228,33
157	47,30	45,80	2.940,00	4.740,75		551,25	8.232,00
158	47,33	45,83	2.940,00	4.746,26		551,25	8.237,51
159	47,34	45,84	2.940,00	4.748,10		551,25	8.239,35
160	47,35	45,85	2.940,00	4.749,94		551,25	8.241,19
161	47,36	45,86	2.940,00	4.751,78		551,25	8.243,03
162	47,37	45,87	2.940,00	4.753,61		551,25	8.244,86
163	47,38	45,88	2.940,00	4.755,45		551,25	8.246,70
164	47,38	45,88	2.940,00	4.755,45		551,25	8.246,70
165	47,32	45,82	2.940,00	4.744,43		551,25	8.235,68
166	47,26	45,76	2.940,00	4.733,40		551,25	8.224,65
167	47,20	45,70	2.940,00	4.722,38		551,25	8.213,63
168	47,14	45,64	2.940,00	4.711,35		551,25	8.202,60
169	47,08	45,58	2.940,00	4.700,33		551,25	8.191,58

170	47,02	45,52	2.940,00	4.689,30		551,25	8.180,55
171	46,96	45,46	2.940,00	4.678,28		551,25	8.169,53
172	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
173	46,86	45,36	2.940,00	4.659,90		551,25	8.151,15
174	46,86	45,36	2.940,00	4.659,90		551,25	8.151,15
175	46,87	45,37	2.940,00	4.661,74		551,25	8.152,99
176	46,88	45,38	2.940,00	4.663,58		551,25	8.154,83
177	46,89	45,39	2.940,00	4.665,41		551,25	8.156,66
178	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
179	46,91	45,41	2.940,00	4.669,09		551,25	8.160,34
180	46,92	45,42	2.940,00	4.670,93		551,25	8.162,18
181	46,92	45,42	2.940,00	4.670,93		551,25	8.162,18
182	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
183	46,89	45,39	2.940,00	4.665,41		551,25	8.156,66
184	46,88	45,38	2.940,00	4.663,58		551,25	8.154,83
185	46,88	45,38	2.940,00	4.663,58		551,25	8.154,83
186	46,87	45,37	2.940,00	4.661,74		551,25	8.152,99
187	46,86	45,36	2.940,00	4.659,90		551,25	8.151,15
188	46,85	45,35	2.940,00	4.658,06		551,25	8.149,31
189	46,84	45,34	2.940,00	4.656,23		551,25	8.147,48
190	46,84	45,34	2.940,00	4.656,23		551,25	8.147,48
191	46,83	45,33	2.940,00	4.654,39		551,25	8.145,64
192	46,86	45,36	2.940,00	4.659,90		551,25	8.151,15
193	46,89	45,39	2.940,00	4.665,41		551,25	8.156,66
194	46,93	45,43	2.940,00	4.672,76		551,25	8.164,01
195	46,96	45,46	2.940,00	4.678,28		551,25	8.169,53
196	46,99	45,49	2.940,00	4.683,79		551,25	8.175,04
197	47,01	45,51	2.940,00	4.687,46		551,25	8.178,71
198	47,01	45,51	2.940,00	4.687,46		551,25	8.178,71
199	47,00	45,50	2.940,00	4.685,63		551,25	8.176,88
200	46,99	45,49	2.940,00	4.683,79		551,25	8.175,04
201	46,98	45,48	2.940,00	4.681,95		551,25	8.173,20
202	46,97	45,47	2.940,00	4.680,11		551,25	8.171,36
203	46,97	45,47	2.940,00	4.680,11		551,25	8.171,36
204	46,96	45,46	2.940,00	4.678,28		551,25	8.169,53
205	46,95	45,45	2.940,00	4.676,44		551,25	8.167,69
206	46,94	45,44	2.940,00	4.674,60		551,25	8.165,85
207	46,94	45,44	2.940,00	4.674,60		551,25	8.165,85
208	46,93	45,43	2.940,00	4.672,76		551,25	8.164,01
209	46,92	45,42	2.940,00	4.670,93		551,25	8.162,18
210	46,91	45,41	2.940,00	4.669,09		551,25	8.160,34
211	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
212	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
213	46,89	45,39	2.940,00	4.665,41		551,25	8.156,66
214	46,88	45,38	2.940,00	4.663,58		551,25	8.154,83
215	46,87	45,37	2.940,00	4.661,74		551,25	8.152,99
216	46,87	45,37	2.940,00	4.661,74		551,25	8.152,99
217	46,88	45,38	2.940,00	4.663,58		551,25	8.154,83
218	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
219	46,91	45,41	2.940,00	4.669,09		551,25	8.160,34
220	46,92	45,42	2.940,00	4.670,93		551,25	8.162,18
221	46,94	45,44	2.940,00	4.674,60		551,25	8.165,85
222	46,95	45,45	2.940,00	4.676,44		551,25	8.167,69
223	46,96	45,46	2.940,00	4.678,28		551,25	8.169,53
224	46,98	45,48	2.940,00	4.681,95		551,25	8.173,20
225	46,99	45,49	2.940,00	4.683,79		551,25	8.175,04
226	47,00	45,50	2.940,00	4.685,63		551,25	8.176,88
227	47,00	45,50	2.940,00	4.685,63		551,25	8.176,88
228	46,95	45,45	2.940,00	4.676,44		551,25	8.167,69
229	46,90	45,40	2.940,00	4.667,25		551,25	8.158,50
230	46,86	45,36	2.940,00	4.659,90		551,25	8.151,15

231	46,81	45,31	2.940,00	4.650,71		551,25	8.141,96
232	46,76	45,26	2.940,00	4.641,53		551,25	8.132,78
233	46,72	45,22	2.940,00	4.634,18		551,25	8.125,43
234	46,67	45,17	2.940,00	4.624,99		551,25	8.116,24
235	46,62	45,12	2.940,00	4.615,80		551,25	8.107,05
236	46,57	45,07	2.940,00	4.606,61		551,25	8.097,86
237	46,53	45,03	2.940,00	4.599,26		551,25	8.090,51
238	46,48	44,98	2.940,00	4.590,08		551,25	8.081,33
239	46,41	44,91	2.940,00	4.577,21		551,25	8.068,46
240	46,33	44,83	2.940,00	4.562,51		551,25	8.053,76
241	46,25	44,75	2.940,00	4.547,81		551,25	8.039,06
242	46,17	44,67	2.940,00	4.533,11		551,25	8.024,36
243	46,09	44,59	2.940,00	4.518,41		551,25	8.009,66
244	46,00	44,50	2.940,00	4.501,88		551,25	7.993,13
245	45,92	44,42	2.940,00	4.487,18		551,25	7.978,43
246	45,89	44,39	2.940,00	4.481,66		551,25	7.972,91
247	45,76	44,26	2.940,00	4.457,78		551,25	7.949,03
248	45,68	44,18	2.940,00	4.443,08		551,25	7.934,33
249	45,59	44,09	2.940,00	4.426,54		551,25	7.917,79
250	45,51	44,01	2.940,00	4.411,84		551,25	7.903,09
251	45,43	43,93	2.940,00	4.397,14		551,25	7.888,39
252	45,42	43,92	2.940,00	4.395,30		551,25	7.886,55
253	45,42	43,92	2.940,00	4.395,30		551,25	7.886,55
254	45,41	43,91	2.940,00	4.393,46		551,25	7.884,71
255	45,40	43,90	2.940,00	4.391,63		551,25	7.882,88
256	45,39	43,89	2.940,00	4.389,79		551,25	7.881,04
257	45,38	43,88	2.940,00	4.387,95		551,25	7.879,20
258	45,38	43,88	2.940,00	4.387,95		551,25	7.879,20
259	45,37	43,87	2.940,00	4.386,11		551,25	7.877,36
260	45,36	43,86	2.940,00	4.384,28		551,25	7.875,53
261	45,35	43,85	2.940,00	4.382,44		551,25	7.873,69
262	45,35	43,85	2.940,00	4.382,44		551,25	7.873,69
263	45,34	43,84	2.940,00	4.380,60		551,25	7.871,85
264	45,33	43,83	2.940,00	4.378,76		551,25	7.870,01
265	45,32	43,82	2.940,00	4.376,93		551,25	7.868,18
266	45,31	43,81	2.940,00	4.375,09		551,25	7.866,34
267	45,31	43,81	2.940,00	4.375,09		551,25	7.866,34
268	45,30	43,80	2.940,00	4.373,25		551,25	7.864,50
269	45,29	43,79	2.940,00	4.371,41		551,25	7.862,66
270	45,28	43,78	2.940,00	4.369,58		551,25	7.860,83
271	45,27	43,77	2.940,00	4.367,74		551,25	7.858,99
272	45,27	43,77	2.940,00	4.367,74		551,25	7.858,99
273	45,26	43,76	2.940,00	4.365,90		551,25	7.857,15
274	45,25	43,75	2.940,00	4.364,06		551,25	7.855,31
275	45,24	43,74	2.940,00	4.362,23		551,25	7.853,48
276	45,24	43,74	2.940,00	4.362,23		551,25	7.853,48
277	45,23	43,73	2.940,00	4.360,39		551,25	7.851,64
278	45,22	43,72	2.940,00	4.358,55		551,25	7.849,80
279	45,21	43,71	2.940,00	4.356,71		551,25	7.847,96
280	45,20	43,70	2.940,00	4.354,88		551,25	7.846,13
281	45,20	43,70	2.940,00	4.354,88		551,25	7.846,13
282	45,19	43,69	2.940,00	4.353,04		551,25	7.844,29
283	45,18	43,68	2.940,00	4.351,20		551,25	7.842,45
284	45,17	43,67	2.940,00	4.349,36		551,25	7.840,61
285	45,16	43,66	2.940,00	4.347,53		551,25	7.838,78
286	45,16	43,66	2.940,00	4.347,53		551,25	7.838,78
287	45,15	43,65	2.940,00	4.345,69		551,25	7.836,94
288	45,14	43,64	2.940,00	4.343,85		551,25	7.835,10
289	45,13	43,63	2.940,00	4.342,01		551,25	7.833,26
290	45,13	43,63	2.940,00	4.342,01		551,25	7.833,26
291	45,12	43,62	2.940,00	4.340,18		551,25	7.831,43

292	45,08	43,58	2.940,00	4.332,83		551,25	7.824,08
293	45,03	43,53	2.940,00	4.323,64		551,25	7.814,89
294	44,97	43,47	2.940,00	4.312,61		551,25	7.803,86
295	44,92	43,42	2.940,00	4.303,43		551,25	7.794,68
296	44,87	43,37	2.940,00	4.294,24		551,25	7.785,49
297	44,82	43,32	2.940,00	4.285,05		551,25	7.776,30
298	44,77	43,27	2.940,00	4.275,86		551,25	7.767,11
299	44,72	43,22	2.940,00	4.266,68		551,25	7.757,93
300	44,67	43,17	2.940,00	4.257,49		551,25	7.748,74
301	44,61	43,11	2.940,00	4.246,46		551,25	7.737,71
302	44,56	43,06	2.940,00	4.237,28		551,25	7.728,53
303	44,51	43,01	2.940,00	4.228,09		551,25	7.719,34
304	44,45	42,95	2.940,00	4.217,06		551,25	7.708,31
305	44,39	42,89	2.940,00	4.206,04		551,25	7.697,29
306	44,33	42,83	2.940,00	4.195,01		551,25	7.686,26
307	44,27	42,77	2.940,00	4.183,99		551,25	7.675,24
308	44,16	42,66	2.940,00	4.163,78		551,25	7.655,03
309	44,04	42,54	2.940,00	4.141,73		551,25	7.632,98
310	43,92	42,42	2.940,00	4.119,68		551,25	7.610,93
311	43,72	42,22	2.940,00	4.082,93		551,25	7.574,18
312	43,50	42,00	2.940,00	4.042,50		551,25	7.533,75
313	43,29	41,79	2.940,00	4.003,91		551,25	7.495,16
314	43,06	41,56	2.940,00	3.961,65		551,25	7.452,90
315	42,77	41,27	2.940,00	3.908,36		551,25	7.399,61
316	42,49	40,99	2.940,00	3.856,91		551,25	7.348,16
317	42,36	40,86	2.940,00	3.833,03		551,25	7.324,28
318	42,35	40,85	2.940,00	3.831,19		551,25	7.322,44
319	42,34	40,84	2.940,00	3.829,35		551,25	7.320,60
320	42,59	41,09	2.940,00	3.875,29		551,25	7.366,54
321	42,85	41,35	2.940,00	3.923,06		551,25	7.414,31
322	43,06	41,56	2.940,00	3.961,65		551,25	7.452,90
323	43,28	41,78	2.940,00	4.002,08		551,25	7.493,33
324	43,53	42,03	2.940,00	4.048,01		551,25	7.539,26
325	43,73	42,23	2.940,00	4.084,76		551,25	7.576,01
326	43,86	42,36	2.940,00	4.108,65		551,25	7.599,90
327	44,06	42,56	2.940,00	4.145,40		551,25	7.636,65
328	44,28	42,78	2.940,00	4.185,83		551,25	7.677,08
329	44,50	43,00	2.940,00	4.226,25		551,25	7.717,50
330	44,58	43,08	2.940,00	4.240,95		551,25	7.732,20
331	44,68	43,18	2.940,00	4.259,33		551,25	7.750,58
332	44,78	43,28	2.940,00	4.277,70		551,25	7.768,95
333	44,87	43,37	2.940,00	4.294,24		551,25	7.785,49
334	44,93	43,43	2.940,00	4.305,26		551,25	7.796,51
335	45,03	43,53	2.940,00	4.323,64		551,25	7.814,89
336	45,12	43,62	2.940,00	4.340,18		551,25	7.831,43
337	45,18	43,68	2.940,00	4.351,20		551,25	7.842,45
338	45,24	43,74	2.940,00	4.362,23		551,25	7.853,48
339	45,28	43,78	2.940,00	4.369,58		551,25	7.860,83
340	45,29	43,79	2.940,00	4.371,41		551,25	7.862,66
341	45,28	43,78	2.940,00	4.369,58		551,25	7.860,83
342	45,27	43,77	2.940,00	4.367,74		551,25	7.858,99
343	45,24	43,74	2.940,00	4.362,23		551,25	7.853,48
344	45,21	43,71	2.940,00	4.356,71		551,25	7.847,96
345	45,17	43,67	2.940,00	4.349,36		551,25	7.840,61
346	45,15	43,65	2.940,00	4.345,69		551,25	7.836,94
347	45,14	43,64	2.940,00	4.343,85		551,25	7.835,10
348	45,13	43,63	2.940,00	4.342,01		551,25	7.833,26
349	45,13	43,63	2.940,00	4.342,01		551,25	7.833,26
350	45,11	43,61	2.940,00	4.338,34		551,25	7.829,59
351	45,10	43,60	2.940,00	4.336,50		551,25	7.827,75
352	45,08	43,58	2.940,00	4.332,83		551,25	7.824,08

353	45,07	43,57	2.940,00	4.330,99		551,25	7.822,24
354	45,05	43,55	2.940,00	4.327,31		551,25	7.818,56
355	45,03	43,53	2.940,00	4.323,64		551,25	7.814,89
356	45,01	43,51	2.940,00	4.319,96		551,25	7.811,21
357	44,98	43,48	2.940,00	4.314,45		551,25	7.805,70
358	44,95	43,45	2.940,00	4.308,94		551,25	7.800,19
359	44,93	43,43	2.940,00	4.305,26		551,25	7.796,51
360	44,90	43,40	2.940,00	4.299,75		551,25	7.791,00
361	44,87	43,37	2.940,00	4.294,24		551,25	7.785,49
362	44,80	43,30	2.940,00	4.281,38		551,25	7.772,63
363	44,73	43,23	2.940,00	4.268,51		551,25	7.759,76
364	44,66	43,16	2.940,00	4.255,65		551,25	7.746,90
365	44,59	43,09	2.940,00	4.242,79		551,25	7.734,04
366	44,52	43,02	2.940,00	4.229,93		551,25	7.721,18
367	44,45	42,95	2.940,00	4.217,06		551,25	7.708,31
368	44,38	42,88	2.940,00	4.204,20		551,25	7.695,45
369	44,31	42,81	2.940,00	4.191,34		551,25	7.682,59
370	44,24	42,74	2.940,00	4.178,48		551,25	7.669,73
371	44,17	42,67	2.940,00	4.165,61		551,25	7.656,86
372	44,10	42,60	2.940,00	4.152,75		551,25	7.644,00
373	44,03	42,53	2.940,00	4.139,89		551,25	7.631,14
374	44,02	42,52	2.940,00	4.138,05		551,25	7.629,30
375	44,01	42,51	2.940,00	4.136,21		551,25	7.627,46
376	44,00	42,50	2.940,00	4.134,38		551,25	7.625,63
377	43,96	42,46	2.940,00	4.127,03		551,25	7.618,28
378	43,92	42,42	2.940,00	4.119,68		551,25	7.610,93
379	43,87	42,37	2.940,00	4.110,49		551,25	7.601,74
380	43,82	42,32	2.940,00	4.101,30		551,25	7.592,55
381	43,80	42,30	2.940,00	4.097,63		551,25	7.588,88
382	43,79	42,29	2.940,00	4.095,79		551,25	7.587,04
383	43,78	42,28	2.940,00	4.093,95		551,25	7.585,20
384	43,78	42,28	2.940,00	4.093,95		551,25	7.585,20
385	43,77	42,27	2.940,00	4.092,11		551,25	7.583,36
386	43,76	42,26	2.940,00	4.090,28		551,25	7.581,53
387	43,75	42,25	2.940,00	4.088,44		551,25	7.579,69
388	43,65	42,15	2.940,00	4.070,06		551,25	7.561,31
389	43,55	42,05	2.940,00	4.051,69		551,25	7.542,94
390	43,45	41,95	2.940,00	4.033,31		551,25	7.524,56
391	43,36	41,86	2.940,00	4.016,78		551,25	7.508,03
392	43,31	41,81	2.940,00	4.007,59		551,25	7.498,84
393	43,26	41,76	2.940,00	3.998,40		551,25	7.489,65
394	43,21	41,71	2.940,00	3.989,21		551,25	7.480,46
395	43,16	41,66	2.940,00	3.980,03		551,25	7.471,28
396	43,07	41,57	2.940,00	3.963,49		551,25	7.454,74
397	42,98	41,48	2.940,00	3.946,95		551,25	7.438,20
398	42,89	41,39	2.940,00	3.930,41		551,25	7.421,66
399	42,80	41,30	2.940,00	3.913,88		551,25	7.405,13
400	42,73	41,23	2.940,00	3.901,01		551,25	7.392,26
401	42,61	41,11	2.940,00	3.878,96		551,25	7.370,21
402	42,60	41,10	2.940,00	3.877,13		551,25	7.368,38
403	42,59	41,09	2.940,00	3.875,29		551,25	7.366,54
404	42,55	41,05	2.940,00	3.867,94		551,25	7.359,19
405	42,34	40,84	2.940,00	3.829,35		551,25	7.320,60
406	42,08	40,58	2.940,00	3.781,58		551,25	7.272,83
407	41,75	40,25	2.940,00	3.720,94		551,25	7.212,19
408	41,39	39,89	2.940,00	3.654,79		551,25	7.146,04
409	40,89	39,39	2.940,00	3.562,91		551,25	7.054,16
410	40,26	38,76	2.940,00	3.447,15		551,25	6.938,40
411	39,60	38,10	2.940,00	3.325,88		551,25	6.817,13
412	38,91	37,41	2.940,00	3.199,09		551,25	6.690,34
413	38,13	36,63	2.940,00	3.055,76		551,25	6.547,01

414	37,29	35,79	2.940,00	2.901,41		551,25	6.392,66
415	36,62	35,12	2.940,00	2.778,30		551,25	6.269,55
416	35,95	34,45	2.940,00	2.655,19		551,25	6.146,44
417	35,32	33,82	2.940,00	2.539,43		551,25	6.030,68
418	34,77	33,27	2.940,00	2.438,36		551,25	5.929,61
419	34,22	32,72	2.940,00	2.337,30		551,25	5.828,55
420	35,59	34,09	2.940,00	2.589,04		551,25	6.080,29
421	32,96	31,46	2.940,00	2.105,78		551,25	5.597,03
422	32,02	30,52	2.940,00	1.933,05		551,25	5.424,30
423	30,94	29,44	2.940,00	1.734,60		551,25	5.225,85
424	29,98	28,48	2.940,00	1.558,20		551,25	5.049,45
425	29,19	27,69	2.940,00	1.413,04		551,25	4.904,29
426	28,64	27,14	2.940,00	1.311,98		551,25	4.803,23
427	27,37	25,87	2.940,00	1.078,61		551,25	4.569,86
428	26,62	25,12	2.940,00	940,80		551,25	4.432,05
429	26,48	24,98	2.940,00	915,08		551,25	4.406,33
430	26,47	24,97	2.940,00	913,24		551,25	4.404,49
431	26,45	24,95	2.940,00	909,56		551,25	4.400,81
432	26,43	24,93	2.940,00	905,89		551,25	4.397,14
433	26,38	24,88	2.940,00	896,70		551,25	4.387,95
434	26,33	24,83	2.940,00	887,51		551,25	4.378,76
435	26,25	24,75	2.940,00	872,81		551,25	4.364,06
436	26,16	24,66	2.940,00	856,28		551,25	4.347,53
437	26,07	24,57	2.940,00	839,74		551,25	4.330,99
438	25,98	24,48	2.940,00	823,20		551,25	4.314,45
439	25,89	24,39	2.940,00	806,66		551,25	4.297,91
440	25,80	24,30	2.940,00	790,13		551,25	4.281,38
441	25,70	24,20	2.940,00	771,75		551,25	4.263,00
442	25,57	24,07	2.940,00	747,86		551,25	4.239,11
443	25,45	23,95	2.940,00	725,81		551,25	4.217,06
444	25,33	23,83	2.940,00	703,76		551,25	4.195,01
445	25,20	23,70	2.940,00	679,88		551,25	4.171,13
446	25,80	24,30	2.940,00	790,13		551,25	4.281,38
447	24,95	23,45	2.940,00	633,94		551,25	4.125,19
448	24,83	23,33	2.940,00	611,89		551,25	4.103,14
449	24,70	23,20	2.940,00	588,00		551,25	4.079,25
450	24,58	23,08	2.940,00	565,95		551,25	4.057,20
451	22,40	20,90	2.940,00	165,38		551,25	3.656,63
452	21,45	19,95	2.932,65		14,70	532,88	3.480,23
453	21,34	19,84	2.916,48		47,04	492,45	3.455,97
454	21,22	19,72	2.898,84		82,32	448,35	3.429,51
455	21,10	19,60	2.881,20		117,60	404,25	3.403,05
456	20,99	19,49	2.865,03		149,94	363,82	3.378,80
457	20,89	19,39	2.850,33		179,34	327,08	3.356,75
458	20,79	19,29	2.835,63		208,74	290,33	3.334,70
459	20,69	19,19	2.820,93		238,14	253,58	3.312,65
460	20,59	19,09	2.806,23		267,54	216,83	3.290,60
461	20,44	18,94	2.784,18		311,64	161,70	3.257,52
462	20,27	18,77	2.759,19		361,62	99,22	3.220,04
463	20,11	18,61	2.735,67		408,66	40,42	3.184,76
464	19,94	18,44	2.710,68		441,00		3.151,68
465	19,77	18,27	2.685,69		441,00		3.126,69
466	19,61	18,11	2.662,17		441,00		3.103,17
467	19,44	17,94	2.637,18		441,00		3.078,18
468	19,21	17,71	2.603,37		441,00		3.044,37
469	18,96	17,46	2.566,62		441,00		3.007,62
470	18,71	17,21	2.529,87		441,00		2.970,87
471	18,46	16,96	2.493,12		441,00		2.934,12
472	18,20	16,70	2.454,90		441,00		2.895,90
473	17,94	16,44	2.416,68		441,00		2.857,68
474	17,67	16,17	2.376,99		441,00		2.817,99

475	17,41	15,91	2.338,77		441,00		2.779,77
476	17,20	15,70	2.307,90		441,00		2.748,90
477	17,01	15,51	2.279,97		441,00		2.720,97
478	16,83	15,33	2.253,51		441,00		2.694,51
479	16,52	15,02	2.207,94		441,00		2.648,94
480	16,19	14,69	2.159,43		441,00		2.600,43
481	15,86	14,36	2.110,92		441,00		2.551,92
482	15,54	14,04	2.063,88		441,00		2.504,88
483	15,26	13,76	2.022,72		441,00		2.463,72
484	14,99	13,49	1.983,03		441,00		2.424,03
485	14,70	13,20	1.940,40		441,00		2.381,40
486	14,35	12,85	1.888,95		441,00		2.329,95
487	14,01	12,51	1.838,97		441,00		2.279,97
488	13,69	12,19	1.791,93		441,00		2.232,93
489	13,38	11,88	1.746,36		441,00		2.187,36
490	13,06	11,56	1.699,32		441,00		2.140,32
491	12,74	11,24	1.652,28		441,00		2.093,28
492	12,46	10,96	1.611,12		441,00		2.052,12
493	12,19	10,69	1.571,43		441,00		2.012,43
494	11,89	10,39	1.527,33		441,00		1.968,33
495	11,59	10,09	1.483,23		441,00		1.924,23
496	11,28	9,78	1.437,66		441,00		1.878,66
497	11,10	9,60	1.411,20		441,00		1.852,20
498	10,98	9,48	1.393,56		441,00		1.834,56
499	10,87	9,37	1.377,39		441,00		1.818,39
500	10,79	9,29	1.365,63		441,00		1.806,63
501	10,71	9,21	1.353,87		441,00		1.794,87
502	10,66	9,16	1.346,52		441,00		1.787,52
503	10,61	9,11	1.339,17		441,00		1.780,17
504	10,54	9,04	1.328,88		441,00		1.769,88
505	10,41	8,91	1.309,77		441,00		1.750,77
506	10,28	8,78	1.290,66		441,00		1.731,66
507	10,15	8,65	1.271,55		441,00		1.712,55
508	10,02	8,52	1.252,44		441,00		1.693,44
509	9,89	8,39	1.233,33		441,00		1.674,33
510	9,76	8,26	1.214,22		441,00		1.655,22
511	9,64	8,14	1.196,58		441,00		1.637,58
512	9,49	7,99	1.174,53		441,00		1.615,53
513	9,32	7,82	1.149,54		441,00		1.590,54
514	9,16	7,66	1.126,02		441,00		1.567,02
515	9,00	7,50	1.102,50		441,00		1.543,50
516	8,83	7,33	1.077,51		441,00		1.518,51
517	8,66	7,16	1.052,52		441,00		1.493,52
518	8,49	6,99	1.027,53		441,00		1.468,53
519	8,32	6,82	1.002,54		441,00		1.443,54
520	8,20	6,70	984,90		441,00		1.425,90
521	8,13	6,63	974,61		441,00		1.415,61
522	8,06	6,56	964,32		441,00		1.405,32
523	7,99	6,49	954,03		441,00		1.395,03
524	7,93	6,43	945,21		441,00		1.386,21
525	7,87	6,37	936,39		441,00		1.377,39
526	7,81	6,31	927,57		441,00		1.368,57
527	7,75	6,25	918,75		441,00		1.359,75
528	7,65	6,15	904,05		441,00		1.345,05
529	7,54	6,04	887,88		441,00		1.328,88
530	7,43	5,93	871,71		441,00		1.312,71
531	7,31	5,81	854,07		441,00		1.295,07
532	7,19	5,69	836,43		441,00		1.277,43
533	7,05	5,55	815,85		441,00		1.256,85
534	6,91	5,41	795,27		441,00		1.236,27
535	6,94	5,44	799,68		441,00		1.240,68

536	6,50	5,00	735,00		441,00		1.176,00
537	6,26	4,76	699,72		441,00		1.140,72
538	6,08	4,58	673,26		441,00		1.114,26
539	5,92	4,42	649,74		441,00		1.090,74
540	5,76	4,26	626,22		441,00		1.067,22
541	5,49	3,99	586,53		441,00		1.027,53
542	5,21	3,71	545,37		441,00		986,37
543	5,00	3,50	514,50		441,00		955,50
544	4,81	3,31	486,57		441,00		927,57
545	4,57	3,07	451,29		441,00		892,29
546	4,32	2,82	414,54		441,00		855,54
547	4,14	2,64	388,08		441,00		829,08
548	4,03	2,53	371,91		441,00		812,91
549	3,91	2,41	354,27		441,00		795,27
550	3,81	2,31	339,57		441,00		780,57
551	3,68	2,18	320,46		441,00		761,46
552	3,53	2,03	298,41		441,00		739,41
553	3,36	1,86	273,42		441,00		714,42
554	3,20	1,70	249,90		441,00		690,90
555	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
556	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
557	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
558	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
559	3,11	1,61	236,67		441,00		677,67
560	3,12	1,62	238,14		441,00		679,14
561	3,12	1,62	238,14		441,00		679,14
562	3,13	1,63	239,61		441,00		680,61
563	3,13	1,63	239,61		441,00		680,61
564	3,13	1,63	239,61		441,00		680,61
565	3,14	1,64	241,08		441,00		682,08
566	3,14	1,64	241,08		441,00		682,08
567	3,14	1,64	241,08		441,00		682,08
568	3,14	1,64	241,08		441,00		682,08
569	3,13	1,63	239,61		441,00		680,61
570	3,13	1,63	239,61		441,00		680,61
571	3,12	1,62	238,14		441,00		679,14
572	3,11	1,61	236,67		441,00		677,67
573	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
574	3,10	1,60	235,20		441,00		676,20
575	3,08	1,58	232,26		441,00		673,26
576	3,07	1,57	230,79		441,00		671,79
577	3,06	1,56	229,32		441,00		670,32
578	3,04	1,54	226,38		441,00		667,38
579	3,03	1,53	224,91		441,00		665,91
580	3,01	1,51	221,97		441,00		662,97
581	2,99	1,49	219,03		441,00		660,03
582	2,97	1,47	216,09		441,00		657,09
583	2,95	1,45	213,15		441,00		654,15
584	2,92	1,42	208,74		441,00		649,74
585	2,90	1,40	205,80		441,00		646,80
586	2,87	1,37	201,39		441,00		642,39
587	2,85	1,35	198,45		441,00		639,45
588	2,82	1,32	194,04		441,00		635,04
589	2,79	1,29	189,63		441,00		630,63
590	2,76	1,26	185,22		441,00		626,22
591	2,73	1,23	180,81		441,00		621,81
592	2,69	1,19	174,93		441,00		615,93
593	2,66	1,16	170,52		441,00		611,52
594	2,62	1,12	164,64		441,00		605,64
595	2,59	1,09	160,23		441,00		601,23
596	2,55	1,05	154,35		441,00		595,35

597	2,51	1,01	148,47		441,00		589,47
598	2,47	0,97	142,59		441,00		583,59
599	2,42	0,92	135,24		441,00		576,24
600	2,38	0,88	129,36		441,00		570,36
601	2,34	0,84	123,48		441,00		564,48
602	2,29	0,79	116,13		441,00		557,13
603	2,24	0,74	108,78		441,00		549,78
604	2,19	0,69	101,43		441,00		542,43
605	2,14	0,64	94,08		441,00		535,08
606	2,09	0,59	86,73		441,00		527,73
607	2,04	0,54	79,38		441,00		520,38
608	1,99	0,49	72,03		441,00		513,03
609	1,93	0,43	63,21		441,00		504,21
610	1,87	0,37	54,39		441,00		495,39
611	1,80	0,30	44,10		441,00		485,10
612	1,73	0,23	33,81		441,00		474,81
613	1,66	0,16	23,52		441,00		464,52
614	1,59	0,09	13,23		441,00		454,23
615	1,52	0,02	2,94		441,00		443,94
					Συνολικό κόστος διατήρησης (€)		3.306.002,44

Κόστος τσιμέντου - μπετονίτη, D=800mm

Τιμή μίγματος τσιμέντου-μπετονίτη (€/m ³)			161,90
A/A Στοιχείου	Συνολικό Μήκος Στοιχείου (m)	Όγκος κάθε στοιχείου (m ³)	Κόστος τσιμέντου-μπετονίτη (€)
1	1,50	0,75	122,07
2	2,31	1,16	187,99
3	3,16	1,59	257,16
4	4,02	2,02	327,15
5	4,84	2,43	393,88
6	5,66	2,85	460,61
7	6,47	3,25	526,53
8	7,28	3,66	592,45
9	8,22	4,13	668,94
10	9,30	4,67	756,83
11	10,29	5,17	837,40
12	11,03	5,54	897,62
13	11,77	5,92	957,84
14	12,51	6,29	1.018,06
15	13,17	6,62	1.071,77
16	13,82	6,95	1.124,67
17	14,46	7,27	1.176,75
18	15,10	7,59	1.228,84
19	15,74	7,91	1.280,92
20	16,29	8,19	1.325,68
21	16,84	8,46	1.370,44
22	17,39	8,74	1.415,20
23	17,94	9,02	1.459,95
24	18,49	9,29	1.504,71
25	19,05	9,58	1.550,29
26	19,55	9,83	1.590,98
27	20,04	10,07	1.630,85
28	20,53	10,32	1.670,73
29	21,27	10,69	1.730,95
30	22,11	11,11	1.799,31
31	22,84	11,48	1.858,71
32	23,42	11,77	1.905,92
33	23,99	12,06	1.952,30
34	24,57	12,35	1.999,50
35	24,94	12,54	2.029,61
36	25,29	12,71	2.058,10
37	25,64	12,89	2.086,58
38	25,99	13,06	2.115,06
39	26,35	13,24	2.144,36
40	26,70	13,42	2.172,84
41	27,05	13,60	2.201,32
42	27,40	13,77	2.229,81
43	27,77	13,96	2.259,92
44	28,14	14,14	2.290,03
45	28,50	14,33	2.319,32
46	28,87	14,51	2.349,44
47	29,24	14,70	2.379,55
48	29,60	14,88	2.408,84
49	29,94	15,05	2.436,51
50	30,70	15,43	2.498,36

51	30,19	15,18	2.456,86
52	30,32	15,24	2.467,44
53	30,44	15,30	2.477,20
54	30,57	15,37	2.487,78
55	30,69	15,43	2.497,55
56	30,82	15,49	2.508,13
57	30,94	15,55	2.517,89
58	31,08	15,62	2.529,28
59	31,24	15,70	2.542,31
60	31,41	15,79	2.556,14
61	31,56	15,86	2.568,35
62	31,62	15,89	2.573,23
63	31,68	15,92	2.578,11
64	31,73	15,95	2.582,18
65	31,73	15,95	2.582,18
66	31,72	15,94	2.581,37
67	31,72	15,94	2.581,37
68	31,86	16,01	2.592,76
69	32,02	16,10	2.605,78
70	32,27	16,22	2.626,13
71	32,53	16,35	2.647,29
72	32,79	16,48	2.668,44
73	33,02	16,60	2.687,16
74	33,25	16,71	2.705,88
75	33,47	16,82	2.723,78
76	33,75	16,96	2.746,57
77	34,08	17,13	2.773,42
78	34,41	17,30	2.800,28
79	34,73	17,46	2.826,32
80	35,06	17,62	2.853,18
81	35,39	17,79	2.880,03
82	35,63	17,91	2.899,56
83	35,85	18,02	2.917,47
84	36,07	18,13	2.935,37
85	36,28	18,24	2.952,46
86	36,50	18,35	2.970,36
87	36,71	18,45	2.987,45
88	36,78	18,49	2.993,15
89	37,04	18,62	3.014,31
90	37,20	18,70	3.027,33
91	37,37	18,78	3.041,16
92	37,56	18,88	3.056,63
93	37,74	18,97	3.071,27
94	37,93	19,07	3.086,74
95	38,11	19,16	3.101,38
96	38,29	19,25	3.116,03
97	38,45	19,33	3.129,05
98	38,59	19,40	3.140,45
99	38,74	19,47	3.152,65
100	38,89	19,55	3.164,86
101	39,04	19,62	3.177,07
102	39,26	19,73	3.194,97
103	39,49	19,85	3.213,69
104	39,71	19,96	3.231,59
105	39,74	19,98	3.234,03
106	40,17	20,19	3.269,03
107	40,39	20,30	3.286,93
108	40,62	20,42	3.305,65
109	40,75	20,48	3.316,23
110	40,86	20,54	3.325,18
111	41,04	20,63	3.339,83

112	41,24	20,73	3.356,10
113	41,45	20,84	3.373,19
114	41,66	20,94	3.390,28
115	41,87	21,05	3.407,37
116	42,10	21,16	3.426,09
117	42,34	21,28	3.445,62
118	42,58	21,40	3.465,15
119	42,81	21,52	3.483,87
120	43,05	21,64	3.503,40
121	43,28	21,75	3.522,12
122	43,52	21,88	3.541,65
123	43,75	21,99	3.560,37
124	43,99	22,11	3.579,90
125	44,17	22,20	3.594,55
126	44,28	22,26	3.603,50
127	44,42	22,33	3.614,89
128	44,55	22,39	3.625,47
129	44,68	22,46	3.636,05
130	44,80	22,52	3.645,82
131	44,93	22,58	3.656,40
132	45,06	22,65	3.666,97
133	45,17	22,70	3.675,93
134	45,28	22,76	3.684,88
135	45,39	22,82	3.693,83
136	45,50	22,87	3.702,78
137	45,61	22,93	3.711,73
138	45,72	22,98	3.720,69
139	45,82	23,03	3.728,82
140	45,93	23,09	3.737,77
141	46,03	23,14	3.745,91
142	46,12	23,18	3.753,24
143	46,21	23,23	3.760,56
144	46,30	23,27	3.767,89
145	46,39	23,32	3.775,21
146	46,51	23,38	3.784,98
147	46,64	23,44	3.795,55
148	46,76	23,50	3.805,32
149	46,89	23,57	3.815,90
150	47,07	23,66	3.830,55
151	47,21	23,73	3.841,94
152	47,26	23,76	3.846,01
153	47,25	23,75	3.845,20
154	47,25	23,75	3.845,20
155	47,25	23,75	3.845,20
156	47,28	23,77	3.847,64
157	47,30	23,78	3.849,27
158	47,33	23,79	3.851,71
159	47,34	23,80	3.852,52
160	47,35	23,80	3.853,33
161	47,36	23,81	3.854,15
162	47,37	23,81	3.854,96
163	47,38	23,82	3.855,78
164	47,38	23,82	3.855,78
165	47,32	23,79	3.850,89
166	47,26	23,76	3.846,01
167	47,20	23,73	3.841,13
168	47,14	23,70	3.836,24
169	47,08	23,66	3.831,36
170	47,02	23,63	3.826,48
171	46,96	23,60	3.821,60
172	46,90	23,57	3.816,71

173	46,86	23,55	3.813,46
174	46,86	23,55	3.813,46
175	46,87	23,56	3.814,27
176	46,88	23,56	3.815,09
177	46,89	23,57	3.815,90
178	46,90	23,57	3.816,71
179	46,91	23,58	3.817,53
180	46,92	23,58	3.818,34
181	46,92	23,58	3.818,34
182	46,90	23,57	3.816,71
183	46,89	23,57	3.815,90
184	46,88	23,56	3.815,09
185	46,88	23,56	3.815,09
186	46,87	23,56	3.814,27
187	46,86	23,55	3.813,46
188	46,85	23,55	3.812,64
189	46,84	23,54	3.811,83
190	46,84	23,54	3.811,83
191	46,83	23,54	3.811,02
192	46,86	23,55	3.813,46
193	46,89	23,57	3.815,90
194	46,93	23,59	3.819,15
195	46,96	23,60	3.821,60
196	46,99	23,62	3.824,04
197	47,01	23,63	3.825,67
198	47,01	23,63	3.825,67
199	47,00	23,62	3.824,85
200	46,99	23,62	3.824,04
201	46,98	23,61	3.823,22
202	46,97	23,61	3.822,41
203	46,97	23,61	3.822,41
204	46,96	23,60	3.821,60
205	46,95	23,60	3.820,78
206	46,94	23,59	3.819,97
207	46,94	23,59	3.819,97
208	46,93	23,59	3.819,15
209	46,92	23,58	3.818,34
210	46,91	23,58	3.817,53
211	46,90	23,57	3.816,71
212	46,90	23,57	3.816,71
213	46,89	23,57	3.815,90
214	46,88	23,56	3.815,09
215	46,87	23,56	3.814,27
216	46,87	23,56	3.814,27
217	46,88	23,56	3.815,09
218	46,90	23,57	3.816,71
219	46,91	23,58	3.817,53
220	46,92	23,58	3.818,34
221	46,94	23,59	3.819,97
222	46,95	23,60	3.820,78
223	46,96	23,60	3.821,60
224	46,98	23,61	3.823,22
225	46,99	23,62	3.824,04
226	47,00	23,62	3.824,85
227	47,00	23,62	3.824,85
228	46,95	23,60	3.820,78
229	46,90	23,57	3.816,71
230	46,86	23,55	3.813,46
231	46,81	23,53	3.809,39
232	46,76	23,50	3.805,32
233	46,72	23,48	3.802,07

234	46,67	23,46	3.798,00
235	46,62	23,43	3.793,93
236	46,57	23,41	3.789,86
237	46,53	23,39	3.786,60
238	46,48	23,36	3.782,53
239	46,41	23,33	3.776,84
240	46,33	23,29	3.770,33
241	46,25	23,25	3.763,82
242	46,17	23,21	3.757,31
243	46,09	23,17	3.750,80
244	46,00	23,12	3.743,47
245	45,92	23,08	3.736,96
246	45,89	23,07	3.734,52
247	45,76	23,00	3.723,94
248	45,68	22,96	3.717,43
249	45,59	22,92	3.710,11
250	45,51	22,88	3.703,60
251	45,43	22,84	3.697,09
252	45,42	22,83	3.696,27
253	45,42	22,83	3.696,27
254	45,41	22,83	3.695,46
255	45,40	22,82	3.694,64
256	45,39	22,82	3.693,83
257	45,38	22,81	3.693,02
258	45,38	22,81	3.693,02
259	45,37	22,81	3.692,20
260	45,36	22,80	3.691,39
261	45,35	22,80	3.690,57
262	45,35	22,80	3.690,57
263	45,34	22,79	3.689,76
264	45,33	22,79	3.688,95
265	45,32	22,78	3.688,13
266	45,31	22,78	3.687,32
267	45,31	22,78	3.687,32
268	45,30	22,77	3.686,51
269	45,29	22,77	3.685,69
270	45,28	22,76	3.684,88
271	45,27	22,76	3.684,06
272	45,27	22,76	3.684,06
273	45,26	22,75	3.683,25
274	45,25	22,75	3.682,44
275	45,24	22,74	3.681,62
276	45,24	22,74	3.681,62
277	45,23	22,74	3.680,81
278	45,22	22,73	3.680,00
279	45,21	22,73	3.679,18
280	45,20	22,72	3.678,37
281	45,20	22,72	3.678,37
282	45,19	22,71	3.677,55
283	45,18	22,71	3.676,74
284	45,17	22,70	3.675,93
285	45,16	22,70	3.675,11
286	45,16	22,70	3.675,11
287	45,15	22,69	3.674,30
288	45,14	22,69	3.673,48
289	45,13	22,68	3.672,67
290	45,13	22,68	3.672,67
291	45,12	22,68	3.671,86
292	45,08	22,66	3.668,60
293	45,03	22,63	3.664,53
294	44,97	22,60	3.659,65

295	44,92	22,58	3.655,58
296	44,87	22,55	3.651,51
297	44,82	22,53	3.647,44
298	44,77	22,50	3.643,37
299	44,72	22,48	3.639,31
300	44,67	22,45	3.635,24
301	44,61	22,42	3.630,35
302	44,56	22,40	3.626,28
303	44,51	22,37	3.622,22
304	44,45	22,34	3.617,33
305	44,39	22,31	3.612,45
306	44,33	22,28	3.607,57
307	44,27	22,25	3.602,68
308	44,16	22,20	3.593,73
309	44,04	22,14	3.583,97
310	43,92	22,08	3.574,20
311	43,72	21,98	3.557,93
312	43,50	21,87	3.540,02
313	43,29	21,76	3.522,93
314	43,06	21,64	3.504,21
315	42,77	21,50	3.480,61
316	42,49	21,36	3.457,83
317	42,36	21,29	3.447,25
318	42,35	21,29	3.446,44
319	42,34	21,28	3.445,62
320	42,59	21,41	3.465,97
321	42,85	21,54	3.487,13
322	43,06	21,64	3.504,21
323	43,28	21,75	3.522,12
324	43,53	21,88	3.542,46
325	43,73	21,98	3.558,74
326	43,86	22,05	3.569,32
327	44,06	22,15	3.585,59
328	44,28	22,26	3.603,50
329	44,50	22,37	3.621,40
330	44,58	22,41	3.627,91
331	44,68	22,46	3.636,05
332	44,78	22,51	3.644,19
333	44,87	22,55	3.651,51
334	44,93	22,58	3.656,40
335	45,03	22,63	3.664,53
336	45,12	22,68	3.671,86
337	45,18	22,71	3.676,74
338	45,24	22,74	3.681,62
339	45,28	22,76	3.684,88
340	45,29	22,77	3.685,69
341	45,28	22,76	3.684,88
342	45,27	22,76	3.684,06
343	45,24	22,74	3.681,62
344	45,21	22,73	3.679,18
345	45,17	22,70	3.675,93
346	45,15	22,69	3.674,30
347	45,14	22,69	3.673,48
348	45,13	22,68	3.672,67
349	45,13	22,68	3.672,67
350	45,11	22,67	3.671,04
351	45,10	22,67	3.670,23
352	45,08	22,66	3.668,60
353	45,07	22,65	3.667,79
354	45,05	22,64	3.666,16
355	45,03	22,63	3.664,53

356	45,01	22,62	3.662,91
357	44,98	22,61	3.660,46
358	44,95	22,59	3.658,02
359	44,93	22,58	3.656,40
360	44,90	22,57	3.653,95
361	44,87	22,55	3.651,51
362	44,80	22,52	3.645,82
363	44,73	22,48	3.640,12
364	44,66	22,45	3.634,42
365	44,59	22,41	3.628,73
366	44,52	22,38	3.623,03
367	44,45	22,34	3.617,33
368	44,38	22,31	3.611,64
369	44,31	22,27	3.605,94
370	44,24	22,24	3.600,24
371	44,17	22,20	3.594,55
372	44,10	22,17	3.588,85
373	44,03	22,13	3.583,15
374	44,02	22,13	3.582,34
375	44,01	22,12	3.581,53
376	44,00	22,12	3.580,71
377	43,96	22,10	3.577,46
378	43,92	22,08	3.574,20
379	43,87	22,05	3.570,13
380	43,82	22,03	3.566,06
381	43,80	22,02	3.564,44
382	43,79	22,01	3.563,62
383	43,78	22,01	3.562,81
384	43,78	22,01	3.562,81
385	43,77	22,00	3.561,99
386	43,76	22,00	3.561,18
387	43,75	21,99	3.560,37
388	43,65	21,94	3.552,23
389	43,55	21,89	3.544,09
390	43,45	21,84	3.535,95
391	43,36	21,80	3.528,63
392	43,31	21,77	3.524,56
393	43,26	21,74	3.520,49
394	43,21	21,72	3.516,42
395	43,16	21,69	3.512,35
396	43,07	21,65	3.505,03
397	42,98	21,60	3.497,70
398	42,89	21,56	3.490,38
399	42,80	21,51	3.483,06
400	42,73	21,48	3.477,36
401	42,61	21,42	3.467,59
402	42,60	21,41	3.466,78
403	42,59	21,41	3.465,97
404	42,55	21,39	3.462,71
405	42,34	21,28	3.445,62
406	42,08	21,15	3.424,46
407	41,75	20,99	3.397,61
408	41,39	20,80	3.368,31
409	40,89	20,55	3.327,62
410	40,26	20,24	3.276,35
411	39,60	19,91	3.222,64
412	38,91	19,56	3.166,49
413	38,13	19,17	3.103,01
414	37,29	18,74	3.034,65
415	36,62	18,41	2.980,13
416	35,95	18,07	2.925,60

417	35,32	17,75	2.874,34
418	34,77	17,48	2.829,58
419	34,22	17,20	2.784,82
420	35,59	17,89	2.896,31
421	32,96	16,57	2.682,28
422	32,02	16,10	2.605,78
423	30,94	15,55	2.517,89
424	29,98	15,07	2.439,77
425	29,19	14,67	2.375,48
426	28,64	14,40	2.330,72
427	27,37	13,76	2.227,37
428	26,62	13,38	2.166,33
429	26,48	13,31	2.154,94
430	26,47	13,31	2.154,12
431	26,45	13,30	2.152,50
432	26,43	13,29	2.150,87
433	26,38	13,26	2.146,80
434	26,33	13,23	2.142,73
435	26,25	13,19	2.136,22
436	26,16	13,15	2.128,90
437	26,07	13,10	2.121,57
438	25,98	13,06	2.114,25
439	25,89	13,01	2.106,92
440	25,80	12,97	2.099,60
441	25,70	12,92	2.091,46
442	25,57	12,85	2.080,88
443	25,45	12,79	2.071,12
444	25,33	12,73	2.061,35
445	25,20	12,67	2.050,77
446	25,80	12,97	2.099,60
447	24,95	12,54	2.030,43
448	24,83	12,48	2.020,66
449	24,70	12,42	2.010,08
450	24,58	12,36	2.000,32
451	22,40	11,26	1.822,91
452	21,45	10,78	1.745,60
453	21,34	10,73	1.736,65
454	21,22	10,67	1.726,88
455	21,10	10,61	1.717,11
456	20,99	10,55	1.708,16
457	20,89	10,50	1.700,02
458	20,79	10,45	1.691,89
459	20,69	10,40	1.683,75
460	20,59	10,35	1.675,61
461	20,44	10,27	1.663,40
462	20,27	10,19	1.649,57
463	20,11	10,11	1.636,55
464	19,94	10,02	1.622,71
465	19,77	9,94	1.608,88
466	19,61	9,86	1.595,86
467	19,44	9,77	1.582,02
468	19,21	9,66	1.563,31
469	18,96	9,53	1.542,96
470	18,71	9,40	1.522,62
471	18,46	9,28	1.502,27
472	18,20	9,15	1.481,11
473	17,94	9,02	1.459,95
474	17,67	8,88	1.437,98
475	17,41	8,75	1.416,82
476	17,20	8,65	1.399,73
477	17,01	8,55	1.384,27

478	16,83	8,46	1.369,62
479	16,52	8,30	1.344,39
480	16,19	8,14	1.317,54
481	15,86	7,97	1.290,68
482	15,54	7,81	1.264,64
483	15,26	7,67	1.241,86
484	14,99	7,53	1.219,88
485	14,70	7,39	1.196,28
486	14,35	7,21	1.167,80
487	14,01	7,04	1.140,13
488	13,69	6,88	1.114,09
489	13,38	6,73	1.088,86
490	13,06	6,56	1.062,82
491	12,74	6,40	1.036,78
492	12,46	6,26	1.013,99
493	12,19	6,13	992,02
494	11,89	5,98	967,61
495	11,59	5,83	943,19
496	11,28	5,67	917,96
497	11,10	5,58	903,32
498	10,98	5,52	893,55
499	10,87	5,46	884,60
500	10,79	5,42	878,09
501	10,71	5,38	871,58
502	10,66	5,36	867,51
503	10,61	5,33	863,44
504	10,54	5,30	857,74
505	10,41	5,23	847,16
506	10,28	5,17	836,58
507	10,15	5,10	826,01
508	10,02	5,04	815,43
509	9,89	4,97	804,85
510	9,76	4,91	794,27
511	9,64	4,85	784,50
512	9,49	4,77	772,29
513	9,32	4,68	758,46
514	9,16	4,60	745,44
515	9,00	4,52	732,42
516	8,83	4,44	718,58
517	8,66	4,35	704,75
518	8,49	4,27	690,91
519	8,32	4,18	677,08
520	8,20	4,12	667,31
521	8,13	4,09	661,62
522	8,06	4,05	655,92
523	7,99	4,02	650,22
524	7,93	3,99	645,34
525	7,87	3,96	640,46
526	7,81	3,93	635,58
527	7,75	3,90	630,69
528	7,65	3,85	622,56
529	7,54	3,79	613,60
530	7,43	3,73	604,65
531	7,31	3,67	594,89
532	7,19	3,61	585,12
533	7,05	3,54	573,73
534	6,91	3,47	562,33
535	6,94	3,49	564,78
536	6,50	3,27	528,97
537	6,26	3,15	509,44
538	6,08	3,06	494,79

539	5,92	2,98	481,77
540	5,76	2,90	468,75
541	5,49	2,76	446,78
542	5,21	2,62	423,99
543	5,00	2,51	406,90
544	4,81	2,42	391,44
545	4,57	2,30	371,91
546	4,32	2,17	351,56
547	4,14	2,08	336,91
548	4,03	2,03	327,96
549	3,91	1,97	318,20
550	3,81	1,92	310,06
551	3,68	1,85	299,48
552	3,53	1,77	287,27
553	3,36	1,69	273,44
554	3,20	1,61	260,42
555	3,10	1,56	252,28
556	3,10	1,56	252,28
557	3,10	1,56	252,28
558	3,10	1,56	252,28
559	3,11	1,56	253,09
560	3,12	1,57	253,91
561	3,12	1,57	253,91
562	3,13	1,57	254,72
563	3,13	1,57	254,72
564	3,13	1,57	254,72
565	3,14	1,58	255,53
566	3,14	1,58	255,53
567	3,14	1,58	255,53
568	3,14	1,58	255,53
569	3,13	1,57	254,72
570	3,13	1,57	254,72
571	3,12	1,57	253,91
572	3,11	1,56	253,09
573	3,10	1,56	252,28
574	3,10	1,56	252,28
575	3,08	1,55	250,65
576	3,07	1,54	249,84
577	3,06	1,54	249,02
578	3,04	1,53	247,39
579	3,03	1,52	246,58
580	3,01	1,51	244,95
581	2,99	1,50	243,33
582	2,97	1,49	241,70
583	2,95	1,48	240,07
584	2,92	1,47	237,63
585	2,90	1,46	236,00
586	2,87	1,44	233,56
587	2,85	1,43	231,93
588	2,82	1,42	229,49
589	2,79	1,40	227,05
590	2,76	1,39	224,61
591	2,73	1,37	222,17
592	2,69	1,35	218,91
593	2,66	1,34	216,47
594	2,62	1,32	213,22
595	2,59	1,30	210,77
596	2,55	1,28	207,52
597	2,51	1,26	204,26
598	2,47	1,24	201,01
599	2,42	1,22	196,94

600	2,38	1,20	193,68
601	2,34	1,18	190,43
602	2,29	1,15	186,36
603	2,24	1,13	182,29
604	2,19	1,10	178,22
605	2,14	1,08	174,15
606	2,09	1,05	170,08
607	2,04	1,03	166,01
608	1,99	1,00	161,95
609	1,93	0,97	157,06
610	1,87	0,94	152,18
611	1,80	0,90	146,48
612	1,73	0,87	140,79
613	1,66	0,83	135,09
614	1,59	0,80	129,39
615	1,52	0,76	123,70
Συνολικό κόστος τσιμέντου-μπεντονίτη (€)			1.559.080,21