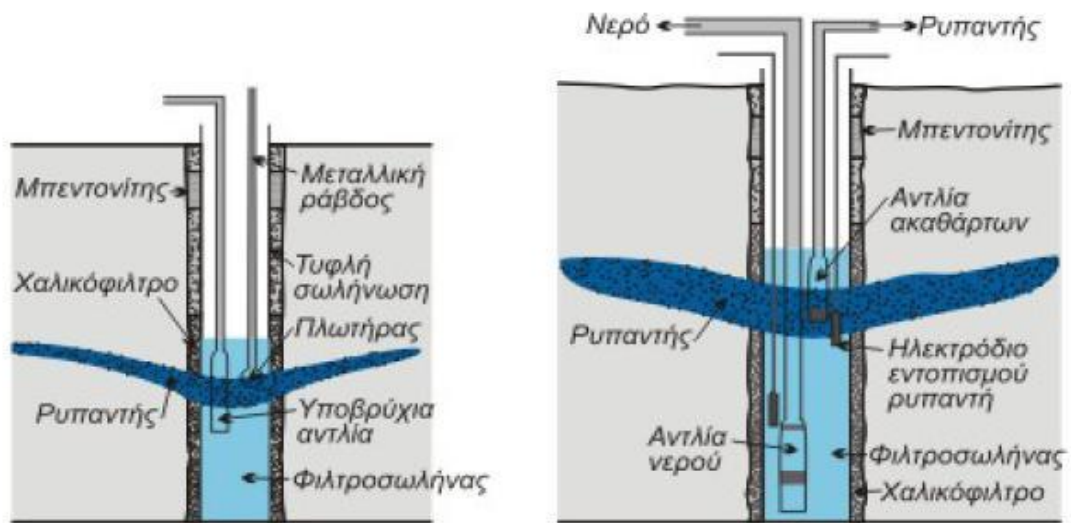


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΥΔΑΤΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΒΑΚΛΙΩΤΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην Διαχείριση Υπόγειων Υδάτων και την αντιμετώπιση της ρύπανσης τους που ο άνθρωπος έχει προξενήσει με το πέρασ του χρόνου.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Διονύσιο Παναγιωτάρα για την πολύτιμη βοήθειά του στην δημιουργία και την τελική διαμόρφωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς επίσης και τους καθηγητές μου Δρ. Κωνσταντίνο Πίκιο και Δρ. Ιωάννη Καλογήρου για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Τον Δρ. Γεώργιο Παναγόπουλο, λέκτορα στο Τμήμα Γεωγραφίας στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου για την πολύτιμη βοήθεια του κατά την ανεύρεση πληροφοριών.

Την αρραβωνιαστικιά μου Γεωργίου Νικολαΐς, τελειόφοιτη του τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Πατρών για την βοήθεια της στα θέματα χημείας.

Τους φίλους μου Κωνσταντίνο Κατσιαούνη και Κυριάκο Στεφανόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια τους

Και τέλος αλλά εξίσου πολύ , τους γονείς μου Γεώργιο και Ευαγγελία καθώς επίσης και τα αδέρφια μου Ιωάννη και Μάριο για την κατανόηση που έδειξαν και την ψυχολογική υποστήριξη που έδωσαν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η εισαγωγή στη μελέτη και τη τεχνολογία ελέγχου της διαχείρισης των υπόγειων υδατικών πόρων, οι οποίοι αποτελούν σημαντική πηγή για τη κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Η εντατική εκμετάλλευση των υδατικών πόρων και η μεγάλη παραγωγή αποβλήτων από τη σύγχρονη κοινωνία επέφερε την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Μέρα με την μέρα λιγοστεύουν όλο και περισσότερο τα αποθέματα των μη μολυσμένων υπόγειων υδάτων. Οι χώροι συγκέντρωσης απορριμμάτων, οι αγροτικές και βιομηχανικές δραστηριότητες συμβάλουν στην μόλυνση και ρύπανση τους. Για τους σκοπούς αυτούς, ποικίλοι τρόποι και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την προστασία και την ορθολογική διαχείριση τους όπως:

- α. Νομοθετικά μέτρα.
- β. Διοικητικές ενέργειες, όργανα υπεύθυνα για το δίκαιο του νερού.
- γ. Διοίκηση των υδατικών πόρων, από την πολιτεία ή από όργανα που ελέγχονται απ' αυτήν.
- δ. Οικονομικά κίνητρα.
- ε. Δημιουργία αρμόδιων αρχών για τη διαχείριση του νερού.

Στην εργασία αυτή αρχικώς θα αναφερθούμε στην ύπαρξη του νερού στον πλανήτη μας για να συνειδητοποιήσουμε την σπουδαιότητα του, διότι μπορεί να κυριαρχεί το υδάτινο στοιχείο στον πλανήτη μας ,αλλά δεν αντιλαμβανόμαστε πόσο πραγματικά λίγο είναι εκείνο που μπορούμε να αξιοποιήσουμε στην καθημερινότητα μας και πόσο λιγότερο μπορεί να μας μείνει με την λάθος διαχείριση του.

Επιπρόσθετα θα αναφερθούμε στον υδρολογικό κύκλο στις μορφές που το νερό βρίσκεται στον πλανήτη μας και θα εστιάσουμε στους γεωλογικούς σχηματισμούς και τους υπόγειους υδροφόρους που αποτελούν τις «διαδρομές» και τις « αποθήκες» των υπόγειων υδάτινων πόρων.

Στην συνέχεια θα δούμε τα χαρακτηριστικά των υπόγειων αποθεμάτων, τον γεωχημικό τους χαρακτήρα καθώς επίσης θα αναλύσουμε τους δείκτες που καθορίζουν την ποιότητά τους.

Επίσης θα εξετάσουμε τις τεχνολογίες εντοπισμού και άντλησης των υπόγειων νερών, ενώ θα αναπτύξουμε τα μέσα συντήρησης και καθαρισμού των υδρογεωτρήσεων.

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στους ρυπαντές των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων καθώς και στις μεθοδολογίες και τις τεχνολογίες απορρύπανσης τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	III

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Το νερό σαν φυσικός πόρος	1
1.2 Διατήρηση και αύξηση των υδατικών πόρων.....	2
1.3 Αξιοποίηση των υδατικών πόρων.....	4
1.3.1 Οι ιδιαιτερότητες των υδατικών πόρων.....	4
1.3.2 Προγραμματισμός και ανάπτυξη	5
1.4 Βασικές αρχές αξιοποίησης υδατικών πόρων.....	9

2. ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΜΑΣ

2.1 Προέλευση του νερού.....	14
2.2 Υδρολογικός κύκλος.....	15
2.3 Επιφανειακά υδατικά αποθέματα.....	19
2.4 Υπόγεια υδατικά αποθέματα.....	20

3. ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ

3.1 Γεωλογικοί σχηματισμοί και υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες	22
3.1.1 Γενικά γεωλογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων.....	22
3.1.2 Δρόμοι κυκλοφορίας του υπόγειου νερού.....	23
3.1.3 Ρωγμές.....	24
3.1.4 Ζώνες κατακερματισμού	27
3.1.5 Ρήγματα	28
3.1.6 Στρωσιγενείς επιφάνειες.....	29
3.1.7 Πρωτογενές πορώδες.....	31
3.1.8 Υδροχωρητικότητα των υδροφόρων.....	33
3.2 Εντοπισμός της περιοχής τροφοδοσίας και εκφόρτωσης.....	34
3.3 Δομή των υδροφόρων συστημάτων.....	36
3.4 Γενικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών.....	38
3.5 Υδροφόροι σε χαλαρά ιζήματα -Γενικοί υδρογεωλογικοί χαρακτήρες.....	41

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.1 Κριτήρια ποιότητας υπόγειου νερού.....	46
4.2 Υδροχημικά χαρακτηριστικά υπόγειου νερού	47
4.2.1 Η αλατότητα και οι πηγές της.....	47
4.2.2 pH και Eh.....	58
4.2.2.1 Pη	58
4.2.2.2 Eh.....	59
4.2.2.3 Σχέση pH και Eh.....	62
4.2.2.4 Διαδοχή αντιδράσεων οξειδοαναγωγής- οξειδοαναγωγικές ζώνες.....	63
4.2.2.5 Ευστάθεια των ενώσεων αζώτου.....	67
4.3 Γεωχημικές διεργασίες και αλληλεπίδραση υγρών - στερεών φάσεων	69
4.3.1 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα....	69
4.3.2 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα ...	71

4.3.3 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα ...	74
4.4 Αποσάθρωση πυριτικών ορυκτών και ποιότητα υπόγειου νερού.....	76

5. ΈΡΓΑ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ

5.1 Κατακόρυφα και οριζόντια υδρομαστευτικά έργα.....	79
5.1.1 Τα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα.....	79
5.1.2 Τα οριζόντια υδρομαστευτικά έργα.....	80
5.2 Φρέατα.....	80
5.2.1 Ρηγά πηγάδια ή φρέατα.....	80
5.2.1.1 Σκαφτά φρέατα.....	80
5.2.1.2 Διάτρητα φρέατα.....	82
5.2.1.3 Σωληνωτά φρέατα.....	84
5.2.1.4 Φρέατα εκτόξευσης.....	86
5.3. Υδρογεωτρήσεις.....	87

6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

6.1 Κριτήρια επιλογής της μεθοδολογίας έρευνας.....	90
6.2 Μέθοδοι τηλεπισκόπησης	92
6.2.1 Οι αεροφωτογραφίες.....	92
6.2.2 Τεχνικές Τηλεπισκόπησης.....	96
6.3 Γεωφυσική έρευνα.....	98
6.3.1 Η Μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης.....	100
6.3.2 Η σεισμική μέθοδος διάθλασης.....	109
6.3.3 Βαρυτομετρικές μέθοδοι.....	112
6.3.4 Μαγνητικές μέθοδοι.....	114
6.3.5 Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι.....	114
6.4 Υδρογεωλογικοί χάρτες	115

7. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

7.1 Διατρητικές μέθοδοι	117
7.1.1 Κρουστική διάτρηση με συρματόσκοινο.....	117
7.1.2 Κρουστική διάτρηση με ελεύθερη πτώση.....	121
7.1.3 Υδραυλική κρουστική διάτρηση.....	122
7.1.4 Απόδοση της κρουστικής διάτρησης στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.....	123
7.2 Διάτρηση τύπου Καλιφόρνιας.....	124
7.3 Περιστροφική διάτρηση.....	125
7.3.1 Περιστροφική διάτρηση με ποδοβαλβίδα	125
7.3.2 Υδραυλική περιστροφική διάτρηση με κανονική	126
7.3.3 Περιστροφική διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία.....	131
7.4 Συστήματα διάτρησης με αέρα.....	135
7.4.1 Άμεση περιστροφική διάτρηση με αέρα.....	135
7.4.2 Διάτρηση με αερόσφυρα.....	138
7.4.3 Αντίστροφη Διάτρηση.....	140
7.4.4 Περιστροφική διάτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας με διπλά τοιχώματα	140
7.4.5 Ταυτόχρονη διάτρηση και σωλήνωση.....	141
7.5 Διάτρηση με εκτόξευση νερού	143
7.5.1 Κρουστική διάτρηση με εκτόξευση νερού.....	143
7.6 Κριτήρια επιλογής της βέλτιστης μεθόδου διάτρησης.....	147

7.7 Συμπλήρωση υδρογεωτρήσεων.....	147
7.7.1 Σωλήνωση.....	148
7.7.2 Η ανοιχτή επιφάνεια των σχισμών των φιλτροσωλήνων.....	155
7.7.3 Η ταχύτητα εισόδου του νερού στους φιλτροσωλήνες.....	157
7.7.4 Επιλογή του ανοίγματος των σχισμών.....	160
7.7.5 Επιλογή της διαμέτρου φιλτροσωλήνα.....	161
7.7.6 Επιλογή του μήκους και της θέσης τοποθέτησης φιλτροσωλήνων..	162
7.7.7 Επιλογή του υλικού κατασκευής των φιλτροσωλήνων.....	164
7.7.8 Τοποθέτηση και εξαγωγή φιλτροσωλήνων.....	165
7.7.9 Επιλογή φιλτροσωλήνα.....	169
7.8 Προστασία και συντήρηση υδρογεωτρήσεων.....	170
7.8.1 Διάβρωση.....	170
7.8.2 Απόθεση αλάτων – καθαλάτωση.....	173
7.8.3 Βακτηριακή δράση στους φιλτροσωλήνες.....	175
7.8.4 Πρόληψη και αντιμετώπιση των προβλημάτων.....	176
7.8.5 Υγειονομική προστασία υδρογεωτρήσεων – απολύμανση.....	177
7.8.6 Συντήρηση - επανόρθωση υδρογεωτρήσεων.....	183
7.9 Αντλίες μεταβλητής μετατόπισης.....	187
7.9.1 Φυγόκεντρες αντλίες.....	190
7.9.2 Στροβιλοφόρες αντλίες «βαθέων φρεάτων».....	193
7.9.3 Αντλίες εκτόξευσης.....	196
7.10 Αντλίες σταθερής μετατόπισης.....	197
7.10.1 Εμβολοφόρες (παλινδρομικές) αντλίες.....	198
7.10.2 Ανεμοαντλίες.....	199
7.10.3 Πηλαντλίες.....	200

8. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

8.1 Πηγές ρύπανσης υπόγειων νερών.....	201
8.1.1 Ραδιενεργοί ρύποι.....	206
8.1.2 Ιχνοστοιχεία.....	207
8.1.3 Θρεπτικά.....	207
8.1.4 Άλλα ανόργανα είδη	208
8.1.5 Οργανικοί ρυπαντές	208
8.1.6 Βιολογικοί ρυπαντές	209
8.2 Αντιρρυπαντικές Τεχνολογίες.....	209
8.2.1 Εγκιβωτισμός	209
8.2.2 Απομάκρυνση του ρύπου	211
8.2.3 Επεξεργασία του ρύπου	212
8.2.4 Συστήματα άντλησης των ρύπων από τον υδροφορέα	213
8.2.5 Εξυγίανση με βιολογικές μεθόδους.....	215
8.2.6 Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat).....	217
8.2.7 Απορρύπανση με άντληση επιπλεόντων ρύπων	218
8.2.8 Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction)	219
8.3 Προστασία από την επέκταση της ρύπανσης.....	220
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	222
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	226

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΑΝ ΦΥΣΙΚΟΣ ΠΟΡΟΣ

Η εξέταση του υδατικού δυναμικού στα πλαίσια ενός σχεδίου διαχείρισης, αποτελεί προσπάθεια ένταξης ενός κατ' εξοχήν στοχαστικού φαινομένου “γιατί ο κύκλος του νερού και ιδιαίτερα η βροχόπτωση υπακούει σε στοχαστικούς νόμους” σε μια διαδικασία που βασίζεται σε προσδιοριστικές, από τη φύση τους, επεμβάσεις και αποσκοπεί, μαζί με άλλα, στη βέλτιστη χρήση, ανάπτυξη διαφύλαξη των φυσικών πόρων που προσφέρονται σε καθορισμένο χώρο. Το διαθέσιμο υδατικό δυναμικό, εν τούτοις, αποτελεί το βασικότερο περιορισμό των δυνατοτήτων ανάπτυξης μιας περιοχής, περιορισμό κρίσιμο, που η άγνοια του δε συγχωρείται γιατί η έλλειψη νερού δεν επιτρέπει τη σχεδίαση, και πολύ λιγότερο την εφαρμογή φιλόδοξων προγραμμάτων ανάπτυξης. Κάθε αναπτυξιακό σχέδιο δεν μπορεί παρά να ξεκινά από μια βαθιά και ακριβή γνώση του υδατικού δυναμικού της συγκεκριμένης περιοχής και των ποσοτικών και ποιοτικών διακυμάνσεων της δίαιτας του, στο χρόνο και το χώρο, όχι μόνο τον άμεσο αλλά και στις γειτονικές του περιοχές. Η σχέση αλληλεξάρτησης, τόσο στο χώρο όσο και στη φύση του υδατικού πόρου (επιφανειακός-υπόγειος), είναι σημαντικό κριτήριο που τελικά βαραίνει ουσιαστικά στη λήψη της οριστικής απόφασης για το σχέδιο διαχείρισης. Η έννοιες του "υδατικού πόρου" και "υδατικού δυναμικού", όπως θα αναφέρω παρακάτω, είναι οι εξής:

Υδατικός πόρος είναι ο όγκος νερού (υπόγειου και επιφανειακού) καθορισμένης ποιότητας, που μπορεί τεχνικοοικονομικά να αξιοποιηθεί σε ορισμένη χρονική περίοδο, χωρίς να προκληθούν ανεπιθύμητες, ποιοτικά και ποσοτικά, συνέπειες στο υδατικά δυναμικά της περιοχής ή γειτονικών περιοχών.

Υδατικό δυναμικό (ρ) μιας περιοχής, σε καθορισμένο χρόνο, είναι το άθροισμα των επιφανειακών και υπόγειων νερών της περιοχής, που προέρχεται

από τις διαδικασίες του κύκλου του νερού και της αποθήκευσης του σε υπόγειους ταμιευτήρες.

Αυτονόητο είναι ότι οι "υδατικοί πόροι" μιας περιοχής είναι κλάσμα μόνο του υδατικού δυναμικού, όπως ευνόητο είναι ότι ο όρος "υδατικός πόρος" μπορεί να έχει διαφορετικό περιεχόμενο π.χ. στις αφρικανικές ή τις σκανδιναβικές χώρες, στη Μάλτα ή την Αλβανία. Αλλά και στην ίδια τη χώρα αλλάζουν οι υδατικοί πόροι αν μεταβληθούν οι ποιοτικοί περιορισμοί τους ή αν αυξηθεί, για παράδειγμα το τεχνικοοικονομικά αποδεκτό βάθος άντλησης των υπόγειων νερών. Ο όρος "υδατικός πόρος" διευρύνθηκε σημαντικά με την τεχνολογική εξέλιξη, ιδιαίτερα στους τομείς της διάτρησης και άντλησης, για να περιλάβει σήμερα και τα πολύ βαθειά υπόγεια νερά, γρήγορα δε θα περιλάβει και τα υφάλμυρα, καθώς η τεχνολογία βελτίωσης τους εξελίσσεται γοργά.

1.2 ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Οι υδατικοί πόροι χαρακτηρίζονται από την ιδιότητα να ανανεώνονται σε ετήσια και πολυετής βάση ώστε, με σωστή ανάπτυξη, να θεωρούνται πρακτικά, ανεξάντλητοι.

Ο όρος "διατήρηση", όταν αναφέρεται σε ανανεωνόμενους πόρους (έδαφος, νερό και δάση) μπορεί να σημαίνει τη χρησιμοποίηση του πόρου σε ποσότητες και με συνθήκες που να επιτρέπουν στον πόρο να ανανεώνεται με τον ίδιο ρυθμό που χρησιμοποιείται. Ο ίδιος όρος αναφερόμενος σε μη ανανεωνόμενους πόρους (μεταλλεύματα, πετρέλαιο, κάρβουνο) συνήθως σημαίνει "σοφή" ανάπτυξη και χρήση χωρίς άσκοπες σπατάλες

Θεωρητικά, οι υδατικοί πόροι είναι ανανεωνόμενοι. Ο παράγοντας χρόνος, όμως, της ανανέωσης ποικίλει από ένα έτος (π.χ. στην επιφανειακή απορροή) μέχρι μερικές γενεές (π.χ. σε βαθέως αρτεσιανούς υδροφόρους) όπου, με βάση την ωφέλεια από την τρέχουσα χρησιμοποίηση, το νερό κατατάσσεται στους μη ανανεωνόμενους πόρους.

Ο όρος "διατήρηση", λοιπόν, έχει έννοια ποσοτική (όχι ποιοτική) και σημαίνει τη μη εξάντληση των αποθεμάτων στην κλίμακα όχι του γεωλόγου (δηλαδή αιώνες) αλλά του μηχανικού μερικές δεκάδες χρόνια- με την οποία, άλλωστε, μετριέται και η διάρκεια ζωής των έργων αξιοποίησης των υδατικών πόρων.

Για τη διατήρηση, όμως, των υδατικών πόρων απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η εφαρμογή μιας σειράς διαδικασιών που, επιγραμματικά, θα μπορούσε να ονομασθεί "Προγραμματισμένη Αξιοποίηση των Υδατικών Πόρων" με πρόνοια αύξησης τους.

"Αύξηση" των υδατικών πόρων σημαίνει προσθήκη στους "πρωτογενείς πόρους" και "δευτερογενών".

"Πρωτογενείς" υδατικοί πόροι είναι "οι υπό εκμετάλλευση υδροφόροι και εν λειτουργία ταμιευτήρες νερού, παροχετεύσεις, εκτροπές, κλπ...".

"Δευτερογενείς" υδατικοί πόροι, είναι εκείνοι που προέρχονται από την ανακύκλωση, την επεξεργασία των απόβλητων και τις πολλαπλές χρήσεις του νερού κατά μήκος του υδατορεύματος.

"Δυνατοί" υδατικοί πόροι είναι οι υδροφόροι που μπορούν να υποστούν αξιοποίηση, οι δυνατές θέσεις φραγμάτων, εκτροπών, κλπ.

"Τεχνολογικοί" υδατικοί πόροι είναι τα αφαλατωμένα νερά και οι δυνάμενοι να προστεθούν στους "δευτερογενείς".

"Ασφαλείς Υδατικοί πόροι" είναι τα φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας, τα οποία εξυπηρετούν βασικά τον έλεγχο των πλημμύρων.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι οι υδατικοί πόροι μπορεί να αυξηθούν, αν στους "πρωτογενείς" προστεθούν "δευτερογενείς", "δυνατοί" και "τεχνολογικοί" πόροι.

Η "προστασία" των υδατικών πόρων αποτελεί στην ουσία το δεύτερο σκέλος της ίδιας διαδικασίας, δηλαδή της προγραμματισμένης αξιοποίησης τους και αποσκοπεί στην ποιοτική διατήρηση των υδατικών πόρων.

1.3 ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

1.3.1 Οι ιδιαιτερότητες των υδατικών πόρων

Το νερό αποτελεί το πολυτιμότερο ορυκτό που έχει στη διάθεση του ο άνθρωπος, στον αγώνα του για οικονομική και πολιτιστική εξέλιξη, συχνά όμως ακόμα και για την ίδια την επιβίωση του.

Κατά τη δημιουργία των αποθεμάτων του, το νερό υπακούει, όπως και όλα τα άλλα ορυκτά, σε νόμους στοχαστικούς στη βάση και μόνο η κίνηση του ακολουθεί νόμους προσδιοριστικούς.

Αν όμως για τη δημιουργία των κοιτασμάτων του νερού σημαντικό ρόλο παίζουν οι ειδικές κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής, η δίαυτα, η γεωγραφική κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κλπ. η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εκμετάλλευση του είναι τελείως διάφορη από εκείνη των υπόλοιπων ορυκτών κοιτασμάτων, τα οποία έχουν τελείως καθορισμένες γεωμετρικές παραμέτρους που η γνώση τους αποτελεί την αναγκαία και ικανή συνθήκη για την εκμετάλλευση τους. Αντίθετα, το νερό, πέρα από τους γεωμετρικούς χαρακτήρες που παρουσιάζουν τα κοιτάσματα του - στην πράξη οι υδρολογικές μονάδες- υπόκειται σε χωροχρονικές μεταβολές των αποθεμάτων του, τα οποία ανανεώνονται σε ετήσια και πολυετής βάση. Η ιδιορρυθμία αυτή του νερού, που δεν απαντά σε άλλα ορυκτά, παίζει καθοριστικό, τελικά, ρόλο στην αξιοποίηση του, δοθέντος ότι σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να ξεπερνιέται, κατά την εκμετάλλευση των νερών, η ανανεωνόμενη σε πολυετής βάση ποσότητα" το αντίθετο οδηγεί στη στέρηση ή καταστροφή των υδρολογικών συστημάτων, είτε άμεσα (εξάντληση), είτε έμμεσα (μόλυνση-ρύπανση) , ιδιαίτερα των παράκτιων υδροφόρων συστημάτων.

Την ορθολογική αξιοποίηση των υδατικών πόρων, που η έλλειψη της περιορίζει δραστικά τις δυνατότητες για οικονομική και πολιτιστική ανάπτυξη, πρέπει να στηρίζουν:

— Ο μακροχρόνιος προγραμματισμός της διαχείρισης τους και,

— Η προχωρημένη γνώση των ποσοτικών και ποιοτικών χωρο-χρονικών μεταβολών, τόσο σε εθνική κλίμακα όσο και στην κλίμακα της λεκάνης απορροής.

Ο βασικός στόχος της υδατικής πολιτικής του τέλους του περασμένου αιώνα, που ήταν "εξασφάλιση αρκετού σε ποσότητα και κατάλληλου σε ποιότητα νερού για την ικανοποίηση των αναγκών όλων των καταναλωτών", συμπληρώθηκε στις αρχές του 20ου αιώνα "με τον οικονομικότερο τρόπο, με ανάλυση "COSTS-BENEFITS" και ολοκληρώθηκε στην τελευταία δεκαετία, με την προσθήκη της "μέριμνας για την προστασία της ποιότητας και διατήρηση της ποσότητας", μια και τα συμπτώματα της έλλειψης του αναντικατάστατου αυτού φυσικού πόρου άρχισαν να γίνονται αισθητά ακόμα και σε πολύ πλούσιες σε νερό χώρες, όπως εκείνες της ΕΟΚ, ύστερα από τις, συχνά, καταστρεπτικές συνέπειες της αλόγιστης επέμβασης του ανθρώπου.

1.3.2 Προγραμματισμός και ανάπτυξη

Η βέλτιστη αξιοποίηση των υδατικών πόρων, πέρα από την προχωρημένη γνώση των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών καθώς και των χωροχρονικών μεταβολών τους, πρέπει να βασίζεται στο σωστό μακροπρόθεσμο σχεδιασμό της ανάπτυξης τους.

Η ανάγκη για μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και πρόβλεψη με διάφορες μορφές, προκειμένου να επηρεαστεί η μακροπρόθεσμη ανάπτυξη, έχει γίνει περισσότερο από προφανής, δηλαδή επιτακτική, λόγω της αυξημένης εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι αυξημένος ανάγκες.

Ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στη χρήση των φυσικών πόρων και πρώτων υλών, προκειμένου να αποφευχθεί στο μέλλον να γίνει η σπανιότητα τους περιοριστικός παράγοντας στην εθνική οικονομία και την καθόλου κοινωνία. Σημαντική θέση πρέπει να έχει η χρησιμοποίηση και προστασία των υδατικών πόρων για τους οποίους, κατά γενικό κανόνα, δεν υπάρχει υποκατάστατο.

Η βαθμιαία εξάντληση και ρύπανση των υδατικών πόρων καθιστά ακόμη πιο δύσκολη τη λήψη αποφάσεων (DECISION MAKING) σχετικά με τις μελλοντικές τάσεις της ανάπτυξης, δεδομένου ότι η επιτυχία εξαρτάται βασικά από τη σωστή αξιολόγηση των τάσεων των ποσοτικών και ποιοτικών αναγκών σε νερό και των τάσεων για την εντατική χρησιμοποίηση των υδατικών πόρων για την ικανοποίηση των αναγκών αυτών. Ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας λήψεως αποφάσεων, είναι η εκτίμηση (αξιολόγηση) των προτεραιοτήτων που θα πρέπει να καθιερωθούν, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες της καθόλου κοινωνίας.

Για τους σκοπούς αυτούς, ποικίλοι τρόποι και μέθοδοι χρησιμοποιούνται:

- α. Νομοθετικά μέτρα.
- β. Διοικητικές ενέργειες, όργανα υπεύθυνα για το δίκαιο του νερού.
- γ. Διοίκηση των υδατικών πόρων, από την πολιτεία ή από όργανα που ελέγχονται απ' αυτήν.
- δ. Οικονομικά κίνητρα.
- ε. Δημιουργία αρμόδιων αρχών για τη διαχείριση του νερού.

Ένας ιδιαίτερα σημαντικός ρόλος στην ανάπτυξη των συστημάτων διαχείρισης του νερού και του υδατικού τομέα της εθνικής οικονομίας, διαδραματίζεται από τον προγραμματισμό και την πρόγνωση" οι αντικειμενικοί σκοποί τους διαφέρουν στα διάφορα επίπεδα των οργανωτικών δομών της διαχείρισης του νερού.

Η υδατική οικονομία πρέπει να λειτουργεί έτσι, ώστε να ικανοποιεί τις διάφορες ανάγκες της κοινωνίας, με τη σωστή ποσότητα και ποιότητα νερού, όταν απαιτείται, και να εξασφαλίζει εξ ολοκλήρου την προστασία των υδατικών πόρων, και του περιβάλλοντος.

Ο προγραμματισμός της ανάπτυξης ταξινομείται έτσι:

α) Πρόγνωση

Εν όψει της σπουδαιότητας της προστασίας των υδατικών πόρων απέναντι στην υποβάθμιση τους, της αναγκαιότητας για την εξασφάλιση της βέλτιστης

χρησιμοποίησης και τέλος του μακρού χρόνου που απαιτείται για την προπαρασκευή και πραγματοποίηση μεγάλων έργων διατήρησης του νερού, φαίνεται απαραίτητος ο προγραμματισμός των μέτρων διαχείρισης του νερού για 15-30 χρόνια, συχνά δε και για 50 χρόνια μπροστά ή ακόμα και περισσότερα.

Σκοπός της πρόγνωσης είναι ο καθορισμός των τάσεων της ζήτησης νερού. Για σκοπούς πρόγνωσης είναι επιθυμητή η ύπαρξη μεγάλου αριθμού βασικών στοιχείων, στα οποία θα πρέπει να περιλαμβάνονται και πληροφορίες για τις κατά προσέγγιση και κατά κεφαλή ζητήσεις νερού, για τη χρήση, για τη διάθεση των λυμάτων και απόβλητων μετά από ή χωρίς επεξεργασία και για τις σχετικές ποιότητες των νερών που τα υποδέχονται.

β) Σύνταξη προγραμμάτων

Ένα πρόγραμμα βασίζεται στις τάσεις της ανάπτυξης, εκφρασμένης σε πραγματικούς αριθμούς.

Τρεις τύποι προγραμμάτων μπορούν να διακριθούν: βραχυπρόθεσμα (τρέχοντα) που καλύπτουν περίοδο ενός χρόνου, μεσοπρόθεσμα που καλύπτουν μια περίοδο 4-7 χρόνια και μακροπρόθεσμα που καλύπτουν μια περίοδο 15-30 χρόνια.

Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός πρέπει να είναι εύκαμπτος, ώστε να είναι δυνατή η αναθεώρηση του από καιρού εις καιρόν και αντανακλώνται οι μεταβολές των συνθηκών που δεν ελήφθησαν υπόψη προγενέστερα.

Οι παράκτιες περιοχές είναι ιδιαίτερα ευπαθείς, γιατί αποτελούν τους τελικούς αποδέκτες των ρυπάνσεων που προέρχονται από εσωτερικές πηγές.

Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός πρέπει να χρησιμοποιείται ιδιαίτερα για τη διευκόλυνση της σωστής λήψης αποφάσεων σε περιοχικό και επίπεδο λεκάνης. Τα μακροπρόθεσμα προγράμματα για τη διαχείριση του νερού πρέπει να εκτείνονται σε περιόδους 10-15 ετών και να συμπληρώνονται με σχέδια (MASTER PLANS) ή προγνώσεις για περιόδους 30-50 ετών.

Στο μακροπρόθεσμο προγραμματισμό για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, πρέπει να δίνεται προτεραιότητα στα σχέδια πολλαπλής σκοπιμότητας και

πολλαπλών αντικειμενικών σκοπών, προκειμένου, μεταξύ των άλλων, να βελτιστοποιηθούν οι επενδύσεις. Ειδικότερα, της κατασκευής νέων υδροηλεκτρικών έργων πρέπει να προηγείται λεπτομερής μελέτη των γεωργικών, βιομηχανικών και υδρευτικών αναγκών της περιοχής.

Σαν γενική βάση για τον προγραμματισμό της διαχείρισης σε εθνική κλίμακα, πρέπει να λαμβάνεται η υδρολογική λεκάνη.

Η διατήρηση και βελτίωση της οικολογικής ισορροπίας των υδατορευμάτων πρέπει να αποτελεί έναν από τους κύριους αντικειμενικούς σκοπούς. Πρέπει να ενθαρρύνεται η χρήση νερού χαμηλής ποιότητας για τη ψύξη και την άρδευση, η βελτίωση των συστημάτων άρδευσης και η ανακύκλωση του νερού.

γ) Βελτιστοποίηση

Σε οποιαδήποτε βελτιστοποίηση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι το νερό και οι υδατικοί πόροι, ως στοιχεία του υδρολογικού κύκλου, αποτελούν μέρος του οικοσυστήματος, το οποίο ποικίλει από λεκάνη σε λεκάνη.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται όχι μόνο στην ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας των προγραμματισμένων σχεδίων για την ανάπτυξη των νερών, αλλά και στην εξασφάλιση του βέλτιστου κοινωνικού οφέλους, από τη χρήση των υδατικών πόρων, καθώς και στην προστασία του περιβάλλοντος ως μιας ενότητας. Επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά τον μακροπρόθεσμο προγραμματισμό της διαχείρισης των υδατικών πόρων, οι δεσμοί τους με τα προγράμματα χρήσης γαιών μέσω: (α) του καθορισμού μεταξύ άλλων, ζωνών ή περιορισμών χρήσεων ορισμένων περιοχών προκειμένου να προστατευθούν οι υδατικοί πόροι, (β) της δημιουργίας νέων βιομηχανικών περιοχών και κοινόχρηστων χώρων, εφοδιασμένων με νερό κατάλληλης ποιότητας και (γ) της διατήρησης των γεωργικών γαιών και δασών.

Η παροχή νερού που χρειάζονται οι οικονομικές και κοινωνικές απαιτήσεις, καθιστούν επείγουσα τη βελτίωση της ολοκληρωμένης διαχείρισης των υδατικών πόρων, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος σοβαρών ελλείψεων νερού και οικολογικών ζημιών.

Οι υδατικοί πόροι δεν μπορούν να θεωρηθούν ως καταναλωτικό αγαθό, η αξία τους ως μέσου για τη διατήρηση και βελτίωση του περιβάλλοντος και ως πηγής αισθητικής απόλαυσης με σκοπούς αναψυχής, δεν μπορεί, όπως γίνεται σήμερα, να εκφραστεί με χρηματικούς όρους και, κατά συνέπεια, οι οικονομικοί υπολογισμοί δεν αντανακλούν πλήρως την πραγματική τους (των υδατικών πόρων) αξία.

Η τεχνική άποψη της βελτιστοποίησης δεν είναι το μοναδικό κριτήριο, δοθέντος ότι κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντολογικές θεωρήσεις είναι τώρα ίσης ή υψηλότερης προτεραιότητας. Η περιβαλλοντολογική βελτιστοποίηση είναι πρωταρχικά συνάρτηση των οικοσυστημάτων στα οποία λαμβάνονται υπόψη οι πόροι γαιών, αέρα και οι υδατικοί, καθώς και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις.

δ) Εφαρμογή της ανάπτυξης κατά λεκάνη και περιοχή

Ο μακροπρόθεσμος προγραμματισμός της διαχείρισης των νερών σε επίπεδο περιοχής και "λεκάνης", δεν αποτελεί αυτοσκοπό, αλλά είναι ένα μέσο για:

- τον καθορισμό προτεραιοτήτων στις επενδύσεις και στις επεμβάσεις που αφορούν τις υδρολογικές περιοχές και λεκάνες"
- την ορθολογική και βέλτιστη χρήση, προσωπικού, μέσων και χρηματοδότησης για τη διαχείριση του νερού
- την αποφυγή μη αντιστρέψιμων επεμβάσεων που προκαλούν μείωση της ελευθερίας επιλογής στο μέλλον.

1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η εκμετάλλευση των υδατικών πόρων δεν μπορεί παρά να στηρίζεται σε προχωρημένη γνώση των ποιοτικών και ποσοτικών χωροχρονικών μεταβολών τους.

Τέσσερεις βασικά παράγοντες παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της εκμεταλλεύσιμης ποσότητας νερού σε ένα υδραυλικό σύστημα:

α. Η μέση ετήσια επιφανειακή και υπόγεια απορροή καθώς και η μέση ετήσια αναπλήρωση του υπόγειου νερού.

β. Η τεχνικοοικονομική δυνατότητα άντλησης του υπόγειου νερού.

γ. Η ποιότητα του νερού, υπόγειου ή επιφανειακού, στην υδρολογική λεκάνη και κοντά σ' αυτήν.

δ. Η νομοθεσία για το νερό, υπόγειο ή επιφανειακό, μέσα και κοντά στην υδρολογική λεκάνη.

Η μέση ετήσια αναπλήρωση του υπόγειου νερού, σε συνδυασμό με την τεχνικοοικονομική δυνατότητα άντλησης του, αποτελούν στην πράξη μια άλλη έκφραση της "ασφαλούς απόδοσης" των υδροφόρων συστημάτων. Αλλά, ακόμα και ο καθορισμός της απόδοσης αυτής υπόκειται σε μεταβολές που ελέγχονται, εκτός των άλλων, από την ενέργεια που απαιτείται για την άντληση του νερού και το σχετικό κόστος, τις τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της διάτρησης και άντλησης και, βασικά, τις εναλλακτικές λύσεις που έχει στη διάθεση του, για την ικανοποίηση ενός καταναλωτή νερού, ο υπεύθυνος γι' αυτό.

Σε περίπτωση, λοιπόν, που στην εξεταζόμενη περιοχή υπάρχουν διαθέσιμες άλλες πηγές νερού (επιφανειακό νερό) και η αξιοποίηση των υπόγειων νερών προϋποθέτει την εκτέλεση βαθιών γεωτρήσεων σε ασβεστολιθικούς π.χ. σχηματισμούς και άντληση από μεγάλο βάθος, η "ασφαλής απόδοση" περιορίζεται τελικά σημαντικά από το οικονομικό κριτήριο, εφόσον μάλιστα ο καταναλωτής μπορεί να ικανοποιηθεί από επιφανειακά νερά με σημαντικά μικρότερο κόστος. Στην αντίθετη περίπτωση -όταν δεν υπάρχουν άλλες πηγές νερού για την ικανοποίηση του καταναλωτή- "η ασφαλής απόδοση" επεκτείνεται σημαντικά και η διάτρηση και άντληση σε μεγάλο βάθος, που στην προηγούμενη περίπτωση αποτελούσε απαγορευτικό παράγοντα, είναι δυνατόν να αποδειχτεί η καλύτερη λύση αν π.χ. συγκριθεί με τη μεταφορά νερού από μεγάλες αποστάσεις ή την αφαλάτωση. Το βασικό, λοιπόν, κριτήριο για την αξιοποίηση των επιφανειακών ή υπόγειων νερών, καθορίζεται κάθε φορά σε συνάρτηση με τις ειδικότερες συνθήκες που επικρατούν σε κάθε υδρολογική λεκάνη.

Το πρόβλημα της γνώσης της ποιότητας των διαθέσιμων υδατικών πόρων σε μια υδρολογική λεκάνη και της νομοθεσίας που διέπει τούτους, είναι όχι βέβαια μικρότερης σημασίας. Κάθε σωστά οργανωμένη Πολιτεία φροντίζει να ελέγχει και να ρυθμίζει ορθολογικά τη διαχείριση και προστασία των υδατικών πόρων με την εφαρμογή ενιαίας, ορθολογικής και μακροπρόθεσμης υδατικής πολιτικής, στην κλίμακα της υδρολογικής λεκάνης αλλά και σε εθνική κλίμακα.

Όλα αυτά, ανάγονται τελικά στην επιλογή κριτηρίων για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων, με βάση μια ανάλυση "COSTS-BENEFITS", σε συνδυασμό με σωστή πληροφόρηση των διαθέσιμων στις υδρολογικές λεκάνες υδατικών πόρων και τη δυνατότητα εναλλακτικών λύσεων που προσφέρονται στον οποιοδήποτε - φορέα, ομάδα ή άτομο- που είναι επιφορτισμένος με τη διαχείριση του νερού. Πέραν όμως από αυτά, πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη και η άμεση σχέση που έχουν τα υπόγεια με τα επιφανειακά νερά και η μεταξύ τους αλληλοτροφοδότηση. Καθίσταται, λοιπόν, επιτακτική η γνώση και, παράλληλα, η μελέτη του καθεστώτος των επιφανειακών και των υπόγειων νερών και από την ανάγκη για την επιλογή της καλύτερης λύσης και από την ανάγκη να καταστεί δυνατή η πρόγνωση των επιπτώσεων που θα έχει στη δίαιτα των υπόγειων νερών η εκμετάλλευση των επιφανειακών και αντίθετα.

Η αξιοποίηση των υδατικών πόρων δεν πρέπει να παραγνωρίζει ότι:

— Η ανάπτυξη μιας περιοχής είναι μια συνεχής, ατέλειωτη διαδικασία με κύριο χαρακτηριστικό την ανάγκη για δυναμικό και ρεαλιστικό σχεδιασμό, που συνεπάγεται μια συνεχή επαναξιολόγηση των σχεδίων για την επιβολή των απαραίτητων αναπροσαρμογών.

— Όλοι οι πόροι ανθρωπίνοι, φυσικοί και οικονομικοί- που υπόκεινται σε περιορισμούς,- πρέπει να χρησιμοποιούνται κατά το βέλτιστο και ορθολογικότερο τρόπο.

— Οι περιορισμοί των πόρων πρέπει να αναγνωρίζονται έγκαιρα, για να γίνεται σωστά η διαχείριση και η κατανομή τους.

— Η ανάπτυξη των υδατικών πόρων συχνά συνδέεται με ανταγωνιστικές δραστηριότητες ή ανταγωνιστικούς αντικειμενικούς σκοπούς, ιδιαίτερα σε καθεστώτα ελεύθερης οικονομίας.

— Ένας από τους πιο βασικούς περιορισμούς είναι η έλλειψη επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων οργανισμών που αναπτύσσουν δραστηριότητες σχετικές με τους υδατικούς πόρους.

Πρέπει, επίσης, να ληφθεί σοβαρά υπόψη, ότι προϋπόθεση για τη βέλτιστη ανάπτυξη των νερών είναι η αναγνώριση, ότι βασικά χαρακτηριστικά της σωστής διαχείρισης τους είναι:

— Η σωστή πληροφόρηση, μέσω ενός κεντρικού συστήματος συλλογής και επεξεργασίας στοιχείων. Το κεντρικό σύστημα θα πρέπει, στον τομέα της συλλογής των πληροφοριών, να είναι αποκεντρωμένο σε επίπεδο υδρολογικού διαμερίσματος, αλλά στον τομέα της επεξεργασίας και αξιοποίησης των στοιχείων συγκεντρωτικό και επιτελικό. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι άμεσα συνδεδεμένο με ένα "Εθνικό Υδρολογικό Δίκτυο".

— Η χάραξη εθνικής πολιτικής, που θα είναι αποτέλεσμα της σωστής πληροφόρησης και θα αφορά στη διαχείριση, ανάπτυξη, χρήση και προστασία των υδατικών πόρων σε εθνική και περιοχική κλίμακα.

— Ο δυναμικός σχεδιασμός, που θα είναι αποτέλεσμα της υδατικής πολιτικής, μια και η δίαιτα των νερών είναι δυναμικό φαινόμενο, υποκείμενο σε χωροχρονικές μεταβολές, όπως άλλωστε και η γενικότερη αναπτυξιακή πορεία, και που θα έγκειται σε μια συνεχή κριτική επαναξιολόγηση των σχεδίων και αναπροσαρμογή αυτών.

— Η προετοιμασία για κάθε σχέδιο ενός πλήρους αρχείου των δυνατών εναλλακτικών λύσεων, που θα παρέχουν τη δυνατότητα επιλογής της βέλτιστης λύσης σε σχέση με την εθνική πολιτική και την αριστοποιημένη ανάλυση επένδυσης-απόδοσης, αλλά και τη διατήρηση του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων εν γένει.

— Ο καθορισμός των κριτηρίων επιλογής των διάφορων εναλλακτικών λύσεων.

— Η αναγνώριση των περιορισμών που υπάρχουν στην ανάπτυξη των υδατικών πόρων (περιορισμοί ανθρώπινου δυναμικού, ανταγωνιστικών στόχων, οικονομικοί, φυσικών πόρων, περιβαλλοντολογικοί κλπ.).

— Η επιλογή και εφαρμογή σχεδίου ανάπτυξης των υδατικών πόρων, με τρόπο που να περιλαμβάνει τη συνδυασμένη αξιοποίηση των επιφανειακών και των υπόγειων νερών κάθε υδρολογικής μονάδας, με παράλληλη διατήρηση και προστασία τόσο αυτών όσο και του περιβάλλοντος.

2. ΤΟ ΝΕΡΟ ΣΤΟΝ ΠΛΑΝΗΤΗ ΜΑΣ

2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι διαδικασίες δημιουργίας του νερού συνδέονται άμεσα με τις διαδικασίες εξέλιξης του πλανήτη μας. Κατά την πρώτη διαμόρφωση ο πλανήτης δεν είχε υδρόσφαιρα γενικά, ενώ δεν ήταν διακριτές οι διάφορες συνιστώσες του φλοιού. Δηλαδή, δεν υπήρχαν διακριτοί ήπειροι, ωκεανοί και οροσειρές. Πιθανολογείται ότι ολόκληρη η επιφάνεια του πλανήτη δεν ήταν παρά μια ετερογενείς μάζα από θραύσματα πετρωμάτων. Με την παρέλευση όμως του γεωλογικού χρόνου ο φλοιός της γης διερράγη σε ένα μωσαϊκό από ημιανεξάρτητες «πλάκες» («θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών») πολύ διαφορετικού μεταξύ τους μεγέθους.

Οι πλάκες αυτές, γνωστές ως «λιθοσφαιρικές πλάκες», βρίσκονται σε συνεχή κίνηση ως προς άλληλες, λόγω ρευμάτων μεταφοράς από τριγμένο υλικό που αναπτύσσονται στο ανώτερο τμήμα του μανδύα. Έτσι οι πλάκες αυτές είτε συγκρούονται (σύγκλιση), είτε απομακρύνονται η μια από την άλλη (απόκλιση) είτε «ολισθαίνουν» πλευρικά η μια ως προς την άλλη (εγκάρσια μετατόπιση).

Αποτέλεσμα αυτής της αέναης κίνησης των πλακών είναι οι σεισμοί που λαβαίνουν χώρα στα όρια τους. Κατά τη βύθιση των πλακών, στον ανώτερο μανδύα, τα πετρώματα που τις αποτελούν λιώνουν λόγω υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών, μετατρέπονται σε ρευστό μάγμα, στις περιοχές βύθισης, το οποίο εξέρχεται στην επιφάνεια της λιθόσφαιρας με τη μορφή ηφαιστειακών εκχύσεων. Κατά δημιουργία αυτού του νέου μάγματος («ηπειρώτικος φλοιός») παράγονται αέρια, όπως CO_2 , N_2 , H_2 , H_2S , SO_2 και CO . Αλλά το σημαντικότερο αέριο που ελευθερώνεται είναι οι υδρατμοί, δοθέντος ότι στη δομή πολλών ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων περιέχονται H_2 και O_2 .

Εξάλλου η αποσάθρωση ορισμένων πετρωμάτων αύξησε την ποσότητα του νερού στον πλανήτη μια και κατά τους ορυκτολογικούς μετασχηματισμούς συχνά απελευθερώνονται κάποια αέρια, ανάμεσα τους και H_2O , ενώ κατά την

φωτοσύνθεση απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες O_2 το οποίο μαζί με το H_2 των ηφαιστειακών εκρήξεων δημιούργησαν πρόσθετες ποσότητες νερού.

Θα πρέπει παντός να ληφθεί υπόψη η γεωλογική κλίμακα του χρόνου (ηλικία της γης 4,6 δισεκατομμύρια χρόνια) για να αιτιολογηθεί η τεράστια ποσότητα του «νεαρού» νερού που σχηματιστικέ και δημιούργησε την υδρόσφαιρα.

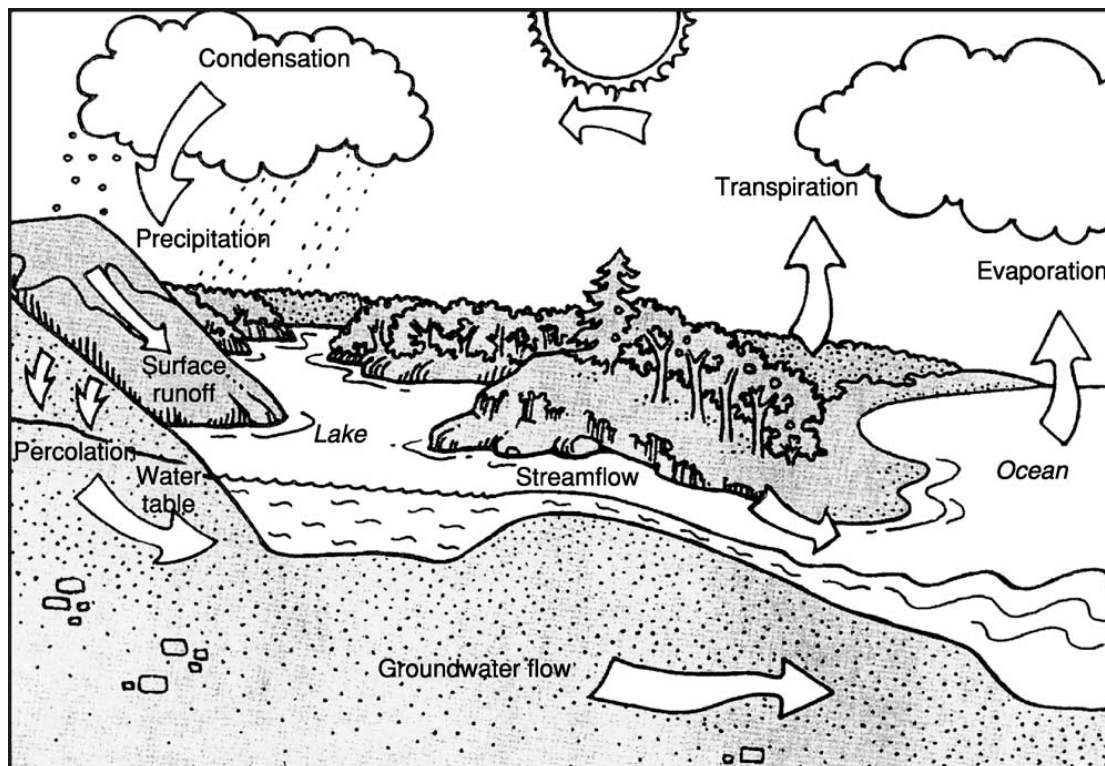
2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Πρακτικά όλα τα νερά που καταλαμβάνουν μέρος του ανθρώπινου περιβάλλοντος ανακυκλώνονται συνεχώς εξαιτίας των δυνάμεων που εξασκούνται πρωταρχικά από την ηλιακή ενεργεία και την βαρύτητα της γης.

Το νερό, πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της λιθόσφαιρας, έχει την τάση να κινείται ανοδικά προς την ατμόσφαιρα, με την διαδικασία της εξάτμισης και διαπνοής. Η υγρασία αυτή στη συνέχεια επανέρχεται στην επιφάνεια της γης με την διαδικασία της συμπύκνωσης και κατακρήμνισης. Αυτή η συνεχής ανακύκλωση του νερού αποτελεί τον υδρολογικό κύκλο. Έτσι, μπορεί να πει κανείς ότι ο υδρολογικός κύκλος περιλαμβάνει τις συνολικές διαδικασίες από την στιγμή που τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (αθροιστικά η βροχή, το χιόνι και το χαλάζι) πέφτουν στην επιφάνεια του πλανήτη μας, μέχρι την με οποιοδήποτε τρόπο επιστροφή τους στην ατμόσφαιρα.

Το νερό που εισέρχεται στο υπέδαφος, αφού καταρχήν ικανοποιήσει την ικανότητα πρόσληψης υγρασίας των υλικών της ακόρεστης ζώνης προστίθεται ακολούθως στη δίαιτα του υπόγειου νερού.

Το νερό που εισέρχεται στο υπέδαφος, αφού καταρχήν ικανοποιήσει την ικανότητα πρόσληψης υγρασίας των υλικών της ακόρεστης ζώνης, προστίθεται ακολούθως στη δίαιτα του υπογείου νερού.



Σχήμα 2.1 Ο υδρολογικός κύκλος (Bachmat, 1994).

Με τον όρο διάτα εννοούνται οι χωροχρονικές ποσοτικές και ποιοτικές μεταβολές του εξεταζομένου φυσικού μεγέθους του υδρολογικού κύκλου σε δοσμένη περιοχή.

Δυο, λοιπόν γενικοί τρόποι εμφάνισης νερού πάνω και μέσα στην λιθόσφαιρα συνδέονται άμεσα με την κίνηση του νερού στον υδρολογικό κύκλο πρόκειται για το επιφανειακό και το υπόγειο νερό. Το τελευταίο περιλαμβάνει το νερό τόσο στην κορεσμένη όσο και στην ακόρεστη ζώνη.

Όπως προαναφέρθηκε, οι ωκεανοί, σκεπάζοντας το 71 % της επιφάνειας της γης και περιέχοντας περίπου 98% ολόκληρης της ποσότητας του νερού στην υδρόσφαιρα.

Η εξάτμιση από την επιφάνεια της θάλασσας τροφοδοτεί, κατά κύριο λόγο, την ατμόσφαιρα με υδρατμούς. Η εξάτμιση αυτή υπολογίζεται με άμεση μέτρηση ή με έμμεσο υπολογισμό.

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης από την επιφάνεια των ωκεανών χρησιμοποιείται η μέθοδο του θερμικού ισοζυγίου, ή αλλιώς η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου, χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$Q_s = Q_r + Q_e + Q_n$$

Υπολογίζεται με την μέθοδο αυτή ότι η μέση ετήσια εξάτμιση από την επιφάνεια των ωκεανών ανέρχεται σε 106 cm το χρόνο, ενώ άλλοι ερευνητές δίνουν μικρότερους αριθμούς (97 cm / χρόνο).

Για την εκτίμηση αυτής της εξάτμισης ιδιαίτερα όταν αναφέρεται σε μικρή περίοδο, ο εμπειρικός τύπος του Dalton δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά η μέθοδος που έχει την μεγαλύτερη ακρίβεια εξακολουθεί να είναι πάντοτε η άμεση μέτρηση της εξάτμισης.

Εκτός όμως της εξάτμισης από την επιφάνεια των ωκεανών, άλλη πηγή που εμπλουτίζει την ατμόσφαιρα με υδρατμούς είναι η εξάτμιση από τις υγρές επιφάνειες της ξηράς (φυσικές και τεχνικές λίμνες, ποταμοί), από τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους και από τα φυτά με την διαπνοή (συνολικά περίπου 75.000 κυβ. χλμ.).

Αν η ατμόσφαιρα και η γη θεωρηθούν σαν ιδιαίτερες και ανεξάρτητες οντότητες, τότε τα αντίστοιχα θερμικά ισοζύγια δεν είναι ισοσκελισμένα. Το ισοζύγιο της επιφάνειας του εδάφους παρουσιάζει πλεόνασμα και η ελεύθερη ατμόσφαιρα έλλειμμα θερμότητας. Ο κρίκος που συνδέει αυτό τα πλεόνασμα και το έλλειμμα είναι ο κύκλος του νερού, εξάτμιση του γήινου νερού συμπύκνωση των υδρατμών στον αέρα και κατακρήμνιση του νερού και πάλι στην γη.

Όπως αναφέραμε και πριν με την διαδικασία της εξάτμισης φτάνουν πράγματι στην ατμόσφαιρα συνολικά 425.000 κυβ. χλμ. Νερό με την μορφή υδρατμών.

Η θεωρία και η παρατήρηση έδειξαν ότι η συμπύκνωση των υδρατμών σε σύννεφα συμβαίνει όπως θα αναφερθεί πιο κάτω γύρω από υδροσκοπικά σωματίδια που ονομάζονται πύρινες συμπύκνωσης.

Από αυτού του είδους την συμπύκνωση το νερό που εξατμίζεται επιστρέφει με την μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Έτσι, οι ωκεανοί δέχονται κάθε χρόνο 320.000 κυβ. χλμ. Περίπου νερό που έχει την μορφή ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και η ξηρά μόνο 105.000 κυβ. χλμ. περίπου. Από αυτά ένα μέρος ξαναγυρίζει στην ατμόσφαιρα και ένα άλλο ρέει στην επιφάνεια και υπόγεια προς τη θάλασσα, για να κλείσει έτσι ο κύκλος του νερού, που επαναλαμβάνεται χωρίς τέλος.

Ο καθένας είναι πολύ λίγο γνώστης ή εξιλεωμένος με την δίαιτα των επιφανειακών νερών, γιατί συχνά είναι μάρτυρας είτε της ροής ενός υδροχρώματος, χειμάρρου ή πόταμου είτε πλημμύρας μετά από καταιγίδα.

Αντίθετα, το υπόγειο νερό δεν πέφτει πάντα στην αντίληψη του ανθρώπου σαν ξεχωριστή εμφάνιση. Έχει γίνει πια συνήθεια, συχνά ακόμα και στους τεχνικούς να αντιμετωπίσουν τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά σαν τελείως ξεχωριστά και διακεκριμένα φυσικά μεγέθη.

Κατά την αξιοποίηση των υδατικών πόρων οι συνέπειες από μια τέτοια αντιμετώπιση είναι συχνά αποφασιστικά αρνητικές.

Πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη ότι τα δυο καθεστώτα (των επιφανειακών και των υπόγειων νερών) συνδέονται υδρολογικά και ότι αλληλοεξαρτιούνται λειτουργικά, ώστε να δημιουργούν ένα καθολικό δυναμικό σύστημα, στο οποίο το νερό, κατά την επιστροφή του στους ωκεανούς κινείται συνήθως από το ένα περιβάλλον στο άλλο, είναι αλήθεια ότι τα δυο καθεστώτα είναι ανόμοια από πολλές απόψεις, αλλά λόγω της υδρολογικής τους αλληλεξάρτησης δεν είναι σωστό να αντιμετωπίζονται χωριστά όταν αξιοποιείται το υδατικό δυναμικό μιας περιοχής.

2.3 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Το ποσό του νερού στον, πλανήτη μας, από την αυγή της ιστορίας του, είναι πρακτικά σταθερό και ανέρχεται περίπου στα $1600 \cdot 10^{23}$ κυβικά χιλιόμετρα (48×10^{14} μόρια H_2O).

Ένα μέρος του νέου αυτού είναι χημικά συνδεδεμένο με τα υλικά του μανδύα της γης. Αυτό το κρυσταλλικό νερό, προς το παρόν, ανέρχεται σε $230 \cdot 10^{32}$ κυβ. χιλιόμετρα και ελαττώνεται κάθε χρόνο κατά 170 κυβ. χλμ. είναι η ποσότητα του νερού που εξέρχεται από το εσωτερικό της γης στην επιφάνεια της, αυξάνοντας έτσι το επιφανειακό και υπόγειο νερό.

Έτσι το πόσο του νερού που απαντά ελεύθερο στην επιφάνεια του πλανήτη μας ανέρχεται σε $1370 \cdot 10^{23}$ κυβ. χλμ. και αντιστοιχεί σε ένα στρώμα νερού γύρο από όλη (επιφάνεια $510 \cdot 10^{23}$ τετρ. χλμ.) πάχους 2700 μ., ή σε ένα μέσο βάθος νερού στις θάλασσες και τους ωκεανούς (επιφάνεια $374 \cdot 10^{23}$ τετρ. χλμ.) της τάξεως των 3700 μ. Από την ποσότητα αυτή του ελεύθερου νερού ποσοστό $97,2\%$ είναι αλμυρό (θαλασσινό), που δεν προσφέρεται αυτούσιο για κάποια χρήση (ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση). Δεν προσφέρεται, επίσης, για χρήση η ποσότητα νερού που αντιπροσωπεύουν το χιόνι και ο πάγος (ποσοστό $2,1\%$ στο σύνολο) καθώς και οι ατμοσφαιρική υδρατμοί ($0,001\%$). Κατά συνέπεια από τις τεράστιες υγρές ποσότητες που κατακλύζουν τον πλανήτη μας, μονό ποσοστό $0,6\%$ είναι διαθέσιμο στον άνθρωπο.

Αυτό το ποσοστό αντιπροσωπεύει $8,2$ κυβ. χλμ. νερού, το οποίο αντιστοιχεί σε ένα υδάτινο στρώμα πάνω στην ξηρή (έκταση $136 \cdot 10^{23}$ τετρ. χλμ.) πάχους περίπου 60 μ.

Από την ποσότητα αυτή ποσοστό 12% αντιπροσωπεύεται από το επιφανειακό νερό (ποταμοί, λίμνες) ενώ το υπόλοιπο ποσό, περίπου $7,2 \cdot 10^{23}$ κυβ. χλμ. είναι υπόγειο νερό. Όμως το μισό από αυτή την ποσότητα δεν είναι άμεσα διαθέσιμο στον άνθρωπο γιατί βρίσκεται σε βάθος μεγαλύτερο από 800 μ., ενώ πρέπει να αφαιρεθεί ποσοστό $0,6\%$ της συνολικής ποσότητας του υπογείου νερού, που αποτελούν η υγρασία και οι διαφορές απόλυες. Από τα πιο πάνω

προκύπτει τελικά ότι ο άνθρωπος έχει στην διάθεση του $0,1 \cdot 10^{23}$ κυβ. χλμ. Επιφανειακού νερού και $3,0 \cdot 10^{23}$ κυβ. χλμ. υπογείου νερού.

2.4 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΑΤΙΚΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ

Οι περισσότεροι υδροφόροι έχουν μεγάλη επιφανειακή έκταση και μπορούν να θεωρούνται σαν υπόγειες αποθήκες νερού. Το νερό εισέρχεται στην υπόγεια αποθήκη με το φυσικό ή τεχνητό εμπλουτισμό και ρέει κάτω από την δράση της βαρύτητας ή υδρομετρήσεων άντλησης. Συνήθως, ο όγκος του νερού που παίρνεται ή μετακινείται ετήσια, είναι μονό ένα μικρό κλάσμα της αποθηκευτικής ικανότητας των υδροφόρων. Οι τελευταίοι χαρακτηρίζονται σαν ελεύθεροι και αρτεσιανοί, ανάλογα με την παρουσία ή απουσία μιας ελεύθερης υδροστατικής επιφάνειας, ενώ η ημιαρτεσιανοί υδροφόροι είναι ένας συνδυασμός.

Ελεύθερος είναι ο υδροφόρος ο οποίος έχει ως δάπεδο στεγανό πέτρωμα, ως οροφή ελεύθερη υδροστατική επιφάνεια άνω το νερό που γεμίζει το πορώδες της στέρεας φάσης βρίσκεται με πίεση ίση με την ατμοσφαιρική. Η ελεύθερη υδροστατική επιφάνεια έχει μεταβαλλόμενη, κυματώδη μορφή και κλίση, ανάλογα με τις συνθήκες στις περιοχές τροφοδοσίας και στράγγισης, της άντλησης και γεωτρήσεις και την υδραυλική αγωγιμότητα. Ανύψωση και ταπείνωση της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του αποθηκευμένου όγκου του στον υδροφόρο. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι ποσότητες του διαθέσιμου νερού, η κατανομή του και η κίνηση του στον υδροφόρο κατασκευάζονται οι ισοσταθμίσου χάρτες, ή χάρτες υδροϊσοϋψών, από μετρήσεις της υδροστατικής στάθμης του νερού μέσα σε γεωτρήσεις.

Μια ειδική περίπτωση των ελεύθερων υδροφόρων είναι οι κρεμαστοί υδροφόροι ή κρεμαστά υδροφόρα σώματα, που σχηματίζονται όταν ένα υδροφόρο στρώμα ή σώμα, χωρίζεται από τον κύριο υδροφόρο με ένα σχετικά αδιαπέραστο στρώμα μικρής έκτασης και με τη ζώνη αερισμού πάνω από τον κύριο υδροφόρο στρώμα. Τέτοιοι κρεμαστοί υδροφόροι δημιουργούνται πάνω

από αργιλικούς φακούς οι οποίοι βρίσκονται σε κλαστικές αποθέσεις ή σε καρστοποιημένα στρώματα που βρίσκονται από πάνω από μη καρστοποιημένα στρώματα ασβεστόλιθων. Γεωτρήσεις μέσα σε κρεμαστούς υδροφόρους δίνουν προσωρινά μονό μερικές ποσότητες νερού.

Είναι γνωστοί στην αγγλόφωνη βιογραφία και σαν εγκλωβισμένοι ή με πίεση (confined ή artesian ή pressure aquifers). Σε αυτούς το υπόγειο νερό βρίσκεται “εγκλωβισμένο” (ή περιορισμένο) ανάμεσα στα σχετικά διαπερατά στρώματα της οροφής και του δαπέδου, με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική. Η στάθμη του νερού σε μια υδρογεώτρηση , που βρίσκεται σε αρτεσιανό υδροφόρο ανεβαίνει ψηλότερα από τον πυθμένα της αδιαπέραστης οροφής. Κατά κανόνα οι καρτεσιανοί υδροφόροι μεταπίπτουν προς τα ανάντη σε ελεύθερους υδροφόρους λόγω διακοπής της παρουσίας της στεγανής οροφής, ή αποσφήνωση της. Από αυτή την περιοχή γίνεται κατά κύριο λόγο ο εμπλουτισμός (τροφοδοσία) των αρτεσιανών υδροφόρων. Η περιοχή που τροφοδοτεί με νερό τον αρτεσιανό υδροφόρο ονομάζεται περιοχή τροφοδοσίας ή εμπλουτισμό (recharge area).

Πέρα όμως από την περιοχή τροφοδοσίας, το νερό μπορεί να περάσει στον αρτεσιανό υδροφόρο από το σχετικά αδιαπέραστο στρώμα. Οι μεταβολές της στάθμης του νερού στις αρτεσιανές γεωτρήσεις, δηλαδή σε γεωτρήσεις που υδρομαστεύουν αρτεσιανούς υδροφόρους, προέρχονται, κατά κύριο λόγο, από τις μεταβολές της πίεσης και όχι τόσο από τις μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού. Έτσι, οι αρτεσιανοί υδροφόροι παρουσιάζουν μικρές μόνο μεταβολές της αποθήκευσης και δρουν κατά κύριο λόγο σαν αγωγοί για τη μεταβίβαση του νερού από τις περιοχές τροφοδοσίας στις θέσεις φυσικής (πηγές) ή τεχνητής (υδρογεωτρήσεις άντλησης) εκροής.

3. ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΑΤΙΝΟΙ ΠΟΡΟΙ

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ

3.1.1 Γενικά γεωλογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων

Έχει οριστεί, ότι ένας γεωλογικός σχηματισμός που μπορεί να δώσει σημαντικές ποσότητες νερού, αποτελεί έναν υδροφόρο. Τέτοιοι σχηματισμοί είναι πολλοί Η βασική απαίτηση, για να λειτουργήσει ένας σχηματισμός σαν υδροφόρος, είναι η ικανότητα του να αποθηκεύει νερό στα διάκενα του, πρωτογενή η δευτερογενή, και να το μεταβιβάζει προς τα υδρομαστευτικά έργα. Η αποθήκευση του νερού γίνεται στο συνολικό, πρωτογενές ή .δευτερογενές, πορώδες, αλλά μεταβιβάζεται το νερό που έχει αποθηκευτεί στο ενεργό μόνο πορώδες (βαρυτικό νερό) .

Ο Πίνακας 3.1 συνοψίζει τη γεωλογική ταξινόμηση των πιο συνηθισμένων υδροφόρων.

Πίνακας 3.1 Γεωλογική προέλευση των υδροφόρων, με βάση τον τύπο του πορώδους και του πετρώματος (U.S Dept. Econ. Affaires , 1975 με τροποποιήσεις).

Τύπος πορώδους	Ϊζηματογενή πετρώματα		Μαγματικά και Μεταμορφωμένα	Ηφαιστειακά	
	Χαλαρά	Συγκολλημένα		Συγκολλημένα	Χαλαρά
Πρωτογενές (διάκενα)	Χαλικομιγείς άμμοι, αργιλούχες άμμοι, Αμμούχες άργυλοι	-	Αποσαθρωμένη ζώνη γρανιτών και γενέσιων	Αποσαθρωμένη ζώνη βασάλτη, ηφαιστειακά έκχυτα	Ηφαιστιακές στάχτες, τεμάχη και λιθάρια
Πρωτογενές (διάκενα) και Δευτερογενές (ρωγμές)	-	Λατυποπαγή, κροκαλοπαγή, ψαμίτες, σχιστόλιθοι οργανογενείς και ωολιθικοί ασβεστόλιθοι κρητίδα	-	Τόφοι , ηφαιστειακά λατυποπαγή κίσηρις	-
Δευτερογενές (ρωγμές)	-	Ασβεστόλιθοι, δολομίτες δολοματικοί ασβεστόλιθοι	Μάρμαρα (ασβεστολιθικά, δολομιτικά), γρανίτες, γενέσιοι, χαλαζίτες, διορίτες, σχιστόλιθοι, Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι	Βαλσάτες ανδεσίτες ρυόλιθοι	-

3.1.2 Δρόμοι κυκλοφορίας του υπόγειου νερού

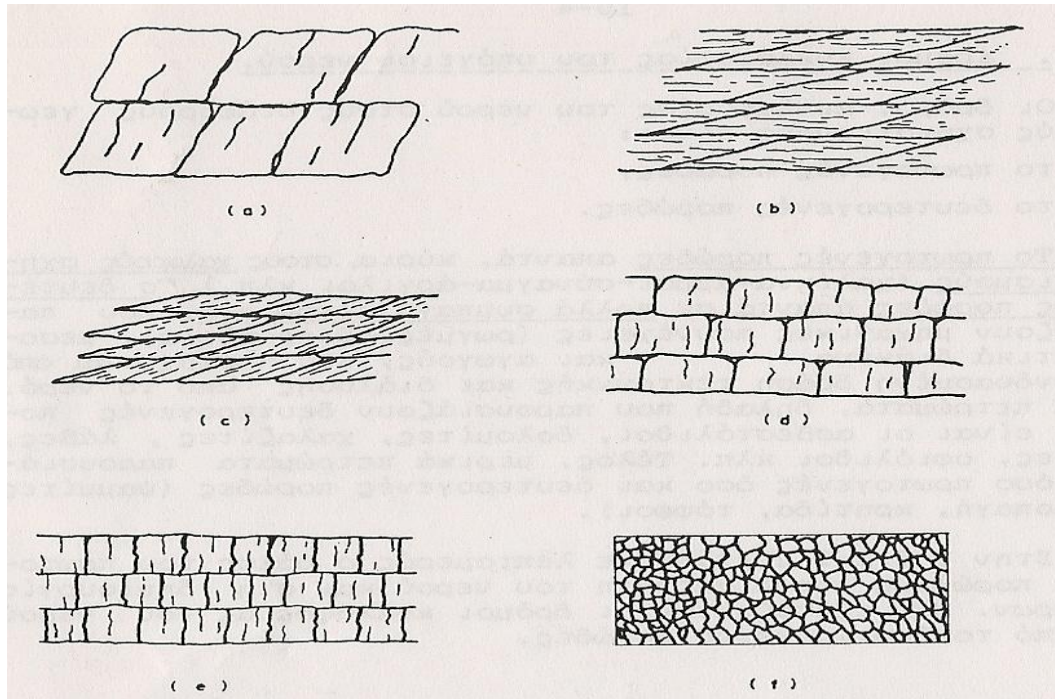
Οι δρόμοι κυκλοφορίας του νερού στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς είναι:

- το πρωτογενές πορώδες,
- το δευτερογενές πορώδες.

Το πρωτογενές πορώδες απαντά, κύρια, στους χαλαρούς σχηματισμούς (χαλίκια-άμμοι-σύναγμα-άργιλοι κλπ.). Το δευτερογενές πορώδες απαντά σε πολλά συμπαγή πετρώματα, που παρουσιάζουν μηχανικές ασυνέχειες (ρωγμές-διαρρήξεις), μεσοστρωματικά διάκενα και αγωγούς, που προέρχονται από τη συνδυασμένη δράση τεκτονικής και διάλυσης από το νερό. Τέτοια πετρώματα, δηλαδή που παρουσιάζουν δευτερογενές πορώδες, είναι οι ασβεστόλιθοι, δολομίτες, χαλαζίτες, λάβες, γρανίτες, οφιόλιθοι κλπ. Τέλος, μερικά πετρώματα παρουσιάζουν τόσο πρωτογενές όσο και δευτερογενές πορώδες (ψαμμίτες, κροκαλοπαγή, κρητίδα, τόφφοι).

3.1.3 Ρωγμές

Εδώ κατατάσσονται όλες οι ασυνέχειες (διακλάσεις-κατακλάσεις-αρμοί-σχιστότητα-στρωσιγενείς επιφάνειες κλπ.), οι οποίες διακόπτουν τη συνέχεια του πετρώματος, χωρίς όμως να έχουν προκαλέσει κάποια μετακίνηση των τμημάτων, στα οποία έχουν χωρίσει τη μάζα του. Οι ρωγμές, λοιπόν, με την παραπάνω έννοια, θεωρούνται σαν επίπεδες επιφάνειες, οι οποίες κατακερματίζουν ένα πέτρωμα, κατά διάφορες διευθύνσεις. Το μήκος των ρωγμών, κυμαίνεται, από μερικά cm μέχρι μερικά m. Κατά κανόνα το μήκος τους είναι ελάχιστα μέτρα και στη συνέχεια, άλλες γειτονικές ρωγμές συνεχίζουν τον κερματισμό του πετρώματος (σχήμα 3.1). Στα στρωμένα πετρώματα, οι ρωγμές, κατά κανόνα, είναι κάθετες στη στρώση.



Σχημα 3.1 Ρωγμές σε a) γεύσιο , b)μαμαρυγιακό σχιστόλιθο, c) φυλλίτη , d)στρωμένο ασβεστόλιθο , e)χαλαζίτη , f) δολομίτη. (Thunner , 1967).

Οι ρωγμές πάντα παρουσιάζουν κάποιο προσανατολισμό, ο οποίος διαμορφώνει και τον προσανατολισμό των δρόμων κυκλοφορίας του νερού. Το μεγαλύτερο μήκος τους παρουσιάζουν κατά διεύθυνση, συχνά δε διελαύνονται από δευτερεύουσες, μη επίπεδες, αποκλίνουσες, ρωγμές. Τα ροδοδιαγράμματα και τα στατιστικά διαγράμματα των ρωγμών σε δίκτυα Schmidt, βοηθούν ουσιαστικά στον καθορισμό των πιο πιθανών δρόμων κυκλοφορίας του υπόγειου νερού. Μεγάλη υδρογεωλογική σημασία έχει επίσης η πυκνότητα των ρωγμών. Όταν αυτή είναι μεγάλη, τότε αυξάνονται οι πιθανότητες να επικοινωνούν οι ρωγμές μεταξύ τους, άρα και οι πιθανότητες διαμόρφωσης ενιαίου υδροφόρου.

Η πυκνότητα των ρωγμών εξαρτιέται, εκτός από τον τεκτονισμό του πετρώματος και από το είδος του. Έτσι, π.χ. για την ίδια ένταση τεκτονισμού η πυκνότητα των ρωγμών είναι μεγαλύτερη στους δολομίτες και χαλαζίτες.

Ένα πέτρωμα θεωρείται πυκνά ρωγματωμένο, όταν οι αποστάσεις ανάμεσα στις ρωγμές, που το διασχίζουν, είναι μικρότερες ή ίσες με 20 cm. Όταν οι αποστάσεις αυτές είναι μεγαλύτερες, το πέτρωμα θεωρείται αραιά ρωγματωμένο.

Συνήθως η πυκνότητα των ρωγμών δίνεται με τον αριθμό ρωγμών, δηλαδή με το πλήθος τους ανά τρέχον μέτρο πετρώματος.

Ακόμα μεγαλύτερης υδρογεωλογικής σημασίας, είναι το βάθος .στο οποίο φτάνουν οι ρωγμές. Έτσι π.χ. σε έναν γρανίτη οι κύριες ρωγμές σπάνια φτάνουν σε βάθος μεγαλύτερο από 1-2 m και στη συνέχεια διακόπτονται από μια γειτονική ρωγμή κ.ο.κ. Με τον ίδιο τρόπο συμπεριφέρονται και πολλά άλλα πετρώματα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τελικά ένα δίκτυο ρωγμών, το οποίο κερματίζει το πέτρωμα σε ένα συνοθήλευμα ακανόνιστων (δολομίτες) ή κανονικών (μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι) τεμαχίων ή λέπιων, διάφορου σχήματος και διάφορων διαστάσεων (σχήμα 3.1) .

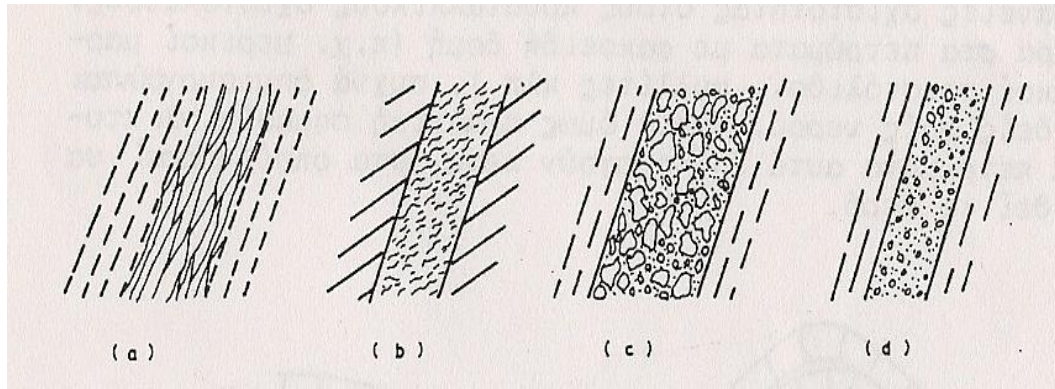
Οι ρωγμές αυτές μπορεί να επικοινωνούν μεταξύ τους, ή να είναι απομονωμένες. Το νερό που μπαίνει σ'αυτές, ακολουθεί κατά κανόνα, προς το βάθος, μια τεθλασμένη ή “zig-zag” διαδρομή, ανάλογα με τη μορφή και τον προσανατολισμό των κύριων ρωγμών του δικτύου (σχήμα 3.1). Όταν το δίκτυο των ρωγμών, μετά από κάποιο βάθος, είναι κλειστό ή εξαφανίζεται, τότε το νερό γεμίζει το χώρο των ανοιγμάτων του δικτύου των ρωγμών και σχηματίζει ένα υδροφόρο σύστημα. Όταν η στάθμη του νερού ανέβει πάνω από ένα επίπεδο, το νερό ακολουθεί κάποιο άλλο δίκτυο ρωγμών προς τα κάτω κ.ο.κ. Όταν δεν υπάρχει διέξοδος του νερού που κατεισδύει, τότε αυτό κατεβαίνει μέχρι το βάθος εκείνο που σταματούν να υπάρχουν ρωγμές. Το βάθος μέχρι το οποίο μπορεί να φτάνει ένα δίκτυο ρωγμών, εξαρτιέται από το είδος του πετρώματος και την προέλευση των ρωγμών (τεκτονισμός-ψύξη ηφαιστιτών) και μπορεί να φτάνει, με τον τρόπο που προαναφέρθηκε, ακόμα και μέχρι τα 6000 m.

Οι ρωγμές μπορεί να οφείλονται στον τεκτονισμό ή στην απότομη ψύξη ενός μαγματικού πετρώματος. Τα τελευταία συνήθως παρουσιάζουν πυκνή στηλοειδή κατάτμηση, κατακόρυφα προσανατολισμένη. Στους γνεύσιους και αμφιβολίτες δημιουργείται δίκτυο ρωγμών, όμοιο με εκείνο των ηφαιστιτών. Οι κύριες ρωγμές σ'αυτά, έχουν κλίση λίγο μικρότερη από 90° (σχήμα 3.1.a). Οι σχιστόλιθοο έχουν κύριες ρωγμές με κλίση γύρω στις 45° περίπου (σχήμα 3.1b) Οι ψαμμίτες

παρουσιάζουν αραιό δίκτυο ρωγμών, το ίδιο και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι, στους οποίους το μήκος των ρωγμών είναι μικρό. Στα κροκαλοπαγή και τα τεκτονικά λατυποπαγή οι ρωγμές που σχηματίζονται είναι συνάρτηση της ηλικίας τους. Κατά κανόνα, τα παλαιοζωικά και μεσοζωικά κροκαλοπαγή, έχουν αραιό δίκτυο ρωγμών και με ασήμαντες δευτερεύουσες ρωγμές.

3.1.4 Ζώνες κατακερματισμού

Πρόκειται για έντονα θραυσμένες και μυλονιτοποιημένες ζώνες πετρωμάτων, που δημιουργήθηκαν από τεκτονικά γεγονότα. Τα πετρώματα, λόγω της τριβής των τμημάτων, στα οποία έσπασαν, μεταξύ τους, έχουν μετατραπεί σε λατυποπαγή ή μυλονίτες ή ακόμα είναι δυνατόν να παρουσιάζονται σε λεπτά φύλλα, πτυχωμένα, σπασμένα κλπ. Συνήθως σχηματίζονται κατά μήκος ρηγμάτων. Το πλάτος τους ποικίλλει από μερικά cm μέχρι 5 m και συχνά σ' αυτές υπάρχει κάποιο πορώδες (πόροι, ρωγμές), στο οποίο το νερό μπορεί να κυκλοφορεί. Το νερό δεν κυκλοφορεί σε κάθε κερματισμένη ζώνη, γιατί συχνά αυτές είναι γεμάτες από πηλούχα ή αργιλικά υλικά, που είναι στεγανά. Και στην περίπτωση των ζωνών αυτών, μεγάλη σημασία έχουν τα γεωμετρικά στοιχεία (πλάτος-μήκος-βάθος), ο προσανατολισμός και το υλικό πλήρωσης. Συχνά, οι ζώνες αυτές προσδίνουν στο πέτρωμα φακοειδή μορφή, ή έχουν, οι ίδιες, φακοειδή μορφή, οπότε αρχικά δίνουν σημαντική ποσότητα νερού, που γρήγορα όμως εξαντλείται. Η διαπερατότητα των κερματισμένων ζωνών ποικίλει κατά περίπτωση και γι' αυτό καθεμιά πρέπει να αντιμετωπίζεται ιδιαίτερα.



Σχήμα 3.2 Κερματισμένες ζώνες (α) δημιουργία φυλλωδών επιφανειών, (β) συμπιεσμένο στρώμα, (γ) τεκτονικό λατυποπαγές, (δ) μυλονίτης (Thermer, 1967).

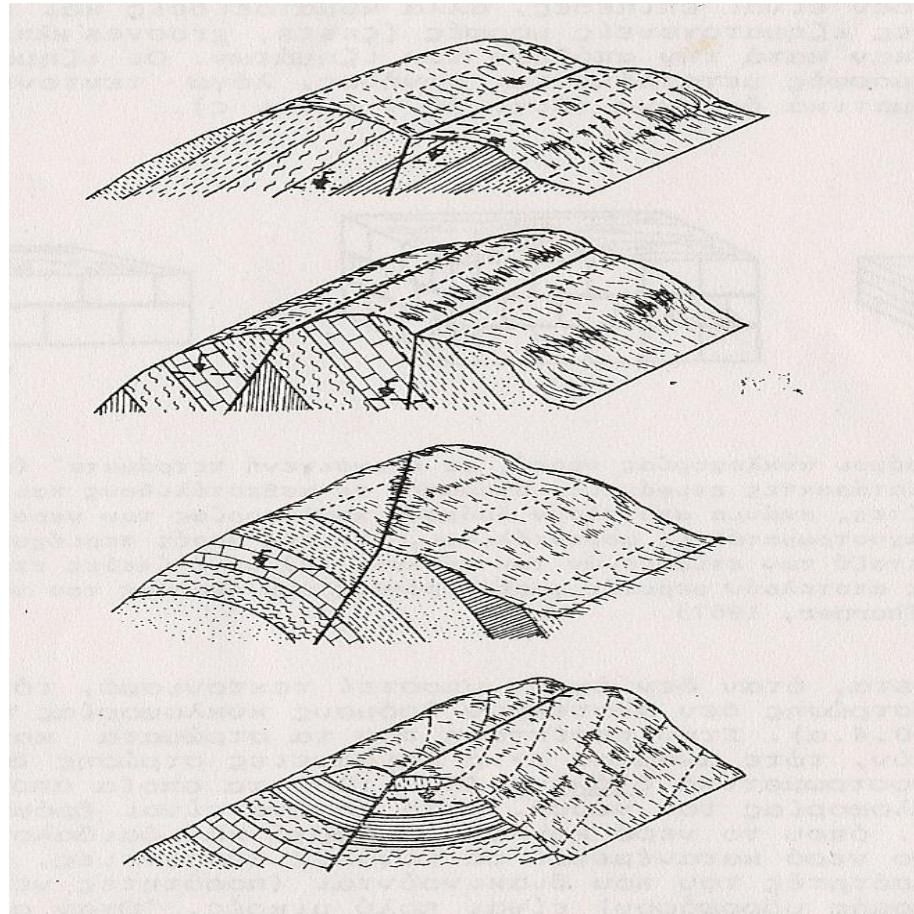
3.1.5 Ρήγματα

Είναι επιφάνειες τεμαχισμού, οι οποίες υποδιαιρούν το πέτρωμα σε ημιανεξάρτητα ή τελείως ανεξάρτητα τεμάχια. Τα ρήγματα, υδρογεωλογικά, αποτελούν όχι επιφάνειες, αλλά ζώνες, μεταβαλλόμενου πάχους, οι οποίες συνοδεύονται από ρωγμές και λουρίδες κερματισμένου πετρώματος (μυλονίτης - λατυποπαγές). Η ζώνη, λοιπόν, του ρήγματος, αποτελεί μια ζώνη διακίνησης του νερού, εκτός από τις περιπτώσεις που αυτή βρίσκεται σε (ή έχει γεμίσει από) πηλούχα ή αργιλικά υλικά.

Το γεγονός ότι τα ρήγματα έχουν συχνά μεγάλη εξάπλωση και συνδέονται με διάφορες μορφές του ανάγλυφου, π.χ. υβώματα, διάσελα, χαραδρώσεις κλπ. έχει σαν συνέπεια να διακινούν νερό από μεγάλες σε έκταση λεκάνες τροφοδοσίας. Μια άλλη επίπτωση των ρηγμάτων, είναι, ότι φέρνουν συχνά σε επαφή πετρώματα διαφορετικής λιθολογίας και υδροπερατότητας, ή σε υπόγεια επικοινωνία διαφορετικά διαπερατά πετρώματα ή αλλάζουν τη θέση του στεγανού υπόβαθρου (σχήμα 3.3).

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, αλλάζει η πιεζομετρία και το υδρογεωλογικά καθεστώς, όταν δε τα ρήγματα δεν έχουν εντοπιστεί, κατά τη χαρτογράφηση, μπορεί να οδηγήσουν σε παράδοξες υδρογεωλογικές παραδοχές (σχήμα 3.3) και

ανεπιτυχείς τοποθετήσεις έργων υδρομάστευσης. Η ροή του νερού, ακόμη και η αποθήκευση του, δεν γίνεται κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης, η οποία, κατά κανόνα, έχει πληρωθεί με στεγανό υλικό, αλλά από τη γειτονική ζώνη διάρρηξης, όπου αναπτύσσεται το δίκτυο των ρωγμών και μικροδιαρρήξεων.

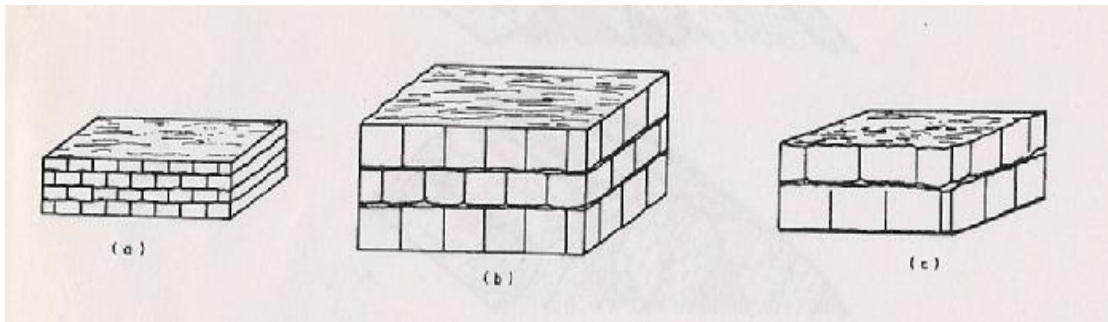


Σχήμα 3.3 Αποκλίσεις της πιεζομετρίας, που προκαλούνται από ρήγματα (Turner, 1967, με συμπληρώσεις),
 ε = υδροστατική επιφάνεια.

3.1.6 Στρωσιγενείς επιφάνειες

Μπορούν να θεωρηθούν σαν επίπεδες επιφάνειες, σε παράλληλη διάταξη και πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Η υδρογεωλογική τους σημασία, στην περίπτωση αυτή, είναι ασήμαντη .

Στα παχυστρωματώδη πετρώματα, απαντούν ανάμεσα στους πάγκους μεσοστρωματιά διάκενα (Schichtfugen), τα οποία αντιπροσωπεύουν λεπτές λουρίδες αποσάθρωσης μαλακών ενστρώσεων (αργιλικών). Μέσα από αυτά τα διάκενα, μπορεί μεν να διακινηθεί το νερό, αλλά σπάνια σε σημαντικό βάθος. Συχνά όμως οι επιφάνειες δεν είναι επίπεδες, αλλά κυματοειδείς και περιέχουν διάφορες ιζηματογενείς μορφές (casts, groovers κλπ.), που δημιουργήθηκαν κατά την απόθεση των ιζημάτων. Οι ιζηματογενείς αυτές μορφές μετατρέπονται συνήθως, λόγω τεκτονισμού, σε μεσοστρωματικά διάκενα (σχήμα 3.4 β και c).

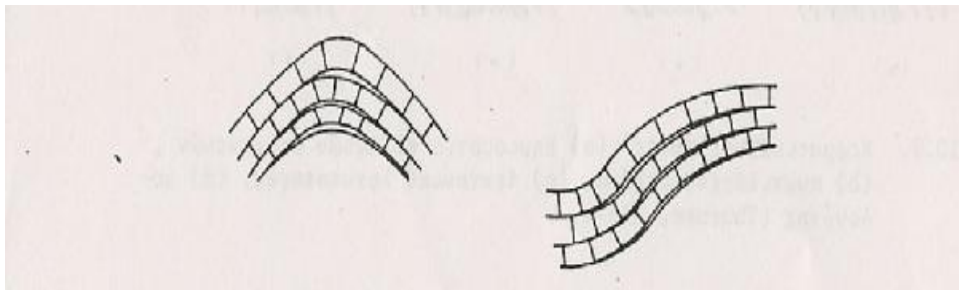


Σχήμα 3.4 Δρόμοι κυκλοφορίας νερού, σε στρωσιγενή πετρώματα (α) αδιατάρακτες επιφάνειες στρώσης, σε ασβεστόλιθους και ψαμμύτες, σπάνια αποτελούν δρόμους κυκλοφορίας του νερού, (b) παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι, μερικές φορές περιέχουν νερό μεταξύ των επιφανειών των πάγκων, (c) οι επίπεδες επιφάνειες αποτελούν μερικές φορές δρόμους κυκλοφορίας του νερού. (Turner, 1967).

Αντίθετα, όταν δεν έχουν υποστεί τεκτονισμό, τότε οι επιφάνειες στρώσης δεν αποτελούν δρόμους κυκλοφορίας του νερού (σχήμα 3.4.α). Στην περίπτωση που τα στρώματα καμφθούν και πτυχωθούν, τότε ανάμεσα στις επιφάνειες στρώσης δημιουργούνται μεσοστρωματικά διάκενα (σχήμα 3.5), τα οποία αποτελούν δρόμους κυκλοφορίας του νερού. Κατά κανόνα είναι δρόμοι μικρού εύρους, όπου το νερό κυκλοφορεί αργά και δαιδαλοειδώς. Επειδή δε το νερό κατανέμεται

σε μεγάλες επιφάνειες, οι μοναδιαίες ποσότητες του που διακινούνται (ποσότητες νερού ανά μονάδα διατομής υδροφόρου) είναι πολύ μικρές. Όταν οι κλίσεις των στρωμάτων είναι μεγάλες, οι διακινούμενες ποσότητες νερού είναι πιο σημαντικές από ό,τι στα υποριζόντια στρώματα.

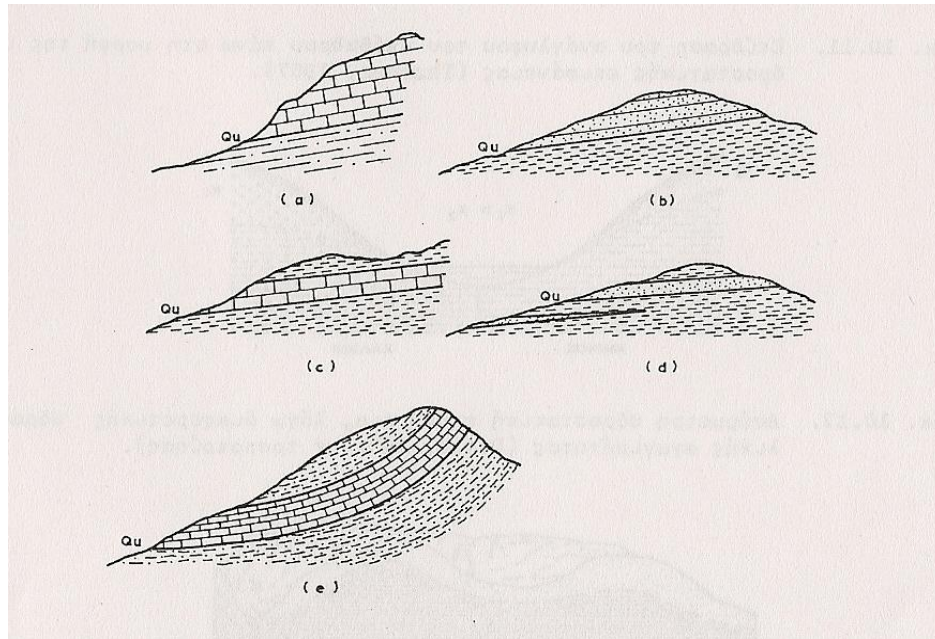
Κατά τον ίδιο τρόπο συμπεριφέρονται, υδρογεωλογικά και οι επιφάνειες σχιστότητας στους κρυσταλλικούς σχιστόλιθους. Ιδιαίτερα στα πετρώματα με φακοειδή δομή (π.χ. μερικοί μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες κλπ.), συχνά δημιουργούνται τριχοειδείς ροές νερού, χωρίς όμως πρακτική σημασία. Οι πτυχές στα πετρώματα αυτά δημιουργούν κενά, στα οποία μπορεί να διακινηθεί το νερό.



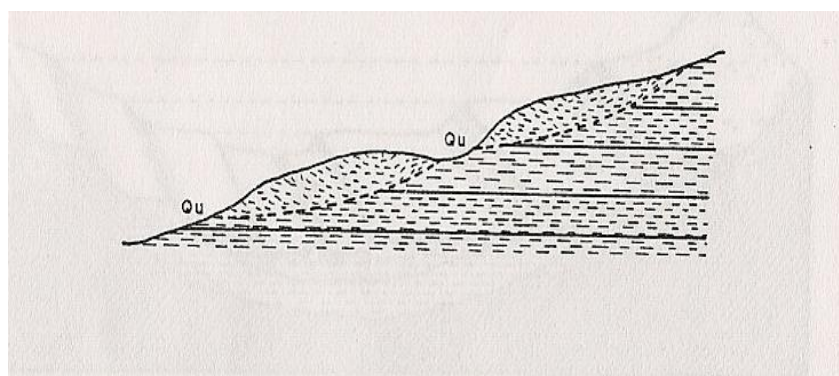
Σχήμα 3.5 Πτυχωμένα μεσοστρωματικά διάκενα (Schichtfugen) τα οποία συχνά αποτελούν δρόμους κυκλοφορίας του νερού. (Thurner 1967).

3.1.7 Πρωτογενές πορώδες

Σχεδόν όλα τα πετρώματα περιέχουν στο σκελετό τους κάποιο μικρό (ή μεγάλο) πορώδες, το οποίο όμως έχει υδρογεωλογική σημασία τότε μόνον, όταν είναι ενεργό.



Σχήμα 3.6 Κυκλοφορία νερού στην επαφή στεγανών και διαπερατών στρωμάτων και δημιουργία πηγών επαφής (Qu) (a) επαφή ανθρακικών και αργιλικών στρωμάτων, (b) επαφή ψαμμιτών και αργίλων, (c) ανθρακική ένστρωση ανάμεσα σε αργιλικούς σχιστόλιθους, (d) άμμοι μεταξύ πηλών, (e) μάρμαρα ανάμεσα σε μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους (Turner , 1967).

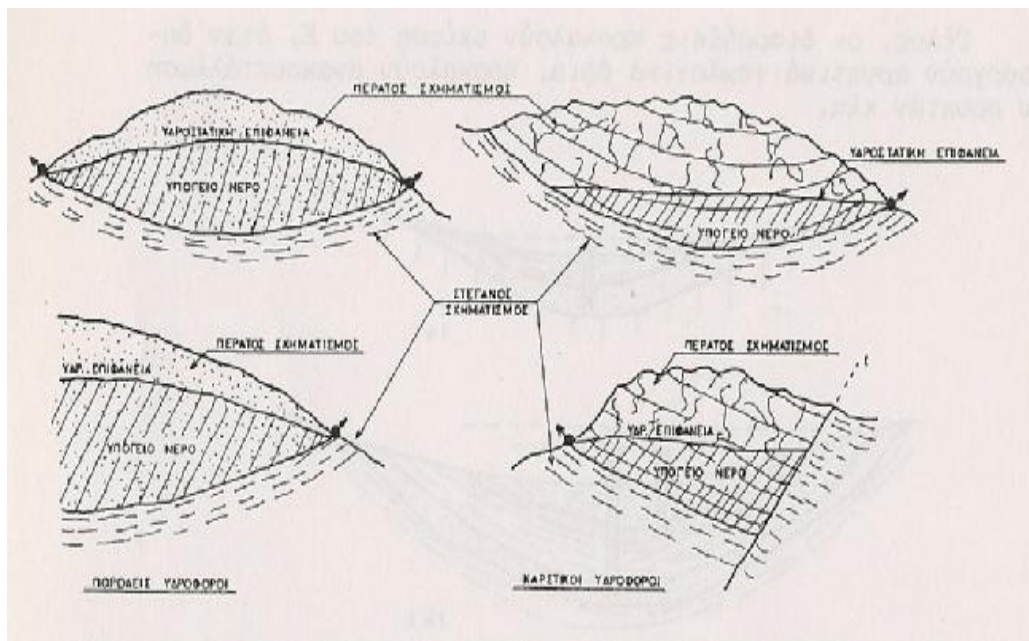


Σχήμα 3.7 Κυκλοφορία νερού και δημιουργία πηγών επαφής στην επαφή υγιούς πετρώματος και επιφανειών κατολίσθησης (Turner , 1967).

3.1.8 Υδροχωρητικότητα των υδροφόρων

Ανεξάρτητα από τη φύση του υδροφορέα, η υδροχωρητικότητα των υδροφόρων εξαρτιέται συχνά από τη φύση και τη θέση των ορίων τους όπως π.χ. το στεγανό δάπεδο και η θέση του σε σχέση προς μια πηγή εκφόρτισής τους, η γειτονία με ένα υδρόρευμα από το οποίο εμπλουτίζονται επαγωγικά κλπ. Έτσι, στην περίπτωση που οι υδροφόροι εκτείνονται σημαντικά βαθύτερα από μια πηγή εκφόρτισης, έστω και αν πρόκειται για κρεμαστούς υδροφόρους, η υδροχωρητικότητά τους είναι μεγάλη (σχήμα 3.8), είναι δε δυνατόν να οφείλεται στην παρουσία φραγμού από στεγανά πετρώματα τεκτονικής ή ιζηματογενούς προέλευσης (σχήμα 3.9).

Τέλος, είναι δυνατόν η υδροχωρητικότητά του υδροφόρου καθ' αυτή να μην είναι σπουδαία, όμως η γειτονία με κάποιο υδρόρευμα, το οποίο τον τροφοδοτεί επαγωγικά, εξασφαλίζει σίγουρο εμπλουτισμό και κατά συνέπεια και αποθήκευση νερού (σχήμα 3.10).



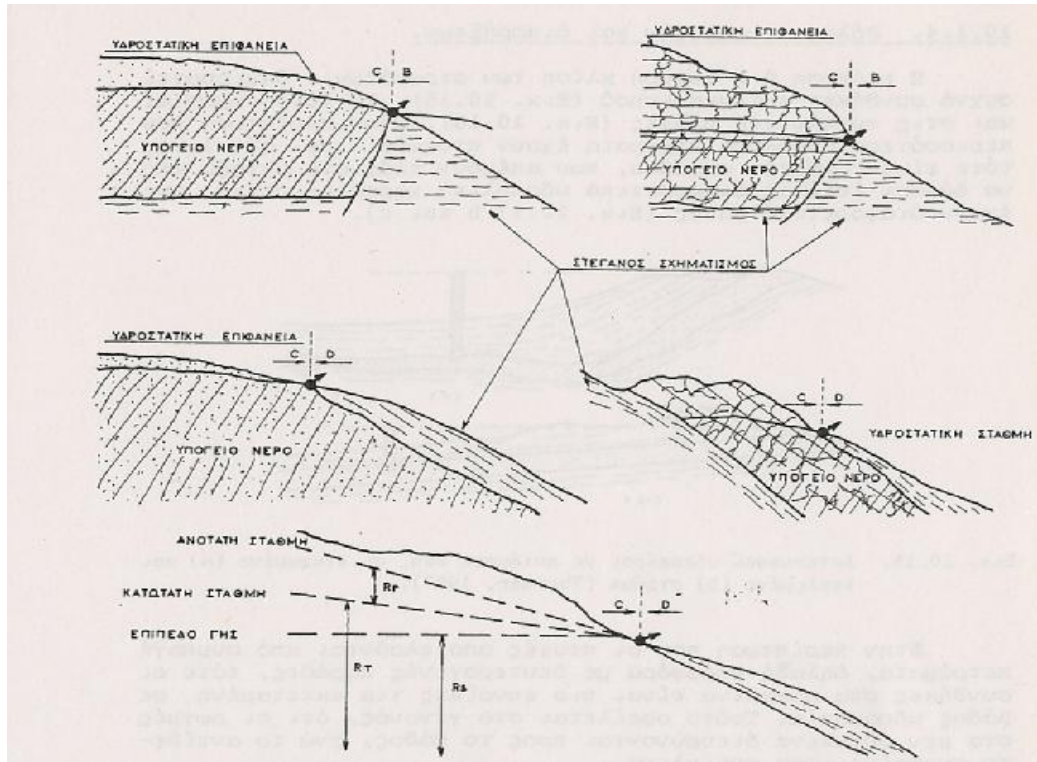
Σχήμα 3.8 Παραδείγματα υδροφόρων με σημαντική αποθηκευτική ικανότητα. Κρεμαστού υδροφόρου με πηγές στα όρια τους. (U.N.D.E.S.A., 1975).

3.2 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ

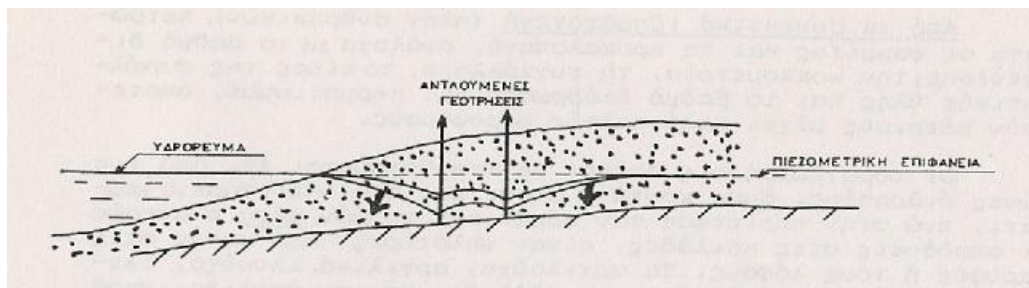
Είναι δυνατή η χαρτογράφηση των περιοχών τροφοδοσίας και εκφόρτισης, με βάση τις μεταβολές της τοπογραφίας, την πιεζομετρία, τις υδροχημικές τάσεις, τα φυσικά ισότοπα του περιβάλλοντος κλπ. Οι περιοχές εκφόρτισης είναι γενικά τοπογραφικά χαμηλές, ενώ της τροφοδοσίας τοπογραφικά ψηλές. Η πιο άμεση ένδειξη είναι η πιεζομετρία.

Στις περιοχές τροφοδοσίας, υπάρχει μια έντονη καθοδική συνιστώσα της ροής του υπόγειου νερού και σ' αυτές της εκφόρτισης έντονη ανοδική συνιστώσα. Αν σε μια περιοχή υπάρχουν πολλές γεωτρήσεις ή πηγάδια, διαφορετικού βάθους, είναι δυνατός ο εντοπισμός της ζώνης τροφοδοσίας και της ζώνης εκφόρτισης του υδροφόρου, από την κατασκευή του διαγράμματος βάθους γεωτρήσεων σε σχέση με το βάθος της στατικής στάθμης σ' αυτές (σχήμα 3.11).

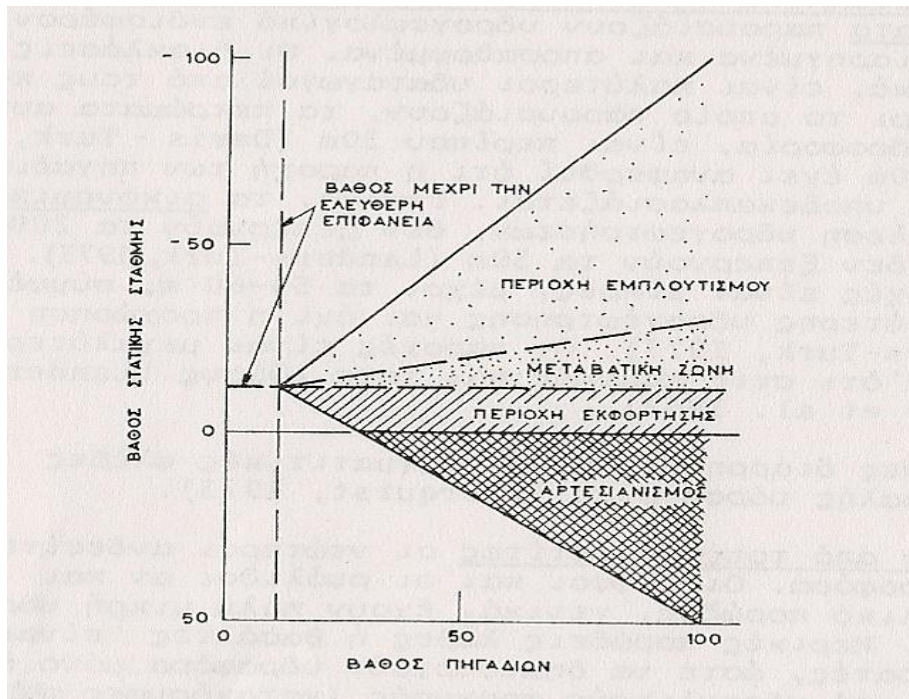
Στις περιοχές τροφοδοσίας, η αλατότητα του υπόγειου νερού είναι γενικά χαμηλή (μικρό TDS), η οποία αυξάνει καθώς το νερό κινείται προς τις περιοχές εκφόρτισης. Η χρησιμοποίηση του τριτίου και άνθρακα-14 σαν φυσικών ιχνηθετών, δίνει πληροφορίες για την ηλικία του νερού και κατά συνέπεια για τον εντοπισμό της περιοχής τροφοδοσίας και εκφόρτισης. Τέλος, η χαρτογράφηση των ζωνών τροφοδοσίας και εκφόρτισης είναι δυνατή, με την απογραφή των πηγών και διηθήσεων νερού καθώς και την καταγραφή σε χάρτη των φρεατόφυτων.



Σχήμα 3.9 Παραδείγματα υδροφόρων με σημαντική αποθηκευτική ικανότητα. Ενιαίοι υδροφόροι με πηγή στο όριο τους (U.N.D.E.S.A., 1975).



Σχήμα 3.10 Ελεύθερος υδροφόρος χωρίς σταθερά (γεωλογικά) αποθέματα αλλά συντηρούμενος από υδρόρευμα (U.N.D.E.S.A., 1975, με τροποποίηση).



Σχήμα 3.11 Διάγραμμα βάθους πηγαδιών σε σχέση με το βάθος στατικής στάθμης νερού, για του εντοπισμό των περιοχών τροφοδοσίας και εκφόρτισης (Freeze-Cherry, 1979).

3.3 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

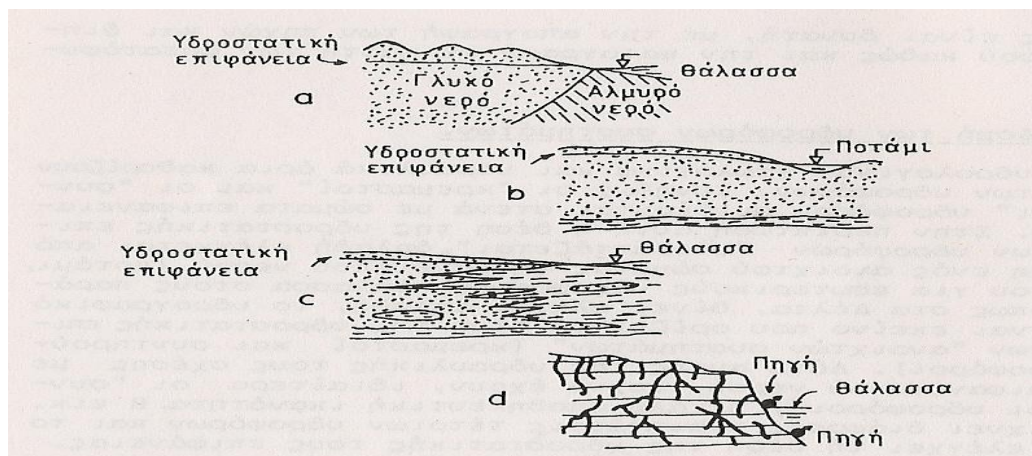
Τα υδρολογικά, γεωλογικά και υδραυλικά όρια καθορίζουν τη διαδρομή των υδροφόρων. Συνήθως οι "κρεμαστοί" και οι "συντηρούμενοι" υδροφόροι συνδέονται στενά με σώματα επιφανειακού νερού. Στην περίπτωση αυτή η θέση της υδροστατικής επιφάνειας των υδροφόρων. "υποβαστάζεται", δηλαδή ελέγχεται από την ύπαρξη ενός ανοιχτού σώματος επιφανειακού νερού (ποτάμι, προκειμένου για εσωτερικούς υδροφόρους, θάλασσα στους παράκτιους, όπως στα Δέλτα, θίνες κλπ.) . Δηλαδή, το υδρογραφικό δίκτυο είναι εκείνο που ορίζει τη θέση της υδροστατικής επιφάνειας των "ανοιχτών συστημάτων" (κρεμαστοί και συντηρούμενοι υδροφόροι). Λόγω αυτής της υδραυλικής τους σχέσης με σώματα επιφανειακού νερού, συχνά έχουν, ιδιαίτερα οι "συντηρούμενοι υδροφόροι", μεγάλη αποθηκευτική ικανότητα. Το σχήμα 3.12 δείχνει διάφορες περιπτώσεις τέτοιων υδροφόρων και το όριο που ελέγχει τη θέση της υδροστατικής τους επιφάνειας.

Γενικότερα, η αμοιβαία σχέση μεταξύ ποταμού και υδροφόρου θεωρείται:

— ελεύθερη και μόνιμη, όταν η κοίτη του ποταμού φτάνει μέχρι το στεγανό υπόβαθρο του υδροφόρου.

— προσωρινή ή περιοδική, όταν η κοίτη δεν διαπερνά, παρά μέρος, μόνο, του πάχους του υδροφόρου υλικού ή είναι σκαμμένη βαθειά, μέσα στο στεγανό πυθμένα του υδροφόρου και μόνο κατά περιόδους η στάθμη του ποταμού ξεπερνά το στεγανό αυτό στρώμα, ή το ποτάμι κατά περιόδους διατηρεί στάθμη ψηλότερα από εκείνη του υδροφόρου.

— ανύπαρκτη, όταν η στάθμη του νερού στο ποτάμι βρίσκεται διαρκώς κάτω από την υδροστατική στάθμη του υδροφόρου.



Σχήμα 3.12 "Συντηρούμενοι" (sustained) υδροφόροι a) αλλουβιαχός υδροφόρος στον οποίο η στάθμη του νερού εξαρτιέται από τη στάθμη της θάλασσας, b) όπως προηγούμενα, η στάθμη ελέγχεται από το ποτάμι, c) υδροφόρο σε "Δέλτα", όπου η στάθμη του ελέγχεται από τη μεταβολή της λιθολογίας, d) καρστιχός υδροφόρος που η στάθμη του ελέγχεται από τη θάλασσα, (U.N.D.E.S.A., 1975).

3.4 ΓΕΝΙΚΑ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Οι πιο διαδεδομένοι και πιο σημαντικοί για την υδατική οικονομία υδροφόροι, είναι εκείνοι των προσχώσεων, δηλαδή των αλλουβιακών χαλαρών κλαστικών ιζημάτων και ακολούθως οι καρστικοί υδροφόροι. Οι πλέον παραγωγικές υδροφόρες ζώνες στις χαλαρές αποθέσεις, είναι οι παλιές κοιλάδες ή παλιοί κλάδοι του υδρογραφικού δίκτυου, που σήμερα είναι θαμένοι από τις νεώτερες αποθέσεις. Για τον εντοπισμό τους, εκτός από τη χρησιμοποίηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών γεωλογικών και γεωμορφολογικών, η πιο αποτελεσματική μέθοδος είναι η γεωφυσική.

Μεγάλες παροχές αποδίδουν επίσης γεωτρήσεις κοντά στις κοίτες των ποταμών και των υδρορευμάτων, από τους οποίους προκαλείται επαγωγικός εμπλουτισμός. Τα ρήγματα αποτελούν συνήθως φραγμούς (αρνητικά όρια), και γι' αυτό οι γεωτρήσεις πρέπει να τοποθετούνται στο υπερυψωμένο τμήμα των ζωνών διάρρηξης. Έχουν όμως παρατηρηθεί και ρήγματα ημιπερατά ή με μεταγίσεις νερού.

Από τους σχηματισμούς παγετώνων, τις καλύτερες υδρογεωλογικές συνθήκες παρουσιάζουν οι αποθέσεις απόπλυσης (out washers) , τα θαμένα υδρορεύματα, καθώς και τα προ- και μεταπαγετώδη αλλούβια. Η χρήση αεροφωτογραφιών βοηθάει πολύ στον εντοπισμό τέτοιων ζωνών. Από τους αιολικούς σχηματισμούς, τις περισσότερες υδρογεωλογικές δυνατότητες έχουν οι παράκτιοι θίνες. Οι ασβεστούχοι πηλοί, αντίθετα, είναι μέτριοι μέχρι κακοί υδροφόροι.

Από τα συνεκτικά ιζηματογενή (πλην ανθρακικών), πετρώματα οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή, ανάλογα με το βαθμό διαγένεσης, την κοκκομετρία, η συγκόλληση, το είδος της συγκολλητικής ύλης και το βαθμό διάβρωσης και κερματισμού» αποτελούν μέτριους μέχρι πολύ καλούς υδροφόρους.

Οι υδρογεωτρήσεις πρέπει να τοποθετούνται έξω από τις ζώνες διάρρηξης, όμως κοντά σ' αυτές και στο υπερυψωμένο κομμάτι, ενώ στην περίπτωση των αρμών και κομμών, μέσα σ' αυτούς. Οι αποδόσεις στις κοιλάδες, είναι ψηλότερες από αυτές στις παρυφές ή τους λόφους. Τα αργιλούχα, αργιλικά, ιλυούχα, ιλυομιγή υλικά, οι ιλυόλιθοι, αργιλόλιθοι και σχιστόλιθοι, παρά το μεγάλο ολικό πορώδες τους, είναι σχηματισμοί στεγανοί μέχρι ημιπερατοί.

Τα κρυσταλλικά (πλην μαρμάρων και χαλαζιτών) και πλουτώνια πετρώματα παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον μόνο όταν είναι διαρρηγμένα και αποσαθρωμένα. Οι διακλάσεις και οι ρωγμές, γενικά, είναι καλύτεροι υδαταγωγοί από τους κομμούς. Το βάθος μέχρι το οποίο παρουσιάζουν, τα πετρώματα αυτά, ενδιαφέρουσα υδροφορία, είναι περίπου 30m. Από τα 30 - 100m έχει αναφερθεί ότι η παροχή των πηγαδιών ανά μέτρο βάθους υποδεκαπλασιάζεται. Γενικά, τα οικονομικά βάθη, για την εκτέλεση υδρογεωτρήσεων, δεν ξεπερνούν τα 200m, ενώ τα βέλτιστα δεν ξεπερνούν τα 30m. Αν πάντως οι παροχές είναι μικρές, μέχρι τα 50-60m συμφέρει η κατασκευή δεύτερης υδρογέωτρησης και όχι η πρρχώρηση βαθύτερα. Οι παροχές είναι μεγαλύτερες στις κοιλάδες, απ' ότι στις παρυφές και τους λόφους.

Οι ζώνες διάρρηξης και οι πηγματιτικές φλέβες αποτελούν ζώνες καλής υδροφορίας.

Τέλος, από τους ηφαιστίτες οι νεώτεροι ανδεσίτες είναι σπουδαία υδροφόρα. Οι τόφοι και οι ρυόλιθοι αν και έχουν μεγάλο συνολικό πορώδες, γενικά, έχουν πολύ μικρή υδραυλική αγωγιμότητα. Μερικές πορώδεις λάβες ή βασάλτες είναι τόσο πολύ υδροπερατές, ώστε να δημιουργούν υδροφόρα μόνο όταν περιορίζονται από υδραυλικούς φραγμούς (κατακόρυφες φλέβες, στεγανά πετρώματα, στεγανές ζώνες διαρρήξεων κλπ.).

Στον Πίνακα 3.2 δίνονται αντιπροσωπευτικές τιμές πορώδους και υδροπερατότητας διάφορων υλικών.

Πίνακα 3.2 Μερικές αντιπροσωπευτικές τιμές πορώδους και υδροπερατότητας διαφόρων γεωλογικών υλικών (Bower, 1980, με τροποποίηση).

Υλικά	Αντιπροσωπευτικές Τιμές πορώδους %	Τάξη μεγέθους Υδροπερατότητας $\times 5$ (m/sec)
<u>1.Χαλαρά</u>		
Άργιλος,	50-60	10^{-12} - 10^{-10}
Ιλύς , λιθόνες	20-40	10^{-10} - 10^{-6}
Αλουβιακές άμμοι	30-40	10^{-6} - 10^{-3}
Αλουβιακά χαλίκια	25-35	10^{-3} - 10^{-1}
<u>2.Συνεκτικά</u>		
<u>α.Ιζηματογενή</u>		
Σχιστόλιθοι	5-15	10^{-14} - 10^{-11}
Ιλυόλιθοι	5-20	10^{-12} - 10^{-8}
Ψαμμίτες	5-25	10^{-10} - 10^{-5}
Κροκαλοπαγή	5-25	10^{-10} - 10^{-5}
ασβεστόλιθοι	0,1-10	10^{-11} - 10^{-6}
<u>β.Μαγματικά και Μεταμορφωμένα</u>		
Ηφαιστίτες (βαλσάτες)	0,001 – 50	10^{-11} – 10^{-7}
Αποσθρωμένοι γρανίτες	0,001 – 10	10^{-12} – 10^{-9}
Υγιείς γρανίτες	0,0001 – 1	10^{-14} – 10^{-11}
Σχιστόλιθοι (γραφιτικοί)	0,001 – 1	10^{-14} – 10^{-11}
-//- (μαρμαρυγιανοί)	0,001 – 1	10^{-13} – 10^{-10}
Γνεύσιοι	0,0001 – 1	10^{-14} – 10^{-11}
Τοφφοί	10 – 80	10^{-12} – 10^{-7}

3.5 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΣΕ ΧΑΛΑΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ - ΓΕΝΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ

Χαρακτηρίζονται γενικά απο ψηλό ενεργό πορώδες με εξαίρεση τα λεπτόκοκκα υλικά την σύνδεση τους με επιφανειακά νερά από τα οποία εξασφαλίζουν την τροφοδοσία τους και την παρουσία σημαντικής υδροφορίας σε σχετικά μικρό βάθος.

Διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο απόθεσης τους, σε ποτάμιες, θαλάσσιες, λιμναίες ,παγετώδεις και αιολικές αποθέσεις

Από υδρογεωλογική σκοπιά, μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κλαστικά μηχανικά) ιζήματα τα οποία ανάλογα με τη μέση διάμετρο τους διακρίνονται σε ψηφίτες (μέση διάμετρος > 2mm) όπου ανήκουν τα κορήματα και τα χαλίκια, σε ψαμμίτες (μέση διάμετρος 0,02 - 2mm) όπου ανήκουν οι άμμοι , και σε πηλίτες (μέση διάμετρος < 0,02mm ,όπου ανήκουν οι ιλεις και άργιλοι).

Το συνολικό πορώδες των υλικών αυτών κυμαίνεται απο 20% (χοντρόκοκκες κακά διαβαθμισμένες ποτάμιες αποθέσεις) μέχρι 98% (ιλυούχες και οργανικές αποθέσεις). Οι πιο συνηθισμένες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 25 και 65%. Το ενεργό πορώδες κυμαίνεται μεταξύ 0 και 50%. Τυπικές τιμές του ενεργού πορώδους είναι για τις αργίλους και τις ιλείς < 10%, για τα χαλίκια και τις χοντρόκοκκες άμμους > 20%.

Ο τρόπος απόθεσης των υλικών επηρεάζει το πορώδες με αποτέλεσμα λεπτόκοκκα υλικά παγετώνων να έχουν μικρότερο πορώδες απο ροές γαιών, ή οι άμμοι της υπήνεμης πλευράς των θινών να έχουν μεγαλύτερο πορώδες από τις ίδιες άμμους που έχουν αποτεθεί. στην ακτή.

Η υδροπερατότητα κυμαίνεται ανάμεσα στα 0,01m/sec (.χαλίκια) και 10^{-10} m/sec (άργιλοι). Η σχέση, οριζόντιας, προς κατακόρυφη υδροπερατότητα εξαρτιέται από τον τρόπο σχηματισμού των ιζημάτων και το είδος τους. Έχουν αναφερθεί σχέσεις ανάμεσα στο 0,5 και 4 (συνηθισμένες τιμές) ή 1 και 666 (στρώματα άμμου και χαλικιού). ακόμα και μέχρι 1 και. 800.

Τα καλύτερα υλικά από πλευράς υδροφορίας είναι οι άμμοι και τα χαλίκια της κοίτης των ποταμιών και των χειμάρρων, ενώ τα χειρότερα είναι οι ιλείς και άργιλοι που αποτίθενται κατά τις πλημμύρες,

Η κοκκομετρία των υλικών εξαρτιέται από την απόσταση τους από την πηγή τροφοδοσίας (μητρικό πέτρωμα"), την πετρογραφική σύσταση των προϊόντων της διάβρωσης και από την ένταση των ρευμάτων μεταφοράς τους.

Γενικά η κοκκομετρία ελαττώνεται, όσο αυξάνεται η απόσταση από την πηγή τροφοδοσίας και όσο πιο ανθεκτικά είναι στη διάβρωση και αποσάθρωση τα ορυκτολογικά συστατικά του μητρικού πετρώματος.

Σε παλιές κοίτες ή νεκρούς βραχίονες μαιάνδρων τα αδρομερέστερα υλικά καλύπτονται από αργίλους. Στις κατακλυζόμενες αντίθετα περιοχές, απαντούν διαδοχικά κυκλοθέματα όπου κάθε κυκλόθεμα αποτελείται από λεπτόκοκκη άμμο που προς τα πάνω μεταβαίνει σε ιλύ και άργιλλο. Σε τέτοιες αποθέσεις έχουν προσδιοριστεί, εργαστηριακά τιμές υδροπερατότητας μεταξύ $4,3 \cdot 10^{-4}$ m/sec και $3,4 \cdot 10^{-8}$. Το μεγαλύτερο πάχος τους το παίρνουν οι αποθέσεις αυτές στις παλιές κοίτες ή νεκρούς βραχίονες μαιάνδρων και σε θαμμένες κοιλάδες.

Οι χείμαρροι σε ορεινές περιοχές σχηματίζουν φαρδιά ριπίδια που το πάχος τους κυμαίνεται από 7 μέχρι 50 m και διελαύνονται συνήθως από περισσότερα υδρορεύματα χειμαρρώδης μορφής. Το υλικό των ριπιδίων αυτών είναι χοντρόκοκκο. Στα κράσπεδα των ποτάμιων κοιλάδων η υδροπερατότητα ελαττώνεται από το κέντρο προς τα κράσπεδα. Κατά την ίδια φορά ελαττώνεται και το πάχος και η κοκκομετρία των υλικών, στα οποία η υδροπερατότητα κυμαίνεται από $5 \cdot 10^{-5}$ μέχρι 10^{-2} . Στις απότομες ακτές οι χαλαρές αποθέσεις έχουν μεγάλο πάχος που συχνά ξεπερνά τα 60 m ενώ έχουν αναφερθεί και πάχη μεγαλύτερα από 450-500 m

Τα λεπτομερή χαλαρά ιζήματα, παρουσιάζουν σχετικά ψηλό πορώδες αλλά μικρή υδροπερατότητα, με αποτέλεσμα να θεωρούνται βραδυδοφόροι σχηματισμοί. Το μεγάλο, πάντως πορώδες τους σημαίνει, ότι μπορούν να

αποθηκεύουν πολύ μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες όμως μεταβιβάζονται πάρα πολύ αργά προς τους υδροφόρους ή τα έργα υδρομάστευσης. Το πορώδες των αργιλικών ιζημάτων μικραίνει όσο αυξάνει το βάθος και η ηλικία τους.

Από υδρογεωλογική πλευρά μεγαλύτερης αξίας είναι οι άμμοι, τα χαλίκια, το συναγμα, τα οποία γενικά έχουν μεγάλη υδροπερατότητα και ειδική απόδοση (ενεργό πορώδες), όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά μερικών χαλαρών ιζημάτων (Bell,1980).

Τύπος Σχηματισμού	Συνολικό Πορώδες %	Ενεργό Πορώδες %	Τάξη μεγέθους Υδροπερατότες σε m/sec
άργυλος	45	3	$<10^{-9}$
άμμος	35	25	$10^{-4} - 10^{-6}$
χαλίκια	25	22	$>10^{-4}$
Σύναγμα (Άμμος και χαλίκια)	20	16	$10^5 - 10^{-7}$

Σχεδόν το 90% των υπό εκμετάλλευση υδροφόρων αποτελείται από χαλαρά κλαστικά ιζήματα, κυρίως χαλίκια και άμμους. Τούτο οφείλεται στο γεγονός ότι οι σχηματισμοί αυτοί:

1. Είναι ευκολοδιάτρητοι, έτσι η έρευνα και εκμετάλλευση είναι γρήγορες και φτηνές. Ο λόγος αυτός σήμερα τείνει να ξεπεραστεί, με την ανάπτυξη της τεχνικής της διάτρησης μέσω της χρήσης αέρα και σαπουνιού,
2. απαντούν σε κοιλάδες, όπου οι στάθμες του νερού βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και κατά συνέπεια η άντληση γίνεται από μικρό βάθος.
3. βρίσκονται γενικά σε πλεονεκτικές θέσεις, από άποψη εμπλουτισμού, από τα υδρορεύματα, τα ποτάμια και τις λίμνες,
4. η ειδική ικανότητα είναι μεγάλη.

5. η υδροπερατότητα είναι σχετικά μεγαλύτερη από εκείνη σε όλους τους άλλους σχηματισμούς, με εξαίρεση τους καρστικούς και μερικούς νεαρούς ηφαιστίτες.

Στον Πίνακα 3.4. δίνονται μερικά υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων χαλαρών ιζημάτων.

Πίνακα 3.4 Υδροπερατότητα απόδοση γεωτρήσεων και ειδική ικανότητα σε χαλαρά ιζήματα (Mathess-Ubell, 1983).

Αποθέσεις	Υδροπερατότητα m/sec	Απόδοση Υδρογεωτρή- σεων 1/sec	Ειδική Ικανότητα 1/sec-m
Ποτάμιες Αποθέσεις-πλημμύρας Άμμοι - χαλίκια	$10^{-6} - 10^{-8}$ $< 10^{-3} - 10^{-4} (> 5 \cdot 10^{-2})$	– 0,6-120	– 1,6-46
Τεκτονικών κοιλάδων Άμμοι - χαλίκια	$10^{-4} - 10^{-3}$	20-200	4-16(25)
Παράκτιες Άμμοι - χαλίκια	$10^{-5} - 10^{-3}$	12-200	–
Αιολικές Άμμοι θίνων Ασβεστούχος πηλός	$5 \cdot 10^{-5} - 5 \cdot 10^{-4}$ $(mesh_time\ 2,5 \cdot 10^{-4})$ $10^{-9} - 10^{-5}$ $(mesh_time\ 10^{-7})$	– –	– –
Παγετώδεις Μάργες Ποταμοπαγετώδεις (απόπλυσης) Ποταμοπαγετώδεις σύναγμα	$2,8 \cdot 10^{-11} - 5 \cdot 10^{-7}$ – $4 \cdot 10^{-3} - 2,4 \cdot 10^{-2}$	– 12-120 –	– 2-20(235) –

Πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι για να επιτευχθούν αξιόλογες αποδόσεις στις χαλαρές αποθέσεις, το κορεσμένο πάχος τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 m.

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Μπροστά στο δίλημμα των τελευταίων δεκαετιών "περισσότερο νερό χειρότερης ποιότητας, ή λιγότερο νερό καλύτερης ποιότητας;" έχει γίνει πλέον κοινώς αποδεκτό, ότι η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι εξίσου σημαντικός παράγοντας με την ποσότητα του. Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα, που τα έχουν πάρει κατά τη διαδρομή τους μέσα από τα πετρώματα. Εξάλλου, οι ποιοτικές απαιτήσεις των διαφόρων καταναλωτών νερού ποικίλουν σημαντικά. Για τη δημιουργία κριτηρίων ποιότητας του νερού, πρέπει να καθορίζονται με αξιοπιστία οι περιεκτικότητες του σε χημικά, βιολογικά, φυσικά και ραδιενεργά συστατικά και να καθιερώνονται σταθερότυπα για την παρουσίαση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων. Η παρουσία εξάλλου αερίων, διαλυμένων στο νερό, είναι επικίνδυνη αν δεν αναγνωριστεί έγκαιρα.

Γενικά, ιδιότητες που μπορεί να κάνουν το νερό τελείως ακατάλληλο για κάποια συγκεκριμένη χρήση, π.χ. ύδρευση, μπορεί να μην επηρεάζουν την καταλληλότητα του για άλλες χρήσεις, π.χ. βιομηχανική κ.λπ.

Τα κριτήρια ποιότητας καθορίζονται, κατά συνέπεια, ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται το υπόγειο νερό. Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια είναι:

- Φυσικά χαρακτηριστικά
 - Θολότητα
 - Σύνολο διαλυμένων (TDS) και αιωρούμενων (TSS) στερεών
 - Οσμή
 - Θερμοκρασία
 - Χρώμα
- Χημικά χαρακτηριστικά
 - Ανόργανα συστατικά

- Κύρια ιόντα: (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-)
 - Δευτερεύοντα ιόντα: (Al^{3+} , NH_4^+ , As^+ , Ba^{2+} , BO_4^{3-} , B^{3-} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , HSO_4^- , HSO_3^- , CO_3^{2-} , F^- , OH^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} , S^{4-} , SO_3^{2-})
 - Ανόργανα σε μη ιοντική μορφή: SiO_2
 - Ανόργανα εισαγόμενα από τον άνθρωπο: (As^{3+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Pd^{2+} , Hg^{2+} , Se , Ag^{2+} , Zn^{2+})
 - Ανόργανα εισαγόμενα από τον άνθρωπο: (As^{3+} , Ba^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{6+} , Pd^{2+} , Hg^{2+} , Se , Ag^{2+} , Zn^{2+})
 - Θρεπτικά εισαγόμενα από τον άνθρωπο: (Ενώσεις αζώτου και φωσφόρου)
 - Ραδιενέργεια
 - pH, Eh, σκληρότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα και αλκαλικότητα
 - Φυσικές οργανικές ενώσεις: (πρωτεΐνες, υδρογονάνθρακες, λιπίδια)
 - Συνθετικές οργανικές ενώσεις: (επιφανειοδραστικά, φυτοφάρμακα, διαλυτικά, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες κ.λπ.)
- Η μέτρηση των οργανικών ενώσεων γίνεται με τον εργαστηριακό προσδιορισμό των COD (χημικά απαιτούμενο οξυγόνο), TOC (ολικός οργανικός άνθρακας), TOD (ολικά απαιτούμενο οξυγόνο), BOD (βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο).
- Αέρια: (N_2 , O_2 , CO_2 , H_2S , NH_3 , CH_4 κ.ά.)
 - Βιολογικά χαρακτηριστικά: (Βακτήρια, ιοί, μύκητες, φύκη, πρωτόζωα, σκώληκες, τροχόζωα, καρκινοειδή κ.ά.)

4.2 ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.2.1 Η αλατότητα και οι πηγές της

Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα που η συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 25 mg/l ή και λιγότερο ακόμη στις πηγές μέσα σε πυριτικά πετρώματα, μέχρι πάνω από 300.000 mg/l σε υπεράλμυρα νερά («σαλαμούρες»).

Το είδος και η συγκέντρωση των διαλυμένων αλάτων εξαρτάται από τη φύση των πετρωμάτων - μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό - την ταχύτητα ροής κ.λπ. Κατά κανόνα τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν υψηλότερη συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων από τα επιφανειακά νερά, γιατί τα πρώτα βρίσκονται για μεγαλύτερο χρόνο σε επαφή με ευδιάλυτα υλικά στα γεωλογικά στρώματα. Τα ευδιάλυτα αυτά άλατα προέρχονται κυρίως από τη διάλυση υλικών των πετρωμάτων.

Η οξυανθρακική ρίζα, που είναι συνήθως το επικρατέστερο ανιόν στα υπόγεια νερά, προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα που ελευθερώνεται κατά την οργανική αποσύνθεση στο έδαφος. Οι τιμές της αλατότητας είναι μεγαλύτερες εκεί που η κίνηση του νερού είναι μικρότερη. Έτσι, η αλατότητα γενικά αυξάνει με το βάθος. Μία συνηθισμένη γεωχημική ακολουθεία στα υπόγεια νερά, είναι εκείνη κατά την οποία κοντά στην επιφάνεια απαντούν δισανθρακικά νερά για να μεταπέσουν σε χλωριούχα νερά στους βαθύτερους σχηματισμούς.

Το νερό της βροχής, που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους, περιέχει πολύ μικρές ποσότητες διαλυμένων αλάτων (πίνακας 4.1). Όταν φθάσει στην επιφάνεια, το νερό αντιδρά με τα ορυκτά του εδάφους και των πετρωμάτων, με τα οποία έρχεται σε επαφή. Η ποσότητα και ο τύπος των ορυκτών υλικών που διαλύονται εξαρτώνται από τη χημική σύσταση και τη δομή των πετρωμάτων, από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής Eh του νερού. Το διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται τόσο από την ατμόσφαιρα όσο και από οργανικές διασπάσεις στο έδαφος, αυξάνει τη διαλυτική ικανότητα του νερού καθώς το τελευταίο κινείται στο υπέδαφος.

Το υπόγειο νερό εμπλουτίζεται σε άλατα, τα οποία προέρχονται από τα διαλυτά συστατικά των πετρωμάτων μέσα από τα οποία κινείται.

Πίνακας 4.1 Σύσταση του νερού της βροχής και του χιονιού σε mg/l (Σύνθεση με τροποποιήσεις από Γ. Καλλέργη 1970, Freeze-Cherry 1979,

Συστα- τικό	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	0,0	0,1	-	0,29	0,6	-	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	0,0	0,9	1,2	0,77	0,53	1,42	0,42	0,65	0,16	0,76	1,88	0,92	1,16	0,67	3,2- 8,8
Mg	0,2	0,0	0,5	0,43	0,15	0,39	0,09	0,12	0,05	0,85	0,09	0,46	0,09	0,20	0,73- 0,97
K	0,6	0,2	0,37	0,35	0,14	0,35	0,13	1,19	0,08	0,35	0,27	0,23	0,27	-	0,43- 3,45
Na	0,6	0,4	2,46	2,24	0,35	2,05	0,26	0,30	0,11	6,95	0,98	4,60	6,95		
NH ₄	0,0	-	-	-	0,6	0,41	0,48	0,11	0,21	1,40	2,30	-	-	-	0,46- 3,45
HCO ₃	3	2,0	-	1,95	-	-	-	1,28	-	-	9,55	-	-	1,58	14,54- 26,05
SO ₄	1,6	2,0	-	1,76	0,45	2,19	3,74	2,02	2,90	6,34	8,35	0,67	0,38	0,95	
Cl	0,2	0,2	4,43	3,75	0,22	3,47	0,38	0,39	0,25	12,40	1,92	8,13	0,99	2,73	2,8- 3,7
NO ₃	0,1	-	-	0,15	0,41	0,27	1,96	0,31	0,74	3,91	3,91	-	-	0,22	2,2
TDS	4,8	5,1	-	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
pH	5,6	-	-	5,9	5,3	5,5	4,1	5,6	4,1	4,4	4,75	-	-	-	7,45- 8,85

Mandel-Shiftan 1981 και Appelo-Postma 1994).

(1) Χιόνι, Νεβάδα ΗΠΑ, υψόμετρο 2344 μέτρα (1958), (2) ΒΔ Καρολίνα ΗΠΑ, 33 αναλύσεις (1962-63) σε 8 θέσεις, (3) ΝΑ Αυστραλία σε 28 θέσεις επί 36 μήνες (1956-57), (4) Mainlo-Park Cal. ΗΠΑ χειμώνες 1957-58, (5) ΒΔ Οντάριο, Καναδάς, 40 αναλύσεις (1972), (6) Βροχή και Χιόνι, Β. Ευρώπη, σε 60 θέσεις επί μήνες (1955-56), (7) Βροχή και Χιόνι, Β. Βαλτιμόρη, Mar ΗΠΑ, 1970-71, (8) Kiruna, Σουηδία 1955-57, (9) Hubbard Brook, ΗΠΑ, 1963-1974, (10) De Kooy, Ολλανδία 1978-1983, (11) Beek, Ολλανδία, 1978-1983, (12) Thumba, Ινδία 1975, (13) Delhi, Ινδία, 1975, (14) Καταιγίδα, Ισραήλ, (15) Δυτική Θεσσαλία τρεις θέσεις, 1968-1969.

Το πλεόνασμα του αρδευτικού νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο συχνά προσθέτει συμπληρωματικές ποσότητες από άλατα. Το νερό που περνά από τη

ζώνη των ριζών σε καλλιεργούμενες περιοχές, περιέχει συνήθως πολύ μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλάτων από το αρχικό νερό. Η αύξηση αυτή των αλάτων προέρχεται κατά κύριο λόγο από τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής, η οποία προκαλεί συμπύκνωση των διαλυμένων στο νερό αλάτων. Επιπρόσθετα, διαλυτά υλικά του εδάφους, λιπάσματα και εκλεκτική απορρόφηση ορισμένων αλάτων από τα φυτά, μεταβάλλουν τη συγκέντρωση αλάτων των διηθούμενων νερών.

Οι παράγοντες που ελέγχουν την αύξηση αυτή των αλάτων στο υπόγειο νερό είναι η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους, η δυνατότητα στράγγισης του αρδευτικού, η ποσότητα του χρησιμοποιούμενου νερού, το κλίμα και το είδος της καλλιέργειας. Ψηλές αλατότητες συναντώνται σε εδάφη και υδροφόρους των ξηρών γενικά κλιμάτων, όπου η έκπλυση από τη βροχή είναι ασήμαντη ώστε να προκαλέσει διάλυση των άλλων αλάτων. Περιοχές με κακή στράγγιση, ιδιαίτερα λεκάνες που έχουν εσωτερική στράγγιση, συχνά παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις. Επίσης μερικές περιοχές περιέχουν υπολείμματα ιζηματογενών αποθέσεων σε αλμυρά νερά οι οποίες είναι γνωστές σαν «badlands»· δηλαδή πρόκειται για υποβαθμισμένα (άγονα) εδάφη. Σ' αυτά η έλλειψη παραγωγικότητας οφείλεται και στην περίσσεια αλάτων στο έδαφος και στο νερο.

Στις περιοχές που μεγάλες ποσότητες επιφανειακού νερού εμπλουτίζουν τα υδροφόρα στρώματα (υδατορεύματα-κανάλια-έργα τεχνητού εμπλουτισμού), η ποιότητα του νερού τους επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα των νερών που το εμπλουτίζουν. Τοπικά, η απορρόφηση αερίων μαγματικής προέλευσης εμπλουτίζει με διαλυμένα «μεταλλικά» συστατικά το υπόγειο νερό (π.χ. θερμομεταλλικές πηγές). Το απολιθωμένο νερό συνήθως είναι πλούσιο σε μεταλλικά συστατικά, μια και το νερό αυτό προέρχεται από το αρχικά εγκλωβισμένο στα ιζηματογενή στρώματα, από την εποχή της απόθεσης των τελευταίων, αν και η χημική του σύσταση έχει αλλάξει σε σχέση με την αρχική, με διάφορες χημικές και φυσικές διεργασίες που έχουν λάβει χώρα

Το υπόγειο νερό που περνά μέσα από μαγματικά πετρώματα, διαλύει μικρές μονό ποσότητες ορυκτών, λόγω του χαμηλού βαθμού διαλυτότητας αυτών των πετρωμάτων.

Το διηθούμενο νερό της βροχής, περιέχει διοξείδιο του άνθρακα που προέρχεται από την ατμόσφαιρα, το οποίο αυξάνει τη διαλυτική ενέργεια του νερού. Τα πυριτικά άλατα των εκρηξιγενών πετρωμάτων προσθέτουν στο νερό διοξείδιο του πυριτίου.

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι πιο διαλυτά από τα μαγματικά πετρώματα. Σημαντικές πηγές ορυκτών ουσιών, στα ιζηματογενή πετρώματα, είναι οι άστριοι, οι διάφορες μορφές του ανθρακικού ασβεστίου και οι «εβαπορίτες» (γύψος - ανυδρίτης). Λόγω της υψηλής διαλυτότητας τους, σε συνδυασμό με την αφθονία τους στο στερεό φλοιό της γης, τα ιζηματογενή πετρώματα συνεισφέρουν, αυτά κατά κύριο λόγο, στον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών σε διαλυμένα άλατα. Κατά κανόνα τα κατιόντα που προέρχονται από ιζηματογενή πετρώματα είναι το ασβέστιο και το νάτριο, ενώ τα συνηθέστερα ανιόντα είναι η δισανθρακική και η θειική ρίζα.

Στις συνηθισμένες περιπτώσεις, τα χλωριόντα απαντούν σε μικρές ποσότητες. Οι πιο σημαντικές πηγές χλωριούχων είναι τα λύματα, το απολιθωμένο νερό και το θαλασσινό νερό που συχνά μολύνει τους παράκτιους υδροφόρους. Καμιά φορά η νιτρική ρίζα είναι ένα σημαντικό φυσικό συστατικό, όμως οι υψηλές συγκεντρώσεις της συχνά αποτελούν δείκτη κάποιας ρύπανσης.

Στις ασβεστολιθικές περιοχές τα επικρατούντα ιόντα είναι η δισανθρακική ρίζα και το ασβέστιο.

Οι Davis-De Wiest (1966), ανάλογα με την ποσότητα με την οποία βρίσκονται τα διαλυμένα στερεά στο πόσιμο νερό (τυπική συγκέντρωση), τα διέκριναν σε:

Κύρια συστατικά (1,0-1000 mg/l) : Νάτριο, ασβέστιο/μαγνήσιο, δισανθρακική ρίζα, θειική ρίζα, χλωριόντα, κάλιο.

Δευτερεύοντα συστατικά (0,01-10,0 mg/l): Σίδηρος, στρόντιο, κάλιο, ανθρακική ρίζα, νιτρική ρίζα, φθώριο, βόριο, μεταπυριτικό οξύ.

Ολιγοσυστατικά (0,0001-0,1 mg/l): Αντιμόνιο*, αργίλιο, αρσενικό, βάριο, βρώμιο, κάδμιο*, χρώμιο*, κοβάλτιο, χαλκός, γερμάνιο*, ιώδιο, μόλυβδος, λίθιο, μαγγάνιο, μολυβδαίνιο, νικέλιο, φωσφορική ρίζα, ρουβίδιο*, σελήνιο, τιτάνιο*, ουράνιο, βανάδιο, ψευδάργυρος.

Ιχνοσυστατικά (<0,001 mg/l): βηρύλλιο, βισμούθιο, καίσιο, γάλλιο, χρυσός, ίνδιο, λανθάνιο, σκάνδιο*, νιόβιο*, λευκόχρυσος, ράδιο, ρουθίνιο*, άργυρος, θάλλιο*, βολφράμιο, κασσίτερος, υτέρβιο, ύτριο*, ζιρκόνιο*.

Στον πίνακα 4.2 συνοψίζονται οι φυσικές πηγές και οι φυσικές συγκεντρώσεις των κυριωτέρων χημικών συστατικών του υπόγειου νερού, μαζί με την επίδραση των συστατικών αυτών πάνω τους .

Μία σημαντική πηγή αλατότητας των υπόγειων νερών στις παράκτιες περιοχές είναι τα αερομεταφερόμενα άλατα, που προέρχονται από τη διεπιφάνεια αέρα-νερού πάνω από τη θάλασσα είτε με καθίζηση είτε με πτώση, απουσία υγρασίας. Έχει υπολογιστεί ότι στις παράκτιες περιοχές η κατά την πιο πάνω διαδικασία απόθεση χλωρίου κυμαίνεται από 4-20 kg/εκτάριο το χρόνο. Η απόθεση μειώνεται προς την ενδοχώρα, εκθετικά με την απόσταση από τη θάλασσα. Μετρήσεις στο Ισραήλ έδωσαν τη σχέση

$$N = 110 e^{-0,0133d} \quad (4.1)$$

όπου: N η ποσότητα χλωρίου που αποτίθεται το χρόνο σε kg/εκτάριο και d η απόσταση από τη θάλασσα σε km.

Στις ξηρές περιοχές, όπου η επιφανειακή απορροή είναι μικρή και η εξατμισοδιαπνοή μεγάλη, η αερομεταφερόμενη απόθεση αλάτων γίνεται ακόμη πιο σημαντική.

* Με αστερίσκο σημειώνουμε τα στοιχεία που η θέση τους στον κατάλογο Davis-De Wiest είναι αβέβαιη

Πίνακας 4.2 Κύρια χημικά συστατικά του υπόγειου νερού (Σύνθεση από: Bowen 1980, Todd 1980, Skinner-Brian 1969, Durfer-Baker 1964).

Συστατικό 1	Κύρια προέλευση 2	Συνιθισμένη συγκέντρωση στο νερό σε mg/ml 3	Επίδραση πάνω στις χρήσεις 4
Διοξείδιο του Πυριτίου (SiO₂)	Άστριοι , σιδηρομαγνησιούχα και αργυλικά ορυκτά ,άμορφο διοξείδιο του πυριτίου , οπάλιος	Γενικά < 30 Συνιθισμένη 1,0 – 3,0 Σπάνια μέχρι 100 Στις σαλαμούρες μέχρι 4000	Σε συνδιασμό με το ασβέστιο και το μαγνήσιο σχηματίζει «κρούστα» στους λέβητες και τους ατμοστρόβιλους, που επιβραδύνει το βρασμό. Η κρούστα δύσκολα αφαιρείται. Η προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου, μαλακώνει το νερό και εμποδίζει τη διάβρωση σιδήρων σωλήνων . Αδιάλυτο σε pH 6 – 8,5 .
Ολικός σίδηρος (Fe)	Μαγματικά πετρώματα: Αμφίβολοι , σιδηρομαγνησιούχοι μαρμαρυγίες, σουλφίδια του δισθενούς ή τρισθενούς σιδήρου(FeS , FeS ₂ , Fe ₃ O ₄) Ψαμμιτικά πετρώματα: Οφείδια , ανθρακικά , και σουλφίδια , του σιδήρου αργυλικά ορυκτά.	Γενικά <0,5 με καλά αεριζόμενο νερό. Όταν το pH < 8 η περιεκτικότητα του υπογείου νερού σε σίδηρο μπορεί να φτάσει στα 10 , σπάνια δεστα 50. Όξινα νερά από θερμές πηγές, απόβλητα μεταλλείων και βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να περιέχουν > 6000	Όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει τα 0,1 mg/ml γίνεται ίζημα μετά από έκθεση στον αέρα: προκαλεί θολότητα, αφήνει κηλίδες σε σωληνώσεις και σκεύη και δημιουργεί δυσάρεστη γεύση και χρώμα στις τροφές και τα ποτά . Όταν η συγκέντρωση ξεπεράσει τα 0,2 mg/ml το νερό γίνεται ακατάλληλο για τις περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις. Πιο ευδιάλυτο σε pH 4,0 .
Μαγγάνιο (Mn)	Το έδαφος , τα ιζήματα και τα μεταμορφωμένα	< 0,2 . Το υπόγειο νερό και το όξινο νερό σε	Όταν περιέχεται σε συγκέντρωση μεγαλύτερη

	πετρώματα , ιδιαίτερα τα πλούσια σε μαργαρυγίες , αμφίβολουσ και κεροστίλβες	μετάλλεια μπορεί να περιέχουν περισσότερο από 100	από 0,2 mg/ml καθιζάνει και μετά από οξείδωση προκαλεί δυσάρεστη γεύση, συγκεντρώνεται στα τρόφιμα κατά την Παρασκευή τους ή το μαγείρεμα , δημιουργεί κηλίδες στις σωληνώσεις και αφήνει κηλίδες στα ρούχα κατά το πλύσιμο, δημιουργεί καλλιέργειες στις δεξαμενές , τα φίλτρα και τα συστήματα διανομής (βακτηρίδια). Τοξικό σε συγκεντρώσεις >0,5mg/ml. Οι περισσότερες βιομηχανικές χρήσεις του νερού απαιτούν συγκέντρωση μικρότερη από 0,2 mg/ml
Ασβέστιο (Ca)	Αμφίβολοι, άστριοι , γύψος, πυρόξενοι , αραγωνίτες , ασβεστίτης, δολομίτης, αργυλικά ορυκτά	Γενικά < 100 , συνήθως 10-100.Οι «σαλαμούρες» μπορεί να περιέχουν 75.000	Το ασβέστιο και το μαγνήσιο σε συνδιασμό με την ανθρακική , δισανθρακική και θειική ρίζα, καθώς και το διοξειδίο του πυριτίου δημιουργούν κρούστα στους λέβητες και γενικά στον εξοπλισμό ανταλλαγής θερμότητας. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο σε συνδιασμό με ιόντα λιπαρών οξέων , στα σαπουνία σχηματίζουν τον αφρό. Η κατανάλωση σαπουνιού αυξάνει την συγκέντρωση ασβεστίου και μαγνησίου. Υψηλή συγκέντρωση μαγνησίου έχει
Μαγνήσιο (Mg)	Αμφίβολοι , ολιβίνης , πυρόξενοι , δολομίτης , μαγνησίτης , αργυλικά ορυκτά	Γενικά <50. Το θαλασσίνο νερό περιέχει > 1000 , ενώ οι «σαλαμούρες» μέχρι 57.000	

			καθαριστικό και διουρητικό αποτέλεσμα, ιδιαίτερα κατά τις χρήσεις. Το Ca διατηρεί το pH πάνω από 6.
Νάτριο (Na)	Άτριοι(αλβίτης) , αργυλικά ορυκτά , εβαπορύτες , όπως αλίτης (NaCl) και μαραβιλίτης (Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O) , βιομηχανικά απόβλητα	Γενικά < 200. Στο θαλασσινό νερό περίπου 10.000 και στις «σαλαμούρες» περίπου 25.000	Περισσότερο από 50mg/ml Na και K, σε συνδιασμό με αιωρούμενα στερεά , προκαλεί σαπυνοποίηση που επιταχύνει τη δημιουργία κρούστας και τη διάβρωση στους λέβητες. Τα ανθρακικά τους άλατα στις ανακυκλώσεις για ψύξη μπορεί να προκαλέσουν καταστροφή του ξύλου στους ψυκτικούς πύργους. Συγκέντρωση Na μεγαλύτερη από 65 mg/ml προκαλεί προβλήματα στην παραγωγή πάγου. Υψηλή περιεκτικότητα ιόντων Na στο πόσιμο νερό αυξάνει την αρτηριακή πίεση. Κατά την θέρμανση η δισανθρακική ρίζα διασπάται σε ατμό , διοξείδιο του άνθρακα και ανθρακική ρίζα. Η τελευταία σε συνδιασμό με τις αλκαλικές γαίες-ιδιαίτερα Ca και Mg-σχηματίζει κρούστα , η οποία επιβραδύνει τη μετάδοση θερμότητας μέσω των τοιχωμάτων , των σωληνώσεων και εμποδίζει τη ροή του νερού στις σωληνώσεις. Νερό πλούσιο
Κάλιο (K)	Άστριοι(ορθόκλαστο και μικροκλίνης) αστριοειδή , Μερικοί μαρμαρυγίες , αργυλικά ορυκτά.	Γενικά <10. Στις θερμές πηγές μέχρι 100. Στις «σαλαμούρες» μέχρι 25.000	
Ανθρακική ρίζα (CO₃)		Γενικά <10 στο υπόγειο νερό. Na- τριούχα νερά μπορεί να περιέχουν μέχρι 50 mg/l	
Δισανθρακική ρίζα (HCO₃)	Ασβεστόλιθοι , δομολίτες	Συνήθως <500. Στα οξειδοανθρακικά νερά μπορεί να ξεπεράσει τα 1000	

			σε δισανθρακική ρίζα και με μεγάλη αλκαλικότητα είναι ακατάλληλο για πολλές βιομηχανικές χρήσεις.
Αργύλιο (Al)	Ασβεστικά και μαγματικά πετρώματα , πλούσια σε αργυροπυριτικά ορυκτά. Πυριτικά πετρώματα πλούσια σε άστριους.	<0,1	Αδιάλυτο σε pH 9,0 . Επικίνδυνο στα μάτια σε υψηλή συγκέντρωση.
Θολερότητα	Αιωρούμενη άργυλος, ίλος κτλ.		Ωφέλιμη στον άνθρωπο όταν δεν ξεπερνά τα 5mg/l
Θευική ρίζα	Οξειδωση των σουλφιδίων: γύψος, ανυδρίτης	Γενικά <300, εκτός από υδρογε- ωτρήσεις που επι-ρεάζονται από τα όξινα απόβλητα μεταλλείων. Σε μερικές «σαλαμούρες» φτάνει τα 200.000	Σε συνδιασμό με το ασ-βέστιο αφήνει κρούστα. Συγκέντρωση μεγαλύτερη από 250mg/l κάνει τη χρήση του νερού προβληματική για πόση και για μερικές βιομηχανικές χρήσεις. Ανεπιθύμητη στις βιομηχανίες γάλα-κτος ,πάγου και ζάχαρης. Όταν η συγκέντρωση φτάνει τα 500mg/l το νερό αποκτά πικρή γεύση και όταν ξεπε-ράσει τα 1000mg/l μπορεί να έχει καθαρ-τικές ιδιότητες («τσιρόνερια»)
Χλώριο (Cl)	Ίζηματογενή πετρώματα κυρίως «εβαπορίτες» δευτερεύουσα πηγή για τα μαγματικά πετρώματα	Συνήθως <10 στις υγρές περιοχές , ενώ στις ξηρές περιοχές ξεπερνά τα 1000. Στο θα-λασσινό νερό πε-ριέχεται σε ποσό-τητες 20-24.000 mg/l .Στις «σαλα-μούρες» φτάνει τα 200.000 mg/l	Όταν η συγκέντρωση ξε-περάσει τα 100 mg/l , το νερό παίρνει αλμυρή γεύση. Πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις προκαλούν βλάβες στη φυσιολογία του οργανισμού. Ανεπιθύμη-το από τις βιομηχανίες γάλακτος ,ζάχαρης και παγοποιΐας. Διαβρωτικό. Η

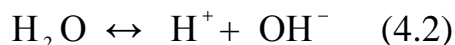
			βιομηχανία τροφίμων απαιτεί συνήθως < 250 mg/l. Μερικές βιομηχανίες πχ. Υφαντουργικές, χαρτιού και συνθετικού υλικού απαιτούν <100 mg/l
Φθόριο (F)	Αμφίβολοι (κεροστίβη), απατίτης, φθορίτης, μαρμαρυγίες	Συνήθως 0-4. Γενικά <10. Στις «σαλαμούρες» η συγκέντρωση μπορεί να φτάσει τα 1600	Διαβρωτικό και τοξικό. Συγκέντρωση ανάμεσα στα 0,6 και 1,17 mg/l στο πόσιμο νερό ωφελεί οδοντοφυΐα και αντοχή των δοντιών των παιδιών Συγκέντρωση >1,5 mg/l δημιουργεί σε θερμές περιοχές κηλίδες στο σμάλτο των δοντιών των παιδιών ενώ η συγκέντρωση >6,0 mg/l προκαλεί παραμόρφωση των δοντιών.
Νιτρική ρίζα (NO₃)	Ατμόσφαιρα, λαχανικά, υπολείμματα χλωρίδας ζωικά περιττώματα.	Γενικά <10	Καρκινογόνα. Περιεκτικότητα <100 mg/l δίνει πικρή γεύση και δημιουργεί διαταραχές στη φυσιολογία του οργανισμού. Νερά από ρηγά πηγάδια με περιεκτικότητα >45 mg/l έχει αναφερθεί ότι μεθαιμοσφαιριναιμία στα βρέφη. Ανεπιθύμητα στις βαφές και τις ζυμώσεις. Μικρές ποσότητες αυξάνουν την αντοχή χαλυβδινών λέβητων υψηλής πίεσης.
Διαλυμένα στερεά (T.D.S)	Τα ορυκτά συστατικά που είναι διαλυμένα στο νερό.	Συνήθως 50-30000. Γενικά <5000. Μερικές «σαλαμούρες»	Συγκέντρωση <500 mg/l είναι ανεπιθύμητη για πόση και για πολλές βιομηχανικές χρήσεις.

		περιέχουν μέχρι 300.000	Συγκέντρωση <300 mg/l είναι επιθυμητή στη βαφή των υφασμάτων και την παραγωγή πλαστικών, χαρτομάζας και συνθετικών υφασμάτων. Προκαλούν άθροισμα στους λέβητες, α μέγιστη επιτρεπόμενη συγκέντρωση ελαττώνεται με την αύξηση της λειτουργίας των λεβητών. Βλαβερό στον άνθρωπο πάνω από 1000 mg/l
--	--	-------------------------	---

4.2.2 pH και Eh

4.2.2.1 pH

Ως γνωστόν το νερό υφίσταται διάσπαση σε δύο ιοντικά είδη:



Η σταθερά ισορροπίας της εξίσωσης αυτής είναι:

$$K = [\text{H}^+][\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] \quad (4.3)$$

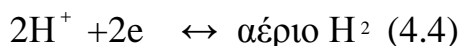
Η τιμή της πιο πάνω σταθεράς ισορροπίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Στους 25°C είναι 10^{-14}H^+ . Το νερό που είναι "ουδέτερο" έχει ίσο αριθμό H^+ και OH^- . Εάν ο αριθμός των H^+ ή των OH^- είναι μεγαλύτερος, τότε το νερό είναι αντιστοίχως "όξινο" ή "βασικό". Ως γνωστόν το μέτρο του αριθμού των H^+ (πρωτόνια) που υπάρχουν σε ένα υδατικό διάλυμα είναι το pH, δηλαδή ο αρνητικός δεκαδικός λογαριθμικός της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου και κυμαίνεται από 0 (πολύ όξινο) μέχρι 14 (πολύ βασικό). Στους 25°C, pH=7, ως γνωστόν, σημαίνει ότι το υδατικό διάλυμα είναι ουδέτερο. Η μέτρηση του pH συνήθως γίνεται με ηλεκτρόδια και "πεχάμετρα" Θα πρέπει να μετριέται στο ύπαιθρο και υπό συνθήκες που να αποκλείουν την ανταλλαγή των αερίων του διαλύματος με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Επισημαίνεται ότι το pH διαλύματος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στη συγκέντρωση του διαλυμένου CO_2

4.2.2.2 *Eh*

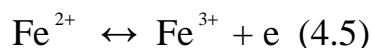
Σε μερικές χημικές αντιδράσεις, τα στοιχεία που συμμετέχουν σε αυτές αλλάζουν το σθένος τους με την πρόσληψη ή την απώλεια ηλεκτρονίων. Όταν προσληφθεί ένα ηλεκτρόνιο τότε προκαλείται απώλεια ενός θετικού σθένους και το αποτέλεσμα είναι η αναγωγή του στοιχείου. Το αντίθετο συμβαίνει εάν χάσει το στοιχείο ένα ηλεκτρόνιο, οπότε το αποτέλεσμα είναι η οξείδωση του στοιχείου. Αυτή η κατά περίπτωση οξείδωση ή αναγωγή του στοιχείου αναφέρεται ως οξειδο-αναγωγή (redox) και οι χημικές αντιδράσεις ως "αντιδράσεις οξειδο-αναγωγής". Οι αντιδράσεις αυτές συχνά λαμβάνουν χώρα με κατάλυση. Ως "καταλύτες" που διευκολύνουν δηλαδή τις αντιδράσεις άλλα δε συμμετέχουν σε αυτές, συχνά συμπεριφέρονται οι μικροοργανισμοί οι οποίοι σχηματίζουν ένα λεπτό "βιολογικό" υμένιο στη στερεά φάση των υδροφόρων. Τα μικρόβια αυτά προσλαμβάνουν ενέργεια με την οξείδωση οργανικών ενώσεων ή υδρογόνου ή με την ανάγωγή των ανόργανων μορφών των Fe, N και S. Για να λάβουν χώρα οι αντιδράσεις αυτές κάτω από "βιολογική κατάλυση", απαιτείται η παρουσία "δέκτη" ηλεκτρονίων. Σε αερόβιες συνθήκες το οξυγόνο παίζει το ρόλο του "δέκτη" ηλεκτρονίων, ένα ρόλο που σε αναερόβιες συνθήκες παίζουν τα NO^- , SO_4^{2-} και το CO_2 . Πηγή όμως των ηλεκτρονίων είναι είτε το ηλεκτρικό ρεύμα είτε μια ταυτόχρονη αντίδραση κατά την οποία ένα άλλο στοιχείο οξειδώνεται και απελευθερώνει τον απαραίτητο αριθμό ηλεκτρονίων. Η πιο πάνω αντίδραση λοιπόν είναι η μίση (ημι-αντίδραση) από την ολοκληρωμένη αντίδραση οξειδοαναγωγής που οδηγεί στη δημιουργία μεταλλικού σιδήρου.

Το σταθερό ηλεκτρικό φορτίο της πιο πάνω μίσης αντίδρασης είναι το ηλεκτρικό δυναμικό (voltage) που παριστάνεται με τη "ροή ηλεκτρονίων" όταν η αντίδραση βρίσκεται σε ισορροπία. Κάτω από σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 25°C και πίεσης ίσης με μια ατμόσφαιρα, το σταθερό δυναμικό παριστάνεται ως E^0 , σε volt, και είναι γνωστό ως "πρότυπο" ή "κανονικό" δυναμικό, έχει δε αρνητική τιμή όταν αντιπροσωπεύει αναγωγικές συνθήκες και θετική τιμή όταν

αντιπροσωπεύει οξειδωτικές συνθήκες. Το "πρότυπο" δυναμικό για την αναγωγή του H^+ σε αέριο υδρογόνο είναι 0 (μηδέν):



Η οξείδωση του δισθενούς σε τρισθενή σίδηρο γίνεται με την απώλεια ενός ηλεκτρονίου κατά την αντίδραση:



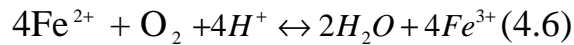
Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις γίνονται μεταξύ στοιχείων που απαντούν κάτω από διαφορετικά σθένη. Έτσι π.χ. τα "μέταλλα" μπορούν να απαντούν σε μεταλλική κατάσταση με σθένος "μηδέν" καθώς και σε τουλάχιστον μία ακόμη κατάσταση σθένους.

Τα πιο συνηθισμένα στο περιβάλλον στοιχεία που απαντούν με διαφορετικό σθένος και οι ενώσεις που μπορούν να δώσουν φαίνονται στον πίνακα 4.3. που ακολουθεί.

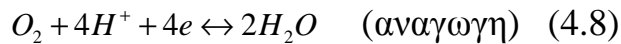
Πίνακας 4.3 Μερικά στοιχεία που μπορούν να απαντούν σε περισσότερες της μιας καταστάσεις οξείδωσης (Fetter, 1992).

Στοιχείο	Σθένος	Ένωση ή άλλη μορφή
Άνθρακας	+4 / 0 / -4	$H_2S, S^{-2}, PbS/S_2O_3^{-3}/S_2O_6^{-3}/SO_4$
Χρώμιο	+6 / +3	$CrO_4^{2-}, CrO_2O_7^{2-}/Cr^{3+}, Cr(OH)_3$
Χαλκός	+1 / +2	$CuCl / CuS$
Υδράργυρος	+1 / +2	Hg_2Cl_2 / HgS
Σίδηρος	+2 / +3	$Fe^{2+}, FeS / Fe^{3+}, Fe(OH)_3$
Άζωτο	+5 / +3 / 0 / -3	$NO_3^-/NO_2^-/N(\text{αέριο})/NH_4/NH_3(\text{αέριο})$
Οξυγόνο	0 / -1 / -2	$O(\text{αέριο})/H_2O_2 / H_2O, O^{2-}$
Θείο	-2 / +2 / +5 / +6	$H_2S, S^{2-}, PbS / S_2O_3^{2-}/S_2O_6^{2-}/SO_4$

Προκειμένου να λάβει χώρα αντίδραση οξείδωσης ή αναγωγής θα πρέπει ένα στοιχείο να αναχθεί ενώ ένα άλλο να οξειδωθεί. Έτσι π.χ. η πλήρης αντίδραση οξείδωσης του δισθενούς σιδήρου σε τρισθενή είναι:



στην οποία συνυπάρχουν δύο "ημι-αντιδράσεις":



Κάθε υδατικό διάλυμα έχει κάποιο "Δυναμικό Οξειδωσης" το οποίο παριστάνεται με το σύμβολο Eh. Το δυναμικό αυτό μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση του Nernst, σύμφωνα με την οποία:

$$E_h = E^\circ - \left\{ \frac{RT}{nF} \right\} \ln \frac{[\text{προϊόντα}]}{[\text{αντιδρώντα}]} \quad (4.9)$$

Όπου:

E_h: το δυναμικό οξειδωσης του υδατικού διαλύματος σε volts

E°: το πρότυπο δυναμικό των αντιδράσεων σε volts

R: η σταθερά των αερίων

T: η θερμοκρασία σε Kelvins

F: η σταθερά Faraday

n: ο αριθμός των ηλεκτρονίων στην "ημι-αντίδραση"

[]: οι ενεργότητες των προϊόντων και των αντιδρώντων.

Το πρότυπο δυναμικό κάθε αντίδρασης μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$E^\circ = -\Delta G / nF \quad (4.10)$$

Όπου:

ΔG είναι η ελεύθερη ενέργεια Gibbs της αντίδρασης η οποία κάτω από σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια της σταθεράς ισορροπίας K της αντίδρασης από τη σχέση:

$$\log K = -\Delta G / 1,364 \quad (4.11)$$

Το οξειδοαναγωγικό δυναμικό υδατικού διαλύματος μετριέται με ειδικά ηλεκτρόδια σε volts, σχέση με το δυναμικό του υδρογόνου που είναι "μηδέν". Εάν η τιμή είναι θετική τότε το δυναμικό είναι οξειδωτικό και αν είναι αρνητική το δυναμικό είναι αναγωγικό.

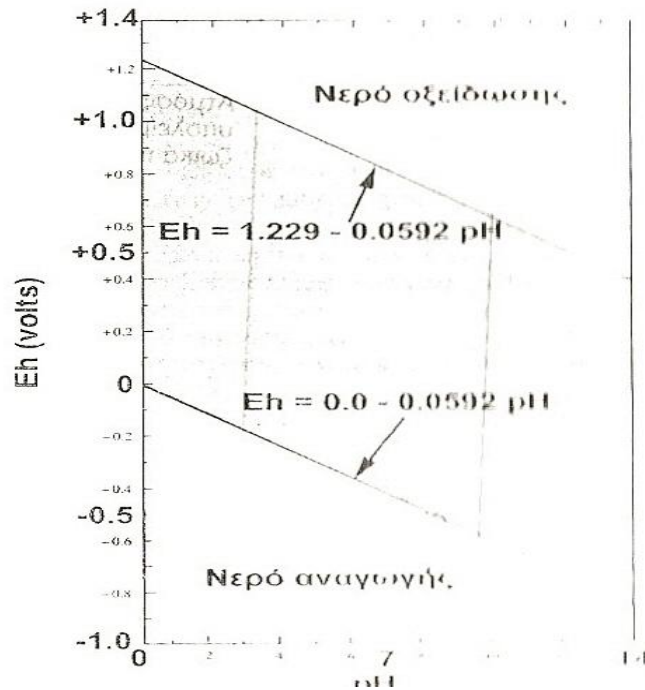
4.2.2.3 Σχέση ρH και Eh.

Από τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι το ρH δείχνει τον αριθμό των πρωτονίων και το Eh τον αιθυό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν σε ένα υδατικό διάλυμα. Τα δύο μεγέθη συνδέονται μεταξύ τους με την εξίσωση του Nernst, από την οποία προκύπτει ότι:

$$Eh = E^{\circ} - \left\{ \frac{0,0592}{n} \left(\log \left(\frac{[A]^a}{[B]^b} \right) \right) - 0,0592 \frac{m}{n} \rho H \right. \quad (4.12)$$

όπου η ο αριθμός των ηλεκτρονίων που αποδεσμεύονται, A και B αντιστοίχως τα αντιδρώντα και τα προϊόντα της αντίδρασης, a και b τα moles των ιόντων υδρογόνου.

Η σχέση Eh-ρH είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν χρησιμοποιείται με τη μορφή διαγράμματος Eh-ρH (Σχήμα 4.1.). Εάν ένα διάλυμα περιέχει διάφορα ιόντα, τα οποία μπορούν να αντιδράσουν ώστε να δημιουργήσουν διάφορα προϊόντα ή να πάρουν διαφορετικά σθένη, το σταθερό προϊόν ή σθένος σε δοσμένη συγκέντρωση των αντιδρώντων θα είναι συνάρτηση του ρH και Eh του διαλύματος. Σε μερικές περιοχές του πεδίου Eh-ρH το νερό θα οξειδωθεί σε O_2 και σε άλλες περιοχές θα αναχθεί σε H^2 (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1 Διαγράμμα Eh-pH που δείχνει τα πεδία σταθερότητας του υπόγειου νερού

Η επίδραση του δυναμικού οξειδοαναγωγής στην ποιότητα του Υπογείου Νερού (Γ.Α. Καλλεργής 2000)

4.2.2.4 Διαδοχή αντιδράσεων οξειδοαναγωγής- οξειδοαναγωγικές ζώνες

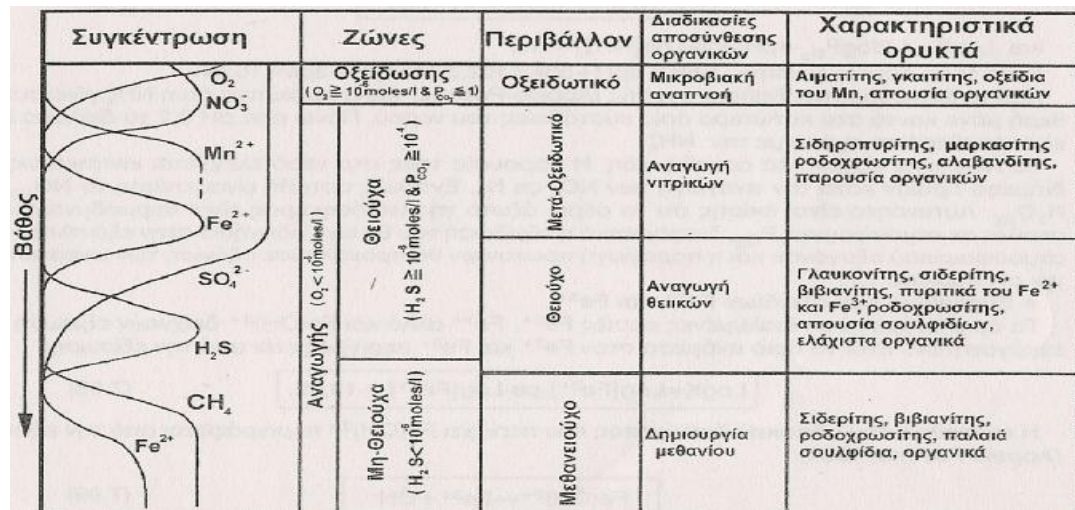
Τα διαγράμματα pe/pH είναι μάρτυρες της διαδοχής οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων κάτω από πολύ οξειδωτικές μέχρι πολύ αναγωγικές συνθήκες. Έτσι διαδοχικά ανάγεται το O_2 από τα νιτρικά (απονίτρωση), ακολουθεί η αναγωγή των οξειδίων του Mn^{4+} του Fe^{3+} , των οργανικών και των NH_4^+ με απελευθέρωση H_2 . Η διαδοχή αυτή ακολουθεί το οξειδοαναγωγικό δυναμικό κάτω από $pH=7$. Οι αναγωγικές αυτές αντιδράσεις ζευγαρώνουν με οξειδωτικές με την εξής διαδοχή : οξείδωση οργανικών, θεικών Fe^{2+} , NH_4^+ σε NO_3^- (νίτρωση), Mn^{2+} , N_2 σε NO_3^- (νίτρωση) και τέλος απελευθέρωση O_2 .

Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις αποτελούν πολύ σημαντικές πηγές ενέργειας.

Η παρουσία MnO_2 στα ιζήματα δείχνει ισχυρώς οξειδωτικές συνθήκες ενώ ο αιματίτης είναι σταθερός σε μεγαλύτερο φάσμα διακύμανσης του p_e . Διαλυμένο Mn^{2+} είναι σταθερό όταν συνυπάρχει με αιματίτη, ενώ αντιθέτως ο Fe^{2+} είναι ασταθής όταν συνυπάρχει με MnO_2 . Η παρουσία σιδερίτη μαρτυρά αναγωγικές συνθήκες ενώ ο ροδοχρωσίτης είναι σταθερός σε ευρύ φάσμα p_e . Τα μαγγανοσουλφίδια είναι πολύ πιο ευδιάλυτα από τους πυρίτες.

Οξυγονούχο νερό που εισέρχεται στον υδροφόρο ο οποίος είναι πλούσιος σε οργανικά, θα στερηθεί αρχικά το φορτίο οξυγόνου και ακολούθως το φορτίο νιτρικών. Παράλληλα τα θειικά ανάγονται και τελικώς μπορεί να εμφανιστεί μεθάνιο στο νερό. Η αντίστροφη πορεία παρατηρείται όταν στον οξυγονούχο υδροφόρο εισχωρήσει στράγγισμα από σκουπιδότοπο. Τα οξείδια του Mn που υπάρχουν στα ιζήματα είναι τα πρώτα που ανάγονται ενώ ακολουθούν τα οξείδια του Fe. Τέλος, ανάγονται τα θειικά και η σειρά κλείνει με την παραγωγή μεθανίου.

Η διαδοχή αυτή των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων κατά φθίνουσα ενέργεια εξηγείται από την ισορροπία, χημική και κινητική, στο περιβάλλον αλλά και από την παρουσία ή μη μικροβίων. Έτσι, αν αναχθούν ταυτόχρονα μίγματα οξειδίων του Fe και Mn, ο παραγόμενος Fe^{2+} θα προκαλέσει αναγωγή των οξειδίων του Mn, με αποτέλεσμα την καθίζηση υδροξειδίων του Fe^{2+} . Κατά συνέπεια θα συνεχίζεται η αναγωγή των οξειδίων του Mn μέχρι αυτά να εξαντληθούν ή να διακοπεί η αναγωγή των οξειδίων του Fe. Τον ίδιο "καταλυτικό" ρόλο μπορούν να παίζουν τα μικρόβια, όπως το βακτήριο *Desulfonivibrio* (θειοαναγωγή), το οποίο ενεργοποιείται σε αναγωγικές συνθήκες.



Σχήμα 4.2 Η διαδοχή των αναγωγικών διαδικασιών όπως αυτή αντανακλάται στη χημική σύσταση του υπόγειου νερού (σύνθεση από Berner, 1981 και Appelo-Postma, 1994).

Το αποτέλεσμα αυτής της διαδοχής των οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων έχει ως συνέπεια (Σχήμα 4.2) την εξαφάνιση, σε μερικές περιπτώσεις, ορισμένων αντιδρώντων συστατικών, όπως το οξυγόνο, τα νιτρικά και τα θειικά ενώ σε άλλες την εμφάνιση νέων προϊόντων που προέρχονται από τις αντιδράσεις όπως δισθενές μαγγάνιο, δισθενής σίδηρος, υδρόθειο και μεθάνιο. Εδώ επισημαίνεται ότι στις ζώνες αναγωγής των θειικών οι συγκεντρώσεις δισθενούς σιδήρου πλησιάζουν τις μηδενικές μια και τα σουλφίδια είναι αδιάλυτα.

Λόγω της δυσκολίας ερμηνείας των μετρήσεων του δυναμικού οξειδοαναγωγής έχει προταθεί η ταξινόμηση των οξειδοαναγωγικών περιβαλλόντων ανάλογα με την παρουσία ή απουσία ενδεικτικών προϊόντων που προέρχονται από οξειδοαναγωγικές διαδικασίες.

Μεγάλοι ερευνητές έχουν διακρίνει "οξειδωτικά" ("oxic") και "αναγωγικά" ("anoxic") περιβάλλοντα, (σχήμα 4.2) ανάλογα αν περιέχουν ή όχι μετρήσιμες ποσότητες O_2 ($>10^{-6}$ moles/l). Τα αναγωγικά περιβάλλοντα διαιρέθησαν σε "μετα-οξειδωτικά" στα οποία κυριαρχεί η αναγωγή των νιτρικών και των οξειδίων του Mn και του Fe, στα "θειούχα" όπου ανάγονται τα θειικά και τέλος

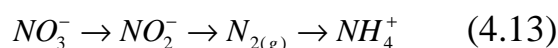
στη "ζώνη μεθανίου". Μια περαιτέρω υποδιαίρεση της "μετα-οξειδωτικής" ζώνης είναι η "νιτρική" με $m_{NO_3^-} \leq 10^{-6}$ moles/l, $m_{Fe^{2+}} \geq 10^{-6}$ moles/l και η "σιδηρούχος" ζώνη με $m_{NO_3^-} \geq 10^{-6}$ moles/l, $m_{Fe^{2+}} \leq 10^{-6}$ moles/l. Σπάνια συναντώνται όλες οι ζώνες σε μια αναγωγική ακολουθία και στις περισσότερες περιπτώσεις το υπόγειο νερό δε φτάνει στην "μετά-οξειδωτική" κατάσταση. Το υπόγειο νερό κατά την πορεία του από ανάντι προς κατόντι σε μεγάλη απόσταση γίνεται αναγωγικό και αλλάζει η συγκέντρωση των ειδών που είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του δυναμικού οξειδοαναγωγής. Το φαινόμενο μπορεί να παρατηρηθεί και στις γεωτρήσεις όπου η ποιότητα μεταβάλλεται κατά την κατακόρυφο. Το γεγονός οφείλεται στο διαφορετικό χρόνο που χρειάστηκε το νερό να φτάσει στα σημεία δειγματοληψίας.

Αν στράγγισμα από σκουπιδότοπο εισέλθει στον υδροφόρο, τα διαλυμένα οργανικά αρχικώς θα απομακρύνουν το διαλυμένο οξυγόνο και τα νιτρικά ενώ θα παραχθούν μεγάλες ποσότητες CO_2 που πιθανώς θα διαλύσει ανθρακικά άλατα. Μειώνεται η ποσότητα οξειδίων του Mn και Fe στα ιζήματα ενώ απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες δισθενούς σιδήρου. Οι διαδικασίες συνεχίζονται με τη δημιουργία της ζώνης αναγωγής των θεικών και τελειώνουν με την παραγωγή μεθανίου.

Συχνά παρατηρείται σε υδρογεωτρήσεις απουσία της "ζώνης οξείδωσης" δοθέντος ότι η συγκέντρωση O_2 στο πάνω μέρος του υδροφόρου είναι πολύ χαμηλή. Στα επόμενα 10-15 μέτρα παρατηρείται υψηλή συγκέντρωση νιτρικών, που δείχνει ρύπανση από γεωργικές δραστηριότητες, ("μετα-οξειδωτική ζώνη νιτρικών") και ακολουθεί κατευθείαν η "θειούχος ζώνη" με H_2S με μικρές συγκεντρώσεις θεικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απουσιάζει ή να είναι ελάχιστα αναπτυγμένη η "αναγωγική ζώνη" των οξειδίων του Fe.

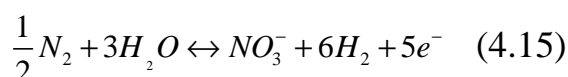
4.2.2.5 Ευστάθεια των ενώσεων αζώτου

Ορυκτά που περιέχουν άζωτο σπανίζουν στη φύση λόγω της μεγάλης διαλυτότητας τους. Αντίθετα το άζωτο στο νερό προέρχεται κυρίως από το βιοχημικό κύκλο (οργανικές ύλες). Η έντονη χρησιμοποίηση αζωτούχων λιπασμάτων έχει εμπλουτίσει το νερό σε ενώσεις του αζώτου. Το άζωτο στη φύση βρίσκεται σε σθένη που κυμαίνονται από +5 στα NO_3^- μέχρι -3 στην NH_4^+ , οπότε η σειρά αναγωγής μπορεί να γραφτεί:



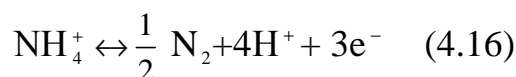
Στους υδροφόρους έχουν εντοπιστεί και ασήμαντες ποσότητες ενδιάμεσων προϊόντων, όπως $NO_{(g)}$ και $N_2O_{(g)}$. Η αζώτωση (νίτρωση) και απαζώτωση (απονίτρωση) των ενώσεων του αζώτου διευκολύνεται σε σημαντικό βαθμό από τα αζωτοβακτηρίδια. Η απαζώτωση με τη βοήθεια των βακτηριδίων ανάγει τα νιτρικά σε N_2 . Η απονίτρωση δεν ανήκει στις αμφίδρομες, (αντιστρεπτές) αντιδράσεις. Δεν υπάρχουν βακτήρια τα οποία να οξειδώνουν το N_2 σε NO_3^- . Κατά την απονίτρωση τα βακτήρια οξειδώνουν τις αμίνες που περιέχονται στις οργανικές ενώσεις σε NO_2^- και NO_3^- .

Το όριο ανάμεσα στα NO_3^- και το N_2 είναι:



με $\log K = \log[NO_3^-] - 6pH - 5pe - 1/2 \log P^{N_2} = -105,2$

ενώ το όριο ανάμεσα στο N_2 και την NH_4^+ είναι:



και $\log K = 1/2 \log P^{N_2} - 4pH - 3pe - \log[NH_4^+] = -14$.

Από τα διαγράμματα οξειδοαναγωγής (Appelo-Postma, 1994) προκύπτει ότι η NH_4^+ γίνεται σταθερή μόνο κοντά στο κατώτερο όριο ευστάθειας του νερού. Πάνω από pH 9,2 το διάλυμα NH_3 είναι σταθερό σε σχέση με την NH_4^+ .

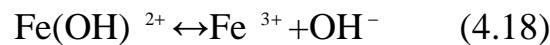
Τα NO_2^- είναι εξαιρετικά ασταθή είδη. Η παρουσία τους στο νερό ελέγχεται κινητικά ως ενδιάμεσο προϊόν κατά την αναγωγή των NO_3^- σε N^2 . Εντελώς ασταθή είναι επίσης τα $\text{NO}_{(g)}$ και $\text{N}_2\text{O}_{(g)}$. Αυτονόητο είναι επίσης ότι το αέριο άζωτο της ατμόσφαιρας είναι θερμοδυναμικά ασταθές σε ατμοσφαιρική P_{O_2} , διαφορετικά η οξείδωση του θα είχε οδηγήσει στην εξάντληση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου και η παραγωγή πρωτονίων θα προκαλούσε οξύνιση των ωκεανών μέχρι pH περίπου 1,7.

- Ευστάθεια των οξειδίων Fe^{2+} και Fe^{3+}

Τα όρια ανάμεσα σε διαλυμένες ουσίες Fe^{2+} , Fe^{3+} αλλά και $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ δείχνουν εξίσωση των ενεργοτήτων. Έτσι το όριο ανάμεσα στον Fe^{2+} και Fe^{3+} περιγράφεται από την εξίσωση:

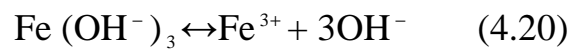
$$\log K = \log[\text{Fe}^{3+}] - pe - \log[\text{Fe}^{2+}] = -13,05 \quad (4.17)$$

Η ευστάθεια του υδατικού διαλύματος που περιέχει $\text{Fe}(\text{OH})_2$ περιγράφεται από την εξίσωση:



Και
$$K = ([\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]) / ([\text{Fe}(\text{OH})^{2+}]) = 10^{-11,6} \quad (4.19)$$

Η ευστάθεια του άμορφου υδροξειδίου του Fe κάτω από ισχυρά οξειδωτικές συνθήκες καθορίζεται από την ισορροπία του με τα διαλυμένα ιόντα Fe^{3+} :



Και
$$K = [\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = 10^{-38,3} \quad (4.21)$$

Για τη μελέτη της ευστάθειας των διαφόρων φάσεων είναι πολύ χρήσιμη η κατασκευή των διαγραμμάτων οξειδοαναγωγής. Η πιο ευσταθής μορφή είναι ο αιματίτης και είναι ευσταθής σε ευρύ πεδίο ευστάθειας, σε αντίθεση με το άμορφο $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

4.3 ΓΕΩΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΓΡΩΝ - ΣΤΕΡΕΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

4.3.1 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα, χαλαρά ή συνδεδεμένα αποτελούνται από συνδυασμούς διαφορετικών ορυκτών, τα οποία μπορεί να προέρχονται από διαφορετικές, ιζηματογενείς, μαγματικές ή μεταμορφωμένες «πηγές». Ακόμη και μεμονωμένα στρώματα, συνήθως περιέχουν αναμίξεις ορυκτολογικές που διαφέρουν κατά θέσεις από στρώμα σε στρώμα. Αυτές οι διαφορές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαφορές στη γεωχημεία των υπόγειων νερών, από στρώμα σε στρώμα και από περιοχή σε περιοχή.

Ο βασικός παράγοντας που ελέγχει το χημισμό του νερού στα ιζηματογενή πετρώματα είναι η σειρά με την οποία το νερό διασχίζει τους διάφορους ορυκτολογικούς συνδυασμούς, κατά την κίνηση του στους ιζηματογενείς υδροφόρους. Τούτο σημαίνει ότι το νερό κατά την κίνηση του μέσα από τα στρώματα υπόκειται σε διαδοχικές μεταβολές του γεωχημικού του χαρακτήρα, που επιβάλλονται από νέους θερμοδυναμικούς περιορισμούς, ορυκτολογικά ελεγχόμενους. Έτσι το νερό ενώ μπορεί να φτάσει σε ορισμένα στρώματα σε τοπική ισορροπία, σε σχέση με μερικές φάσεις, η συνεχής κίνηση του προκαλεί διαταραχές της ισορροπίας, καθώς περνά από στρώματα διαφορετικής ορυκτολογικής σύστασης.

Γίνεται μετά από αυτά φανερή η δυσκολία της ερμηνείας της γεωχημικής εξέλιξης των νερών σε ιζηματογενή πετρώματα. Σημαντικό ρόλο, πάντως, στη διαμόρφωση του γεωχημικού χαρακτήρα υπόγειου νερού παίζουν οι εξής παράγοντες:

- i) Η διάλυση των ανθρακικών ορυκτών και μικρών ποσοτήτων γύψου, ανυδρίτη ή αλίτη, η οποία επηρεάζει την ιοντική συγκέντρωση στο νερό.
- ii) Η διάλυση αστρίων, μαρμαρυγιών και αργιλικών ορυκτών.

Οι γεωχημικές διαδικασίες ανήκουν συνήθως, σε μία ή περισσότερες από τις εξής τέσσερις κατηγορίες:

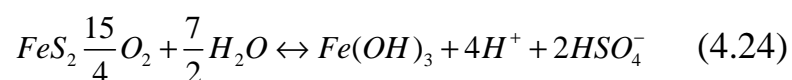
- ιοντική ανταλλαγή,
- δημιουργία CO_2 κάτω από την εδαφική ζώνη,
- βιοχημική αναγωγή των θεικών ορυκτών,
- οξείδωση των θειούχων ορυκτών.

Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό πολλών υπόγειων νερών είναι ότι επικρατούντα τα ιόντα Na^+ και HCO_3^- . Σε μερικές περιπτώσεις οι συγκεντρώσεις HCO_3^- φτάνουν τα 2500 mg/l, δηλαδή είναι διπλάσιες από εκείνες στα ανθρακικά ή δολομιτικά υπόγεια νερά. Τα νατριούχα - οξυανθρακικά αυτά νερά δημιουργούνται από τη συνδυασμένη δράση της ιοντικής ανταλλαγής και της διάλυσης ασβεστίτη και δολομίτη, σε στρώματα πλούσια σε ασβεστίτη, δολομίτη και σργιλικά ορυκτά, με Na που μπορεί να ανταλλαχτεί, κατά τις αντιδράσεις :



όπου (απ) σημαίνει κατιόντα απορροφημένα από αργίλους.

Όταν συμβαίνει το pH του υπόγειου νερού να είναι 7,0-8,5 και η περιεκτικότητα του σε HCO_3^- ψηλή, (> 1000 mg/l) σημαίνει ότι ο εμπλουτισμός του νερού σε HCO_3^- έγινε παρουσία H^+ από την οξείδωση σουλφιδίων, στη ζώνη της εδαφικής υγρασίας, όπου το οξυγόνο προσφέρεται από την ατμόσφαιρα.



Οι υδροχημικές μεταβολές του νερού γίνονται με πολύ αργό ρυθμό, κατά τη διάρκεια μακρών γεωλογικών περιόδων και συνήθως είναι μη αντιστρεπτές. Οι μικρές ποσότητες γύψου ή άλλων ευδιάλυτων ορυκτών που επηρέασαν σοβαρά

το γεωχημικό χαρακτήρα των νερών σε πολλά υδρογεωλογικά συστήματα, απομακρύνονται βαθμιαία από τα συστήματα αυτά.

Το Na που ανταλλάχθηκε με το Ca για τη δημιουργία νατριούχων νερών, απομακρύνεται από τις θέσεις ανταλλαγής (αργιλικά ορυκτά). Πυριτικά ορυκτά, όπως οι άστριοι και οι μαρμαρυγίες μετατρέπονται συνεχώς σε αργιλικά ορυκτά. Μερικές από τις πιο συνηθισμένες εξαλλοιώσεις είναι η σερικιτίωση (δημιουργία σερικήτη), προπυλιτίωση. (δημιουργία χλωρίτη, αργιλικών και ανθρακικών), η δολομιτοποίηση, η αργιλοποίηση (καολινιτιοποίηση, μπεντονιτοποίηση) κ.λπ.

4.3.2 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα κρυσταλλικά πετρώματα

Το βασικό χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών πετρωμάτων μαγματικής ή μεταμορφωμένης προέλευσης (γρανίτες, διορίτες, βασάλτες και αμφιβολίτες) είναι η αφθονία του χαλαζία και των αργιλοπυριτικών ορυκτών (άστριοι - μαρμαρυγίες). Τα ορυκτά αυτά μέχρι το βάθος των συνηθισμένων υδροφόρων, είναι θερμοδυναμικά ασταθή και τείνουν να διαλυθούν όταν έρθουν σε επαφή με το νερό. Έτσι, προκαλείται ορυκτολογική εξαλλοίωση των πετρωμάτων ενώ το νερό εμπλουτίζεται με τα προϊόντα της εξαλλοίωσης.

Το νερό εμπλουτιζόμενο σε διαλυμένο CO₂ προκαλεί απόπλυση το Si και τα άλλα κατιόντα «αποπλένονται» επίσης, δημιουργώντας έτσι ένα αργιλοπυριτικό υπόλειμμα (καολινίτης - ιλλίτης -μοντμοριλλονίτης). Τα κατιόντα που αποπλένονται και εμπλουτίζουν το νερό είναι το Na⁺, K⁺, Mg⁺ και Ca⁺⁺.

Μία άλλη συνέπεια αυτής της διαδικασίας, που είναι γνωστή σαν «ασύμφωνη διάλυση», γιατί μερικά από τα προϊόντα της απαντούν ως ορυκτά ή άμορφες στερεές ουσίες (σε αντίθεση με τη «σύμφωνη διάλυση» κατά την οποία όλα τα προϊόντα της διάλυσης των ορυκτών είναι διαλυτά είδη), είναι η άνοδος του pH και της συγκέντρωσης HCO₃⁻. Αν και θα αναμενόταν ότι το SiO₂ θα αποτελούσε βασικό συστατικό του υπόγειου νερού στα πετρώματα αυτά, η αντιπροσωπευτική συγκέντρωση του δεν ξεπερνά τα 17 mg/l.

Γενικά, τα υπόγεια νερά από τα πετρώματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν πολύ χαμηλή συγκέντρωση των κύριων ιόντων. Το ανιόν που επικρατεί, χωρίς εξαιρέσεις, είναι το HCO_3^- , ενώ σε αρκετή συγκέντρωση, σε σχέση με τα κατιόντα, απαντά και το SiO_2 . Τα ανιόντα Cl^- και SO_4^- απαντούν σε μικρές μόνο συγκεντρώσεις και προέρχονται από την ατμόσφαιρα, την αποσύνθεση οργανικών λειψάνων ή από ιχνοπροσμίξεις που απαντούν στα πετρώματα και τα ορυκτά.

Το K^+ γενικά απαντά σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Επειδή τα Cl^- και SO_4^- δεν έχουν σημαντική συμμετοχή στα πυριτικά πετρώματα, δεν υπάρχει τάση του υπόγειου νερού, κατά τη μετακίνηση του μέσα σ' αυτά τα πετρώματα, να μεταπίπτει στη θεική ή χλωριούχα φάση. Έτσι οι υδροχημικές φάσεις του Chebotarev δεν έχουν ισχύ σ' αυτά τα συστήματα.

Η γεωχημική ερμηνεία των χημικών αναλύσεων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

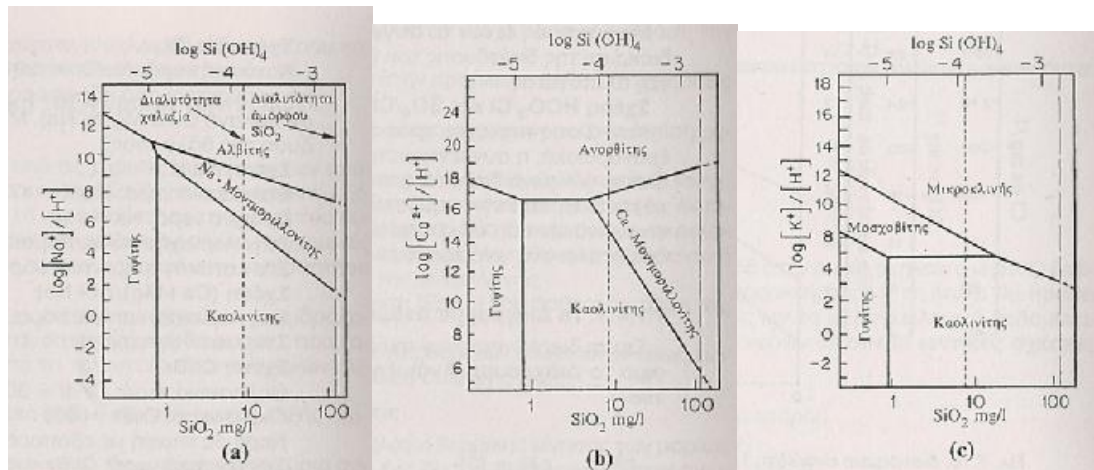
-Ο πρώτος συνίσταται στην κατασκευή των Διαγραμμάτων Σταθερότητας ή Ενεργότητας, τα οποία φαίνονται στο σχημα 4.3.

- Ο δεύτερος στον υπολογισμό της ακολουθίας των χημικών αντιδράσεων, με βάση τις συγκεντρώσεις των πιο άφθονων κατιόντων, του HCO_3^- και του H^+

Γενικά στα μαγματικά πετρώματα, όλα σχεδόν τα υπόγεια νερά βρίσκονται στο διάγραμμα σταθερότητας, στη μεριά του καολινίτη, ελάχιστα στη μεριά του μοντμοριλλονίτη και σπάνια του γυψίτη (υδραργυλλίτη), του μαρμαρυγία, των αστρίων ή ακόμη ξεπερνούν το όριο διαλυτότητας του άμορφου διοξειδίου του πυριτίου. Αυτό σημαίνει ότι η εξαλλοίωση των αστρίων και μαρμαρυγιών γίνεται, κυρίως, προς την κατεύθυνση δημιουργίας καολινίτη, στα συστήματα αυτά.

Ο δεύτερος τρόπος γεωχημικής ερμηνείας είναι όπως προαναφέρθηκε, η «επανασύνδεση» των αρχικών ορυκτών με το συνδυασμό των αργίλικών ορυκτών με τα διαλυμένα προϊόντα που περιέχει το υπόγειο νερό. Κατά τη

διεργασία αυτή ο καολινίτης μετατρέπεται σε πλαγιόκλαστα σε τέτοια ποσότητα, ώστε να εξαντληθούν όλες οι ποσότητες Na^+ και Ca^{++} που περιέχονται στο νερό. Τα πλαγιόκλαστα που «συντέθηκαν» με αυτό τον τρόπο πρέπει να συγκρίνονται με αυτά των πετρωμάτων που απαντούν στο υδροφόρο πέτρωμα.



Σχήμα 4.3 Σχέσεις σταθερότητας για τους γυψίτη, καολινίτη, μοντμοριλλονίτη, μοσχοβίτη και αστρίους σε 25°C και 1 bar.

- Γυψίτης (υδραργιλίτης), καολινίτης, νατριούχος μοντμοριλλονίτης, αλβίτης
- Γυψίτης, καολινίτης, μοντμοριλλονίτης και ανορθίτης.
- Γυψίτης, καολινίτης, μόσχοβίτης και μικροκλινής (Tardy, 1971 από Freeze-Cherry, 1979)

Στη συνέχεια «αντιδρούν» ολόκληρη η ποσότητα Mg^{++} και οι απαραίτητες ποσότητες K^+ , HCO_3^- και SiO_2 , με τον καολινίτη, ώστε να σχηματιστεί βιοτίτης. Τα υπόλοιπα των K^+ , HCO_3^- και SiO_2 , «αντιδρούν» επίσης ώστε να δημιουργήσουν καλιούχους άστριους.

Μία άλλη δυνατότητα είναι η «αντίδραση» ορισμένων αρχικών ορυκτών με το φορτισμένο σε CO_2 νερό, ώστε να παραχθεί το HCO_3^- και τα κατιόντα που δίνουν οι χημικές αναλύσεις. Ο χημισμός του υπόγειου νερού, που κινείται σε μεγάλα βάθη στα κρυσταλλικά πετρώματα επηρεάζεται από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, κάτι που δημιουργεί μεγάλες αποκλίσεις από τις γεωχημικές διαδικασίες που περιγράφηκαν.

4.3.3 Ο γεωχημικός χαρακτήρας του νερού στα ανθρακικά πετρώματα

Ο γεωχημικός χαρακτήρας των καρστικών νερών καθορίζεται κυρίως από το μηχανισμός διάλυσης.

- Διάλυση σε ανοιχτό σύστημα

Πρόκειται για τη διάλυση, από το νερό που κατεισδύει, του ασβεστίτη και δολομίτη, με την παρουσία άφθονου CO_2 , βιολογικής ή βιοχημικής προέλευσης, πάνω από την κορεσμένη ζώνη.

- Διάλυση σε κλειστό σύστημα

Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ανθρακικά ορυκτά στην εδαφική ή στην ακόρεστη ζώνη, η κατείσδυση του νερού, φορτισμένου με CO_2 , προς την κορεσμένη ζώνη γίνεται χωρίς σημαντική κατανάλωση CO_2 , το οποίο έτσι δεν μετατρέπεται σε HCO_3^- . Το νερό, μ' αυτόν τον τρόπο, συναντά για πρώτη φορά, ανθρακικά ορυκτά στην κορεσμένη ζώνη, όπου γίνεται η διάλυση τους, κάτω από τις συνθήκες κλειστού συστήματος.

Ασύμφωνη διάλυση

Κάτω από τις συνθήκες ανοιχτού και κλειστού συστήματος η διάλυση του ασβεστίτη και δολομίτη γίνεται χωριστά για καθένα από τα δύο ορυκτά. Στην περίπτωση που συμβαδίζει η διάλυση δολομίτη και η απόθεση ασβεστίτη τότε πρόκειται για ασύμφωνη διάλυση δολομίτη. Τούτο συμβαίνει όταν το νερό διαλύει δολομίτη μέχρι κορεσμού του και μετά ρέει σε μία ζώνη ασβεστίτη, όπου όμως δεν λαμβάνει χώρα διάλυση ασβεστίτη, αλλά λόγω υπερκορεσμού του νερού σε ασβεστίτη τον αποθέτει.

Το ίδιο αποτέλεσμα συμβαίνει και όταν το νερό διαλύει αρχικά ασβεστίτη, μέχρι να κορεστεί και μετά φτάσει σε δολομιτική ζώνη. Η μοριακή σχέση $\text{Ca}^{++} / \text{Mg}^{++}$ στο νερό εξαρτάται από τη διαδοχική κατανομή δολομίτη και ασβεστίτη, τη σύγχρονη διάλυση τους, τη θερμοκρασία, την ασύμφωνη διάλυση, το ποσόν του CO_2 κ.λπ.

Γενικότερα μπορεί να τονιστεί ότι τόσο ο ασβεστίτης όσο και ο δολομίτης ελάχιστα διαλύονται στο καθαρό νερό. Όμως η παρουσία του CO_2 στο νερό τα μετατρέπει σε οξυανθρακικές ενώσεις, οι οποίες είναι ευδιάλυτες. Οι συγκεντρώσεις CO_2 , HCO_3^- και CO_3^{2-} εκφράζουν την ιοντική ισορροπία των αλάτων στο νερό, αλλά στις χημικές αναλύσεις συνήθως τα ανθρακικά αυτά είδη εκφράζονται σαν HCO_3^- .

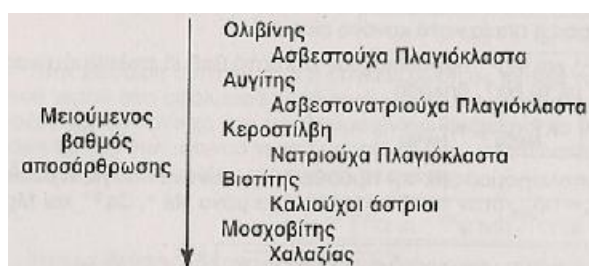
Το νερό όταν βρίσκεται σε ισορροπία με τον ασβεστίτη και το ατμοσφαιρικό CO_2 πρέπει να περιέχει γύρω στα 60 mg/l HCO_3^- . Οι συνηθισμένες όμως συγκεντρώσεις του στο καρστικό νερό συνήθως είναι της τάξης των 300-450 mg/l.

Η πρόσθετη, απαραίτητη για τη διάλυση των ανθρακικών ορυκτών, ποσότητα CO_2 είναι βιολογικής ή βιοχημικής προέλευσης κ.λπ. Η μείωση της πίεσης, που προκαλείται από την άντληση νερού στις υδρογεωτρήσεις, οδηγεί στη μείωση του διαλυμένου CO_2 με αποτέλεσμα να γίνεται το νερό πιο κορεσμένο σε ασβεστίτη, απ' ό,τι ήταν αρχικά. Εξάλλου το Mg μπορεί να παραμένει διαλυμένο σε ψηλότερο pH από ό,τι το ασβέστιο. Για το λόγο αυτό εξάλλου οι ανθρακικές φλέβες ακόμη και στους δολομίτες αποτελούνται από ασβεστίτη.

4.4 ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΠΥΡΙΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Οι μεταβολές του χημισμού του υπόγειου νεορού λόγω της αποσάνθρωσης των πυριτικών ορυκτών είναι λιγότερο εμφανείς από όσο λόγω διάλυσης των ανθρακικών ορυκτών και πετρωμάτων, δοθέντος ότι η διάλυση των πυριτικών ορυκτών συνήθως γίνεται πολύ αργά.

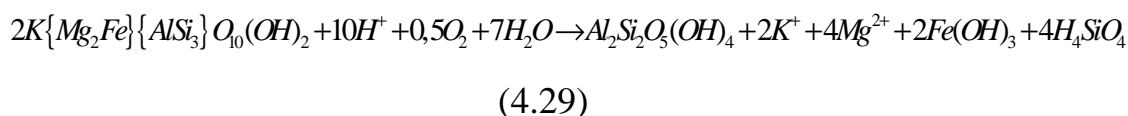
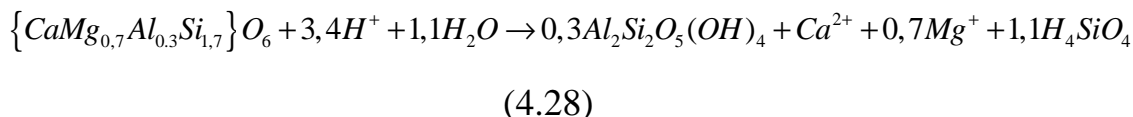
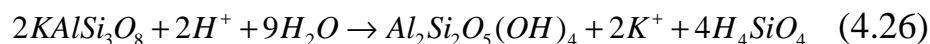
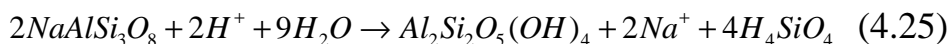
Τα πρώτα ορυκτά που υφίστανται αποσάθρωση και εξαφανίζονται είναι τα πλαγιόκλαστα, ο ολιβίνης, ο βιοτίτης και οι αμφίβολοι ενώ οι καλιούχοι άστριοι και ο χαλαζίας είναι πιο ανθεκτικοί στην αποσάθρωση, όπως προκύπτει από το διάγραμμα Goldich (σχήμα 4.4).



Σχήμα 4.4 Σειρα αποσάθρωσης πυριτικών ορυκτών κατά Goldich. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Η αποσάθρωση των πυριτικών ορυκτών εξάλλου συνοδεύεται από νεοσχηματισμένα δευτερογενή ορυκτά κυρίως αργιλικά (ιλλίτης-καολινίτης-μοντμοριλλονίτης) αλλά και οξείδια του σιδήρου. Πρόκειται για τα αδιάλυτα υπολείμματα της ασύμφωνης διάλυσης των πυριτικών υλικών, κατά την οποία ο λόγος των στοιχείων που υπάρχουν στο διάλυμα διαφέρει από εκείνον στο ορυκτό που διαλύθηκε. Το αποτέλεσμα της διάλυσης των πυριτικών ορυκτών πάνω στην ποιότητα του υπόγειου νεορού είναι η προσθήκη στο τελευταίο κατιόντων και πυριτίου. Οι αντιδράσεις αποσάθρωσης των ορυκτών αυτών είναι όλες όξινες ενώ παράγεται κατ' αυτές οξυανθρακική ρίζα. Οι διεργασίες αυτές αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή ανθρακικού οξέος. Ο σίδηρος που περιέχεται στα πυριτικά ορυκτά μετατρέπεται σε αδιάλυτα οξείδια του Fe. Στην παράγραφο

που ακολουθεί δίνονται οι αντιδράσεις σχηματισμού καολινίτη, κατά σειρά, από αποσάθρωση αλβίτη, K-αστρίων, ανορθίτη, πυρόξενων και βιοτίτη.



Μάρτυρας της προέλευσης του νερού από πετρώματα που περιέχουν πυριτικά ορυκτά είναι η υψηλή περιεκτικότητα του σε SiO. Τις υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζουν τα νερά που προέρχονται από ηφαιστίτες (ρυόλιθοι-βασάλτες) και μικρότερες εκείνα που προέρχονται από μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και γρανίτες. Χαρακτηριστική είναι η υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Na⁺ (το K⁺ συνήθως είναι λιγοστό), το οποίο δεν είναι ισοζυγισμένο με το Cl⁻ όπως συμβαίνει με τη ρύπανση του υπόγειου νερού από τη διείσδυση της θάλασσας.

Η αποσάθρωση των πλαγιοκλάστων απελευθερώνει πρόσθετο Ca²⁺ όπως επίσης και η αποσάθρωση των αμφίβोलων, των πυρόξενων κ.λ.π. όπως άλλωστε προκύπτει και από τις πιο πάνω αντιδράσεις. Λόγω της αργής πάντως "κινητικής της διάλυσης" των πυριτικών ορυκτών η συγκέντρωση TDS του υπόγειου νερού που προέρχεται από αυτά είναι γενικώς χαμηλή. Επειδή όμως συχνά η ροή του υπόγειου νερού γίνεται σε επιφάνειες ασυνεχείς (π.χ. ζώνες διάρρηξης) περιορίζει τον αυτοκαθαρισμό του υπόγειου νερού.

Το Na^+ προέρχεται κυρίως από την αποσάθρωση Na-αστρίων (αλβίτης) ή οποιουδήποτε μέλους της σειράς των πλαγιοκλάστων ανάμεσα στον αλβίτη και τον ανορθίτη.

Ο αλβίτης, παρουσία Mg^{2+} που μπορεί να προέρχεται από τη διάλυση πυρόξενων, αμφιβόλων ή βιοτίτη, δίνει αποσαθρούμενος μοντμοριλλονίτη ενώ παρουσία πρωτονίων (H^+) μπορεί να δώσει κατά περίπτωση καολινίτη ή γυψίτη. Σε ξηρά κλίματα σχηματίζεται κυρίως μοντμοριλλονίτης, ενώ στα θερμά κλίματα και ιδιαίτερα στα τροπικά δημιουργείται γυψίτης, ή μίγματα γυψίτη και υδροξειδίων του αργιλίου (βωξίτης). Η επίδραση των δευτερογενών αυτών ορυκτών στην υδροπερατότητα είναι σημαντική. Ο ιλλίτης μειώνει σημαντικά την υδροπερατότητα σε αντίθεση με τον, φυλλώδη, καολινίτη.

Μετά την εμφάνιση του προβλήματος της όξινης βροχής εντατικοποιήθηκε η υδροχημική έρευνα πάνω στην "κινητική της διάλυσης" των πυριτικών ορυκτών. Υπολογίζετε ο χρόνος ζωής διαφόρων κρυσταλλικών ειδών, σε κρυστάλλους μήκους 1 m σε pH 5. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 4.5

Πίνακας 4.5 Η μέση διάρκεια ζωής, σε χρόνια, κρυστάλλων μήκους 1mm 25°C και pH 5 (Lasaga 1984).

Ορυκτό	Διάρκεια ζωής
Χαλαζίας	$34 \cdot 10^6$
Μοσχοβίτης	$2,7 \cdot 10^6$
Φορστερίτης	$6 \cdot 10^5$
Καλιούχοι άστριοι	$5,2 \cdot 10^5$
Αλβίτης	$8 \cdot 10^4$
Ευστατίτης	$8,8 \cdot 10^3$
Διοψίτης	$6,8 \cdot 10^3$
Νεφελίνης	211
Ανορθίτης	112

5. ΈΡΓΑ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ

5.1 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΑΙ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

Υδρομάστευση είναι η απόληψη νερού από υδροφόρα συστήματα ή πηγές με την κατασκευή του κατάλληλου τεχνικού έργου. Τα έργα με τα οποία γίνεται η υδρομάστευση είναι τα υδρομαστευτικά έργα.

Τα υδρομαστευτικά έργα διακρίνονται σε κατακόρυφα, οριζόντια και μικτά.

5.1.1 Τα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα

Τα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα τα οποία κατά κανόνα αναφέρονται στην ξένη βιβλιογραφία σαν «πηγάδια», διακρίνονται σε:

α) Βαθεία, τα οποία είναι γεωτρήσεις ελάχιστης διαμέτρου 20 cm και ελάχιστου βάθους 20 m. Συνήθως χρησιμοποιείται ο όρος «υδρογεωτρήσεις», σπανιότερα δε «πηγάδια», ιδιαίτερα όταν από τα έργα αυτά αντλείται νερό.

β) ρηγά, τα οποία είναι διάτρητα ή σκαφτά κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα μεγάλης (τα σκαφτά) ή μικρής (τα υπόλοιπα) διαμέτρου, που το βάθος τους σπάνια ξεπερνά τα 20 m. Τα σκαφτά ρηγά υδρομαστευτικά έργα, συχνά ονομάζονται και «σκαφτά πηγάδια» ή απλώς πηγάδια ή «σκαφτά φρέατα». Τα ρηγά υδρομαστευτικά έργα, ανεξάρτητα από τον τρόπο κατασκευής τους και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, λέγονται συνήθως «φρέατα» γιατί υδρομαστεύουν ρηχούς ελεύθερους υδροφόρους που παλιά ονομαζόντουσαν και φρεάτιοι υδροφόροι.

Στην εργασία αυτή ο όρος «υδρογεώτρηση» χρησιμοποιείται για τα βαθεία κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα ελάχιστης διαμέτρου 20 cm, ανεξάρτητα τρόπου κατασκευής. Για τα ρηγά υδρομαστευτικά έργα χρησιμοποιείται ο όρος

«φρέατα» όταν δε αυτά είναι σκαφτά, τότε ονομάζονται «σκαφτά φρέατα» ή «σκαφτά πηγάδια» εφόσον η διάμετρος τους ξεπερνά το 0.8 -1 m.

5.1.2 Τα οριζόντια υδρομαστευτικά έργα

Τα οριζόντια υδρομαστευτικά έργα διακρίνονται σε:

- α) γαλαρίες ή στοές
- β) Οριζόντιους σωλήνες

Τα μικτά υδρομαστευτικά έργα, είναι συνδυασμοί κατακόρυφων (συνήθως σκαφτών φρεάτων) και οριζόντιων υδρομαστευτικών έργων.

Εκτός από τα υδρομαστευτικά έργα υπάρχουν και τα :

Ερευνητικά έργα, στα οποία κατατάσσονται οι ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου (<15 cm), οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της στάθμης του νερού σ' αυτές, οπότε αναφέρονται σαν «πιεζομετρικές γεωτρήσεις» ή «πιεζόμετρα» ή «γεωτρήσεις παρατήρησης».

5.2 ΦΡΕΑΤΙΑ

5.2.1 Ρηχά πηγάδια ή φρέατα

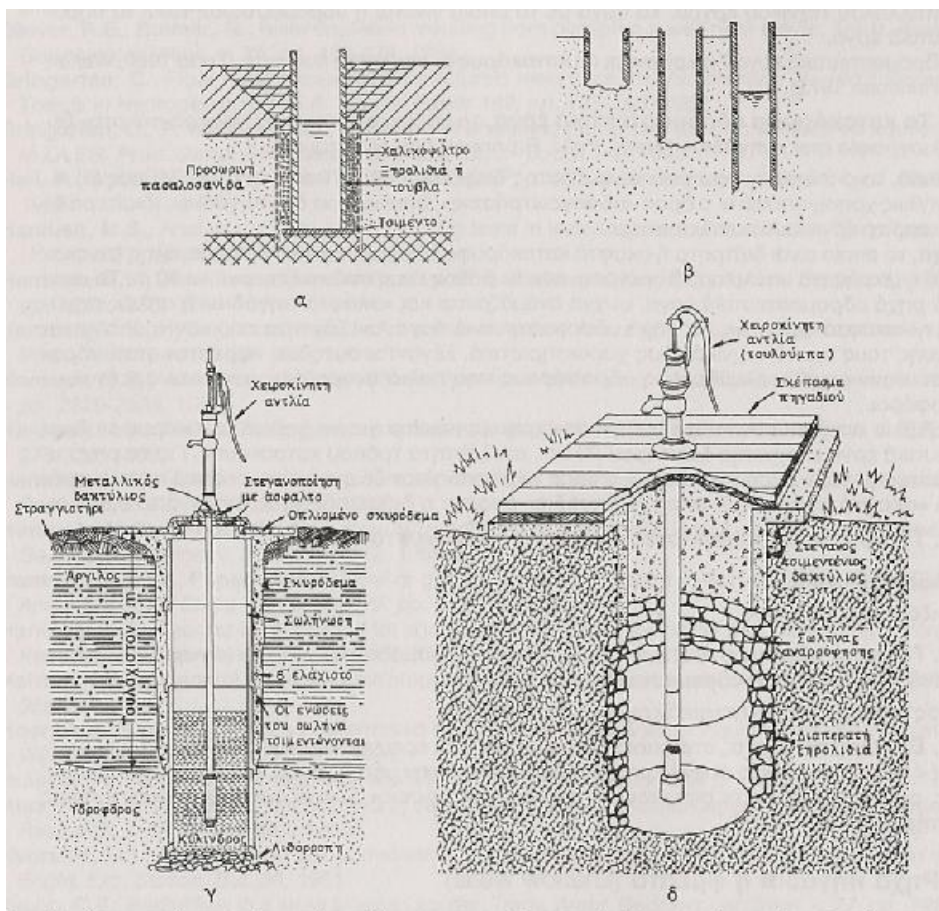
Πρόκειται για έργα υδροληψίας που το βάθος τους γενικά δεν ξεπερνά τα 15 - 20 m και κατασκευάζονται με σκάψιμο, με διάτρηση, με προώθηση (έμπηξη) και με εκτόξευση.

5.2.1.1 Σκαφτά φρέατα

Είναι τα πιο παλιά από τα έργα υδρομάστευσης που χρονολογούνται από τους βιβλικούς χρόνους. Τα βάθη τους φτάνουν μέχρι τα 20 m ή και περισσότερο, ανάλογα με το βάθος της στάθμης του νερού, ενώ η διάμετρος τους κυμαίνεται από 1 μέχρι 10 m, συνήθως όμως είναι 1.5 - 3 m. Τα φρέατα δίνουν συνήθως μεγάλες ποσότητες νερού από ρηχούς υδροφόρους και κατά κανόνα κατασκευάζονται στους αβαθείς χαλαρούς μανδύες αποσαθρώσεως ή στους καρστικούς σχηματισμούς, συνδυαζόμενα με στοές. Η μεγάλη διάμετρος τους

επιτρέπει την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού, όταν τα φρέατα εκτείνονται μερικά μέτρα κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου.

Το τοίχωμα των φρεάτων, που κατά κανόνα είναι κυλινδρικό, τσιμεντώνεται στα πρώτα του μέτρα μέχρι την ανώτερη στάθμη του νερού, ενώ από κει μέχρι τον πυθμένα, το τοίχωμα είναι συνήθως από ξηρολιθιά ή άλλο διάτρητο υλικό, ώστε να μπορεί το νερό να μπαίνει ελεύθερα στο φρέαρ. Προκειμένου να εμποδιστεί η είσοδος άμμου στα φρέατα που έχουν κατασκευαστεί σε χαλαρά υλικά, τοποθετείται (σχημα 5.1) γύρω από το τοίχωμα και στον πυθμένα τους, χαλικόφιλτρο. Οι παροχές που μπορεί να επιτευχθούν με τα φρέατα είναι της τάξης των 100 - 300 m³/ώρα αν και τα περισσότερα οικιακά φρέατα έχουν παροχές μικρότερες από 20 m³/ώρα.



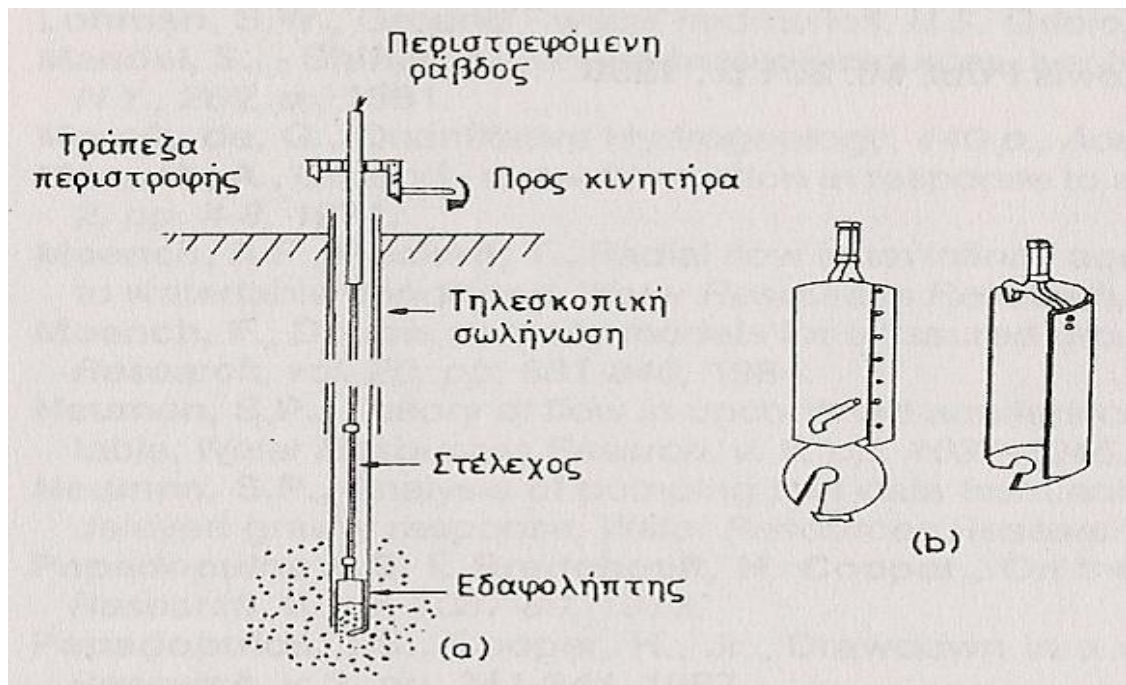
Σχημα 5.1 Κατασκευή σκαφτών φρεάτων (α) με προσωρινή εκσκαφή, (β) με αφαίρεση υλικού από το εσωτερικό, (γ) κατασκευή φρέατος με πλήρη προστασία από ρύπανση (Huisman, 1972) και (δ) σκαφτό φρέαρ με ξηρολιθιά (Todd 1980).

Τα φρέατα στους ασβεστόλιθους και γενικά στα συνεκτικά πετρώματα δεν χρειάζονται τεχνητά τοιχώματα και χαλκόφιλτρο. Το βάθος συνήθως των φρεάτων πρέπει να ξεπερνά το βάθος της στάθμης του νερού, στον πιο ξερό μήνα, κατά 3-5 m. Όταν η χαμηλότερη στο χρόνο στάθμη του νερού δεν ξεπερνά τα 7,80 m μπορεί να εξοπλιστούν τα φρέατα, με χειροκίνητη αναρροφητική αντλία (τουλούμπα), το πρακτικό βάθος αναρρόφησης της οποίας δεν ξεπερνά το πιο πάνω όριο.

Το μειονεκτημάτων σκαφτών φρεάτων είναι ότι εύκολα ρυπαίνονται από επιφανειακά νερά καθώς και αερομεταφερόμενα υλικά (όταν τα φρέατα είναι ανοικτά).

5.2.1.2 Διάτρητα φρέατα

Τα διάτρητα φρέατα μπορούν να δώσουν μικρές ποσότητες νερού με χαμηλό κόστος κατασκευής σε ρηχούς υδροφόρους και χαλαρά υλικά. Για την κατασκευή των φρεάτων αυτών χρησιμοποιούνται οι χειροκίνητοι ή μηχανοκίνητοι ελικοφόροι εδαφολήπτες (σχημα 5.2). Όταν τα φρέατα κατασκευάζονται με χειροκίνητο εδαφολήπτη το βάθος τους σπάνια ξεπερνά τα 15m και η διάμετρος τους τα 20 cm.



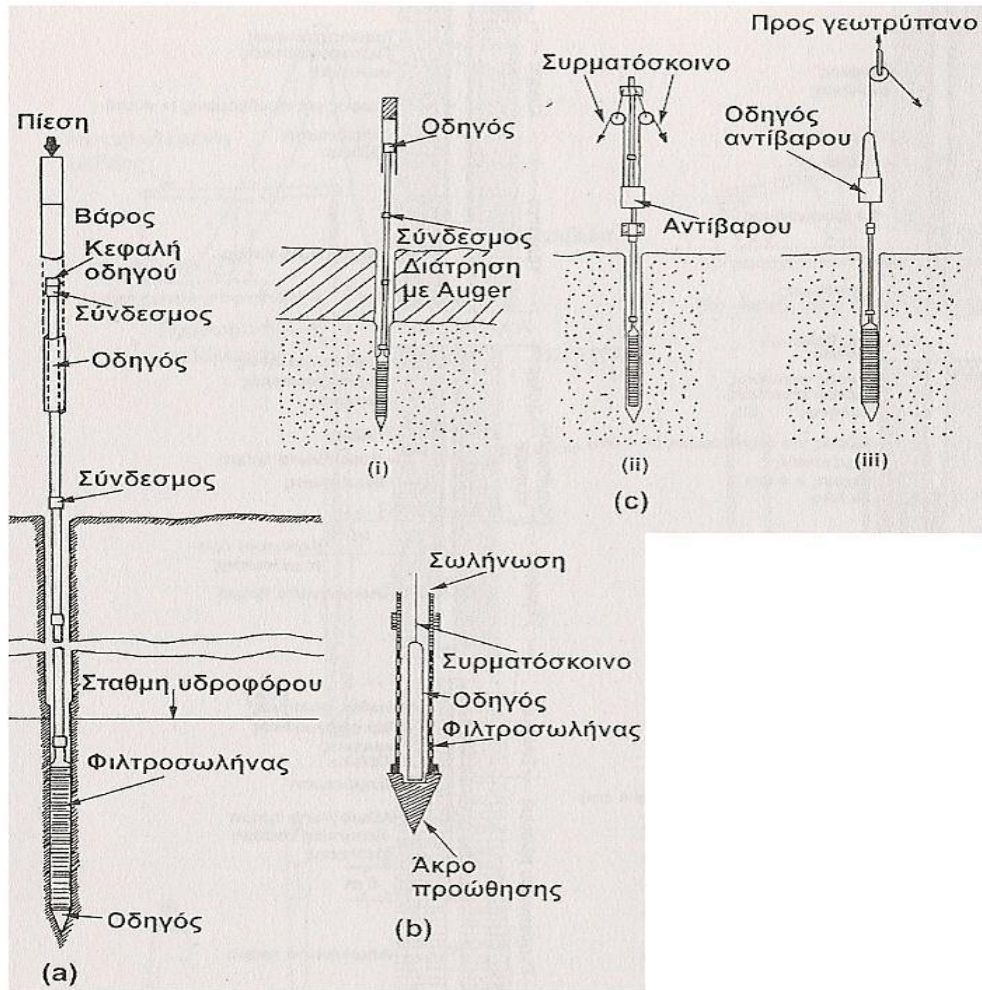
Σχήμα 5.2 Κατασκευή διάτρητου φρέατος (a) και κοπτικά άκρα χειροκίνητου ή μηχανοκίνητου εδαφολήπτη (b) (Huisman 1972).

Με μηχανοκίνητο εδαφολήπτη, κατασκευάζονται φρέατα, βάθους, με ευνοϊκές συνθήκες, μεγαλύτερου από 30 m και διαμέτρου μέχρι 1m. Όταν ο εδαφολήπτης φτάσει σε πολύ χαλαρούς σχηματισμούς (άμμοι - χαλίκια) τότε τοποθετείται μεταλλικός ή τσιμέντινος δακτύλιος, για να μη δημιουργούνται καταπτώσεις και συνεχίζεται η διάτρηση μέσα από τον δακτύλιο με μικρότερη διάμετρο. Το ίδιο συμβαίνει όταν ο εδαφολήπτης συναντήσει νερό. Όταν το φρέαρ φτάσει το επιθυμητό βάθος, τότε αφαιρούνται οι δακτύλιοι που έχουν τοποθετηθεί προσωρινά, αφού προηγουμένως σωληνωθεί το φρέαρ με σωλήνες και φιλτροσωλήνες. Ο χώρος που περισσεύει γεμίζεται με χαλικόφιλτρο. Στην περίπτωση της κολλοειδούς αργίλλου, ο εδαφολήπτης είναι το καλύτερο διατρητικό μέσο.

5.2.1.3 Σωληνωτά φρέατα

Ένα σωληνωτό φρέαρ αποτελείται από μια σειρά συνδεδεμένων σωλήνων, που μπηγόνται με επανειλημμένες προωθήσεις στο έδαφος μέχρι μερικά μέτρα κάτω από τη στάθμη του νερού. Το κατώτερο μέρος του σωλήνα είναι οξύληκτο και διάτρητο ώστε να μπορεί να μπαίνει μέσα στο νερό. Στην ουσία πρόκειται για ένα κυλινδρικό κομμάτι φιλτροσωλήνα που καταλήγει σε έναν χαλύβδινο κώνο στο κατώτερο μέρος του (σχημα 5.3). Οι διάμετροι αυτών των φρεάτων είναι της τάξης του 3-10 cm, ενώ το βάθος τους δεν ξεπερνά τα 15 - 20 m.

Για την άντληση του νερού χρησιμοποιούνται συνήθως χειροκίνητες αναρροφητικές αντλίες (τουλούμπες) εφόσον η στάθμη δεν είναι βαθύτερη από τα 7.80 m, αν και τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται σε βάθη 3 - 5 m. Η παροχή των φρεάτων αυτών είναι της τάξης των 3 -10 m³/ώρα. Τα φρέατα αυτού του τύπου προσφέρονται για οικιακή χρήση, προσωρινή χρήση, έρευνα και παρατηρήσεις. Συστοιχίες σωληνωτών φρεάτων συνδεδεμένες μέσω ενός αναρροφητικού σωλήνα με μια αντλία (σχημα 5.4) αποτελούν αποτελεσματικό μέσο για τοπικό υποβιβασμό της στάθμης του νερού, ώστε να γίνουν εργασίες θεμελιώσεων ή υπόγειων κατασκευών ή εκσκαφών σε ξηρό περιβάλλον. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως συστήματα σωληνωτών φρεάτων. Τα σωληνωτά φρέατα κατασκευάζονται μόνο στα λεπτόκοκκα χαλαρά εδάφη. Η έμπηξη του σωληνωτού φρέατος μπορεί να γίνει με χρησιμοποίηση σφυριών, αερόσφυρας (σχημα 5.3c) κ.λπ. Συνίσταται η σωλήνωση των 3 πρώτων μέτρων της διάτρησης με έναν εξωτερικό προστατευτικό σωλήνα.

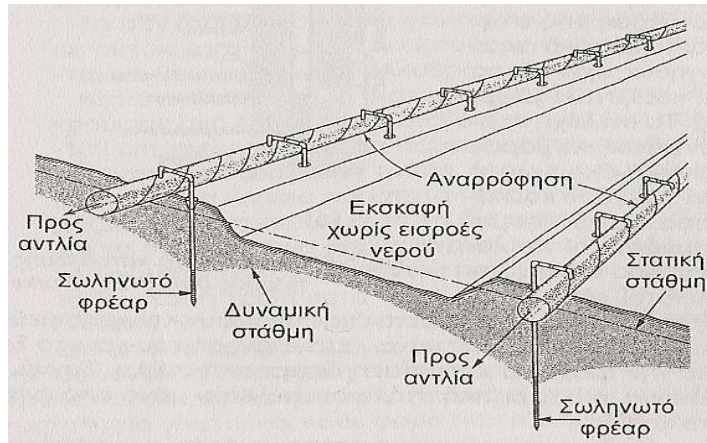


Σχήμα 5.3 Σωληνωτά φρέατα:

(a) με μηχανισμό προώθησης (Todd, 1980). Φιλτροσωλήνας

(b): Με εσωτερική δοκό προώθησης (Huismann, 1972).

(c): Μηχανισμοί προώθησης (i) με πίεση, (ii) με τροχαλία, (iii) με γεωτρύπανο. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

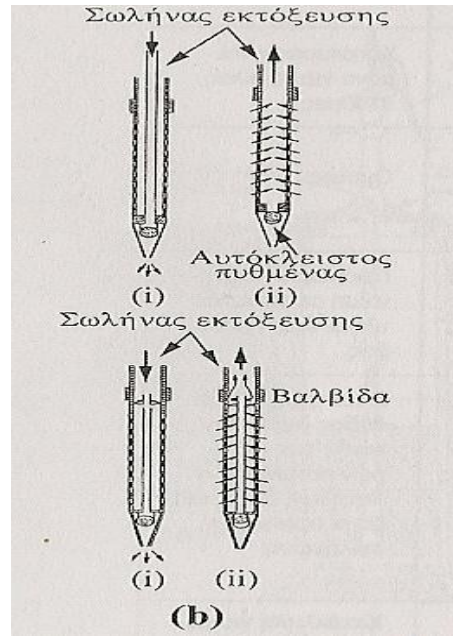
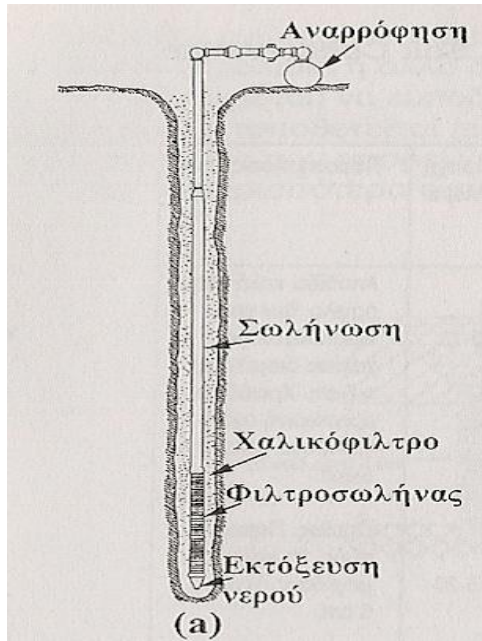


Σχήμα 5.4 Συστοιχία σωληνωτων φρεατων για την στραγγιση μιας θέσης εκσκαφής (Todd, 1980)

5.2.1.4 Φρέατα εκτόξευσης

Τα φρέατα εκτόξευσης κατασκευάζονται με την εκτόξευση νερού με πίεση (σχημα 5.5). Η μεγάλη ταχύτητα του νερού διαβρώνει το έδαφος ενώ η σωλήνωση η οποία προωθείται βαθμιαία μαζί με την εκβάθυνση του φρέατος, οδηγεί το νερό και τα τμήματα του εδάφους έξω από το φρέαρ.

Τα φρέατα αυτά έχουν διάμετρο 3-10 cm, σπάνια δε μέχρι 30 cm και βάθος συνήθως μέχρι 15 -20 m σπάνια δε και πάνω από 150 - 200 m. Η παροχή τους είναι μικρή και η κατασκευή τους προσφέρεται μόνο στα χαλαρά κυρίως λεπτομερή υλικά. Λόγω της μεγάλης ταχύτητας κατασκευής των φρεάτων εκτόξευσης και του μικρού βάρους και του ευκολομεταφερόμενου εξοπλισμού κατασκευής τους, τα φρέατα αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως σαν δοκιμαστικά ερευνητικά φρέατα, φρέατα παρατηρήσεως (πιεζόμετρα) και συστήματα σωληνωτών φρεάτων για στράγγιση. Χρησιμοποιείται προσωρινή σωλήνωση, στο εσωτερικό της οποίας τοποθετείται η οριστική σωλήνωση με το φιλτροσωλήνα, στη συνέχεια τοποθετείται χαλικόφιλτρο μεταξύ των δύο σωληνώσεων και στο τέλος αφαιρείται η προσωρινή σωλήνωση. Το είδος του εκτοξευτικού άκρου που χρησιμοποιείται εξαρτάται από τη φύση του εδάφους.



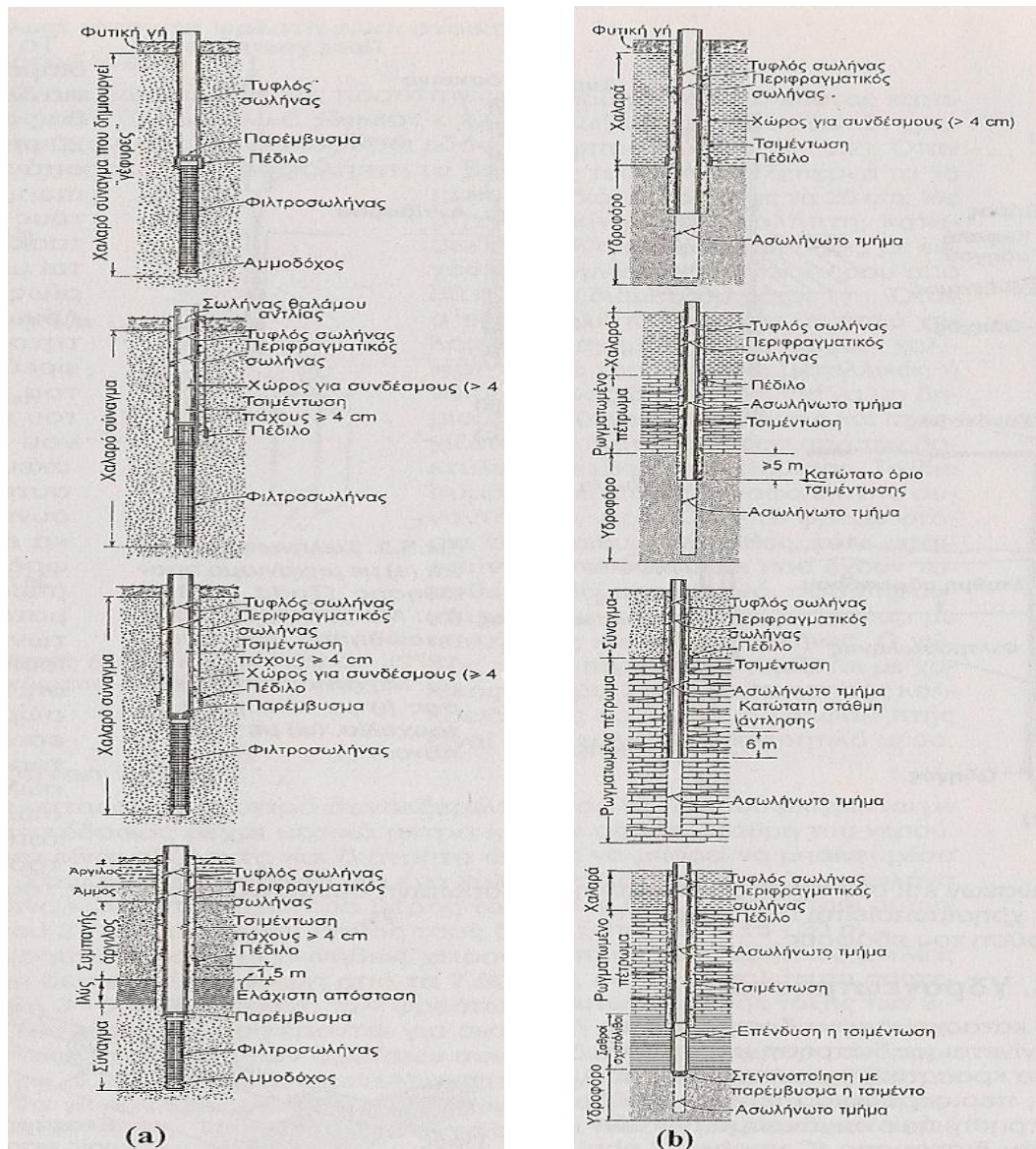
Σχήμα 5.5 α) Κατασκευή φρέατος με εκτόξευση νερού (Todd, 1980) όπου φαίνεται η διάταξη εκτόξευσης, β) σωληνωτοί μηχανισμοί με δικό τους εκτοξευτή νερού, i) κατά την εκτόξευση, ii) κατά τον καθαρισμό (Huisman, 1972).

5.3 ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Η κατασκευή των υδρογεωτρήσεων γίνεται με διάτρηση με γεωτρήπανα κρουστικά (κρουστική διάτρηση), περιστροφικά (περιστροφική διάτρηση) ή με συνδυασμό των δύο ειδών διάτρησης. Στον πίνακα 5.1 φαίνονται οι εφαρμογές των διαφόρων διατρητικών μεθόδων

Πίνακας 5.1 Μέθοδοι κατασκευής φρεάτων και υδρογεωτρήσεως, (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Μέθοδος	Υλικά στα οποία αποδίδει	Στάθμη υδροφόρου σε m για καλύτερη απόδοση	Συνηθισμένο μέγιστο βάθος σε m	Διάμετρος διάτρησης σε cm	Συνηθισμένο υλικό σωλήνωσης	Συνηθισμένη χρήση	Παροχή m ³ /ώρα	Παρατηρήσεις
Χειροκίνητος εδαφολήπτης Auger	Άργιλος ήλις άμμος χαλίκια μικρότερα από 2 cm	2-9	10	5-20	Μεταλλικό έλασμα	Οικιακή στράγγιση	0,5-10	Αποδίδει καλά στην άργιλο, δεν χρησιμοποιείται για χαλίκια διαμέτρου >2cm. Χρειάζεται προσωρινή σωλήνωση στα χαλαρά υλικά.
Μηχανοκίνητος εδαφολήπτης Auger	Άργιλος ήλις άμμος χαλίκια διαμέτρου <5 cm	2-15	25	15-90	Τσιμέντο ή μεταλλική σωλήνωση	Οικιακή άρδευση στράγγιση	0,5-20	Ομοίως. Περιορισμός τα χαλίκια άνω των 5cm.
Σωληνωτά φρέατα	ήλις άμμος χαλίκια διαμέτρου <5 cm	2-5	15	3-10	Μεταλλικοί σωλήνες	Οικιακή στράγγιση	0,5-8	Χρησιμοποιείται μόνο για αβαθείς στάθμες.
Φρέατα εκτόξευσης	ήλις άμμος χαλίκια μικρότερα από 2 cm	2-5	15	4-8	Ομοίως	Ομοίως	0,5-5	Ομοίως
Κρουστική διάτρηση με συρματόσκοινο	Χαλαρά και οποιαδήποτε συνδεμένα πετρώματα	οποιαδήποτε	450	8-60	Σωλήνες χαλύβδινοι ή από σφυρήλατο σίδηρο	Όλες	0,5-650	Προσωρινή σωλήνωση σε χαλαρά υλικά. Αργή μέθοδος.
Περιστροφική διάτρηση	ήλις άμμος χαλίκια μικρότερα από 2 cm. Συνδεμένα μαλακά έως σκληρά πετρώματα.	Ομοίως	450	8-45	Ομοίως ή πλαστικοί	Ομοίως	Ομοίως	Η πιο γρήγορη μέθοδος διάτρησης εκτός των σκληρών πετρωμάτων. Συνήθως δεν χρειάζεται προσωρινή σωλήνωση
Περιστροφική διάτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας	ήλις άμμος χαλίκια κροκάλες	2-30	60	40-120	Ομοίως	Ομοίως	100-850	Κατάλληλες μόνο για μεγάλους διαμέτρους σε χαλαρά υλικά. Απαιτεί πολύ νερό για την διάτρηση.
Περιστροφική κρουστική διάτρηση	ήλις άμμος χαλίκια μικρότερα από 5 cm. Συνδεμένα μαλακά έως σκληρά πετρώματα.	οποιαδήποτε	600	30-50	Ομοίως	Ομοίως	100-650	Πολύ γρήγορη διάτρηση, οικονομική για βαθιές γεωτρήσεις Στο νερό γίνεται προβληματική η χρήση αερόσφυρας ιδιαίτερα αν ο αερόσυμπιεστής δεν είναι πολύ ισχυρός.



Σχήμα 5.6 Παραδείγματα κατασκευής υδρογεωτρήσεων σε χαλαρούς σχηματισμούς (Am. Water Works Assoc., 1967).

Στα Σχήματα 5.6 a και 5.6.b δίνονται παραδείγματα κατασκευής υδρογεωτρήσεων σε χαλαρούς (σχημα 5.6.a) και συμπαγείς (σχημα 5.6.b) σχηματισμούς .

Η επιτυχημένη κατασκευή μιας υδρογεώτρησης εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και γι' αυτό η κατασκευή της πρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε φορά σαν μια ιδιαίτερη περίπτωση.

6. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

6.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι γεωλογικές μέθοδοι έρευνας, που περιλαμβάνουν την ερμηνεία των γεωλογικών δεδομένων και έρευνα στο πεδίο, αποτελούν ένα σημαντικό πρώτο βήμα σε οποιαδήποτε υδρογεωλογική έρευνα. Η χρησιμοποίηση των τηλεμετρικών τεχνικών από αεροπλάνο και δορυφόρους κυρίως αποκτούν συνεχώς μεγαλύτερη σημασία για την κατανόηση των υδρογεωλογικών συνθηκών. Από την άλλη μεριά, οι γεωφυσικές τεχνικές, ιδιαίτερα η γεωηλεκτρική και η σεισμική διάθλαση, δίνουν έμμεσες μόνο υδρογεωλογικές πληροφορίες, οι οποίες πρέπει να συνδυαστούν με τα στοιχεία της επιφανειακής υδρογεωλογικής έρευνας και με εκείνα των γεωτρητικών εργασιών. Είναι φανερό λοιπόν, ότι μόνη η υδρογεωλογική έρευνα επιφάνειας ή μόνη η υπόγεια υδρογεωλογική έρευνα δεν αρκούν για να αποδώσουν με ακρίβεια τις φυσικές υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο υπέδαφος μιας περιοχής. Χρειάζεται συνδυασμένη χρήση της επιφανειακής, υπόγειας ακόμη και αέριας έρευνας, προκειμένου να καταλήξουμε συχνά σε παραδεκτές λύσεις των υδρογεωλογικών προβλημάτων. Από την άλλη μεριά, η μεθοδολογία της έρευνας προσαρμόζεται στον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών και των πιθανών υδροφόρων που ερευνώνται.

Διακρίνονται υδρογεωλογικά δύο μεγάλες τάξεις γεωλογικών σχηματισμών, ανάλογα με την προέλευση του ενεργού πορώδους και το βαθμό διαγένεσής τους.

- τα συμπαγή πετρώματα (ασβεστόλιθοι - φαμμίτες - μαγματικά πετρώματα κλπ.)
- τα χαλαρά πετρώματα (αλλούβια, παγετώδεις-αιολικές αποθέσεις) .

Ανάλογα με την προέλευση των σχηματισμών διακρίνονται:

— τα μαγματικά (πυριγενή) πετρώματα, τα οποία σχηματίζονται από τη ψύξη και στερεοποίηση λυωμένων υλικών (μίγματος) ,

— τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία σχηματίστηκαν από την απόθεση των υλικών καταστροφής παλιότερων πετρωμάτων (κλαστικά ιζήματα), τα υπολείμματα ζώων και φυτών (οργανογενή ιζήματα) ή την καθίζηση των διαλυμένων στο νερό ουσιών (χημικά ιζήματα),

— τα μεταμορφωμένα πετρώματα, που προέρχονται από τη μετατροπή -κάτω από την επίδραση της θερμοκρασίας και της πίεσης- άλλων πετρωμάτων (ανακρυστάλλωση ορυκτών -τήξη και ανακρυστάλλωση- αλλαγή υφής. κλπ.) .

Ανεξάρτητα όμως από τον τύπο των γεωλογικών σχηματισμών που επικρατούν σε μια περιοχή η υδρογεωλογική έρευνα επιφάνειας περιλαμβάνει τη γεωλογική έρευνα την απογραφή των υδατικών πόρων την τηλεμετρική έρευνα την εφαρμοσμένη γεωμορφολογική έρευνα, τη χαρτογράφηση των υπόγειων νερών και τη γεωφυσική έρευνα.

Πέρα από τα πιο πάνω, η λειτουργία του υδροφόρου είναι βασικό επίσης κριτήριο, για την προσαρμογή της έρευνας.

Οι υδροφοροι ταξινομούνται ανάλογα με την κύρια λειτουργία τους στους εξής τρεις τύπους:

- Υδροφόροι - τύπου συστήματος διήθησης,
- Υδροφόροι - τύπου "αποθήκης",
- Υδροφόροι - τύπου "μεταλλείου".

Στον πρώτο τύπο υδροφόρου, κρίσιμη παράμετρος είναι οι απολήψεις, στον δεύτερο ο λόγος εμπλουτισμός /απολήψεις και στον τρίτο ο εμπλουτισμός είναι ασήμαντος σε σχέση με τις απολήψεις.

Άλλη διακριση μεταξύ υδροφόρων είναι η εξής:

- Υδροφόροι με συντηρούμενη απόδοση, όπου οι εισροές= εκροές.
- Υδροφόροι - μεταλεία, που προορίζονται να εξαντληθούν.
- Υδροφόροι - αγωγοί, που αντικαθιστούν τα κανάλια ή τους επιφανειακούς αγωγούς.

— Υδροφόροι, τροφοδοτούμενοι τεχνητά, από τον άνθρωπο.

6.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

6.2.1 Οι αεροφωτογραφίες

Οι αεροφωτογραφίες από αεροπλάνα ή δορυφόρους, με "χρησιμοποίηση διάφορων ηλεκτρομαγνητικών μηκών κύματος μπορεί να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες, για τις υδρογεωλογικές συνθήκες.

Η στερεοσκοπική εξέταση των ασπρόμαυρων αεροφωτογραφιών έχει γίνει πια εργασία ρουτίνας. Οι διαφορές στο υδρογραφικό δίκτυο, τους χρωματισμούς και το ανάγλυφο δίνουν πληροφορίες για τις διαφορές στη γεωλογική δομή στα εδάφη, στην εδαφική υγρασία, στη βλάστηση και στη χρήση της γης. Με τις αεροφωτογραφίες μπορεί να διακριθούν οι τύποι πετρωμάτων και εδαφών, η υδροπερατότητά τους και η επιφανειακή τους έκταση και να επισημανθούν οι περιοχές τροφοδοσίας και εκροής.

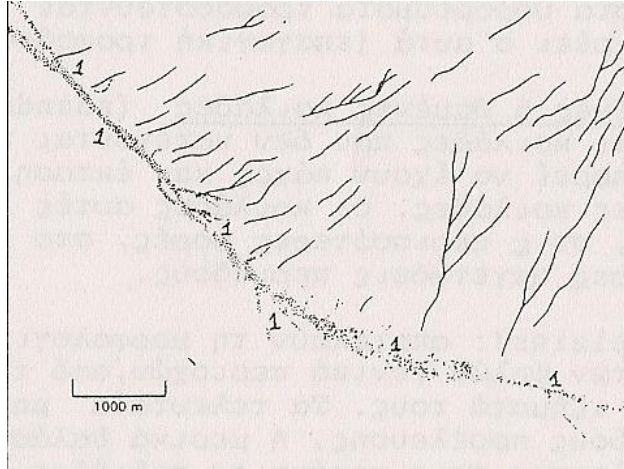
Ο ρόλος των αεροφωτογραφιών στην υδρογεωλογία μπορεί να συνοψιστεί, με βάση τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που μπορούν να αναγνωριστούν στις αεροφωτογραφίες έτσι:

— Τοπογραφία

- Εκτίμηση της διάταξης του ανάγλυφου
- Εκτίμηση τοπικών ανωμαλιών του ανάγλυφου.

— Φρεατόφυτα και υδρόφιλα φυτά (Σχήμα 6.1)

- Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις (αναβαθμίδες-πεδιάδες κατακλύζαμενες)
- Πληρώματα κοιλάδων, εγκαταλειμμένες και θαμμένες κοιλάδες
- Παγετώδεις αποθέσεις . Αλλουβιακοί κώνοι
- Παράκτιες αποθέσεις
- Μερικά μετατοπισμένες κοιλάδες που διακρίνονται σαν μια αλυσίδα επιμηκών κλειστών βυθισμάτων



Σχήμα 6.1 Λουρίδα από φρεατόφυτα (1) κατά μήκος του ποδιού ενός αλουβιακού κώνου σε μια ερημική περιοχή. Στο ανάντη τμήμα της λουρίδας των φρεατόφυτων οι υδρογεωλογικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την κατασκευή ρηχών πηγαδιών (Mann, 1958).

- Καλυμμένες κοιλάδες του υπόβαθρου που διελαύνονται από σύγχρονες κοιλάδες και διακρίνονται από ολισθαίνοντα χαλαρά σχιστολιθικά στρώματα στις παρυφές των κοιλάδων.

- Τοπικά μετατοπισμένες κοιλάδες σε περιοχές με εκτεταμένες εμφανίσεις του υπόβαθρου.

- Θίνες που συχνά καλύπτουν αμμώδη ποταμοπαγετώδη ιζήματα.

- Λίμνες και υδατορρεύματα

- Πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου

- Εντοπισμός αύξησης ή μείωσης της επιφανειακής απορροής.

- Εντοπισμός σωμάτων επιφανειακού νερού διαλείπουσας λειτουργίας (διαλείπουσες πηγές, λίμνες, υδρορρεύματα).

- Περιοχές αυξημένης υγρασίας

- Τελματώδη περιβάλλοντα, ταπεινώσεις με υγρασία

- αλατούχες περιοχές.

- Πηγές

- Εντοπισμός και τύπος πηγών

— Έργα υδροληψίας και μεταφοράς νερού

- Πηγάδια - υδρογεωτρήσεις
- Καλλιεργημένες πηγές
- Τεχνητές λίμνες
- Κανάλια

Οι αεροφωτογραφίες είναι ίσως το καλύτερο μέσο εντοπισμού των μηχανικών ασυνεχειών (ρωγμές, ρήγματα), που συνδέονται με το πορώδες και την υδραυλική αγωγιμότητα και τελικά με την παροχή των πηγαδιών, ενώ μπορεί να κατασκευαστούν χάρτες ταξινόμησης της περιοχής σε καλής, μέτριας και κακής υδροφορίας ή απόδοσης υπόγειου νερού.

Η παρουσία πηγών και τελμάτων υποδηλώνει ρηχούς υδροφόρους. Τα φρεατόφυτά (Πίνακας 6.1), που χρησιμοποιούν νερό από ρηχούς υδροφόρους, δείχνουν τα βάθη των υδροφόρων στρωμάτων (Σχήμα 6.1). Τα αλόφυτα, φυτά ανθεκτικά σε ψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένων αλάτων και λευκές αλατούχες κηλίδες στην επιφάνεια, δείχνουν την παρουσία ρηχών υφάλμυρων ή αλμυρών υδροφόρων.

Πίνακας 6.1 Η χρησιμοποίηση νερού από τα φρεατόφυτα (Robinson, 1958)

Κοινή Ονομασία	Επιστημονική Ονομασία	Κλίμα	Μέγιστο βάθος λήψης νερού	Ετήσια κατανάλωση νερού cm
Αρμυρίκια	Tamarix Sacrobatus	Ζεστό – ξηρό	123-213	224-270
;	Vermiculatus	Δροσερό–ξηρό	50	66
Ιτιά	Salix	Ζεστό – ξηρό	61	134
Λεύκα	Populus	Ζεστό – ξηρό	220	238
Τριφύλλι	Medicago sativa	Δροσερό–ξηρό	91	80
Σκλήθρο	Alnus	Ζεστό – ξηρό	138	162-113

Τα ξερόφυτα, φυτά της ερήμου που επιζούν με ελάχιστο νερό, μαρτυρούν μεγάλο βάθος της στάθμης των υδροφόρων στρωμάτων.

Η παρουσία, πάντως των φρεατόφυτων δεν εγγυάται τη δυνατότητα απόληψης υπόγειου νερού γιατί συχνά αυτά παίρνουν το νερό που χρειάζονται από κορεσμένες αργίλους και ιλεις.

Αξιόλογες είναι επίσης οι υδρογεωλογικές πληροφορίες που παρίνονται από τη χρησιμοποίηση μη ορατών τμημάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η φωτογράφιση με υπέρυθρες ακτίνες, που στηρίζεται στο νόμο Stefan-Boltzmann, καταγράφει διαφορές της φαινόμενης επιφανειακής θερμοκρασίας της τάξης των $0,02^{\circ}\text{C}$, επιτρέπει τον εντοπισμό περιοχών αυξημένης υγρασίας, κυκλοφορίας υπόγειων νερών, πηγών, περιοχών θερμικής μόλυνσης, υδραυλικών ορίων (θετικών και αρνητικών) και ρηγμάτων καθώς και υποθαλάσσιων πηγών σε περιοχές καρστικές ή βασαλτικές.

Η συμβολή της φωτογεωλογίας είναι σημαντική, ιδιαίτερα στη διάκριση των διαφόρων υδροφόρων σε αλλουβιακές αποθέσεις.

Επίσης υπάρχει διάκριση στους πιο κάτω τύπους υδροφόρων των χαλαρών σχηματισμούς:

— Υδρορεύματα: περιλαμβάνουν την κοίτη του υδρορεύματος, μαζί με το υπόγειο νερό στις αλλουβιακές αποθέσεις που υπόκειται της κοίτης. Σχηματίζει τις κοιλάδες που περιβάλλουν τα υδρορεύματα, οι οποίες κατακλύζονται από τα τελευταία. Τα πηγάδια στα υδρορεύματα τροφοδοτούνται από το επιφανειακό νερό που ρέει σ'αυτά (επαγωγική τροφοδοσία).

— Εγκαταλειμμένες ή θαμμένες κοιλάδες: είναι κοιλάδες που δεν κατέχονται πια από το υδρόρευμα, όμως μπορεί να έχουν πάχος και έκταση μεγαλύτερα από τις σύγχρονες κοιλάδες. Οι κοιλάδες αυτές εγκαταλείφθηκαν ή θάφτηκαν, στις περισσότερες φορές, στο Πλειστόκαινο κατά τις διάφορες παγετώδεις περιόδους.

— Πεδιάδες : αποτελούν τη μορφολογική προέκταση των βουνών ή των ψηλών γενικά περιοχών, από τις οποίες έχουν προέλθει τα ιζήματα τους. Τα τελευταία μπορεί να είναι ποταμοχειμαρρώδους προέλευσης, ή μερικά θαλάσσια

και μερικά ποτάμιας προέλευσης στις παράκτιες πεδιάδες. Οι υδροφόροι εδώ τροφοδοτούνται άμεσα από τις βροχές. Η κοκκομετρία των σχηματισμών ελαττώνεται από τα ανάντη προς τα κατάντη.

— Εσωτερικές κοιλάδες: είναι κοιλάδες που περιβάλλονται από οροσειρές και τροφοδοτούνται με κλαστικά υλικά από τις τελευταίες. Η τροφοδοσία των υδροφόρων γίνεται μερικά από την κατείσδυση της βροχής, κυρίως όμως από τη διήθηση από τα υδρορρέυματα, μέσω των αλλουβιακών κώνων που μεσολαβούν ανάμεσα στη βάση των βουνών και το δάπεδο των κοιλάδων.

Η χρησιμοποίηση του ραντάρ και η λήψη εικόνων μ' αυτό, δίνει πληροφορίες για την παρουσία υγρασίας στην επιφάνεια ή σε μικρά βάθη. Η αερογεωφυσική έρευνα με χρησιμοποίηση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μικρής συχνότητας δίνει πληροφορίες για θαμένα κανάλια και ζώνες διείσδυσης της θάλασσας. Τέλος, η εκτέλεση σπινθηρομετρήσεων για τον προσδιορισμό εκπομπής αερίου ραδονίου δίνει πληροφορίες εντοπισμού ενεργών διαρρήξεων.

6.2.2 Τεχνικές Τηλεπισκόπησης

Στην υδρογεωλογία αποτελούν ένα ακόμα όργανο για την διευκρίνιση των γεωλογικών συνθηκών και μερικών, υδρογεωλογικά σημαντικών, λεπτομερειών (ρήγματα, ρωγματομένες ζώνες, " έγκαταλειμμένες κοιλάδες και υποθαλάσσιες πηγές).

Το κύριο πλεονέκτημα των τεχνικών αυτών, είναι η παροχή πληροφοριών για δυσπρόσιτες περιοχές. Έτσι, η σημασία τους στην υδρογεωλογία εξακολουθεί να παραμένει περιορισμένη γιατί στις δυσπρόσιτες περιοχές οι ανάγκες σε νερό είναι γενικά μικρές.

Οι τηλεμετρικές τεχνικές πρέπει να θεωρούνται σαν συμπληρωματικές γεωφυσικές μέθοδοι.

Κατά τις τηλεμετρικές μεθόδους συλλέγονται στοιχεία με τη βοήθεια αερομεταφερόμενων οργάνων ή οργάνων που βρίσκονται σε δορυφόρους.

Η τεχνική εικονοληψίας αντικαθιστά το φωτογραφικό φιλμ με δέκτες οι οποίοι μετατρέπουν την ακτινοβολία που φτάνει σ'αυτούς σε ηλεκτρικά σήματα. Κάθε δέκτης αντιδρά σε καθορισμένο διάστημα του φάσματος, από την περιοχή της υπεριώδους μέχρι εκείνη της θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Μια διάταξη σάρωσης κατευθύνει τους δέκτες σε διαδοχικά σημεία της περιοχής μελέτης. Τα ηλεκτρικά σήματα αποθηκεύονται σε μαγνητοταινίες και στη συνέχεια μετατρέπονται σε ένα ψηφιακό ολοκληρωμένο μωσαϊκό διάγραμμα (εικόνα) της περιοχής. Για την διευκόλυνση της ερμηνείας τα διαγράμματα (ψηφιακά μωσαϊκά) μετατρέπονται σε ασπρόμαυρες ή έγχρωμες εικόνες.

Στις εικονοληψίες από δορυφόρο τα ηλεκτρικά σήματα μεταβιβάζονται σε δορυφορικούς σταθμούς όπου καταγράφονται. Οι διαθέσιμες στο εμπόριο εικόνες LANDSAT απεικονίζουν, καθεμιά, μια περιοχή περίπου από 80 x 60 m με ένα σημείο. Μια πλήρης εικόνα LANDSAT καλύπτει 34.225 km² δηλαδή τετράγωνο πλευράς 185 x 185 km. Έτσι, είναι δυνατός ο συσχετισμός χαρακτηριστικών τα οποία δεν παρουσιάζονται στις αεροφωτογραφίες που έχουν μεγαλύτερη κλίμακα.

Μεγάλες εφαρμογές έχουν βρει τελευταία οι εικόνες με θερμικές υπέρυθρες ακτινοβολίες που παίρνονται με αεροπλάνα ή δορυφόρους, κυρίως στη χαρτογράφηση υποθαλάσσιων πηγών, περιοχών θερμικής μόλυνσης κλπ. Δοθέντος ότι η ευαισθησία της μεθόδου ανέρχεται σε 0,02 °C.

Οι τεχνικές ενεργητικής τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούν τεχνικές πηγές ενέργειας όπως π.χ. ακτίνες από ραντάρ. Η μέθοδος SLAR κατά την οποία χρησιμοποιείται αερομεταφερόμενο ραντάρ, δίνει εικόνες ακόμα και σε δυσμενείς ατμοσφαιρικές συνθήκες και τονίζει τα τοπογραφικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Οι εφαρμογές των μεθόδων τηλεπισκόπησης στους φυσικούς πόρους είναι πολύ μεγάλες και εξακολουθούν να διευρύνονται συνεχώς. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι ότι δίνουν πληροφορίες από μεγάλες περιοχές χωρίς να εμποδίζονται από τις δυσκολίες της πρόσβασης. Οι εικόνες από δορυφόρους

έχουν επί πλέον το πλεονέκτημα να προειδοποιούν για την άφιξη παροδικών φαινομένων όπως οι πλημμύρες, οι χιονοκαλύψεις οι ξηρασίες, οι εκρήξεις ηφαιστίων κλπ., δοθέντος ότι ο δορυφόρος περνά από τα σημεία της προκαθορισμένης τροχιάς του ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π. χ. ο δορυφόρος LANDSAT ανά 18 ημέρες). Τα πλεονεκτήματα όμως αυτά έχουν μικρή χρησιμότητα στην υδρογεωλογική έρευνα, εκτός από την αρχική φάση της, και σε πολύ περιορισμένες περιπτώσεις. Το μάτι του γεωλόγου εξακολουθεί να παραμένει το καλύτερο εργαλείο για την υδρογεωλογική έρευνα.

6.3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η γεωφυσική έρευνα στηρίζεται στη μέτρηση της μεταβολής των φυσικών ιδιοτήτων του φλοιού της γης. Οι γεωφυσικές μέθοδοι αποκαλύπτουν τις ανωμαλίες των φυσικών ιδιοτήτων (πυκνότητα, μαγνητικές, ελαστικές και ηλεκτρικές ιδιότητες) στο φλοιό. Οι γεωφυσικές μέθοδοι και οι εφαρμογές τους δίνονται στον Πίνακα 6.2

Οι τεχνικές επιφανειακών γεωφυσικών, αποτελούν έμμεση μέθοδο έρευνας. Δεν υπάρχει τεχνική που να μπορεί να δείξει άμεσα την παρουσία εκμεταλλεύσιμου υπόγειου νερού στο υπέδαφος. Μερικές μέθοδοι μπορεί να βοηθήσουν στον κατά προσέγγιση προσδιορισμό του βάθους της στάθμης του υπόγειου νερού, όμως η χρήση τους αυτή αντεδείκνυται οικονομικά. Η επιτυχημένη εφαρμογή της επιφανειακής γεωφυσικής έρευνας, εξαρτιέται από τη σωστή επιλογή της μεθόδου ή συνδυασμού μεθόδων.

Πριν την εφαρμογή της επιφανειακής γεωφυσικής έρευνας, θα πρέπει να εξαντλείται η δυνατότητα διευκρίνισης της γεωλογικής κατασκευής της περιοχής, με άμεση επιφανειακή και υπόγεια γεωλογική έρευνα και παρατήρηση.

Χωρίς κάποια βάση για συσχετισμούς, με δεδομένα από την επιφανειακή γεωλογία και γεωτρήσεις, η ερμηνεία της επιφανειακής γεωφυσικής έρευνας παραμένει αμφίβολη.

Πίνακας 6.2 Γεωφυσικές μέθοδοι και μετρούμενες παράμετροι (Castany 1968)

Μέθοδος		Φυσικές ιδιότητες που μετριοούνται
στο έδαφος	στον αέρα	
Ηλεκτρική		Ηλεκτρική αντίσταση
Ηλεκτρομαγνητική	Ηλεκτρομαγνητική αερομεταφερόμενη	Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο
Τελλουρική Ιδίου		Ιονισμός
Προκαλούμενου Δυναμικού		Διαφορά του φυσικού δυναμικού
Δυναμικού		Διαφορά του προκαλούμενου δυναμικού
Σεισμική Υπερηχητική		Ταχύτητα μετάδοσης σεισμικών κυμάτων
Μαγνητική	Αερομαγνητική	Μαγνητική επιδεκτικότητα
Βαρυτομετρική		Επιτάχυνση της βαρύτητας, πυκνότητα
Θερμομετρική		Θερμοκρασία
Ραδιενεργή	Αεροραδιομετρική	Ραδιενέργεια

Καμιά γεωφυσική μέθοδος έρευνας, δεν αποτελεί, μόνη αυτή, πανάκεια για την λύση όλων των πιθανών προβλημάτων. Η μεγάλη τους αξία εντοπίζεται κυρίως σε περιοχές όπου ένας μανδύας έξαλλοίωσης, ή αλλούβια καλύπτουν βαθύτερα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά (αλλουβιακά πεδία, αλλουβιακές κοιλάδες κλπ.) Αντίθετα στις λοφώδης περιοχές, οι γεωφυσικές τεχνικές προσφέρουν λιγότερες πληροφορίες. Περιορισμένη είναι επίσης η αξία τους σε βάθη και σχηματισμούς όπου οι γεωφυσικές αντιθέσεις ανάμεσα σε υδροφόρα και άνυδρα είναι ασήμαντες .

Οι γεωφυσικές έρευνες αποτελούν, συχνά, ένα από τα πιο δαπανηρά τμήματα εργασιών ενός υδρογεωλογικού προγράμματος. Όμως είναι δυνατόν να προκύψει σημαντική οικονομία από τον περιορισμό των ερευνητικών γεωτρήσεων και την λήψη πληροφοριών σε σχετικά βραχύ χρονικό διάστημα.

Τα στοιχεία που μπορούν να εκτιμηθούν με τις διάφορες γεωφυσικές μεθόδους είναι:

— το βάθος της επαφής ανάμεσα σε στρώματα διαφορετικών υδρογεωλογικών ιδιοτήτων.

— το βάθος υδρογεωλογικών συνόρων.

— οι οριζόντιες μεταβολές των υδρογεωλογικών ιδιοτήτων (φασικές μεταβολές κλπ.).

— εντοπισμός κατακόρυφων γεωλογικών ασυνεχειών.

— το πάχος των υδροφόρων και στεγανών σχηματισμών.

— εκτίμηση της υδροπερατότητας.

— η αλατότητα του υπόγειου νερού.

Οι πιο διαδομένες στην υδρογεωλογική έρευνα μέθοδοι είναι της ηλεκτρικής αντίστασης, της σεισμικής διάθλασης, η βαρυτομετρική, η μαγνητική και ηλεκτρομαγνητική μέθοδοι.

6.3.1 Η Μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης

Συνίσταται στη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων από την επιφάνεια του εδάφους. Η ηλεκτρική αντίσταση ενός σχηματισμού ή πετρώματος, περιορίζει το ποσό του ηλεκτρικού ρεύματος, που περνάει μέσα από το σχηματισμό ή το πέτρωμα, όταν εφαρμοστεί ένα ηλεκτρικό δυναμικό. Μπορεί να οριστεί σαν η αντίσταση, σε Ohms , μεταξύ δύο απέναντι πλευρών ενός μοναδιαίου κύβου από το υλικό. Αν το υλικό, αντίστασης R , έχει διατομή A και μήκος L η ειδική του αντίσταση σε ohms.m²/m ή ohms.m δίνεται από τη σχέση

$$\rho = RA/L. \quad (6.1)$$

Η ειδική αντίσταση εξαρτάται:

α) από τη λιθολογία του σχηματισμού, οι ασβεστόλιθοι έχουν $\rho = 100-5000$ ohms.m, οι ψαμμίτες 60-10000, οι χαλαζίτες 20000 και το αλάτι $1 \cdot 10^{15}$ ohms.m.

β) από την περιεκτικότητα σε νερό των σχηματισμών

π.χ. η ρ της υγρής άμμου κυμαίνεται από 60 μέχρι 20.000 ohms.m. Η κορεσμένη αντίθετα άμμος έχει ρ μεταξύ 50 και 100 ohms.m. Όμως, το ποσό του

νερού που περιέχει ένα υλικό είναι συνάρτηση του πορώδους του και κατά συνέπεια και η ρ είναι συνάρτηση αυτού, όπως δείχνει ο Πίνακας 6.3.

γ) από το χημισμό του νερού που περιέχει στο σχηματισμό

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3 Μεταβολή της ειδικής αντίστασης με το πορώδες (Castany, 1968)

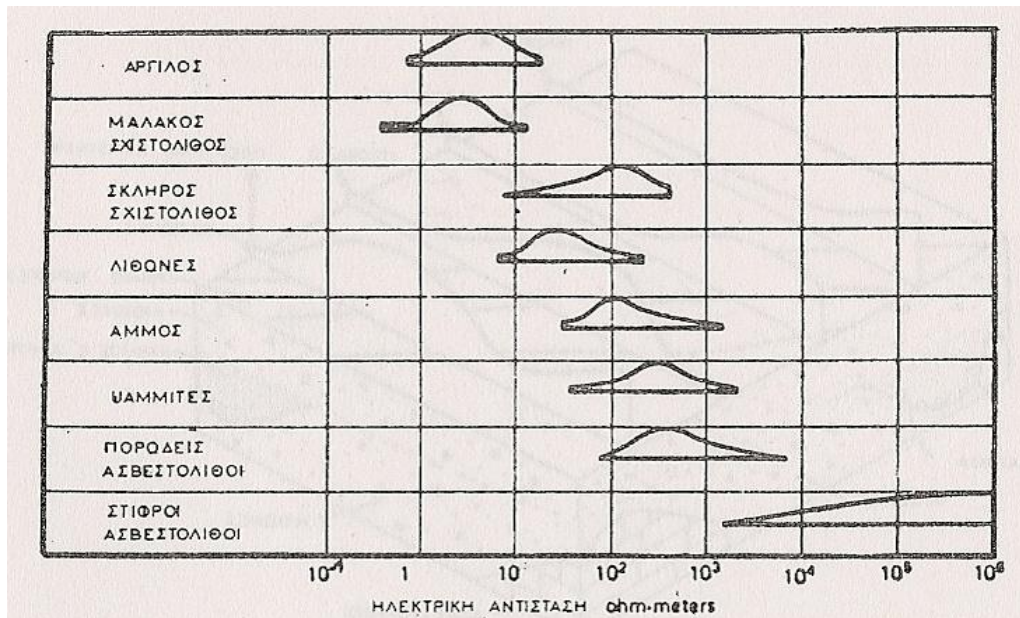
Υλικό	Πορώδες %	ρ σε ohm.m
Αμμούχο έδαφος	40-75	1,5-4
Πλαστική άργιλος Ασβεστολιθική άμμος Δολομίτης	15-40	3-20
Άργιλος	8-15	20-40
Ασβεστόλιθοι- φαμμίτες	3-40	50-10

Έτσι, η ρ του νερού με TDS 700 mg/l είναι 1,80 ohms.m ενώ με TDS 1200 mg/l είναι μόνο 0,60 ohms.m .Το πόσιμο νερό έχει ρ 55 ohms.m , ενώ το θαλασσινό νερό έχει ρ μεταξύ 0,18 και 0,23 ohms.m .

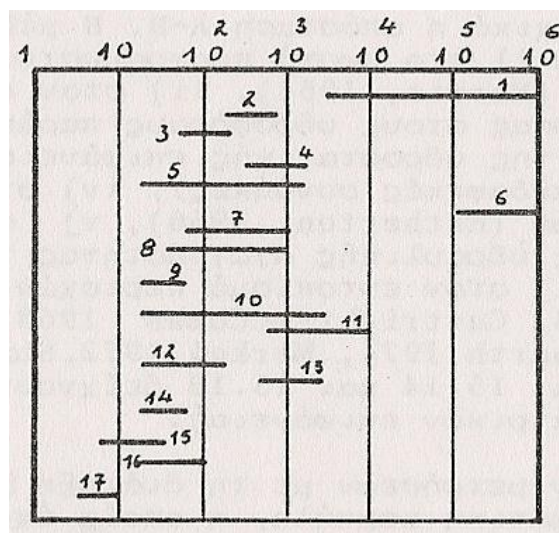
Άλλοι παράγοντες που ελέγχουν την ρ είναι η πυκνότητα του υλικού, το μέγεθος και το σχήμα των πόρων και η θερμοκρασία. Τα μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν τιμές ειδικής αντίστασης της τάξης των $10^2 - 10^8$ ohms.m), ενώ τα ιζηματογενή και τα χαλαρά υλικά έχουν $\rho = 10^0 - 10^4$ ohms.m (σχημα. 6.2 και 6.3).

Στους σχετικά πορώδεις σχηματισμούς η ρ ελέγχεται πιο πολύ από το νερό, που περιέχεται στους σχηματισμούς, και την ποιότητα του, παρά από την αντίσταση του ίδιου του πετρώματος. Στους υδροφόρους που αποτελούνται από χαλαρά υλικά, η αντίσταση ελαττώνεται με το βαθμό κορεσμού και την αλμυρότητα του υπόγειου νερού.

Τα αργιλικά ορυκτά έχουν καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα γι' αυτο οι αργιλικοί σχηματισμοί έχουν μικρή ειδική αντίσταση (5-10 ohms.m) σε σχέση με τους υδροφόρους σχηματισμούς (25-300 ohms.m) .



Σχημα 6.2 Όρια κύμανσης της ηλεκτρικής αντίστασης (Η.Α.) για διάφορους σχηματισμούς οι τιμές της Η.Α. είναι για συνθήκες κορεσμού με γλυκό νερό' κορεσμός με αλμυρό νερό προκαλεί μετατόπιση των τιμών, τουλάχιστο κατά μια τάξη μεγέθους προς τα αριστερά (Amer. Soc. Civil Engrs., 1972).



Σχημα 6.3 Κυμάνσεις της ηλεκτρικής αντίστασης σε ohms.m μερικών ομάδων πετρωμάτων (Mandel-Shiftan 1981, με τροποποιήσεις). 1. Μαγματίτες διείδυσης (γρανίτες, διορίτες, γάββροι) και Μεταμορφίτες (σχιστόλιθοι, γνεύσιοι. κλπ.) φρέσκοι, 2. όπως οι 1 αλλά αποσαθρωμένοι στεγνοί, 3. όπως οι 2 αλλά υγροί, 4. στεγνοί βασάλτες, 5. φρέσκοι βασάλτες υδροφόροι, 6. στυφροί ασβεστόλιθοι, 7. ασβεστόλιθοι και δολομίτες υδροφόροι, 8. στεγνό και 9. υγρό

ποτάμιο σύναγμα και χαλίκια απόπλυσης παγετώνων, 10. ψαμμίτες, 11. στεγνές και 12. υγρές χαλαρές άμμοι, 13. στεγνά και 14. υγρά αδιβάθητα αλλούβια και λιθώνες, 15.κιμωλία, 16, στεγνή και 17.υγρή άργιλος.

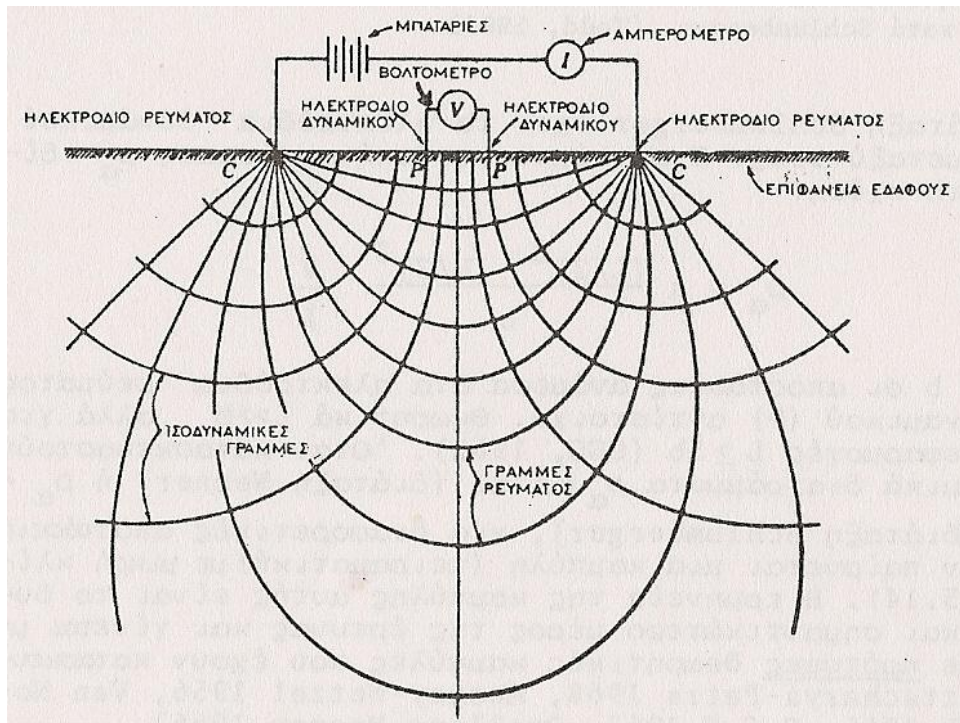
Οι πραγματικές αντιστάσεις προσδιορίζονται από τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες υπολογίζονται από μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού και έντασης του ρεύματος σε ζεύγη ηλεκτροδίων που τοποθετούνται στην επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 6.4). Η όλη διαδικασία συνίσταται στη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού σε δύο ηλεκτρόδια (P), που προκύπτει από τη διαβίβαση ρεύματος από δυο άλλα ηλεκτρόδια (C), εξωτερικά σε σχέση με τα προηγούμενα. Οι μετρούμενες διαφορές έντασης και δυναμικού δίνουν μια φαινόμενη αντίσταση σ'ένα ακαθόριστο βάθος. Τα ηλεκτρόδια διατάσσονται είτε κατά Wenner είτε κατά Schlumberger (Σχήμα 6.5). Στη διάταξη Wenner η φαινόμενη ειδική αντίσταση ρ δίνεται από τη σχέση :

$$\rho = 2 \pi a V/I \quad (6.2)$$

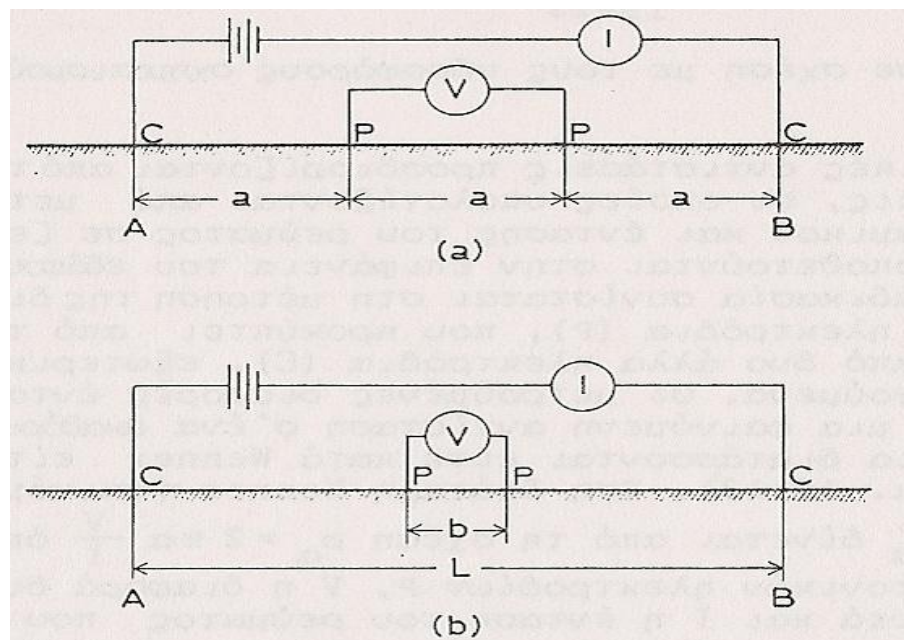
όπου a η απόσταση δυο γειτονικών ηλεκτροδίων

P , V η διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια αυτά και

I η ένταση του ρεύματος που διαβιβάστηκε .



Σχήμα 6.4 Ηλεκτρικό κύκλωμα για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων και ηλεκτρικό πεδίο σε ομογενές υπόγειο στρώμα (Todd, 1980).

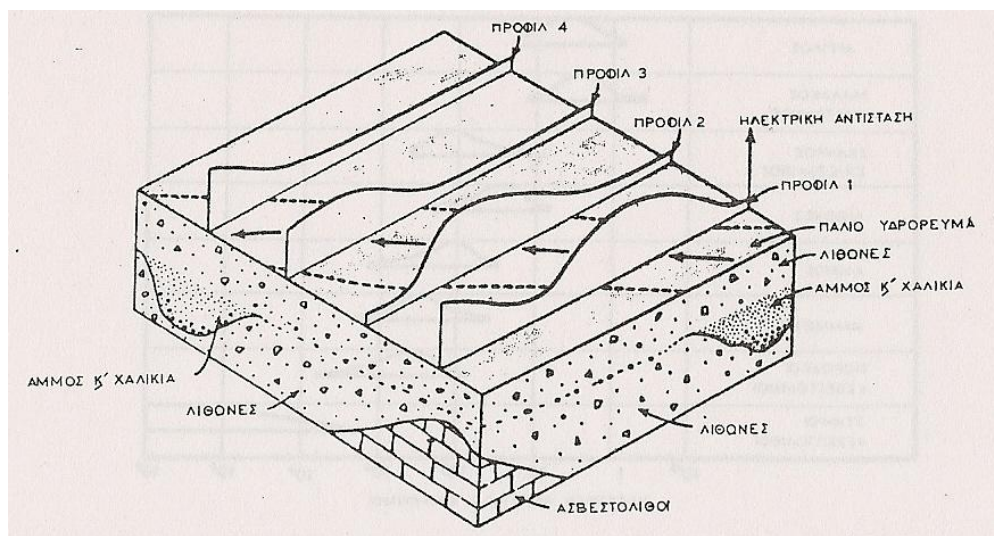


Σχήμα 6.5 Συνηθισμένες διατάξεις ηλεκτροδίων για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αντίστασης" (a) διάταξη κατά Wenner, (b) διάταξη κατά Schlumberger. (Todd, 1980).

Η διάταξη Schlumberger έχει τα ηλεκτρόδια δυναμικού (P) κοντά μεταξύ τους. Η φαινόμενη ειδική αντίσταση r_a δίνεται από τη σχέση:

$$r_a = \pi \frac{(L/2)^2 - (b/2)^2}{b} \frac{V}{I} \quad (6.3)$$

όπου L και b οι αποστάσεις ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ρεύματος (C) και δυναμικού (P) αντίστοιχα. Θεωρητικά $L \gg 5b$ αλλά για πρακτικές εφαρμογές $L \geq 5b$. Όταν κατασκευαστούν τα λογαριθμικά διαγράμματα $r_a = f(\alpha)$ (διάταξη Wenner) ή $\rho = f(L/2)$ (διάταξη Schlumberger), για διαφορετικές αποστάσεις ηλεκτροδίων παίρνεται μια καμπύλη (πειραματική) με μικρή κλίση (σχήμα 6.6). Η ερμηνεία της καμπύλης αυτής είναι το δυσκολότερο και σημαντικότερο μέρος της έρευνας και γίνεται με σύγκριση με πρότυπες θεωρητικές καμπύλες που έχουν κατασκευαστεί



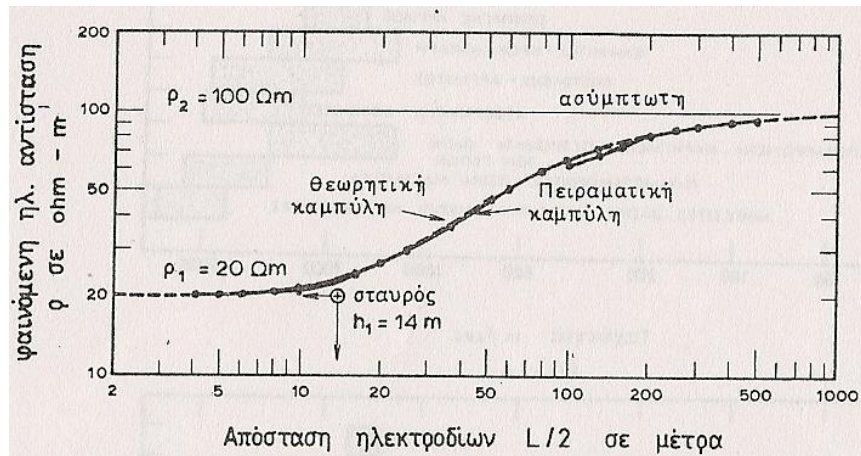
Σχήμα 6.6 Διατομές ηλεκτρικής αντίστασης για τον εντοπισμό θαμμένης (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

κοιλιάδας ανάμεσα σε δύο στρώματα λιθώνων μετά τον πρώτο εντοπισμό πρέπει να γίνουν και διατομές κάθετα στη διεύθυνση της.

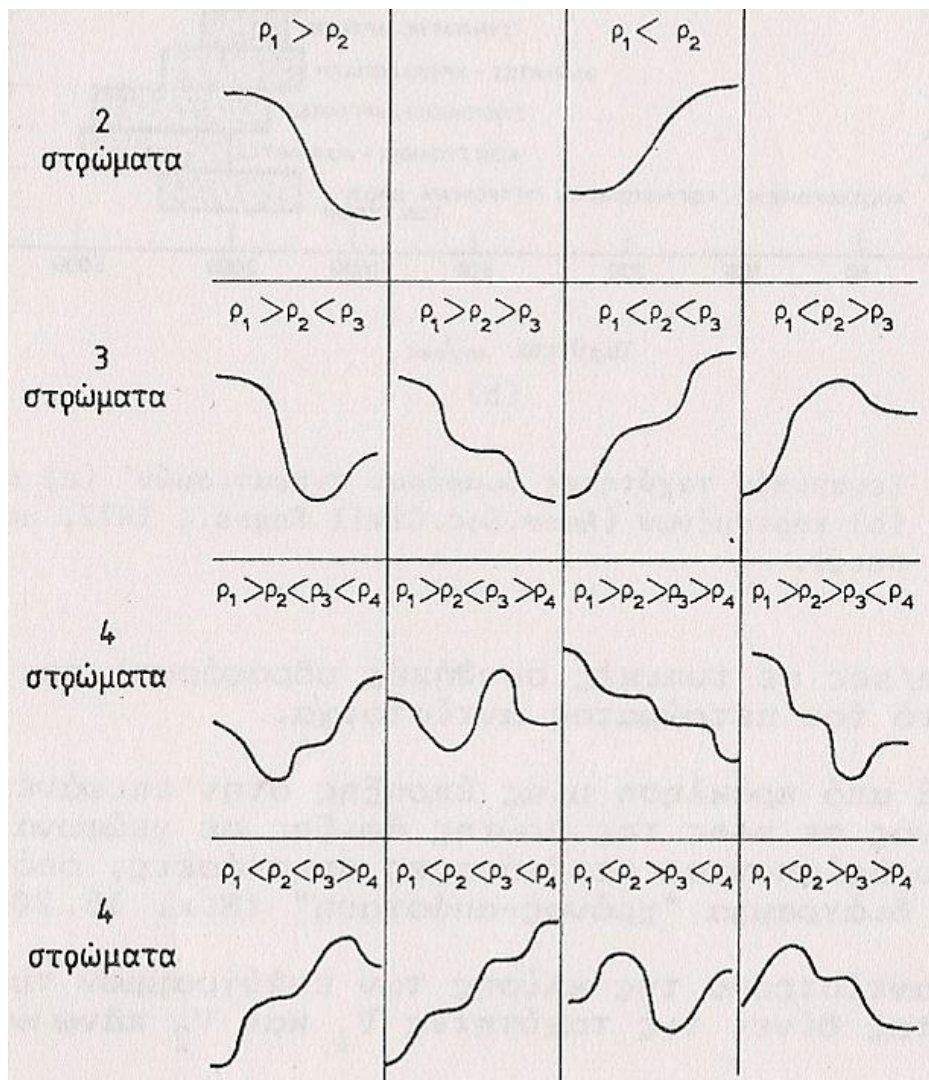
Το βάθος διερεύνησης εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτρόδιων, χωρίς να μεταβάλλεται ανάλογα. Συνήθως, πάντως, το βάθος διερεύνησης είναι το ένα τέταρτο της απόστασης των ηλεκτρόδιων C (απόσταση C-C στην Σχήμα 6.5) που συνήθως ονομάζεται A-B απόσταση. Κατά κανόνα χρησιμοποιείται σταθερή απόσταση a ή b και μετακινούνται διαδοχικά τα ηλεκτρόδια C, δηλαδή αυξάνει διαδοχικά η απόσταση A-B. Η μέθοδος ηλεκτρικής αντίστασης βοηθά :

- i) στο σωστό προγραμματισμό του γεωτρητικού προγράμματος
- ii) στον εντοπισμό της διείσδυσης της θάλασσας στους υδροφόρους παράκτιων περιοχών,
- iii) στον εντοπισμό της υδροστατικής επιφάνειας των υδροφόρων (σε ομογενείς υπεδαφικές συνθήκες),
- iv) στον εντοπισμό γεωθερμικών ανωμαλιών,
- v) στην εκτίμηση του πορώδους και της υδραυλικής αγωγιμότητας των υδροφόρων και
- vi) στον εντοπισμό περιοχών μολυσμένου νερού. Οι Σχήμα 6.6 και 6.10 δείχνουν πρακτικές εφαρμογές των γεωηλεκτρικών επιφανείας.

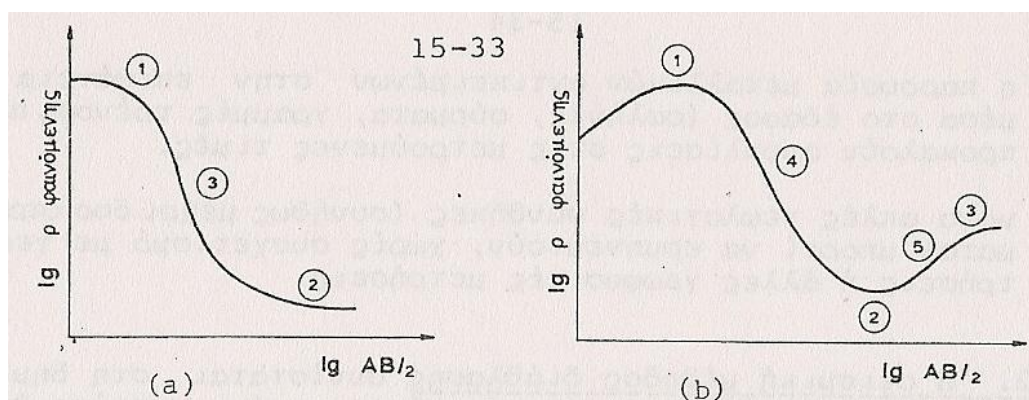
Η ερμηνεία των μετρήσεων με τη διάταξη Schlumberger γίνεται έτσι: Η πειραματική καμπύλη, η οποία έχει κατασκευαστεί σε διαφανές λογαριθμικό χαρτί (σχήμα 6.7) με την ίδια όμως κλίμακα με την οποία είναι κατασκευασμένες οι πρότυπες καμπύλες, φέρεται σε σύμπτωση με διατήρηση της παραλληλίας των αξόνων των διαγραμάτων με μια πρότυπη καμπύλη δύο π.χ. στρωμάτων. Όταν βρεθεί η καλύτερη θέση σύμπτωσης υπολογίζονται οι συντεταγμένες της αρχής της θεωρητικής καμπύλης, δηλαδή του σταυρού. Η τετμημένη του σταυρού δίνει το πάχος του πρώτου στρώματος, ενώ η τεταγμένη δίνει την πραγματική αντίσταση του ίδιου στρώματος. Η ασύμπτωτη του τέλους της καμπύλης με το μέγιστο $L/2$ δίνει την πραγματική αντίσταση του δεύτερου στρώματος. Η καμπύλη αυτή, (Σχήμα 6.7) παριστάνει ένα στρώμα αργίλου που υπέρκειται ενός υδροφόρου από άμμο.



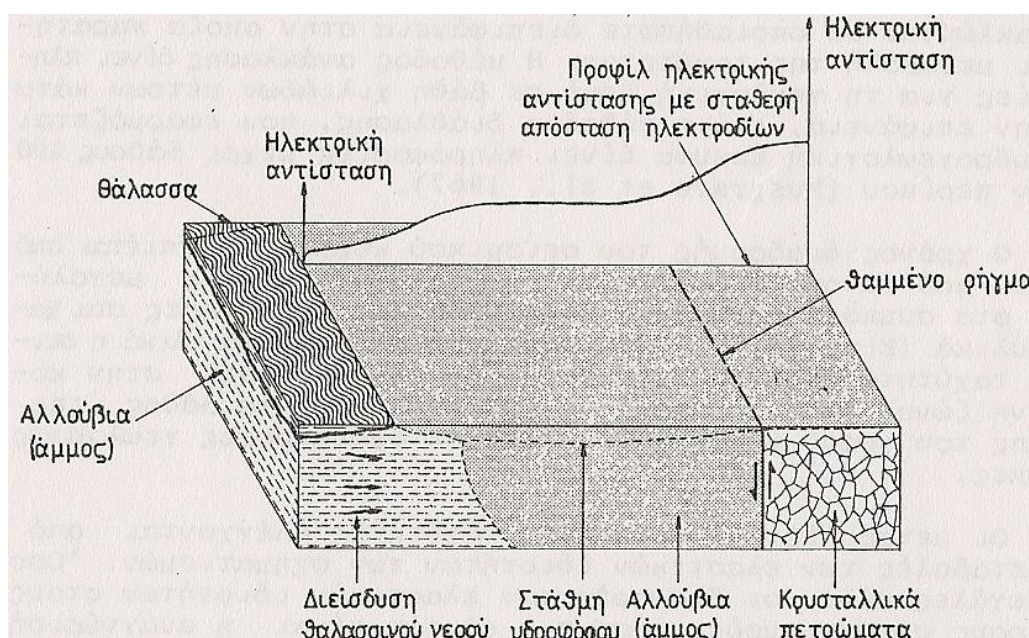
Σχήμα 6.7 Ερμηνεία καμπύλης ηλεκτρικής αντίστασης δύο στρωμάτων με διάταξη Schlumberger (Zondy, 1974).



Σχήμα 6.8 Διαγράμματα γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων για διαφορετικό πλήθος στρωμάτων (Castany, 1968).



Σχήμα 6.9 Διαγράμματα γεωηλεκτρικών διασκοπήσεων (a) δύο στρωμάτων (b) τριών στρωμάτων (Castany, 1968).



Σχήμα 6.10 Γεωηλεκτρικό προφίλ για τη διαπίστωση της μόλυνσης ομογενούς υδροφόρου σε άμμο από τη διείσδυση θαλασσινού νερού. Η έρευνα εντόπισε και ένα θαμμένο ρήγμα (Davis-DeWiest., 1966).

Η διάταξη Wenner έχει το πλεονέκτημα της πιο στενής συσχέτισης της απόστασης των ηλεκτροδίων και του βάθους διερεύνησης. Η διάταξη Schlumberger είναι πιο πρακτική και φτηνή στην εφαρμογή της, ενώ η ερμηνεία των μετρήσεων είναι πιο εύκολη.

Οι βασικοί περιορισμοί στην εφαρμογή της Γεωηλεκτρικής μεθόδου είναι:

— η παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στην επιφάνεια ή μέσα στο έδαφος (σολήνες, σύρματα, γραμμές τρένου), που προκαλούν αποκλίσεις στις μετρούμενες τιμές.

— μόνο απλές γεωλογικές συνθήκες (συνήθως μέχρι δυο στρώματα) μπορεί να ερμηνευτούν, χωρίς συσχετισμό με γεωτρήσεις ή άλλες γεωφυσικές μετρήσεις.

6.3.2 Η σεισμική μέθοδος διάθλασης

Συνίσταται στη δημιουργία μιας μικρής δόνησης στην επιφάνεια, είτε με πτώση βάρους είτε με μικρή έκρηξη και στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται από το ελαστικό (ηχητικό ή σεισμικό) κύμα για να διανύσει μια γνωστή απόσταση. Τα σεισμικά κύματα ακολουθούν τους νόμους διάδοσης του φωτός και μπορούν να διαθλώνται και να ανακλώνται σε οποιαδήποτε διεπιφάνεια στην οποία παρατηρείται μεταβολή της ταχύτητας. Η μέθοδος ανάκλασης δίνει πληροφορίες για τη γεωλογική δομή σε βάθη χιλιάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια, ενώ η μέθοδος διάθλασης, που εφαρμόζεται στην υδρογεωλογική έρευνα δίνει πληροφορίες μέχρι βάθους 100 μέτρων περίπου .

Ο χρόνος διαδρομής του σεισμικού κύματος εξαρτιέται από το μέσο από το οποίο διέρχεται οι ταχύτητες είναι μεγαλύτερες στα συμπαγή μαγματικά πετρώματα και μικρότερες στα χαλαρά υλικά (Σχήμα 6.11). Στα αδρομερή αλλουβιακά υλικά η σεισμική ταχύτητα αυξάνει σημαντικά από την ακόρεστη στην κορεσμένη ζώνη. Έτσι, μπορεί να χαρτογραφηθεί το βάθος της στάθμης του νερού με ακρίβεια $\pm 10\%$ σε ομοιόμορφες γεωλογικές συνθήκες.

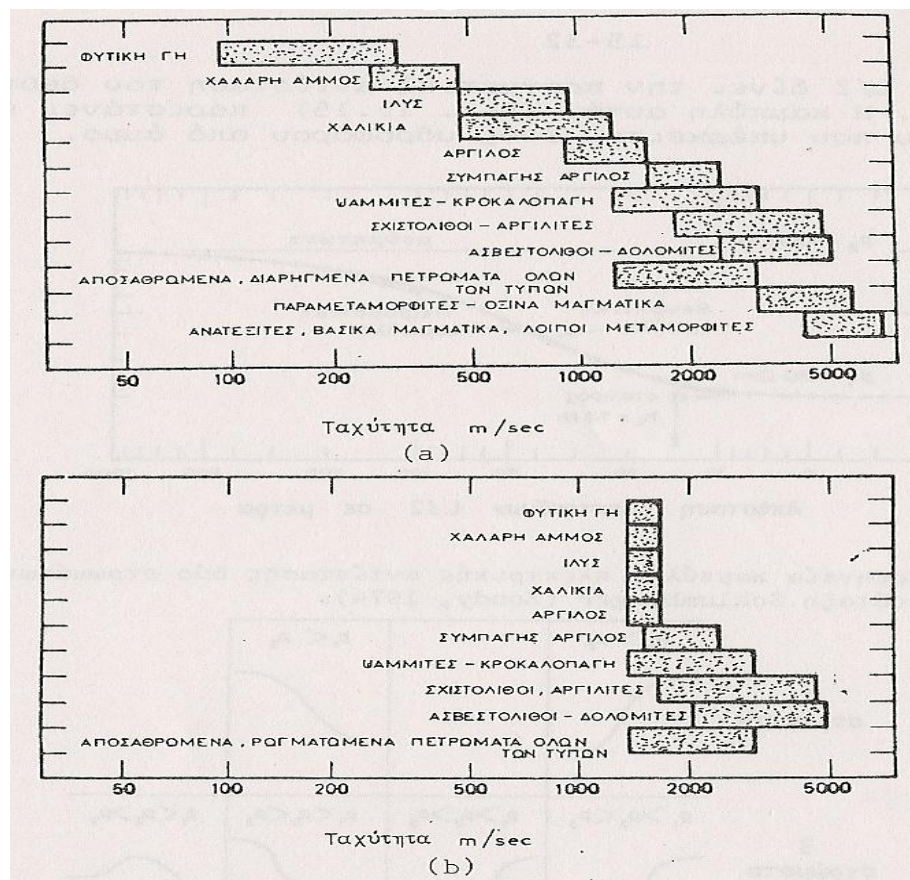
Οι μεταβολές της σεισμικής ταχύτητας ελέγχονται από τις μεταβολές των ελαστικών ιδιοτήτων των σχηματισμών. Όσο πιο μεγάλες είναι οι διαφορές των ελαστικών ιδιοτήτων στους διάφορους σχηματισμούς, τόσο πιο εύκολη είναι η αναγνώριση τους. Στα ιζηματογενή πετρώματα η υφή και η γεωλογική ιστορία

επηρεάζουν περισσότερο την ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων από την ορυκτολογική σύσταση. Το πορώδες τείνει να μειώνει την ταχύτητα των κυμάτων, ενώ το νερό που περιέχεται στο πορώδες τείνει να την αυξήσει.

Στους συμπαγείς σχηματισμούς με ομοιόμορφη κατανομή των μικρών πόρων (π.χ. ψαμμίτες), η ταχύτητα V και το πορώδες a συνδέονται με τη σχέση για οριζόντια στρώματα:

$$\frac{1}{V} = \frac{a}{V_L} + \frac{1-a}{V_S} \quad (6.4)$$

όπου V_L και V_S οι ταχύτητες στο νερό (συνήθως είναι της τάξης 1460 m/sec σε τυπικές συνθήκες υδροφόρων) και στον στερεό σκελετό του πετρώματος αντίστοιχα.

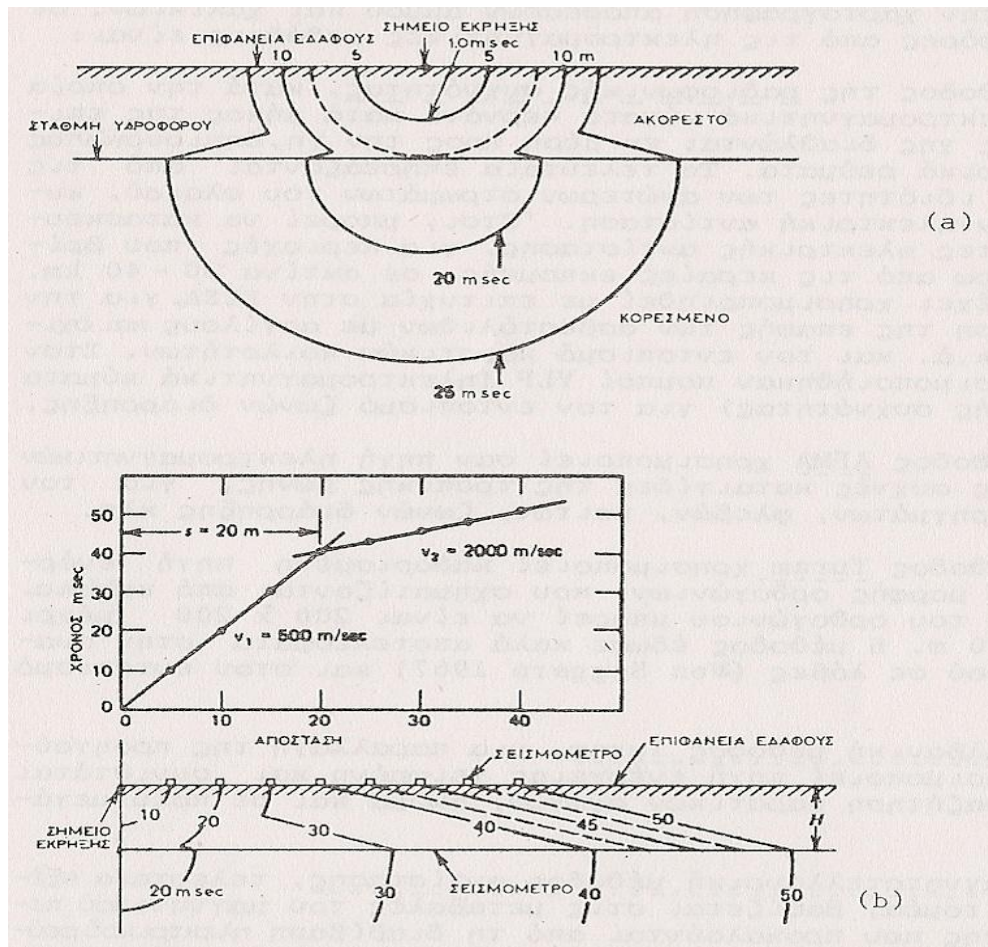


Σχημα 6.11 Σεισμικές ταχύτητες διαφόρων σχηματισμών*

(a) ακόρεστων

(b) κορεσμένων (Amer.Soc. Civil Engrs. , 1972, με τροποποιήσεις).

Μετά από πρόκληση μιας έκρηξης στην επιφάνεια μετριέται ο χρόνος σε m.sec της πρώτης άφιξης σε γεώφωνα (σεισμόμετρα) που βρίσκονται σε διάφορες αποστάσεις, οπότε κατασκευάζεται το διάγραμμα "χρόνος-απόσταση" (σχημα 6.12).



Σχήμα 6.12 Μέθοδος σεισμικής διάθλασης για τον καθορισμό του βάθους της υδροστατικής επιφάνειας (a) Προχώρηση μετώπου σεισμικού κύματος, (b) γραφική απεικόνιση "χρόνος-απόσταση". (Todd, 1980).

Τα αντίστροφα της κλίσης των ευθύγραμμων τμημάτων του διαγράμματος δίνει τις ταχύτητες V_1 και V_2 πάνω και κάτω από τη διεπιφάνεια. Το βάθος H της διεπιφάνειας (π.χ. υδροστατική στάθμη) δίνεται από τη σχέση:

$$H = \frac{S}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}} \quad (6.5)$$

όπου S η απόσταση που τέμνονται τα δυο ευθύγραμμα τμήματα στο διάγραμμα.

Συχνά για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιούνται νομογράμματα. Έχουν αναφερθεί επιτυχημένα αποτελέσματα μέχρι βάθη 300 μ. Για βάθη μέχρι 20 μ. χρησιμοποιείται σφύρα για την πρόκληση της δόνησης.

Οι βασικοί περιορισμοί της μεθόδου είναι:

- το μεγάλο κόστος,
- η αδυναμία εφαρμογής, όταν στρώμα μεγάλης πυκνότητας, δηλαδή μεγάλης σεισμικής ταχύτητας, υπέρκειται στρώματος μικρότερης πυκνότητας, δηλαδή μικρότερης ταχύτητας.

Η σεισμική μέθοδος διάθλασης δίνει ακριβή ποσοτικά στοιχεία, ακριβέστερα της γεωηλεκτρικής μεθόδου, π.χ. το ακριβές βάθος της υδροστατικής στάθμης, το πάχος του υδροφόρου τις πλευρικές μεταβάσεις της λιθολογίας κ.ά. Προσφέρεται για έναν γρήγορο καθορισμό των περιοχών που έχουν δυσμενείς υδρογεωλογικές συνθήκες.

6.3.3 Βαρυτομετρικές μέθοδοι

Οι βαρυμετρικές μέθοδοι μετρούν και ερμηνεύουν μικρές ανωμαλίες της δύναμης της βαρύτητας που ασκείται από τη γη και οφείλονται στη διαφορά πυκνότητας των γεωλογικών σχηματισμών που αποτελούν το υπέδαφος. Μονάδα μέτρησης είναι το gal που εκφράζει επιτάχυνση ίση με 1 cm/sec^2 . Το πεδίο βαρύτητας της γης στο επίπεδο της θάλασσας έχει μέγεθος 981 gals. Οι ανωμαλίες που ενδιαφέρουν τη βαρομετρική μέθοδο σπάνια ξεπερνούν το 1-2 mgals (10^{-3} gals). Τα βαρυτόμετρα με τα οποία μετριοούνται οι βαρυμετρικές ανωμαλίες έχουν ακρίβεια $\pm 0,02$ mgals

Οι μετρήσεις πρέπει να διορθώνονται ως προς την επίδραση:

i) της διαφορετικής απόστασης κάθε στάσης (σταθμού) μέτρησης από το κέντρο της γης (διόρθωση ελεύθερου αέρα), δηλαδή της απόστασης ανάμεσα στο επίπεδο αναφοράς και στη στάθμη της θάλασσας,

ii) του υλικού του φλοιού που μεσολαβεί ανάμεσα στο υψόμετρο της στάσης και το επίπεδο αναφοράς,

iii) της τοπογραφικής διαμόρφωσης (τοπογραφική διόρθωση), -δηλαδή της διαφοράς ανάγλυφου, των διαφόρων στάσεων- όπως θα προέκυπτε αν αφαιρούνταν οι λόφοι και αν γέμιζαν με υλικό οι κοιλάδες ώστε να διαμορφωθεί επίπεδη τοπογραφία και

iv) του διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους κάθε στάσης.

Οι διορθώσεις (i) και (ii) συνδυασμένες αναφέρονται σαν διορθώσεις υψομέτρου

Για τις διορθώσεις αυτές απαιτείται χωροστάθμιση των στάσεων με ακρίβεια ± 5 cm.

Μετά τις διορθώσεις αυτές κατασκευάζεται, χάρτης ίσων ανωμαλιών, ο οποίος στην ουσία αντανακλά τις τοπικές δομές στο βάθος. Η παραπέρα ανάλυση είναι απαραίτητη, προκειμένου να διαχωριστεί η επίδραση της πυκνότητας των πετρωμάτων κοντά στην επιφάνεια, από τις τοπικές ανωμαλίες. Αυτή γίνεται με γραφικές και αριθμητικές μεθόδους.

Οι διαφορές στην πυκνότητα, ανάμεσα στα ιζηματογενή πετρώματα, είναι μικρές και με μεγάλο εύρος επικάλυψης.

Παράλληλα η πυκνότητα του ίδιου πετρώματος αυξάνει με το βάθος και με τη γεωλογική ηλικία. Επίσης η πυκνότητα επηρεάζεται σημαντικά από το πορώδες, με αποτέλεσμα τα πετρώματα μικρής πυκνότητας να συγχέονται συχνά με πιθανούς υδροφόρους. Η διαφορά πυκνότητας ανάμεσα στα ιζήματα και στα μαγματικά πετρώματα είναι αρκετά εκφρασμένη.

Η μέθοδος είναι δαπανηρή και με ελάχιστες εφαρμογές στην υδρογεωλογία. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό θαμμένων

κοιλιάδων και τη χοντρική εκτίμηση της γεωμετρίας των υδροφόρων.

6.3.4 Μαγνητικές μέθοδοι

Βασίζονται στην χαρτογράφηση των ανωμαλιών του μαγνητικού πεδίου της γης, που προκαλούνται από τη διαφορετική μαγνητική επιδεκτικότητα των πετρωμάτων.

Οι μαγνητικές τεχνικές είναι οι πιο γρήγορες, απλές και φτηνές, ανάμεσα στις γεωφυσικές μεθόδους και γι'αυτό συνιστούνται στις υδρογεωλογικές έρευνες. Όμως η διαφορετική περιεκτικότητα των πετρωμάτων σε ορυκτά με μαγνητική επιδεκτικότητα, σπάνια μπορεί να συσχετιστεί με τις υδροφόρες ιδιότητες τους. Έτσι είναι σπάνιες και οι περιπτώσεις της σημαντικής συμβολής των μαγνητομετρικών μεθόδων στην έρευνα για υπόγειο νερό (π.χ. εντοπισμός φλεβών κάτω από αλλουβιακές προσχώσεις, εντοπισμός ζωνών διάρρηξης, υπόγεια επέκταση βασικών μαγματιτών και σε μερικές περιπτώσεις διαχωρισμός ανάμεσα στην άργιλο και το αμμοχάλικο στις αλλουβιακές αποθέσεις) .

6.3.5 Ηλεκτρομαγνητικές Μέθοδοι

Οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι, στηρίζονται στα φαινόμενα που δημιουργούνται, όταν διαβιβαστούν στη γη φυσικά ή τεχνητά ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Αναπτύχθηκαν, κυρίως, στις μεταλλευτικές έρευνες (εντοπισμός σωμάτων υψηλής μαγνητικής επιδεκτικότητας). Προσφέρονται για τον εντοπισμό ρηγμάτων και διαρρηγμένων ζωνών, τον διαχωρισμό ανάμεσα στους διάφορους τύπους εδαφών και πετρωμάτων και την χαρτογράφηση αποθέσεων άμμου και χαλικιών. Οι πιο ελπιδοφόρες από τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους είναι:

i) Η μέθοδος της ραδιοφωνικής συχνότητας κατά την οποία όταν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα περνάνε κατά μήκος της επιφάνειας της γης διαθλώνται εν μέρη προς την γη, δημιουργώντας έτσι ηλεκτρικά ρεύματα. Τα τελευταία επηρεάζονται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες των ανώτερων στρωμάτων

του φλοιού, κυρίως δε την ηλεκτρική αντίσταση. Έτσι, μπορεί να κατασκευαστούν χάρτες ηλεκτρικής αντίστασης, για περιοχές που βρίσκονται, γύρω από τις κεραίες εκπομπής, σε ακτίνα 30 -40 km. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην ΕΣΣΔ, για την χαρτογράφηση της επαφής των ασβεστόλιθων με αργίλους και σχι-στολίθους κ.ά. και τον εντοπισμό καρστικών κοιλοτήτων. Στον Καναδά χρησιμοποιήθηκαν πομποί VLF (ηλεκτρομαγνητικά κύματα πολύ χαμηλής συχνότητας) για τον εντοπισμό ζωνών διάρρηξης.

ii) Η μέθοδος AFMA χρησιμοποιεί σαν πηγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τις συχνές καταιγίδες της τροπικής ζώνης, για τον εντοπισμό ρηγμάτων, φλεβών, κοιτών, ζωνών διάρρηξης κλπ.

iii) Η μέθοδος Turam χρησιμοποιεί καθορισμένη πηγή ενέργειας, της μορφής ορθογώνιων, που σχηματίζονται από καλώδια. Οι πλευρές του ορθογώνιου μπορεί να είναι 200 x 200 μέχρι 3000 x 5000 m. Η μέθοδος έδωσε καλά αποτελέσματα στην αναζήτηση νερού σε λάβες και στον εντοπισμό ρηγμάτων.

iv) Η γαλβανική μέθοδος Turam, μια παραλλαγή της προηγούμενης, χρησιμοποιεί πηγή ενέργειας γειωμένη και συνιστάται για την αναζήτηση καρστικών αγωγών, ακόμα και σε πολύ μεγάλο βάθος.

vii) Η μαγνητοτελλουρική μέθοδος αντίστασης, τελευταία εξέλιξη στον τομέα, βασίζεται στις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου της γης που προκαλούνται από τη διαβίβαση ηλεκτρικού ρεύματος στο υπέδαφος. Οι μεταβολές του μαγνητικού πεδίου καταγράφονται και έτσι υπολογίζονται οι ηλεκτρικές αντιστάσεις ακόμα και κάτω από στρώμα υψηλότερης ηλεκτρικής αντίστασης.

6.4 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΤΕΣ

Οι χάρτες που συντάσσονται για τα υπόγεια νερά παρουσιάζουν διάφορα στοιχεία που σχετίζονται έμμεσα ή άμεσα με αυτά. Ο όρος είναι πολύ γενικός και δεν προσδιορίζει κάποιο καθορισμένο είδος χάρτη. Και επειδή τα στοιχεία που έχουν σχέση με τα υπόγεια νερά και μπορούν να απεικονιστούν σ' αυτόν είναι

πολλά και ποικίλα (ποσοτικά, ποιοτικά κλπ.), είναι επόμενο και καθένας χάρτης χωριστά να έχει διαφορετική μορφή.

Για να ολοκληρωθεί η περιγραφή ενός υδροφόρου χρειάζεται πολλές φορές να κατασκευαστούν αρκετοί χάρτες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις γίνεται αναφορά σ'έναν Άτλαντα. Ένας τέτοιος Άτλαντας περιέχει, κατά κανόνα, ειδικούς υδρογεωλογικούς χάρτες, που παριστάνουν μεμονωμένα ορισμένα χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων και ιδιαίτερα στοιχεία ποσοτικά, σχετικά με την υδραυλική αγωγιμότητα, την κατείσδυση, τη μεταβιβαστικότητα και την υδροχωρητικότητα, καθώς και ειδικούς χάρτες για τα υπόγεια νερά, που αναφέρονται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους (ποιοτικά, ποσοτικά, για τη μεταβολή της στάθμης τους).

7. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΛΗΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

7.1 ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

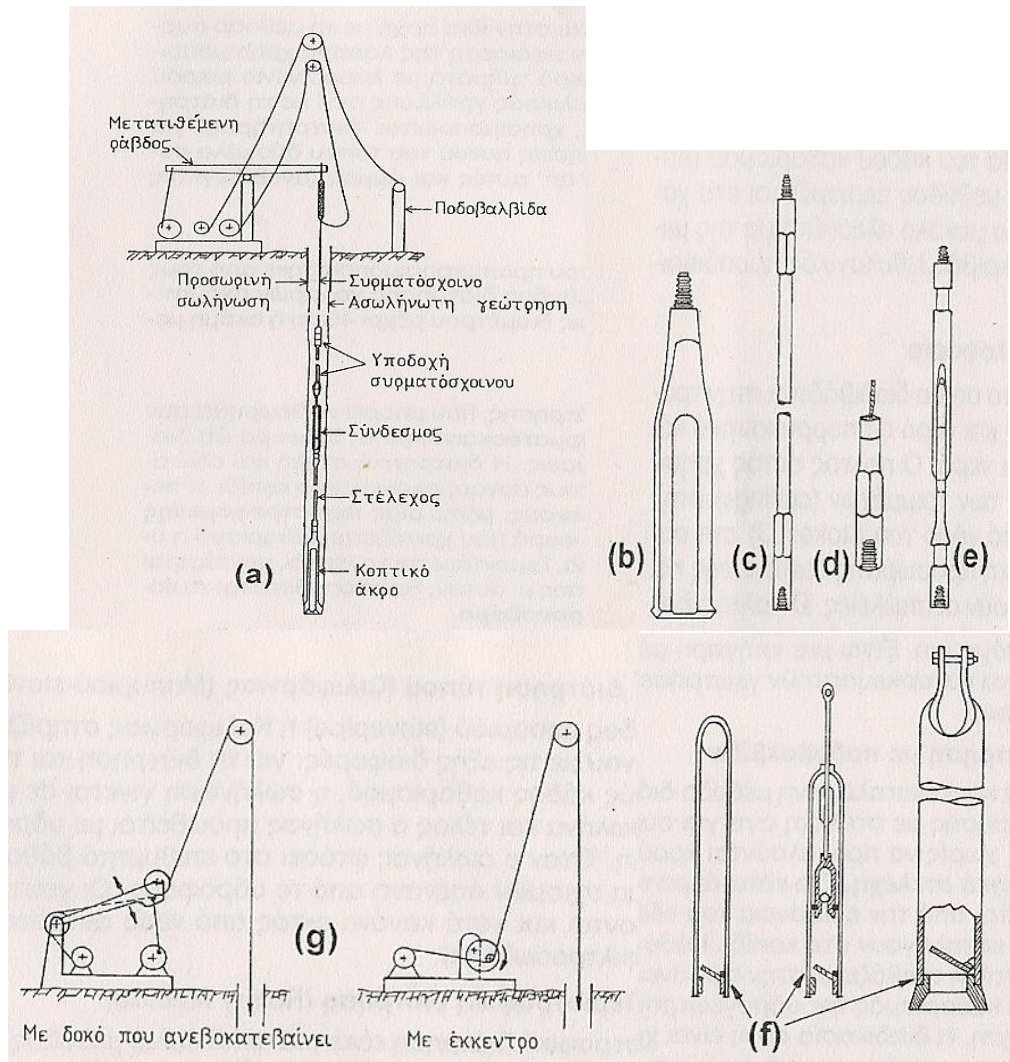
7.1.1 Κρουστική διάτρηση με συρματόσκοινο

Η υδρογεώτρηση ανοίγεται με την κοπτική ενέργεια μιας σειράς εργαλείων που κρέμονται από ένα συρματόσκοινο, το οποίο ανεβοκατεβαίνει, προκαλώντας έτσι κρούσεις, του τελικού κοπτικού άκρου, πιο γνωστού σαν κοπιδιού (Σχήμα 7.1α). Το ρυθμικό ανεβοκατέβασμα του κοπιδιού γίνεται με το μηχανισμό πρόκλησης των ρυθμικών κρούσεων (ράβδος ή έκκεντρο) ή, στα πολύ πρωτόγονα γεωτρύπανα, με το χέρι.

Ο εξοπλισμός στην κρουστική διάτρηση αποτελείται από ένα συνηθισμένο γεωτρύπανο, τη διατρητική στήλη και τον κάδο καθαρισμού ή αμμολήπτη ή ποδοβαλβίδα (Σχήμα 7.1α).

Το κρουστικό γεωτρύπανο αποτελείται από έναν πύργο ή γάβρια, ένα βαρούλκο, τον κινητήρα και το μηχανισμό κρούσεων, ο οποίος είναι μια ράβδος που κινείται μπρος πίσω (Σχήμα 7.1α) ή πάνω κάτω (Σχήμα 7.1g) ή ένα έκκεντρο (Σχήμα 7.1g). Ο πρώτος μηχανισμός αν και πιο πρωτόγονος είναι πιο ακριβής. Η διατρητική στήλη αποτελείται, από πάνω προς τα κάτω (Σχήμα 7.1b μέχρι 7.1f), από:

- τον περιστρεφόμενο τροφοδότη νερού Σχήμα 7.1d και 7.3,
- την υποδοχή του τροφοδότη νερού
- ένα ζευγάρι «συνδέσμων»
- το στέλεχος
- το κοπτικό άκρο ή εργαλείο ή κοπίδι
- τον κάδο καθαρισμού ή ποδοβαλβίδα ή αμμολήπτη m³/ώρα.



Σχήμα 7.1. (a) Κρουστική διάτρηση με συρματόσχοινο, και με δοκό που μετατίθεται μπρος-πίσω, (b) κοπτικό άκρο, (c) διατρητικό στέλεχος, (d) περιστρεφόμενος τροφοδότης νερού, (e) σύνδεσμοι, (f) τρεις τύποι κάδου καθαρισμού και (g) μηχανισμοί πρόκλησης ρυθμικών κρούσεων (Huisman 1972, Todd, 1980).

Τα εργαλεία είναι φτιαγμένα από χάλυβα. Το ολικό βάρος της στήλης ανέρχεται σε 2000kg στα βαριά και 500 kg στα ελαφριά γεωτρήματα. Η σύνδεση των εργαλείων γίνεται με κοχλιωτούς συνδέσμους. Το πιο σημαντικό μέρος της στήλης είναι το κοπτικό άκρο που συνήθως έχει μήκος 1 - 3 m και ζυγίζει μέχρι 1500 kg. Τα στελέχη προσθέτουν μήκος και βάρος στο κοπτικό άκρο ώστε να

κόβει γρήγορα και κατακόρυφα. Οι σύνδεσμοι είναι συνδετικοί κρίκοι που το μήκος τους, όταν είναι κλειστοί, είναι 1,5 - 2m, αυξανόμενο κατά 0,3 - 0,5 m όταν ανοίξουν και χρησιμεύουν στην πρόληψη της κάμψης του συρματόσκοινου κατά την πάνω-κάτω κίνηση του και στο ξεκόλλημα του κοπιδιού όταν κολλήσει. Από την τροχαλία κρέμεται η διατρητική στήλη. Συχνά, κυρίως στα πρωτόγονα κρουστικά γεωτρήματα, η διατρητική στήλη αποτελείται μόνο από ένα συρματόσκοινο από το οποίο κρέμεται το κοπίδι. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να κατασκευαστούν γεωτρήσεις διαμέτρου 8 - 60 cm σε συμπαγή πετρώματα και μέχρι βάθος 60m χωρίς σωλήνωση. Στα χαλαρά πετρώματα (άμμος, ρευστή άμμος, χαλίκια) η μέθοδος είναι λιγότερο αποτελεσματική και απαιτεί συνεχή κατά την προχώρηση σωλήνωση. Η μέθοδος συνίσταται στη ρυθμική ανύψωση και πτώση (κρούση) της διατρητικής στήλης, που στο κάτω μέρος της καταλήγει στο «κοπτικό εργαλείο» ή «κοπτικό άκρο» ή «κοπίδι» το οποίο κατά την κρούση θρυμματίζει πετρώματα με το βάρος της πτώσης του.

Τα τρίμματα της διάτρησης απομακρύνονται με τον κάδο καθαρισμού, ο οποίος στο κάτω μέρος του έχει μια βαλβίδα η οποία κλείνει όταν ο κάδος γεμίσει με τα τρίμματα. Η χωρητικότητα των κάδων ποικίλει και φτάνει μέχρι 0,25 m³.

Τα σύγχρονα κρουστικά γεωτρήματα φέρονται πάνω σε αυτοκίνητα, όμως εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται και γεωτρήματα σε έλκυθρα.

Κατά τη διάτρηση, η διατρητική στήλη κάνει 20 - 40 κρούσεις ανά λεπτό που η διαδρομή τους έχει μήκος 40 -100 cm, ενώ ταυτόχρονα περιστρέφεται αργά ώστε να σχηματιστεί στρογγυλή τρύπα. Η τρύπα πρέπει να περιέχει πάντα κάποια ποσότητα νερού, το οποίο ή διαβιβάζεται ή συναντιέται κατά τη διάτρηση, ή συμβαίνουν και τα δύο, ώστε να δημιουργηθεί ένας πολτός μαζί με τα τρίμματα του διατρηθέντος πετρώματος και να ελαττωθεί έτσι η τριβή κατά την πρόσκρουση του κοπιδιού αλλά και να ψύχεται το κοπίδι. Όταν το κοπίδι κόψει 1-2m από το σχηματισμό, ή τα τρίμματα εμποδίζουν την παραπέρα προχώρηση εξάγεται στην επιφάνεια η διατρητική στήλη και η τρύπα

καθαρίζεται. Στους χαλαρούς σχηματισμούς σωληνώνεται προσωρινά η τρύπα, σχεδόν μέχρι τον πυθμένα για να αποφευχθούν καταπτώσεις. Δειγματοληψία γίνεται και κάθε φορά που αλλάζει το υλικό που διατρίεται, ανεξάρτητα από το μήκος διάτρησης από τον τελευταίο καθαρισμό.

Κάθε φορά που βαθαίνει η τρύπα, με τις συνεχείς κρούσεις του κοπιδιού στον πυθμένα της και την αφαίρεση των τριμμάτων, αυξάνεται το μήκος της διατρητικής στήλης με την προσθήκη νέων στελεχών. Η σωλήνωση συνδέεται με τα στελέχη και έτσι μπηγεται στο έδαφος. Όταν χρειάζεται να σωληνώνεται συνέχεια η υδρογεώτρηση, τότε μετά από κάθε σωλήνωση μικραίνει η διάμετρος του κοπιδιού και συνεπώς και η διάμετρος της τρύπας και της σωλήνωσης, οπότε τελικά δημιουργείται μια τηλεσκοπική γεώτρηση μετά από τηλεσκοπική διάτρηση. Η τρύπα πρέπει να είναι κατακόρυφη ώστε να μπορεί σ' αυτή να «κρεμαστεί» στο τέλος μία αντλία κατακόρυφου άξονα για να γίνει αντλητική δοκιμασία. Επειδή υπάρχει η τάση της απόκλισης της τρύπας από την κατακόρυφο, ιδιαίτερα στις βαθιές υδρογεωτρήσεις, συχνά προκαλούνται τεχνητές εκρήξεις στον πυθμένα της, ώστε να γίνει δυνατή η παραπέρα κατακόρυφη προχώρηση.

Τα μειονεκτήματα της κρουστικής διάτρησης είναι ο αργός ρυθμός της, ο περιορισμός στο βάθος διάτρησης, η ανάγκη συνεχούς σωλήνωσης ταυτόχρονα με τη διάτρηση σε χαλαρούς σχηματισμούς, η δυσκολία αφαίρεσης της προσωρινής σωλήνωσης από τις βαθιές γεωτρήσεις, η αδυναμία εκτέλεσης γεωφυσικών μετρήσεων που απαιτούν ασωλήνωτη γεώτρηση και το πολύ υψηλό κόστος σωλήνωσης.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της κρουστικής διάτρησης είναι η απλότητα, εύκολη συντήρηση και επισκευή του εξοπλισμού, που χρησιμοποιείται συχνά σε απομονωμένες περιοχές, η μικρή ποσότητα νερού που απαιτείται σε σχέση με τις άλλες μεθόδους διάτρησης, το ολιγομελές του συνεργείου (επαρκεί ένα άτομο), η χαμηλή ενεργειακή απαίτηση και τέλος η απλότητα και ακρίβεια της δειγματοληψίας και κατασκευής της γεωλογικής τομής της γεώτρησης. Το

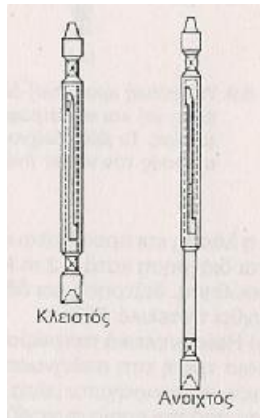
κόστος ενός πλήρους κρουστικού γεωτρητικού συγκροτήματος είναι το μισό μέχρι τα δύο τρίτα εκείνου ενός περιστροφικού γεωτρύπανου της ίδιας δυναμικότητας.

7.1.2 Κρουστική διάτρηση με ελεύθερη πτώση

Με την προηγούμενη κρουστική μέθοδο διάτρησης το κοπίδι δεν μπορεί να μετακινηθεί αρκετά γρήγορα. Τούτο σημαίνει μεγάλη καθυστέρηση στη διάνοιξη βαθιών γεωτρήσεων, όπου το μεγάλο βάρος του συρματόσκοινο, μειώνει τον αριθμό των κρούσεων ανά λεπτό, και προκαλεί επιβράδυνση της πτώσης της διατρητικής στήλης.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη διάτρηση με ελεύθερη πτώση, κατά βάση είναι ο ίδιος με την κρουστική διάτρηση με συρματόσκοινο, με μόνη διαφορά την αντικατάσταση του ζευγαριού των συνδέσμων με μια διάταξη που επιτρέπει την ελεύθερη πτώση του κοπιδιού και του στελέχους, ενώ το συρματόσκοινο έχει αντικατασταθεί από συμπαγή στελέχη δηλαδή από συμπαγείς μεταλλικές ράβδους. Η περιστροφή εδώ είναι συνεχής. Ο μηχανισμός ελεύθερης πτώσης φαίνεται στην Σχήμα 7.2. Μετά από προχώρηση 1-2 m, η διατρητική στήλη ανεβάζεται στην επιφάνεια και το κοπίδι αντικαθίσταται με τον κάδο καθαρισμού, η στήλη ξανακατεβάζεται στη γεώτρηση, καθαρίζεται και ξανατοποθετείται το κοπίδι στη θέση του κάδου, ώστε να ξαναπροχωρήσει η διάτρηση. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και απαιτεί πολυπρόσωπο γεωτρητικό συνεργείο.

Κατά τα άλλα ισχύουν ό,τι και στη διάτρηση με συρματόσκοινο. Η χρήση της μεθόδου αυτής είναι περιορισμένη γιατί το εργοτάξιο απαιτεί περισσότερα εργατικά χέρια για την αλλαγή του κοπιδιού με τον κάδο καθαρισμού (υψηλό κόστος).



Σχήμα 7.2. Μηχανισμός ελεύθερης πτώσης (Huisman, 1972)

7.1.3 Υδραυλική κρουστική διάτρηση

Πρόκειται για συνδυασμό της κρουστικής διάτρησης και της τεχνικής που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φρεάτων εκτόξευσης. Η διατρητική στήλη είναι όμοια με τη στήλη που χρησιμοποιείται στην κρουστική διάτρηση με εκτόξευση νερού. Το νερό εισάγεται μεταξύ των στελεχών και της σωλήνωσης, ώστε να διατηρείται η οπή γεμάτη. Από την άποψη αυτή είναι μια παραλλαγή της κρουστικής διάτρησης ανάστροφης κυκλοφορίας. Σπανιότερα η διάτρηση γίνεται με κανονική κυκλοφορία (σχημα 7.3). Η αντλία νερού έχει αντικατασταθεί από μία βαλβίδα ελέγχου που τοποθετείται πάνω από το κοπίδι. Η υδρογεώτρηση γεμίζεται με νερό και αυτό ωθείται μαζί με τα τρίμματα προς τα πάνω μετά από κάθε κρούση της διατρητικής στήλης. Η μέθοδος είναι αργή αλλά ακριβής ως προς τη δειγματοληψία και προσφέρεται για την κατασκευή πιεζομέτρων και υδρογεωτρήσεων μικρής απόδοσης.

Η διάτρηση πραγματοποιείται με την πτώση του κοπιδιού από μικρό ύψος αλλά με μεγάλη ταχύτητα. Το νερό μαζί με τα τρίμματα εξέρχεται στην επιφάνεια από το εσωτερικό της διατρητικής στήλης, λόγω ώθησης τους κατά την ανύψωση του κοπιδιού από τη βαλβίδα ελέγχου. Το νερό ανακυκλώνεται.

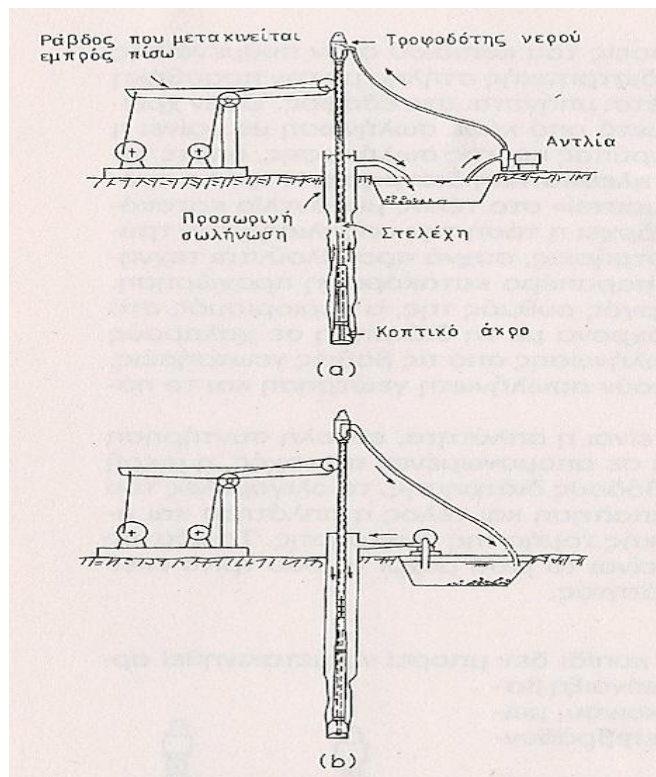
7.1.4 Απόδοση της κρουστικής διάτρησης στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς

α) Συνεκτικά πετρώματα: Το πέτρωμα θρυμματίζεται λόγω της "κοπτικής" δράσης του κοπιδιού. Παράγοντες που ρυθμίζουν την ταχύτητα διάτρησης είναι: η αντοχή του πετρώματος στη θλίψη, η κλίση των στρωμάτων, το βάρος των κοπτικών άκρων, το "μήκος πτώσης" του κοπιδιού, ο αριθμός κρούσεων ανά λεπτό, η διάμετρος, το σχήμα και η κοπτική ικανότητα του κοπιδιού, η καθαρότητα ανάμεσα στην οπή και τη διατρητική στήλη και η πυκνότητα και το βάθος της λάσπης που δημιουργείται. Στα πετρώματα αυτά συνήθως δεν απαιτείται προσωρινή σωλήνωση. Η διάτρηση είναι τηλεσκοπική.

β) Χαλαρά πετρώματα: Το κοπτικό άκρο προκαλεί χαλάρωση και ανάμιξη των υλικών της διάτρησης πρέπει να προηγείται, άμεσα εφόσον είναι δυνατόν, η προσωρινή σωλήνωση. Η τελευταία συνήθως προωθείται κατά 1-3 m, το υλικό μέσα στη σωλήνωση αναμιγνύεται με νερό από το κοπίδι ώστε να αποτελέσει τη λάσπη, ακολούθως αφαιρείται η λάσπη και προωθείται εκ νέου η σωλήνωση. Ενίοτε πριν την προώθηση της σωλήνωσης γίνεται διάτρηση κατά 1-2 m κάτω από τη σωλήνωση, η σωλήνωση ακολούθως προωθείται κ.ο.κ. Προώθηση, διάτρηση και άδειασμα της οπής επαναλαμβάνονται όσες φορές χρειάζεται να επιτευχθεί το τελικό βάθος.

γ) Ημισυνεκτικά πετρώματα: Τμήματα των σχηματισμών με αρκετή συνεκτικότητα προκαλούν τέτοια τριβή στη σωλήνωση που καθιστούν την προώθηση αδύνατη ή επικίνδυνη. Στην περίπτωση αυτή εισάγεται μέσα από την προηγούμενη σωλήνωση νέα, μικρότερης πλέον διαμέτρου μέσα από την οποία συνεχίζεται η διάτρηση και η γεώτρηση γίνεται τηλεσκοπική. Στα χαλαρά όμως τμήματα η διάτρηση γίνεται όπως στα χαλαρά υλικά. Η προώθηση της σωλήνωσης μπορεί να είναι μηχανική ή υδραυλική. Με την υδραυλική προώθηση μπορεί να γίνουν γεωτρήσεις διαμέτρου 40 cm μέχρι βάθος 300 μέτρων.

δ) Άμμοι μικρού πάχους (μέχρι 60 μέτρα). Η σωλήνωση ακολουθεί το κοπίδι χωρίς προώθηση αλλά με επιβράδυνση του ρυθμού βύθισης της ώστε να διατηρηθεί η κατακορυφότητα. Η αφαίρεση της άμμου γίνεται με αναρρόφηση της άμμου (αντλίες άμμου). Σε τέτοια υλικά έχει χρησιμοποιηθεί επίσης η «κρουστική ανάστροφη» τεχνική κατά την οποία η οπή γεμίζεται με νερό ή πολτό και στο εσωτερικό της σωλήνωσης λειτουργούν βαριές αντλίες άμμου για την παραπέρα διάνοιξη της γεώτρησης. Με την τεχνική αυτή μπορεί να κατασκευαστούν γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου (>60cm) μέχρι βάθους 50 m.



Σχήμα 7.3. Υδραυλική κρουστική διάτρηση κανονικής (α) και ανάστροφης (β) κυκλοφορίας. Τα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση ροής του νερού (Huisman, 1972).

7.2 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΤΥΠΟΥ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Η μέθοδος μπουριού ή Καλιφόρνιας στηρίζεται στην ίδια αρχή με τη μέθοδο συρματοσχοινου με τις εξής διαφορές: για τη διάτρηση και την αφαίρεση της

λάσπης χρησιμοποιείται βαρύς κάδος καθαρισμού, η σωλήνωση γίνεται σε μικρά τμήματα με λαμαρινένιο μικρού πάχους σωλήνα και τέλος ο σωλήνας προωθείται με υδραυλικούς γρύλλους αντί με τη διατρητική στήλη. Όταν ο σωλήνας φτάσει στο επιθυμητό βάθος, χρησιμοποιείται "διατρητήρας" για το άνοιγμα σχισμών απέναντι από το υδροφόρο. Οι γεωτρήσεις αυτού του τύπου δύσκολα συμπληρώνονται και κατά κανόνα εκτός από νερό αντλείται απ' αυτές και άμμος (ανεξέλεγκτες σχισμές φιλτροσωλήνα).

7.3 ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΔΙΑΤΡΗΣΗ

Η περιστροφική διάτρηση είναι μια πολύ παλιά μέθοδος που πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους αρχαίους Αιγυπτίους για λατόμευση. Είναι μια γρήγορη μέθοδος διάτρησης χαλαρών σχηματισμών. Μπορεί να κατασκευαστούν γεωτρήσεις διαμέτρου μέχρι 45 cm ή ακόμη μεγαλύτερης και μεγάλου βάθους.

7.3.1 Περιστροφική διάτρηση με ποδοβαλβίδα

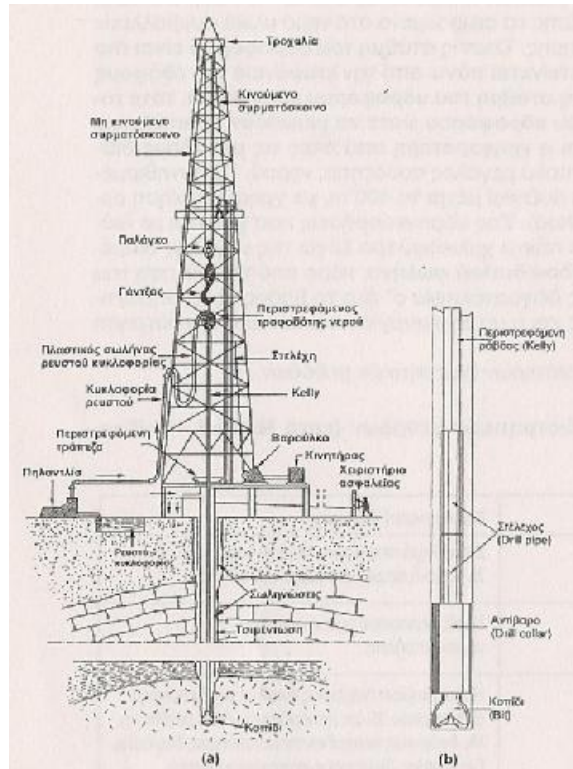
Πρόκειται για ξεπερασμένη και εγκαταλειμμένη μέθοδο διάτρησης, που μπορεί να θεωρηθεί σαν εξέλιξη της κρουστικής διάτρησης με στελέχη αντί για συρματόσκοινο, με τη διαφορά ότι διατηρείται μόνο η περιστροφή χωρίς να προκαλούνται κρούσεις. Η διατρητική στήλη και εδώ αποτελείται από κοίλα διατρητικά στελέχη. Στο κάτω άκρο τους συναρμολογείται το κοπίδι. Η περιστροφική κίνηση μεταδίδεται από την επιφάνεια του εδάφους, μέσω μιας περιστρεφόμενης τράπεζας, στα στελέχη που καταλήγουν στο κοπίδι. Κάθε φορά που χρειάζεται καθαρισμό η υδρογεώτρηση η διατρητική στήλη ανεβάζεται στην επιφάνεια, ξεμοντάρεται το κοπίδι, μοντάρεται ο κάδος καθαρισμού, γίνεται καθαρισμός της υδρογεώτρησης μ' αυτόν, ξανατοποθετείται το κοπίδι και συνεχίζεται η διάτρηση. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα.

Όταν η διάμετρος των υδρογεωτρήσεων είναι πολύ μεγάλη, είναι δυνατή η συνεχής διάτρηση με την αύξηση της διαμέτρου των στελεχών και τη λειτουργία του κάδου καθαρισμού (ποδοβαλβίδα) μέσα από τα στελέχη. Η χρήση της

μεθόδου περιορίζεται στα χαλαρά υλικά, όπου δεν απαιτείται πραγματική «κοπτική» δράση. Το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ακρίβεια της δειγματοληψίας και ο εύκολος και ακριβής λιθολογικός προσδιορισμός των υλικών που διατρήθηκαν.

7.3.2 Υδραυλική περιστροφική διάτρηση με κανονική κυκλοφορία

Η διάτρηση εδώ είναι συνεχής με περιστρεφόμενο κοπίδι, από το οποίο διαβιβάζεται στην τρύπα πολτός - από άργιλο και νερό ή απορρυπαντικό και νερό - ή αέρας και απορρυπαντικό ή αέρας, απορρυπαντικό και νερό. Ο πολτός αυτός χρησιμεύει: 1) στην ψύξη και λίπανση του κοπιδιού, 2) στο ανέβασμα των τριμμάτων στην επιφάνεια με τη συνεχή κυκλοφορία του πολτού (σύμφωνα με το νόμο του Stokes) 3) στη συγκράτηση των χαλαρών τοιχωμάτων της τρύπας χωρίς την ανάγκη προσωρινής σωλήνωσης και 4) στη στεγανοποίηση των τοιχωμάτων της οπής, ώστε να μειωθούν οι απώλειες. Ο πολτός έχει πολύ μεγαλύτερο ιξώδες από το νερό. Η ταχύτητα με την οποία ανεβαίνει ο πρώτος προς την επιφάνεια, είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα με την οποία πέφτουν προς τον πυθμένα της υδρογεώτρησης τα τρίμματα. Έτσι τα τελευταία παρασύρονται στην επιφάνεια και οδηγούνται στη συνέχεια στο λάκκο του πολτού όπου κατακαθίζονται. Ο τρόπος αυτός της κυκλοφορίας του πολτού, δηλαδή κάθοδος προς τον πυθμένα της υδρογεώτρησης από το εσωτερικό της διατρητικής στήλης και το κοπίδι και έξοδος στην επιφάνεια από το χώρο ανάμεσα στα εσωτερικά τοιχώματα της γεώτρησης, ή προσωρινής σωλήνωσης, και στη διατρητική στήλη, χαρακτηρίζεται κανονικός ή θετικός. Με τον τρόπο αυτό η διάτρηση είναι συνεχής και ο καθαρισμός της υδρογεώτρησης γίνεται συνεχώς με την κυκλοφορία του πολτού (Σχήμα 7.4).



Σχήμα 7.4 Σχηματική παράσταση (a): ενός περιστροφικού γεωτρύπανου και (b): τυπικής διατρητικής στήλης (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Ο πολτός ή λάσπη κυκλοφορίας δημιουργεί στα τοιχώματα της υδρογεώτρησης έναν πλακούντα ή πολφό που συγκρατεί τα τοιχώματα και εμποδίζει την είσοδο νερού στην τρύπα καθώς και τις απώλειες του πολτού.

Μια εγκατάσταση για την εκτέλεση υδρογεώτρησης αποτελείται από:

- το γεωτρύπανο,
- τη διατρητική στήλη

Το περιστροφικό γεωτρύπανο αποτελείται από τον πύργο ή ιστό ή γάβρια του γεωτρύπανου την τροχαλία ,το βαρούλκο την τράπεζα περιστροφής την πηλαντλία και τον κινητήρα (Σχήμα 7.4).

Σε πολλά σύγχρονα υδραυλικά γεωτρύπανα, η τράπεζα περιστροφής έχει αντικατασταθεί από την υδραυλική περίστρεπτη κεφαλή που παίζει το ρόλο τόσο του kelly όσο και της τράπεζας. Στα γεωτρύπανα αυτά και η πηλαντλία

αντικαθίσταται από έναν ισχυρό αεροσυμπιεστή (350 psi) μαζί με μια μικρή αντλία νερού.

Η τυπική διατρητική στήλη αποτελείται, από κάτω προς τα πάνω, από (Σχήμα 7.4 (b) και 7.4):

— το κοπίδι

— τα αντίβαρα ή βαριά στελέχη που προσθέτουν το απαραίτητο βάρος στο κοπίδι και συντελούν στη διατήρηση της ευθυγραμμίας και της κατακορυφότητας.

— τα στελέχη ή στήλη, μήκους 3 - 6 m το καθένα ή σπανιότερα 9 m.

— την περιστρεφόμενη ράβδο στην οποία κοχλιώνεται η διατρητική στήλη στο πάνω μέρος της και η οποία είναι στέλεχος με τετράγωνη διατομή, ή κυλινδρική με «νεύρα». Η στήλη περιστρέφεται από την τράπεζα περιστροφής η οποία περιστρέφει τη «ράβδο» που παράλληλα μπορεί και ολισθαίνει κατακόρυφα μέσα από την τράπεζα περιστροφής, για να επιτρέψει την προχώρηση της στήλης.

— τον περιστρεφόμενο τροφοδότη νερού που συνδέει τη διατρητική στήλη με την ακίνητη πηλαντλία.

Οι διάφοροι τύποι των κοπτικών άκρων είναι (Σχήμα 7.6):

α) τρίφτερο

β) τρίκωνο ή γρανάζι ή γραναζωτό

γ) κοπίδι καρβιδίου

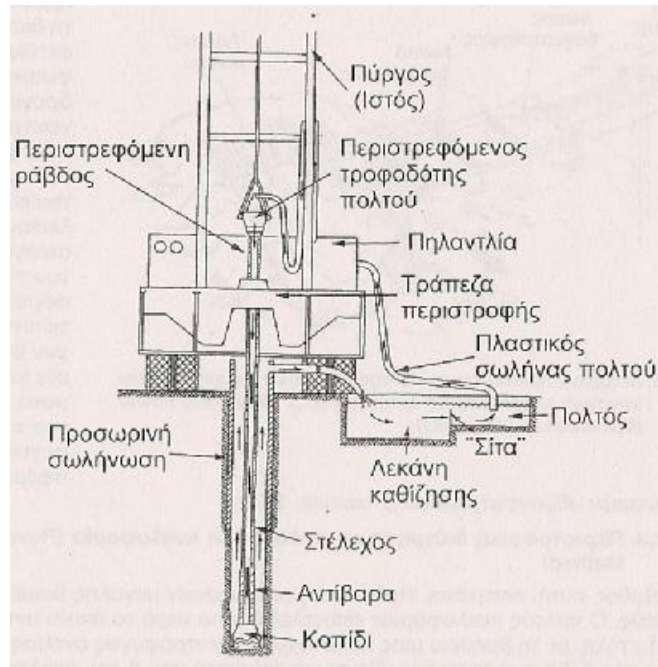
Ο τύπος (γ) στην ουσία είναι παραλλαγή του τύπου (β) όπου οι οδοντωτοί τροχοί έχουν αντικατασταθεί από τροχούς με σφαιρικά καρβίδια. Δυνατότητα προσθήκης καρβιδίων υπάρχει και στο τρίφτερο, οπότε αυξάνει η απόδοση του και η διάρκεια ζωής του. Για τη διάτρηση μαλακών και χαλαρών υλικών είναι προτιμότερη η χρήση του τρίφτερου. Στα σκληρά όμως πετρώματα πρέπει να χρησιμοποιούνται τα τρίκωνα. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων διαμέτρου μέχρι 1.5 m και βάθους μερικών εκατοντάδων μέχρι μερικών χιλιάδων m. Η λήψη δειγμάτων (τρίμματα) γίνεται κάθε 1 -2 m, με το

ανέβασμα λίγο της διατρητικής στήλης, ώστε να σταματήσει η διάτρηση και τη συνέχιση της κυκλοφορίας του πολτού μέχρι να καθαρίσει ολοκληρωτικά η υδρογεώτρηση. Παίρνεται το δείγμα από το συλλέκτη, ο οποίος καθαρίζεται καλά από τα τρίμματα, στη συνέχεια κατεβάζεται η στήλη στον πυθμένα της υδρογεώτρησης, συνεχίζεται η διάτρηση για 1 -2 m ακόμη κ.ο.κ. Το δείγμα που παίρνεται πρέπει να χωρίζεται στα τέσσερα. Το ένα απ' αυτά τοποθετείται σε πλαστικό σακκίδιο. Το άλλο τοποθετείται σε έναν κάδο με νερό 20 περίπου κιλών, ξεπλένεται καλά-καλά και αφήνεται για 20 min να καθιζήσει. Στη συνέχεια το νερό χύνεται και το δείγμα τοποθετείται σε ένα άλλο πλαστικό σακκίδιο. Και τα δύο δείγματα φυλάγονται σε ξύλινο κιβώτιο, στο οποίο αναγράφονται τα στοιχεία της υδρογεώτρησης, η ημερομηνία που πάρθηκαν τα δύο δείγματα και το βάθος.

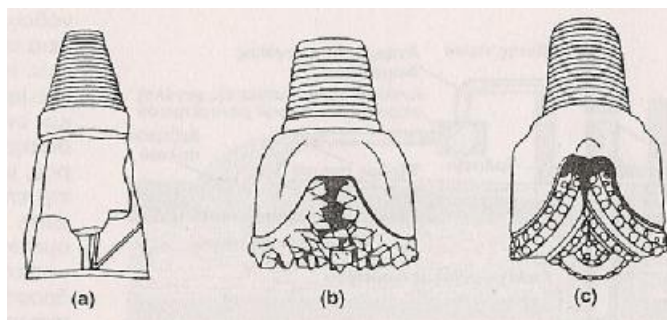
Στα παραδοσιακά γεωτρήματα χρησιμοποιείται πολτός που αποτελείται από ένα αιώρημα νερού, μπετονίτη, αργίλου και συχνά διαφόρων οργανικών προσμίξεων. Έχει ειδικό βάρος 1,02 - 1,14 gr/cm³ και θιξοτροπικές ιδιότητες (ρευστό όταν κινείται, στερεοποιημένο όταν ακινητοποιηθεί) η πυκνότητα του και το ιξώδες του καθορίζονται κάθε φορά από το είδος και το βάθος των διατρούμενων υλικών

Η ταχύτητα ανόδου του είναι 0.7-1 m/sec . Τα οργανικά πρόσθετα (π.χ. τανίνη) προκαλούν αυτοδιάσπαση του πλακούντα μετά από μερικές μέρες. Ο πολτός διαβιβάζεται στην τρύπα μέσα από τη διατρητική στήλη και ανεβαίνει στην επιφάνεια από το χώρο μεταξύ της στήλης και των τοιχωμάτων της υδρογεώτρησης, παρασύροντας και τα τρίμματα του σχηματισμού που έχει διατρηθεί (Σχήμα 7.5). Ο πολτός υπερχειλίζει στην επιφάνεια του εδάφους, οδηγείται σ' ένα λάκκο (δεξαμενή), όπου αποθέτει τα αιωρούμενα τρίμματα, περνάει από ένα ψιλό κόσκινο στη συνέχεια (Σχήμα 7.7) αναρροφάται από την πηλαντλία και ξαναδιαβιβάζεται στην υδρογεώτρηση (κυκλοφορία σε κλειστό σύστημα).

Τα πλεονεκτήματα της περιστροφικής διάτρησης είναι η γρήγορη διάτρηση, η αποφυγή της προσωρινής σωλήνωσης κατά τη διάτρηση και η δυνατότητα εκτέλεσης ηλεκτρικών γεωφυσικών μετρήσεων στις υδρογεωτρήσεις (ασωλήνωτες γεωτρήσεις).

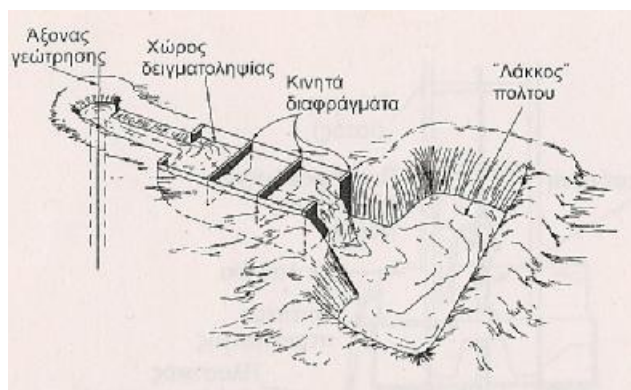


Σχήμα 7.5 Σύστημα κυκλοφορίας του πολτού στην υδραυλική περιστροφική διάτρηση κανονικής κυκλοφορίας (Γ.Α. Καλλέργης 1999)



Σχήμα 7.6 Κοπίδια περιστροφικής διάτρησης:

- a) Τρίφτερο
- b) Τρίκωνο (γρανάζι)
- c) Τρίκωνο με καρβίδια (Γ.Α. Καλλέργης 1999)



Σχήμα 7.7 Δεξαμενή πολτού και συλλέκτης τριμμάτων διάτρησης στην κανονική περιστροφική διάτρηση . (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το ψηλό κόστος του εξοπλισμού, η πολύπλοκη λειτουργία, η ανάγκη για τη σωστή ανάπτυξη (αφαίρεση του πλακούντα από τα υδροφόρα στρώματα) και η αντιμετώπιση σοβαρών προβλημάτων όταν χάνεται η κυκλοφορία (απώλειες πολτού σε ρήγματα, στον υδροφόρο ορίζοντα κ.λπ.). Για τους λόγους αυτούς η μέθοδος δεν προσφέρεται για την κατασκευή παραγωγικών υδρογεωτρήσεων.

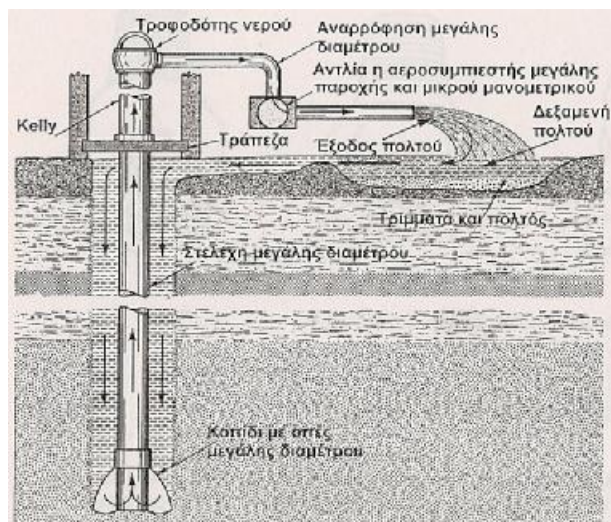
7.3.3 Περιστροφική διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

Η μέθοδος αυτή, επιτρέπει, τη διάνοιξη γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου σε χαλαρούς σχηματισμούς. Ο πολτός κυκλοφορίας αποτελείται από νερό το οποίο αντλείται μέσα από τη διατρητική στήλη, με τη βοήθεια μιας πολύ ισχυρής κεντρόφυγος αντλίας ή αεροσυμπιεστή και οδηγείται στη δεξαμενή όπου αποτίθενται τα τρίμματα (Σχήμα 7.8). Ακολούθως, το νερό ρέει μέσω ενός αυλακιού στη γεώτρηση ανάμεσα στη διατρητική στήλη και τα τοιχώματα της (της γεώτρησης), ώστε η στάθμη του νερού σ' αυτή να διατηρείται στο επίπεδο της επιφάνειας του εδάφους. Η ελάχιστη διάμετρος διάτρησης είναι 40cm. Η διάμετρος των κοπιδιών κυμαίνεται από 0,4 - 1,8 m. Η ταχύτητα ανόδου του νερού στην επιφάνεια συνήθως ξεπερνά τα 2 m/s . Η στάθμη του υδροφόρου πρέπει να βρίσκεται ψηλά και εν πάση περιπτώσει να διατηρείται, με προσθήκη

νερού, μέχρι 3 - 4 m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να υπάρχει αποτελεσματική υδραυλική κλίση ανάμεσα στη γεώτρηση και τον υδροφόρο και να είναι δυνατή η αναρρόφηση από τη φυγόκεντρη αντλία.

Προκειμένου να διατηρηθούν σταθερά τα τοιχώματα της γεώτρησης, απαιτείται διαφορά φορτίου μέσα και έξω από τη γεώτρηση 2,5 μέχρι 4 m. Όταν η στάθμη στην υδρογεώτρηση βρίσκεται βαθύτερα από 6 m, τότε πρέπει να τοποθετείται προσωρινή (επιφανειακή) σωλήνωση, ώστε να διατηρείται το φορτίο στο προκαθορισμένο πιο πάνω επίπεδο. Με τη διατήρηση της πιο πάνω υδραυλικής κλίσης τα αιωρούμενα στο νερό υλικά συμβάλλουν στη σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης.

Όταν η στάθμη του υδροφόρου είναι πιο ψηλά, τότε τοποθετείται σωλήνωση που προεκτείνεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους ώστε να αυξηθεί το φορτίο. Όταν αντίστροφα η στάθμη του υδροφόρου είναι βαθιά, τότε τοποθετείται πάλι σωλήνωση μέχρι τη στάθμη του υδροφόρου ώστε να μειωθούν οι απώλειες.



Σχήμα 7.8 Περιστροφική διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία με αντλία ή με αεροσυμπιεστή (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Η διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία είναι η γρηγορότερη από όλες τις μεθόδους διάτρησης στα χαλαρά πετρώματα. Απαιτεί όμως πολύ μεγάλες ποσότητες νερού. Το συνηθισμένο βάθος διάτρησης είναι 150 m που μπορεί να αυξηθεί μέχρι τα 400 m, με χρησιμοποίηση αεροσυμπιεστή και διπλού σωλήνα. Στις υδρογεωτρήσεις που γίνονται με διάτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία τοποθετείται πάντα χαλικόφιλτρο λόγω της μεγάλης διαμέτρου των. Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου διπλού σωλήνα, πέρα από την αύξηση του βάθους διάτρησης, είναι η ακριβής και συνεχής δειγματοληψία σ' όλο το βάθος, ή μη σημαντική αύξηση του κόστους διάτρησης με το βάθος και η μη δημιουργία πλακών στη γεώτρηση λόγω μη χρησιμοποίησης πολτού.

Στον πίνακα 7.1 γίνεται σύγκριση των δύο κυριότερων διατρητικών μεθόδων.

Πίνακας 7.1 Σύγκριση των δύο κυριότερων διατρητικών μεθόδων . (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Χαρακτηριστικό	Κρουστική διάτρηση	Περιστροφική διάτρηση
Ταχύτητα διάτρησης	Περίπου 3-15 m/8ωρο Μειώνεται γρήγορα σε βάθη >200m»	Στα σκληρά πετρώματα 15-30 m το 8ώρο Σε μαλακά πετρώματα μέχρι 150 m/ 8ώρο
Μέγιστο βάθος διάτρησης	Θεωρητικά & 500 m. Πρακτικά γύρω στα 300 m.	Χωρίς περιορισμό προκειμένου για υδρογεωτρήσεις
Διάμετρος διάτρησης	Μέγιστη γύρω στα 66 cm, Στα γεωτρύπανα μέσου μεγέθους 30-41 cm. Συχνά απαιτείται τηλεσκοπική διάτρηση	Η συνηθισμένη διάμετρος έναρξης της διάτρησης είναι περίπου 15 cm (γεωτρύπανα μέσου μεγέθους). Με διεύρυνση πετυχαίνονται μεγαλύτερες διαμέτρους. Για μεγάλες διαμέτρους απαιτούνται γεωτρύπανα βαρέως τύπου. Δεν απαιτείται συνήθως τηλεσκοπική διάτρηση
Τεχνική απλότητα	Απλή διεργασία. Η διάτρηση μπορεί να διακοπεί χωρίς πρόκληση ζημιάς στη γεώτρηση. Απαραίτητη η διάθεση σωληνώσεων διαφόρων διαμέτρων. Αδύνατη η σύνταξη προγράμματος σωλήνωσης εκ των προτέρων.	Πολύπλοκη διεργασία. Η διακοπή της διάτρησης μπορεί να προκαλέσει ζημιά στη γεώτρηση. Συχνά δύσκολη και δαπανηρή η εξασφάλιση των απαιτούμενων ποσοτήτων νερού. Δυνατός ο προκαθορισμός της σωλήνωσης.
Γεωλογικές πληροφορίες	Τα τρίμματα είναι χοντρά στα σκληρά πετρώματα. Τα λεπτομερή υλικά αιωρούνται στο νερό. Δυνατή η ανάμιξη υλικών με στοιχεία από ασωλήνωτα τμήματα.	Μέγεθος τριμμάτων από σκληρά πετρώματα 2-4 mm. Τα λεπτομερή υλικά ενσωματώνονται στον πολύ κυκλοφορίας. Δυνατή η ανάμιξη υλικών. Συνήθως είναι απαραίτητη η εκτέλεση καταγραφής ηλεκτρικής αντίστασης (βιβίοιπο Ιοααίπα) και η λήψη πυρήνων.
Υδρολογικές πληροφορίες	Οι μεταβολές της στάθμης γίνονται άμεσα αντιληπτές, είναι δυνατή η δειγματοληψία νερού κατά τη διάτρηση με τον κάδο καθαρισμού	Κατά τη διάρκεια της διάτρησης η γεώτρηση πρέπει να είναι γεμάτη με πολύ. Η αιφνίδια εξαφάνιση του σημαίνει την παρουσία πολύ υδροπερστού σχηματισμού. Άλλες υδρολογικές πληροφορίες αδύνατες.
Καθαρισμός και ανάπτυξη της γεώτρησης	Σε χαλαρούς υδροφόρους μπορεί να χρειαστεί ανάπτυξη με υπεράντληση, ανάστροφη πλύση, με εμβολισμούς κ.λπ. Στις άλλες περιπτώσεις ο καθαρισμός και η ανάπτυξη είναι εύκολα.	Δύσκολη συχνά η καταστροφή του «πλακούντα», Μπορεί να χρειαστεί η πλύση της γεώτρησης με χημικά πρόσθετα και με παρατεταμένο εμβολισμό και ανάστροφη πλύση

7.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΑΕΡΑ

Δύο διαφορετικές μέθοδοι χρησιμοποιούν τον αέρα ως βασικό ρευστό κυκλοφορίας. Η άμεση περιστροφική διάτρηση με αέρα και η διάτρηση με αερόσφυρα .

7.4.1 Άμεση περιστροφική διάτρηση με αέρα

Είναι μια γρήγορη μέθοδος διάτρησης σε συνεκτικά ή ημισυνεκτικά πετρώματα. Ο βασικός εξοπλισμός είναι ο ίδιος με τον εξοπλισμό της περιστροφικής διάτρησης κανονικής κυκλοφορίας με τη διαφορά ότι η πηλαντλία αντικαθίσταται από ισχυρό αεροσυμπιεστή και αντί πολλού χρησιμοποιείται αέρας με πίεση σαν ρευστό κυκλοφορίας. Η προσθήκη μικρής ποσότητας νερού ή νερού και επιφανειοδραστικής ουσίας στο σύστημα κυκλοφορίας του αέρα, ελέγχει την παραγόμενη σκόνη και κατεβάζει τη θερμοκρασία του περιστρεφόμενου τροφοδότη ρευστού . Ο αέρας από τον ισχυρό αεροσυμπιεστή προωθείται στον περιστρεφόμενο τροφοδότη ρευστού, από εκεί στο Kelly και ακολούθως στα στελέχη. Στη συνέχεια εξέρχεται από τις οπές του κοπτικού άκρου ανυψώνοντας έτσι τα τρίμματα που πρακτικά είναι σκόνη και ταυτόχρονα ψύχει το κοπίδι. Η σκόνη τελικώς εκτοξεύεται με το ανερχόμενο ρεύμα αέρα στην επιφάνεια και συγκεντρώνεται γύρω από τη γεώτρηση. Όταν προστεθεί νερό ή νερό και απορρυπαντικό, τότε δημιουργείται λάσπη ή αφρός που εξέρχεται στην επιφάνεια μαζί με το ρεύμα αέρα.

Συχνά τα γεωτρύπανα αυτού του τύπου εξοπλίζονται και με πηλαντλία, ώστε να μπορούν να δουλέψουν ως συμβατικά γεωτρύπανα, με πολύ κυκλοφορίας που θα έχει βάση το νερό, σε χαλαρούς σχηματισμούς ή στα υπερκείμενα των συνεκτικών πετρωμάτων. Έτσι είναι δυνατή κατά περίπτωση η λειτουργία του γεωτρυπάνου είτε με αέρα είτε με πολύ κ.λ.π. Για την αύξηση της ανυψωτικής ικανότητας του ρεύματος αέρα καλό είναι να προστίθεται στο ρευστό μικρή ποσότητα νερού και επιφανειοδραστικών ουσιών, ώστε τα τρίμματα να φτάνουν ευκολότερα στην επιφάνεια. Συχνά απαιτείται να σωληνώνεται η γεώτρηση κατά

το τμήμα της που βρίσκεται στα χαλαρά υλικά, ώστε να καταστεί δυνατή η περαιτέρω διάτρηση με αέρα. Τα κοπτικά άκρα είναι τρίκωνα, διαμέτρου μέχρι 300 χλστ. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οι ρυθμοί προχώρησης και η διάρκεια ζωής των κοπιδιών είναι μεγαλύτεροι όταν τα γεωτρύπανα λειτουργούν με αέρα παρά με πολτό. Τούτο ανατρέπεται όταν υπάρχουν σημαντικές αφίξεις νερού στη γεώτρηση.

Με την προσθήκη επιφανειοδραστικής ουσίας και νερού καθίσταται δυνατή η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου, μέχρι 90 cm, σε σκληρά πετρώματα, με ταχύτητα διάτρησης που συχνά ξεπερνά τα 10 m/ώρα. Η δειγματοληψία δεν είναι αντιπροσωπευτική, γιατί τα τρίμματα φτάνουν με καθυστέρηση στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα την ανάμιξη των τριμμάτων από τα διάφορα βάθη. Ο βασικότερος περιορισμός της μεθόδου, που ήταν το μικρό βάθος διάτρησης, λόγω της περιορισμένης πίεσης του αέρα που ήταν διαθέσιμη, τείνει να εκλείψει σήμερα με την κατασκευή αεροσυμπιεστών 500 psi ή και ισχυρότερων.

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου, πέρα από τη μεγάλη ταχύτητα διάτρησης στα συμπαγή κυρίως πετρώματα, είναι η δυνατότητα διάτρησης σε καρστικά ή ρωγματωμένα πετρώματα, χωρίς τη χρησιμοποίηση ή με χρησιμοποίηση ελάχιστου νερού, ενώ η γεώτρηση παραμένει καθαρή χωρίς πλακούντα (πολφό).

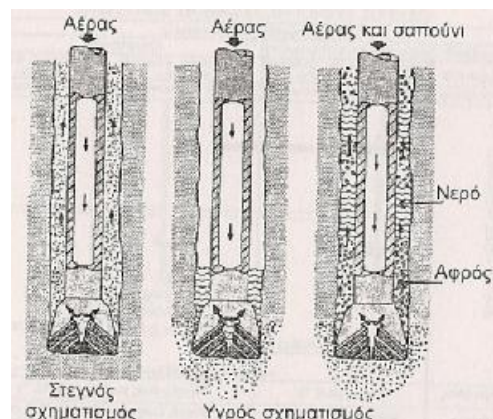
Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι καθώς μειώνεται, με την αύξηση του βάθους της υδρογεώτρησης, ο λόγος αέρα-υγρού, η ταχύτητα μειώνεται, λόγω της αύξησης της πίεσης στην υδρογεώτρηση. Έτσι, μετά τη συνάντηση υδροφόρου, η ταχύτητα διάτρησης ελέγχεται από την παροχή του υδροφόρου.

Ο βασικός περιορισμός της διάτρησης με ξηρό αέρα είναι η παρουσία νερού και μεγάλων κοιλοτήτων στα διατρούμενα πετρώματα. Στις περιπτώσεις αυτές, εφαρμόζεται η παραδοσιακή περιστροφική διάτρηση με χρήση πολτού. Έτσι υπάρχει περιορισμός στη διάμετρο διάτρησης. Για διαμέτρους πάνω από 10½” χρειάζεται πολύ ισχυρός αεροσυμπιεστής και στελέχη μεγάλης διαμέτρου.

Όταν χρησιμοποιείται απορρυπαντικό είναι δυνατή η άνοδος των τριμμάτων στην επιφάνεια με μικρότερες ταχύτητες ροής του ρευστού, απ' ότι αν το τελευταίο ήταν ξηρός αέρας. Η απαιτούμενη ταχύτητα του αέρα για τον καθαρισμό της υδρογεώτρησης είναι περίπου 900 m/min. Η χρησιμοποίηση απορρυπαντικού στην περιστροφική διάτρηση με αέρα παρουσιάζει τα πιο κάτω πλεονεκτήματα:

1. τα υγρά τρίμματα μπορούν να απομακρυνθούν από την υδρογεώτρηση με μικρότερη πίεση
2. αυξάνεται η ταχύτητα διάτρησης και η διάρκεια ζωής του κοπιδιού.

Στην Σχήμα 7.9 φαίνεται η διαφορά στη διάτρηση με αέρα και με αέρα - απορρυπαντικό. Προκειμένου να διασπαρούν τα τρίμματα, απαιτείται συχνά η πρόσθετη διαβίβαση στην υδρογεώτρηση νερού μαζί με απορρυπαντικό (αφρό).



Σχήμα 7.9 Το πλεονέκτημα της διάτρησης με αέρα-σα-πούνι απέναντι στη διάτρηση με ξηρό αέρα (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Με το «συμπαγή» αφρό (λάσπη) μπορεί να διατρηθούν και χαλαροί σχηματισμοί. Η ταχύτητα του αφρού πρέπει να είναι μεταξύ 30 και 60 m/min. Στην περίπτωση αυτή η απαιτούμενη ισχύς του αεροσυμπιεστή μειώνεται. Η λάσπη αυτή πρέπει να αποτελείται από 9 -11kg μπετονίτη, 0.5 -15 kg σόδα και 0.2 -0.9 kg, οργανικά πολυμερή, τελείως διαλυμένα σε 350 - 400 l νερού. Στη λάσπη αυτή πρέπει να προστεθεί ποσότητα 0.5-1%, σε όγκο, απορρυπαντικό. Η

διοχέτευση του «συμπαγούς» αυτού αφρού στην υδρογεώτρηση γίνεται με τέτοιο ρυθμό ώστε τα «επιστρεφόμενα» να έχουν την υφή κρέμας ξυρίσματος.

Η διάτρηση με την περιστροφική μέθοδο με αέρα αποτελεί την καλύτερη και φτηνότερη μέθοδο διάτρησης στα πετρώματα με μεγάλο δευτερογενές πορώδες π.χ. στους καρστικούς ασβεστόλιθους. Για την εξασφάλιση της δυνατότητας προσθήκης νερού, απαιτείται αντλία νερού παροχής 40 l/min.

7.4.2 Διάτρηση με αερόσφουρα

Η μέθοδος συνίσταται στην προσθήκη υδραυλικής σφύρας, αντί κοπτικού άκρου, στο τέλος της διατρητικής στήλης. Η σφύρα παράγει 10-15 κρούσεις το δευτερόλεπτο (κρουστική δράση) ενώ παράλληλα περιστρέφεται αργά. Η κρουστική ενέργεια είναι παρόμοια με εκείνη του κρουστικού γεωτρύπανου. Η σφύρα είναι ενισχυμένη με καρβίδια του βολφραμίου στις κοπτικές επιφάνειες. Η απόδοση της μεθόδου αυτής είναι η μεγαλύτερη από όλες τις διατρητικές μεθόδους και ανέρχεται στα συνεκτικά πετρώματα σε 0,3 μέτρα το λεπτό. Οι συνήθεις διάμετροι της αερόσφουρας είναι 152-165 mm αλλά μπορεί να φθάσουν και τα 500 mm.

Η μέθοδος συνδυάζει μερικά από τα πλεονεκτήματα της κρουστικής και της περιστροφικής ταυτόχρονα διάτρησης. Ο αέρας που χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση της αερόσφουρας, είτε τινάζει τα τρίμματα προς την επιφάνεια ή τα ανεβάζει με την αρχή της αντλίας αέρα όταν η διάτρηση γίνεται κάτω από το νερό. Στη σφύρα διαβιβάζεται πεπιεσμένος αέρας από αεροσυμπιεστές που η ισχύς τους πολλές φορές φτάνει τα 500 psi. Για την κατασκευή γεωτρήσεων 4 και 6 ιντσών η απαιτούμενη παροχή αέρα ανέρχεται αντιστοίχως σε 120 και 350 cfm, ενώ η ανοδική ταχύτητα του αέρα, μεταξύ των στελεχών και των τοιχωμάτων της οπής πρέπει να ανέρχεται σε 920 m/min. Η κατάλληλη ταχύτητα περιστροφής της σφύρας είναι 10-30 rpm. Η διάταξη που χρησιμοποιείται στη μέθοδο είναι κατά τα άλλα η ίδια με την περιστροφική μέθοδο με αέρα. Καλό είναι να διαβιβάζεται νερό στους αγωγούς του αέρα, προκειμένου να

αποφεύγεται το κόλλημα της διατρητικής στήλης. Με τη χρησιμοποίηση απορρυπαντικών, βελτιώνεται η απόδοση της μεθόδου (βλέπε προηγούμενη παράγραφο). Η μέθοδος δε δίνει καλά αποτελέσματα στα χαλαρά υλικά καθώς και στις υγρές αργίλους, στις οποίες φράζουν οι οπές εξόδου του αέρα, οπότε σταματά η λειτουργία της αερόσφυρας και έτσι περιορίζεται η χρήση της στα συνεκτικά και ημισυνεκτικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, μαγματίτες κ.λπ.). Η μέθοδος είναι κατά 50% μέχρι 100% γρηγορότερη από την περιστροφική διάτρηση. Η χρησιμοποίηση αντίβαρων βελτιώνει την απόδοση, ενώ η διάταξη πολλών αεροσυμπιεστών σε σειρά αυξάνει τη διαθέσιμη παροχή του αέρα, όχι όμως και την πίεση. Η έξοδος των τριμμάτων είναι πολύ γρήγορη, η διάρκεια ζωής της σφύρας είναι μεγάλη, η διάτρηση δεν επηρεάζεται από τις χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ είναι δυνατή η εκτίμηση κατά τη διάτρηση της παροχής καθενός σχηματισμού.

Τα βασικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η μικρή διάμετρος διάτρησης που φαίνεται να ξεπερνιέται με την κατασκευή ισχυρών αεροσυμπιεστών και άλλων βελτιώσεων του συστήματος και ο περιορισμός της μεθόδου στη διάτρηση ημισυνεκτικών και συνεκτικών σχηματισμών. Στην σχήμα 7.10 δίνεται σχηματικός οδηγός επιλογής κοπτικού άκρου στα συστήματα διάτρησης με αέρα.

ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ			
Γεωλογικός σχηματισμός			
Κατηγορία	Μονοματικά+μεταμορφωμένα	Ασβεστολιθοί, φωσφίτες, σιδηρολιθοί	Ιζηματογενή
Παραδείγματα	Ρομφές, χαλαρές, διασπαστές, γρανίτες, σφιστελίθοι	Ασβεστολιθοί, φωσφίτες, σιδηρολιθοί	Αργίλος, αμμος, πηλίκια
Συνεκτικότητα	Τομό συνεκτικά έως ανευκταία	Συνεκτικά έως ημισυνεκτικά	Χαλαρά
ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			
	Διάμετρος	Μικρή (4-8 ")	Μικρή έως μεσαία (8-12 ")
Βάθος	Μικρό (15-60 m)	Μικρό έως μεγάλο (15-400 m)	

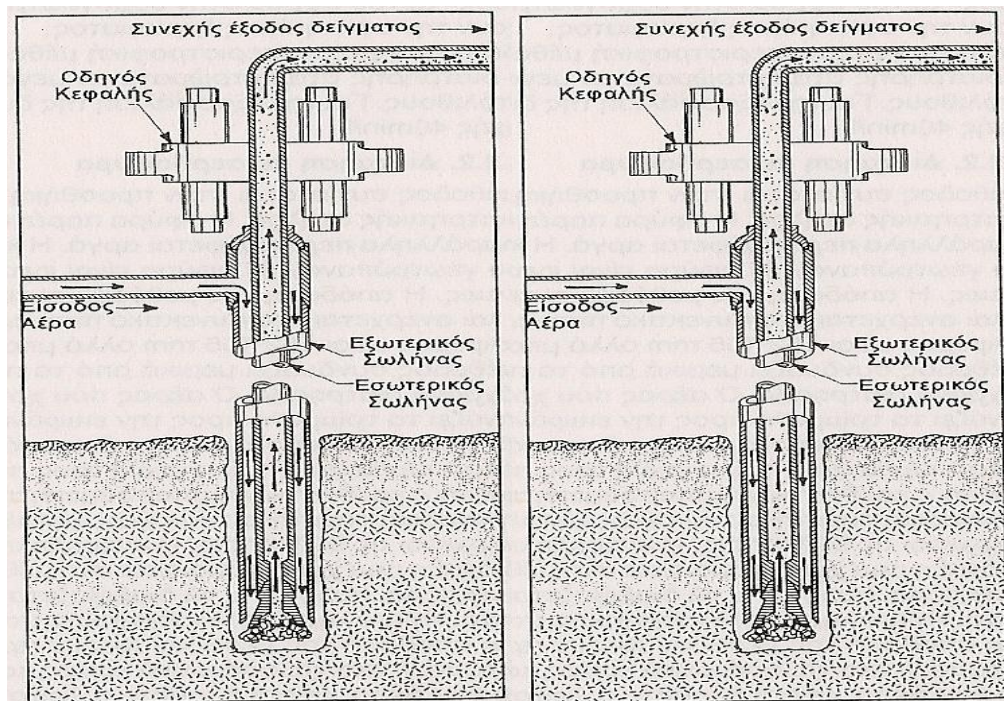
Σχήμα 7.10 Οδηγός επιλογής κοπτικού άκρου κατά τη διάτρηση με αέρα. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

7.4.3 Αντίστροφη Διάτρηση

Πρόκειται για βελτίωση της περιστροφικής διάτρησης με αέρα και συνίσταται στη διαβίβαση αέρα σε ειδικά στελέχη με διπλά τοιχώματα, ώστε να εξασφαλιστεί η άνοδος των τριμμάτων. Ο αέρας διαβιβάζεται στο κοπτικό άκρο μεταξύ των δύο τοιχωμάτων των στελεχών και εξέρχεται από το κοίλο εσωτερικό τους όπως ακριβώς συμβαίνει και με την περιστροφική διάτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας. Με τη μέθοδο αυτή τα περιστροφικά γεωτρύπανα θετικής κυκλοφορίας μετατρέπονται σε ανάστροφης κυκλοφορίας με αέρα, ενώ η διάμετρος διάτρησης μπορεί να φτάσει τα 150 cm σε χαλαρούς σχηματισμούς. Ο εξοπλισμός συμπληρώνεται με αεροσυμπιεστή ισχύος 125 psi και παροχής μεγαλύτερης των 100 cfm καθώς και με κεντρόφυγα αντλία. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η μεγάλη διάμετρος διάτρησης, η μεγάλη ταχύτητα διάτρησης σε χαλαρούς σχηματισμούς, η μικρή ποσότητα πολτού που απαιτείται και ο μικρός απαιτούμενος χρόνος ανάπτυξης. Το μειονέκτημα είναι το υψηλότερο κόστος του εξοπλισμού.

7.4.4 Περιστροφική διάτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας με διπλά τοιχώματα

Πρόκειται για βελτίωση της ανάστροφης κυκλοφορίας η οποία στην περίπτωση αυτή (Σχήμα 7.11) γίνεται μεταξύ των εξωτερικών τοιχωμάτων και του εσωτερικού σωλήνα (κάθοδος πολτού) αλλά και του κοίλου μέρους των στελεχών (επιστροφή στην επιφάνεια μαζί με τα τρίμματα). Ο διπλός σωλήνας προωθείται μέχρι το επιθυμητό βάθος, μηχανικά, καθώς το κοπίδι κόβει το πέτρωμα. Η μέθοδος αποδίδει καλά στα χαλαρά υλικά. Όταν συναντηθούν συνεκτικά υλικά η διάτρηση συνεχίζεται με κανονική διάτρηση και ο σωλήνας με τα διπλά τοιχώματα χρησιμοποιείται ως προσωρινή σωλήνωση. Ο πολτός μπορεί να είναι αέρας οπότε ο εξοπλισμός περιλαμβάνει και ισχυρό αεροσυμπιεστή.



Σχήμα 7.11 Διάτρηση Ανάστροφης κυκλοφορίας με διπλά τοιχώματα (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Τα πλεονεκτήματα της τεχνικής είναι η αντιπροσωπευτική δειγματοληψία, η εύκολη εκτίμηση της απόδοσης του υδροφόρου, μεγάλη ταχύτητα διάτρησης στα χοντρόκοκκα χαλαρά υλικά και στα διερρηγμένα ή τεμαχισμένα πετρώματα και απουσία προβλημάτων απωλειών κυκλοφορίας.

Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος του εξοπλισμού, οι διαμέτροι διάτρησης είναι μικρές (20-25 cm) και το βάθος διάτρησης περιορίζεται μέχρι τα 400 μ. (βέλτιστη απόδοση μέχρι τα 180) στις αλλουβιακές αποθέσεις και μέχρι τα 600 μέτρα στα συνεκτικά πετρώματα. Τα κοπτικά άκρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μπορεί να είναι οποιουδήποτε μεν τύπου (τρίκωνα-τρίφτερα-αερόσφυρα) αλλά η διάμετρος τους πρέπει να είναι μικρή.

7.4.5 Ταυτόχρονη διάτρηση και σωλήνωση

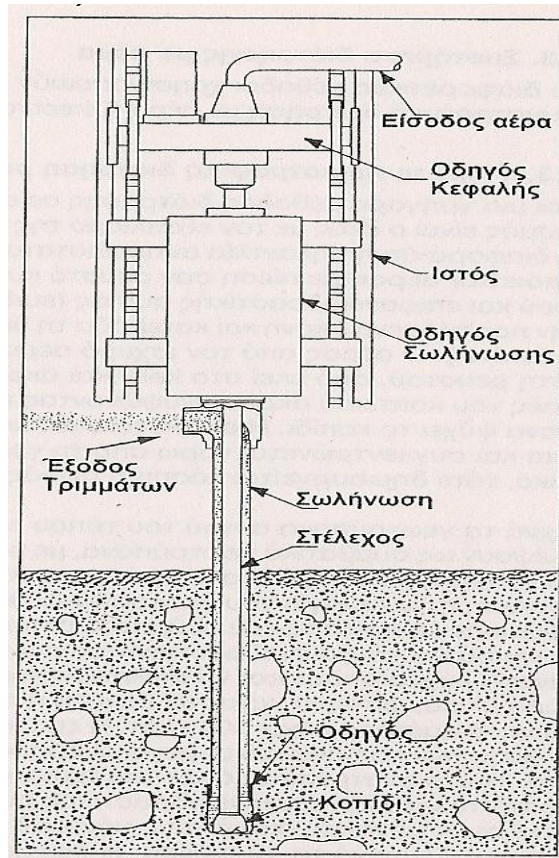
Πρόκειται για απόπειρα συνδυασμού της ταχύτητας της περιστροφικής διάτρησης και της σταθερότητας της διανοιγόμενης οπής που προσφέρει η κρουστική διάτρηση. Η προσωρινή σωλήνωση, με τη βοήθεια οδηγών

προωθείται ταυτόχρονα με τη διάτρηση. Προς τούτο η προσωρινή σωλήνωση και η διατρητική στήλη (σχημα 7.12) είναι συναρμολογημένα σε έναν ενιαίο μηχανισμό. Τα στελέχη και οι σωλήνες έχουν το ίδιο μήκος (6,1 m) ενώ στο κάτω άκρο της σωλήνωσης τοποθετείται χαλύβδινο πέδιλο. Η κεφαλή της σωλήνωσης συναρμολογείται στη βάση του οδηγού της σωλήνωσης. Η τελευταία προωθείται με έμβολο που ενεργοποιείται με τη διαβίβαση πεπιεσμένου αέρα. Οι αεροσυμπιεστές που χρησιμοποιούνται, αναλόγως με τη διάμετρο της σωλήνωσης έχουν ισχύ 40-90 psi και η κατανάλωση αέρα κυμαίνεται από 245 μέχρι 450 cfm. Η διάτρηση μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: σωλήνωση και διατρητική στήλη προχωρούν ταυτόχρονα ως μία ενότητα, προηγείται η σωλήνωση κατά 0,2-0,5 m και ακολουθεί η διάτρηση (χαλαρά υλικά), προηγείται η διάτρηση μερικές δεκάδες cm και ακολουθεί η σωλήνωση.

Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνονται υψηλοί ρυθμοί απόδοσης στους περισσότερους χαλαρούς σχηματισμούς, ακόμα και όταν περιέχουν ογκόλιθους. Η οριστική σωλήνωση γίνεται μετά από ανέλκυση της προσωρινής σωλήνωσης. Είναι δυνατός επίσης ο συνδυασμός της τεχνικής αυτής με αερόσφυρα (χαλαρά, υπερκείμενα συνεκτικών σχηματισμών).

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η εύκολη και γρήγορη διάτρηση στους χαλαρούς σχηματισμούς, χωρίς προβλήματα σταθεροποίησης των τοιχωμάτων της γεώτρησης, χωρίς προβλήματα απωλειών κυκλοφορίας, με αξιόπιστη δειγματοληψία σχηματισμών και υπόγειου νερού, με δυνατότητα διάτρησης σε όλες τις καιρικές συνθήκες και χωρίς την ανάγκη πολτών με βάση το νερό.

Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος του εξοπλισμού και ο μεγάλος θόρυβος κατά τη λειτουργία.



Σχήμα 7.12 Ταυτόχρονη Διάτρηση και Σωλήνωση (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

7.5 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ

Η μέθοδος συνίσταται στην εκτόξευση ρεύματος νερού με μεγάλη ταχύτητα και στην αξιοποίηση της ενέργειας της πίεσης του νερού για τη χαλάρωση της συνεκτικότητας των χαλαρών πετρωμάτων. Έχουν αναπτυχθεί δύο τεχνικές.

7.5.1 Κρουστική διάτρηση με εκτόξευση νερού

Στην τεχνική αυτή χρησιμοποιείται η κοπτική ενέργεια των κρούσεων σε συνδυασμό με τη διαβρωτική ενέργεια του εκτοξευόμενου νερού. Το κοπίδι είναι κοίλο της μορφής σμίλης και η περιστροφή συνεχής. Η χρησιμοποίηση του κάδου καθαρισμού περιορίζεται στη διάτρηση των σκληρών μόνο πετρωμάτων. Τα τρίμματα απομακρύνονται από τη γεώτρηση με το νερό που κυκλοφορεί συνεχώς. Η ταχύτητα ανόδου του νερού είναι αρκετά μεγάλη, 2-3,5 m/s, όταν τα τρίμματα είναι μεγάλου μεγέθους, κάτι που σημαίνει ότι χρειάζονται τεράστιες

ποσότητες νερού, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος της κανονικής ή θετικής κυκλοφορίας του νερού, δηλαδή όταν το νερό κατεβαίνει από τα στελέχη και ανεβαίνει στην επιφάνεια από το χώρο ανάμεσα στα στελέχη και τα εσωτερικά τοιχώματα της υδρογεώτρησης ή της προσωρινής σωλήνωσης (Σχήμα 7.3α). Καλύτερα αποτελέσματα πετυχαίνονται με την ανάστροφη κυκλοφορία (Σχήμα 7.3β), κατά την οποία το νερό κυκλοφορεί αντίθετα από την κανονική κυκλοφορία. Όμως με την ανάστροφη κυκλοφορία χάνεται πια η ενέργεια της εκτόξευσης νερού. Όταν οι απώλειες της κυκλοφορίας του νερού είναι μεγάλες ή όταν τα τοιχώματα της γεώτρησης πέφτουν, η τελευταία πρέπει να σωληνώνεται με προσωρινή ή περιφραγματική σωλήνωση.

Το βασικό πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η μεγαλύτερη ταχύτητα διάτρησης. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι τα δείγματα που παίρνονται προσδιορίζονται δυσκολότερα και η στάθμη του νερού στην υδρογεώτρηση -που οφείλεται σε υδροφόρο- δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί. Έτσι, είναι δυνατόν να μην εντοπιστούν υδροφόροι χαμηλής μέχρι μέσης απόδοσης. Για τους λόγους αυτούς δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος αυτή για ερευνητικές υδρογεωτρήσεις. Αντίθετα προσφέρεται για την κατασκευή πιεζομέτρων και πηγαδιών μικρής απόδοσης.

Οι δυνατότητες πάντως της μεθόδου περιορίζονται σε διαμέτρους διάτρησης 76-102 mm μέχρι βάθους 60 m περίπου. Σπανίως μπορεί να επιτευχθούν μεγάλες διαμέτροι μέχρι βάθος 300 cm, πλην όμως τελευταία εκτοπίστηκε από τις άλλες μεθόδους διάτρησης. Το νερό διαβιβάζεται με πίεση μέσα από τα στελέχη και εξέρχεται από ακροφύσια που υπάρχουν σε κάθε μία πλευρά του κοπιδιού. Το ρεύμα νερού καθαρίζει το κοπίδι, χαλαρώνει το πέτρωμα που ακολούθως θα διατρηθεί και τέλος ανεβάζει τα τρίμματα στην επιφάνεια του εδάφους, εξωτερικά της διατρητικής στήλης και εκείθεν στο λάκκο (δεξαμενή πολτού), όπου αποθέτει τα τρίμματα. Το νερό εν συνεχεία αναρροφάται από την αντλία και επαναδιαβιβάζεται στα ακροφύσια. Το σύστημα κυκλοφορίας του νερού κατά τα άλλα είναι παρόμοιο με εκείνο της περιστροφικής διάτρησης θετικής

κυκλοφορίας. Όμως η κίνηση του κοπιδιού είναι παρόμοια με την κρουστική διάτρηση με συρματόσχοινο αλλά με μικρότερη διαδρομή πτώσης. Η σωλήνωση προωθείται κατά τη διάτρηση, ακολουθώντας από κοντά την προχώρηση. Με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται και τα φρέατα εκτόξευσης

Πίνακας 7.3 Τρόποι αντιμετώπισης μερικών προβλημάτων διάτρησης με ρυθμίσεις του ρευστού κυκλοφορίας. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Πρόβλημα	Ενέργεια
Ανεπαρκής εξαγωγή τριμμάτων	α) Ρευστό με αργιλικά και πολυμερή πρόσθετα: -Αύξηση της ανοδικής ταχύτητας του ρευστού -Αύξηση του ιξώδου με προσθήκη κολλοειδών υλικών -Αύξηση της πυκνότητας του ρευστού - Μείωση της ταχύτητας προχώρησης
	β) Αέρας μόνο -Αύξηση της ανοδικής ταχύτητας του ρευστού με προσθήκη αέρα ή νερού -Προσθήκη επιφανειοδραστικού -Μείωση της παροχής αέρα ή της περιεκτικότητας σε νερό
Βραδύς ρυθμός καθίζησης των τριμμάτων στη δεξαμενή καθίζησης	- Αραίωση του ρευστού με προσθήκη νερού - Προσθήκη αραιωτών στο ρευστό - Αντικατάσταση αργιλικών πρόσθετων από πολυμερή πρόσθετα - Επανασχεδιασμός ή καθάρισμα της δεξαμενής καθίζησης
Υπερβολικές απώλειες κυκλοφορίας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολφού μεγάλου πάχους στα τοιχώματα της γεώτρησης	- Αύξηση ιξώδους με προσθήκη μπεντονίτη ή πολυμερών κολλοειδών στα ρευστά με βάση το νερό - Προσθήκη ιξωδοδραστικών ουσιών - Μείωση της πυκνότητας του ρευστού - Πρόληψη δραστικών αλλαγών της κατακόρυφης πίεσης και διατήρηση της στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο - Ανεβοκατέβασμα της διατρητικής στήλης με πολύ αργό ρυθμό - Μείωση της παροχής της αντλίας στο ελάχιστο δυνατό (ψύξη κοπιδιού - απελευθέρωση κοπιδιού από τη λάσπη), - Μείωση της ταχύτητας διάτρησης των μαλακών σχηματισμών (πρόληψη μπλοκαρίσματος οπών κοπιδιού από λάσπη) - Εκκίνηση της διάτρησης χωρίς ρευστό και βαθμιαία έναρξη και αύξηση του ρυθμού της κυκλοφορίας

<p>Απώλεια της κυκλοφορίας σε περατούς σχηματισμούς, σε τυχωμένα και διερρηγμένα συνεκτικά πετρώματα, σε καρστικά έγκοιλα (ασβεστόλιθοι - δολομίτες) και σε ρωγμές που προκαλούνται από υπερβολική πίεση κατά την διάτρηση σε ημισυνεκτικά και συνεκτικά πετρώματα</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Μείωση της πυκνότητας του ρευστού - Αλλαγή τεχνικής διάτρησης: αντικατάσταση ρευστού με βάση τα αργιλικά πρόσθετα από ρευστό αέρα-αφρού ή προσθήκη επιφανειοδραστικού, στο σύστημα ξηρού αέρα, - Χρήση φυσικών πολυμερών στο σημείο των απωλειών - Χρήση στεγανωτικών υλικών - Αλλαγή διατρητικής μεθόδου σε κρουστική - Αποσωλήνωση και επαναδιάτρηση με περιστροφική μέθοδο - Πλήρωση της οπής με καθαρή άμμο, από τον πυθμένα μέχρι και πάνω από το σημείο με τις υψηλές απώλειες. Διατήρηση της άμμου στην οπή για 12-20 ώρες. Επαναδιάτρηση με χρήση ανΓλίας χαμηλής πίεσης. - Τσιμέντωση της ζώνης υψηλών απωλειών και επαναδιάτρηση
<p>Αρτεσιανή πίεση στον διατρώμενο σχηματισμό ή ρευστή άμμος</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Αύξηση της πυκνότητας με προσθήκη βαρύτητας (ρευστό με αργιλικά πρόσθετα) - - Αύξηση της πυκνότητας με προσθήκη διαλύματος αλατιού (ρευστό με πολυμερή πρόσθετα)
<p>Απολέπιση σχιστόλιθων, λόγω ενυδάτωσης, πίεσης των πόρων και πίεσης των υπερκειμένων</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Χρήση πολυμερών για την απομόνωση των σχιστολιθών από το νερό -Διατήρηση σταθερής πίεσης του ρευστού -Ελαχιστοποίηση της ανοδικής ταχύτητας του ρευστού -Ελαχιστοποίηση απότομων αυξομειώσεων της πίεσης του ρευστού λόγω ανεβοκατεβάσματος της διατρητικής στήλης. -Προσθήκη στο ρευστό με βάση το νερό 3-4 % KCl -Αύξηση του pH του ρευστού, ώστε να γίνει πιο συμπαγής η αργιλική φάση του
<p>Μόλυνση του νερού από: - τσιμέντο (διάσπαση ρευστού από πολυμερή και συνεπώς αύξηση απωλειών) - διαλυτά άλατα (αποκροκίδωση ρευστού με βάση αργιλικά πρόσθετα) - αέρια, π.χ. H_2S, CO_2 στο νερό (αλλαγή της φυσικής κατάστασης του ρευστού)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Διατήρηση του pH του ρευστού < 7 - - Προσθήκη νατριοπυροφωσφορικού οξέος για την αποκατάσταση του αρχικού ιζώδους - - Αλλαγή του αργιλικού πρόσθετου από μοντοριλλονίτη σε απαπουλγίτη - - Χρησιμοποίηση ρευστού με φυσικά πολυμερή πρόσθετα - Προσθήκη αντιδιαβρωτικού
<p>Υπερβολικά μεγάλη διατμητική αντοχή του πολτού (με βάση τον μπεντονίτη), λόγω υψηλής κροκίδωσης του ή μόλυνσης του από εβαπορίτες ή τσιμέντο ή υψηλής περιεκτικότητας στερεών</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Αραιώση του ρευστού με προσθήκη νερού -Προσθήκη πολυφωσφορικών ή άλλων αραιωτών για την μείωση των ηλεκτρικών φορτίων στα αργιλικά κολλοειδή -Αφαίρεση στερεών σωματιδίων από τον πολτό - Μείωση του pH
<p>Διάτρηση σε θερμοκρασία κάτω του μηδενός (κατάψυξη του ρευστού)</p>	<p>Προσθήκη $NaCl$ ή $CaCl_2$ στο ρευστό (με πολυμερή πρόσθετα). Δεν εφαρμόζεται στα ρευστά με αργιλικά πρόσθετα γιατί μειώνει δραστικά το ιζώδες τους</p>

7.6 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Η επιλογή της καλύτερης κατά περίπτωση μεθόδου διάτρησης προϋποθέτει την καλή γνώση των γεωλογικών συνθηκών της θέσης εκτέλεσης της γεώτρησης αλλά και των δυνατοτήτων και περιορισμών του γεωτρυπάνου. Η εμπειρία του γεωτρυπανιστή είναι σημαντικός παράγων επιτυχούς εκτέλεσης της γεώτρησης αλλά δεν πρέπει να υπερεκτιμάται. Η σχολαστική δειγματοληψία και συμπλήρωση του Ημερήσιου Δελτίου του γεωτρυπάνου είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για την επίτευξη του τελικού στόχου. Στον πίνακα 7.3 παρουσιάζονται οι σχετικές αποδόσεις των διαφόρων γεωτρητικών μεθόδων στους διάφορους γεωλογικούς σχηματισμούς.

7.7 ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Όταν τελειώσει η διάτρηση, η «τρύπα» που ανοίχτηκε, πρέπει να γίνει «γεώτρηση» με μια σειρά εργασιών συμπλήρωσης. Η συμπλήρωση είναι το σύνολο των εργασιών με τις οποίες επιδιώκεται η αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας γύρω από την υδρογεώτρηση και η παρεμπόδιση εισόδου σ' αυτή λεπτόκοκκων υλικών, περιλαμβάνει δε μια ή περισσότερες από τις πιο κάτω εργασίες:

- σωλήνωση και τσιμέντωση της σωλήνωσης στο πάνω της στεγανό τμήμα.
- τοποθέτηση φιλτροσωλήνων
- τοποθέτηση χαλικόφιλτρου

Στα συμπαγή πετρώματα (ασβεστόλιθοι π.χ.) δεν είναι, συνήθως, απαραίτητη η συμπλήρωση, οπότε οι υδρογεωτρήσεις δεν είναι παρά «ανοιχτές τρύπες».

7.7.1 Σωλήνωση

Η σωλήνωση χρησιμεύει για την προστασία της υδρογεώτρησης από τις καταρρεύσεις των τοιχωμάτων της. Εμποδίζει επίσης την είσοδο στην υδρογεώτρηση επιφανειακών νερών και εξασφαλίζει ένα ευθύγραμμο δρόμο επικοινωνίας ανάμεσα στην επιφάνεια και τον υδροφόρο. Στο εμπόριο κυκλοφορούν διάφοροι τύποι σωλήνων υδρογεωτρήσεων από γαλβανισμένη ή μαύρη λαμαρίνα, από χάλυβα ή διάφορα κράματα του, από χλωριούχο πολυβινίλιο (PVC) κ.λπ.

α) Η επιφανειακή σωλήνωση τοποθετείται κατά τη διάρκεια της διάτρησης από την κεφαλή της γεώτρησης στην επιφάνεια, μέχρι τα πρώτα σταθερά αδιαπέρατα στρώματα. Αυτή η επιφανειακή σωλήνωση εξυπηρετεί τους εξής σκοπούς:

- i) συγκρατεί τα ασταθή υλικά κατά τη διάτρηση
- ii) ελαττώνει τις απώλειες του ρευστού κατά τη διάτρηση
- iii) διευκολύνει την τοποθέτηση ή αφαίρεση άλλων σωλήνων
- iv) εμποδίζει την είσοδο, στο υδροφόρο μέρος της υδρογεώτρησης, επιφανειακών νερών και ρύπων προστατεύοντας έτσι την υδρογεώτρηση από ενδεχόμενη ρύπανση
- v) χρησιμεύει σαν αποθήκη για το χαλικό φίλτρο
- vi) ελαχιστοποιεί την απόπλυση και διάβρωση των τοιχωμάτων της υδρογεώτρησης από τον πολύτο κυκλοφορία και τα κοπτικά άκρα.

Η επιφανειακή σωλήνωση μπορεί να μη χρησιμοποιηθεί καθόλου, όταν δεν υπάρχουν προβλήματα ευστάθειας των τοιχωμάτων της υδρογεώτρησης ή μεγάλων απωλειών κυκλοφορίας κ.λπ.

Η επιφανειακή σωλήνωση μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη, συχνά δε αναφέρεται ως περιφραγματική σωλήνωση.

Στον πίνακα 7.4 δίνονται οι συνιστώμενες ελάχιστες διάμετροι της επιφανειακής σωλήνωσης για διάφορες διαμέτρους σωλήνωσης θαλάμου αντλίας.

Πίνακας 7.4 Ελάχιστες εσωτερικές διαμέτροι σωλήνωσης θαλάμου αντλίας και μόνιμης επιφανειακής σωλήνωσης (U.S Water and Power Resources Service, 1981)

Παροχή Υδρογεώτρησης	Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης θαλάμου αντλίας		Διάμετρος μόνιμης επιφανειακής σωλήνωσης			
			Υδρογεώτρηση χωρίς χαλικόφιλτρο		Υδρογεώτρηση με χαλικόφιλτρο	
<i>m³/ώρα</i>	<i>cm</i>	<i>ιντσες</i>	<i>cm</i>	<i>ιντσες</i>	<i>cm</i>	<i>ιντσες</i>
<20	15	6	20-25	8-10	46	18
11-34	20	8	25-30	10-12	51	20
23-114	25	10	30-36	12-14	56	22
68-341	30	12	41-46	16-18	61	24
114-454	41	16	41-46	16-18	66	26
341-681	41	16	46-51	18-20	71	28
454-1136	50	20	51-56	20-22	76	30
681-1136	61	24	61-66	24-26	86	34
910-1280	71	28	66-71	26-28	91	36

Κατά την εξαγωγή της προσωρινής επιφανειακής σωλήνωσης, ο χώρος ανάμεσα στα τοιχώματα της υδρογεώτρησης και τη μόνιμη σωλήνωση πρέπει να τσιμεντώνεται.

Όταν πρόκειται να τοποθετηθεί μόνιμος περιφραγματικός σωλήνας (μόνιμη επιφανειακή σωλήνωση), κατασκευάζεται αρχικά μια οπή μεγαλύτερης διαμέτρου και στη συνέχεια τοποθετείται ο περιφραγματικός σωλήνας και τσιμεντώνεται. Ο πίνακας 7.5. δείχνει τις ελάχιστες διαμέτρους διάτρησης για τις διάφορες διαμέτρους σωλήνωσης θαλάμου αντλίας.

Μετά την τοποθέτηση της επιφανειακής σωλήνωσης και την τσιμεντόνωση, συνεχίζεται η διάτρηση από τον πυθμένα πια της επιφανειακής σωλήνωσης. Η

διάτρηση αυτή γίνεται συνήθως με κοπίδι διαμέτρου μικρότερης κατά 5 cm από την εξωτερική διάμετρο της επιφανειακής σωλήνωσης.

Πίνακας 7.5 Ελάχιστες διάμετροι διάτρησης για ικανοποιητική τσιμέντωση γύρω από τη σωλήνωση (U.S Water and Power Resources Service, 1981)

Όνομαστική διάμετρος σωλήνωσης αντλίας		διάμετρος θαλάμου		Διάμετρος διάτρησης για σωλήνωση με μούφες		Διάμετρος διάτρησης για σωλήνωση χωρίς μούφες	
cm	ίντσες	Cm	ίντσες	cm	ίντσες	cm	ίντσες
15	6	26	10 3/8	24	9 5/8		
20	8	31	10 5/8	29	11 5/8		
25	10			35	13 3/4		
30	12			40	15 3/4		
36	14			43	17		
41	16			48	19		
46	18			53	21		
51	20			58	23		
56	22			63	25		
61	24			69	27		
66	26			74	29		
71	28			79	31		
76	30			84	33		
81	32			89	35		
86	34			94	37		
91	36			99	39		

Για την τοποθέτηση χαλκόφιλτρου κατά κανόνα χρησιμοποιούνται σωλήνες διαμέτρου 5-10 cm (2 - 4 ίντσες) με μούφες, που τοποθετούνται μεταξύ των τοιχωμάτων της οπής και της σωλήνωσης του θαλάμου αντλίας.

Το πάχος της μόνιμης επιφανειακής σωλήνωσης είναι:

για διαμέτρους 20 μέχρι 46 cm, 6 mm

για διαμέτρους 51 μέχρι 66 cm, 9 mm

για διαμέτρους 71 μέχρι 91 cm, 13 mm

Όταν τα ασταθή υλικά εκτείνονται σε μεγαλύτερα, από τα συνηθισμένα, βάθη στα οποία τοποθετείται η επιφανειακή σωλήνωση, τότε η τελευταία πρέπει να στηρίζεται σταθερά στην επιφάνεια του εδάφους.

Η επιλογή του πάχους και του βάθους τοποθέτησης της προσωρινής επιφανειακής σωλήνωσης, συνήθως γίνεται από τον εργολάβο ο οποίος έχει και την ευθύνη τοποθέτησης.

Η μόνιμη επιφανειακή σωλήνωση πρέπει να προεκτείνεται κατά 30 cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Στις Τεχνικές Προδιαγραφές πρέπει να δίνονται τα ελάχιστα βάθη τοποθέτησης, η διάμετρος και το πάχος της επιφανειακής σωλήνωσης. Σε μερικές περιπτώσεις θα πρέπει να αφήνεται στην κρίση του εργολάβου η τοποθέτηση επιφανειακής σωλήνωσης, πέρα από τις πιο πάνω ελάχιστες απαιτήσεις, με δικές του όμως δαπάνες.

β) Η σωλήνωση θαλάμου αντλίας ή τυφλή σωλήνωση περιλαμβάνει τη σωλήνωση πάνω από το φιλτροσωλήνα, σε γεωτρήσεις ομοιόμορφης διαμέτρου. Στις τηλεσκοπικές υδρογεωτρήσεις είναι η σωλήνωση που στο εσωτερικό της τοποθετείται η αντλία.

Όπου η διάβρωση και απόθεση αλάτων δημιουργούν προβλήματα, ενδείκνυται η χρησιμοποίηση μη μεταλλικών σωλήνων (πήλινων - τσιμέντινων - αμιαντοτσιμέντινων - πλαστικών κ.λπ.), που η αντοχή τους όμως είναι γενικά μικρότερη από την αντοχή των χαλύβδινων σωλήνων.

Το πάχος των σωλήνων δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 6 mm, γιατί για μικρότερα πάχη αυξάνει η πιθανότητα διάβρωσης. Τα διάφορατεμάχια της σωλήνωσης κατά κανόνα συγκολλούνται. Πρέπει όμως να αποφεύγεται η συγκόλληση σωλήνων διαφορετικών μετάλλων ή κραμάτων, γιατί προκαλείται ηλεκτρολυτική διάβρωση στην επαφή τους. Τέτοια ανομοιογενή υλικά θα πρέπει πριν τη συγκόλληση να μονώνονται (διηλεκτρικοί σύνδεσμοι).

Το πρόβλημα της διάβρωσης αντιμετωπίζεται με τη χρησιμοποίηση πήλινων ή τσιμεντινών σωλήνων των οποίων όμως είναι πολύ δύσκολη η τοποθέτηση. Εξάλλου οι τσιμεντινοί σωλήνες δεν επιτρέπουν την επεξεργασία των υδρογεωτρήσεων με οξέα. Οι πλαστικοί από PVC ή ABS σωλήνες προσφέρονται καλύτερα από κάθε άλλο τύπο σωλήνων γιατί είναι ανθεκτικοί ελαφροί και φτηνοί. Το μειονέκτημα τους είναι η μικρή αντοχή τους στον εφελκυσμό και η δυσχέρεια στην ένωση τους με μεταλλικούς φιλτροσωλήνες. Τα συνηθισμένα βάθη τοποθέτησης τους είναι μέχρι 50 m για διάμετρο 25-30 cm και μέχρι 300 m για διάμετρο 15 cm. Οι πλαστικοί σωλήνες από PVC ή ABS μπορούν να τοποθετούνται μέχρι 100 μέτρα βάθος με διάμετρο 25 cm. Οι καλύτεροι σωλήνες είναι αυτοί από ανοξείδωτο χάλυβα και από κράματα χαλκού. Είναι όμως πολύ ακριβοί και τοποθετούνται μόνο σε γεωτρήσεις με διαβρωτικό νερό. Από οικονομοτεχνικής όμως πλευράς οι σωλήνες από χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, με παχιά τοιχώματα δίνουν την πιο πρακτική λύση.

Η κορυφή της σωλήνωσης θαλάμου αντλίας πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον 30 cm ψηλότερα από το αναμενόμενο ελάχιστο βάθος της αντλίας. Το βάθος λοιπόν τοποθέτησης του ποτηριού της αντλίας και κατά συνέπεια και το βάθος τοποθέτησης της τυφλής σωλήνωσης καθορίζεται από τις αναμενόμενες στάθμες άντλησης, με βάση:

- τη στατική στάθμη του υδροφόρου κατά την κατασκευή της υδρογεώτρησης,
- την κατώτατη στατική στάθμη που έχει καταγραφεί στην περιοχή,
- τη μακροπρόθεσμη τάση της στάθμης του υδροφόρου,
- τις πιθανές πτώσεις στάθμης με την επιθυμητή παροχή άντλησης,
- την πιθανή αμοιβαία επίδραση με άλλες υδρογεωτρήσεις ή υδραυλικά σύνορα,
- το απαιτούμενο βάθος νερού από το αντλητικό συγκρότημα.

Θα πρέπει κατά την ανάλυση των πιο πάνω περιορισμών να λαμβάνεται υπόψη ότι η εκτιμώμενη ελάχιστη διάρκεια ζωής της υδρογεώτρησης είναι 25 χρόνια, ενώ συχνά ξεπερνά τα 40 χρόνια.

Οι αποκλίσεις της σωλήνωσης από την ευθυγραμμία δεν θα πρέπει να ξεπερνούν τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια. Όταν το μήκος της σωλήνωσης ξεπερνά τα 15 m και η διαφορά ανάμεσα στη διάμετρο της και τη διάμετρο της επιφανειακής σωλήνωσης (όταν τοποθετείται) ή τη διάμετρο της οπής, είναι μεγαλύτερη από 2,5 cm, η σωλήνωση θα πρέπει να κεντράρεται, με τη βοήθεια οδηγών, στο τέλος της και ανά διαστήματα 10-15 m.

Η σωλήνωση θαλάμου αντλίας θα πρέπει να τσιμεντώνεται, εκτός αν τοποθετείται μέσα από τσιμεντωμένη επιφανειακή σωλήνωση.

Πρέπει να αποφεύγεται να περιλαμβάνει η σωλήνωση αυτή και τμήμα φιλτροσωλήνα, ή να είναι κατά ένα μέρος της διάτρητη. Πρέπει επίσης να αποφεύγεται η περιοδική έκθεση του φιλτροσωλήνα στον αέρα γιατί επιταχύνεται η διάβρωση του και η ανάπτυξη οργανισμών που την αποφράζουν.

γ) Οι φιλτροσωλήνες. Στα συνεκτικά πετρώματα, όπως τα καρστικά, δεν χρειάζεται συνήθως σωλήνωση και το νερό μπορεί να εισέλθει απ' ευθείας στην ασωλήνωτη υδρογεώτρηση. Αντίθετα, στους χαλαρούς σχηματισμούς, οι υδρογεωτρήσεις εξοπλίζονται με φιλτροσωλήνες, δηλαδή με σωλήνες που φέρουν εγκοπές ή ανοίγματα από τα οποία μπορεί να περάσει το νερό όχι όμως και τα λεπτόκοκκα υλικά που παρασύρονται από τη ροή του νερού. Οι φιλτροσωλήνες επιπλέον συγκρατούν τα τοιχώματα της υδρογεώτρησης και επιτρέπουν τις μέγιστες εισροές νερού στην υδρογεώτρηση με την ελάχιστη υδραυλική αντίσταση.

Τα κριτήρια επιλογής των κατάλληλων κατά περίπτωση τύπων φιλτροσωλήνα είναι:

- Το μεγάλο ποσοστό της συνολικής επιφάνειας των ανοιγμάτων
- Το είδος των ανοιγμάτων (σχισμών) να είναι τέτοιο ώστε να μην φράζεται από τα στερεά υλικά που περιέχει το νερό.
- Η μεγάλη αντίσταση στη διάβρωση.
- Η επαρκής αντοχή στον εφελκυσμό.

Από πλευράς λειτουργικότητας, ο φιλτροσωλήνας θα πρέπει να εξασφαλίζει:

- την εύκολη ανάπτυξη
- την ελαχιστοποίηση της τάσης απόθεσης αλάτων
- την ελαχιστοποίηση των μη γραμμικών απωλειών φορτίου
- τον έλεγχο της άντλησης άμμου σε όλους τους τύπους υδροφόρου.

Όταν οι σχισμές ανοίγονται με μηχανικό ψαλίδι ή οξυγόνο έχουν άνοιγμα που μπορεί να κυμαίνεται από 0,25 mm μέχρι 6 mm, η δε μέγιστη ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων, κυμαίνεται από 1% (σχισμή με άνοιγμα 0,5 mm) μέχρι 12% (άνοιγμα σχισμής 6 mm) της συνολικής επιφάνειας του φιλτροσωλήνα.

Όταν χρησιμοποιούνται αυτού του τύπου οι φιλτροσωλήνες συχνά είναι απαραίτητη η αύξηση της διαμέτρου της υδρογεώτρησης και του μήκους του φιλτροσωλήνα, προκειμένου να τηρηθούν τα όρια της ταχύτητας εισόδου του νερού στις υδρογεωτρήσεις.

Όταν οι σχισμές είναι προκατασκευασμένες, το άνοιγμα τους μπορεί να κυμαίνεται από 1,5 mm μέχρι 6 mm, με μέγιστη ολική επιφάνεια ανοιγμάτων που κυμαίνεται από 4% μέχρι 18%.

Στα γεφυρωτά φίλτρα οι σχισμές έχουν άνοιγμα μεταξύ 0,5 mm και 4 mm. Η μέγιστη ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων κυμαίνεται από 3% (άνοιγμα σχισμής 0,5 mm) μέχρι 33% (άνοιγμα σχισμής 5 mm). Τα περσιδωτά φίλτρα έχουν κατά βάση τα ίδια χαρακτηριστικά με τα γεφυρωτά.

Οι φιλτροσωλήνες με συνεχείς σχισμές, γίνονται με περιέλιξη χαλύβδινου, ή από ειδικό κράμα σύρματος γύρω από έναν κυλινδρικό σκελετό που έχει τη μορφή κλωβού, ο οποίος αποτελείται από γενέτειρες του κυλίνδρου από το ίδιο υλικό με το σύρμα. Το τελευταίο έχει διατομή σχήματος V ή κυκλική και συγκολλιέται ή προσαρμόζεται με συνδέσμους τύπου χελιδονοουράς, πάνω στις γενέτειρες του κυλίνδρου. Οι σχισμές έχουν οποιοδήποτε επιθυμητό άνοιγμα μεταξύ 0,15 mm και 6 mm. Το κάθε άνοιγμα διαφέρει από το αμέσως μικρότερο του και το αμέσως μεγαλύτερο του κατά 0,13 mm. Η ελάχιστη ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων κυμαίνεται από 2% (άνοιγμα σχισμής 0.15 mm) μέχρι 62% (άνοιγμα σχισμής 4 mm).

Κατά την προμήθεια των φιλτροσωλήνων θα πρέπει ο κατασκευαστής τους να δίνει, υπεύθυνα, πιστοποιητικό με το ποσοστό % της συνολικής επιφάνειας των ανοιγμάτων για τις διάφορες διαμέτρους και τα διάφορα ανοίγματα σχισμών.

Οι φιλτροσωλήνες συνεχούς σχισμής είναι οι καλύτεροι από πλευράς απόδοσης αλλά και πολύ ακριβοί, έτσι που η χρησιμοποίησή τους θα πρέπει να γίνεται μετά από λεπτομερή ανάλυση όλων των τεχνικοοικονομικών εναλλακτικών δυνατοτήτων.

Τα μήκη, γενικά, των φιλτροσωλήνων κυμαίνονται συνήθως από 1,5 m μέχρι 6 m, η σύνδεση τους δε γίνεται είτε με συγκόλληση είτε με συνδέσμους (μούφες). Και στις δύο περιπτώσεις το συνδετικό υλικό πρέπει να είναι το ίδιο με το υλικό των φιλτροσωλήνων. Οι διάμετροι των φιλτροσωλήνων ποικίλουν από 3 cm μέχρι 152 cm.

7.7.2 Η ανοιχτή επιφάνεια των σχισμών των φιλτροσωλήνων

Παλιότερα ήταν πολύ δημοφιλής η μέθοδος δημιουργίας των ανοιγμάτων στους φιλτροσωλήνες επιτόπου. Αυτό πρέπει να αποφεύγεται γιατί δημιουργούνται μεγάλα ανώμαλα ανοίγματα και επιτυγχάνεται μικρό ποσοστό (3-4%) συνολικής επιφάνειας ανοιγμάτων, ενώ δύσκολα ελέγχεται η είσοδος άμμου μαζί με το νερό κατά την άντληση.

Η ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων για μεγαλύτερες σχισμές είναι περίπου το 12% της συνολικής επιφάνειας του φιλτροσωλήνα. Το ποσοστό της επιφάνειας των ανοιγμάτων είναι ο κύριος παράγοντας που ελέγχει τις απώλειες φορτίου. Για πρακτικούς σκοπούς είναι επιθυμητό ένα ελάχιστο ποσοστό ανοιγμάτων της τάξης του 15% (Σχήμα 7.13).

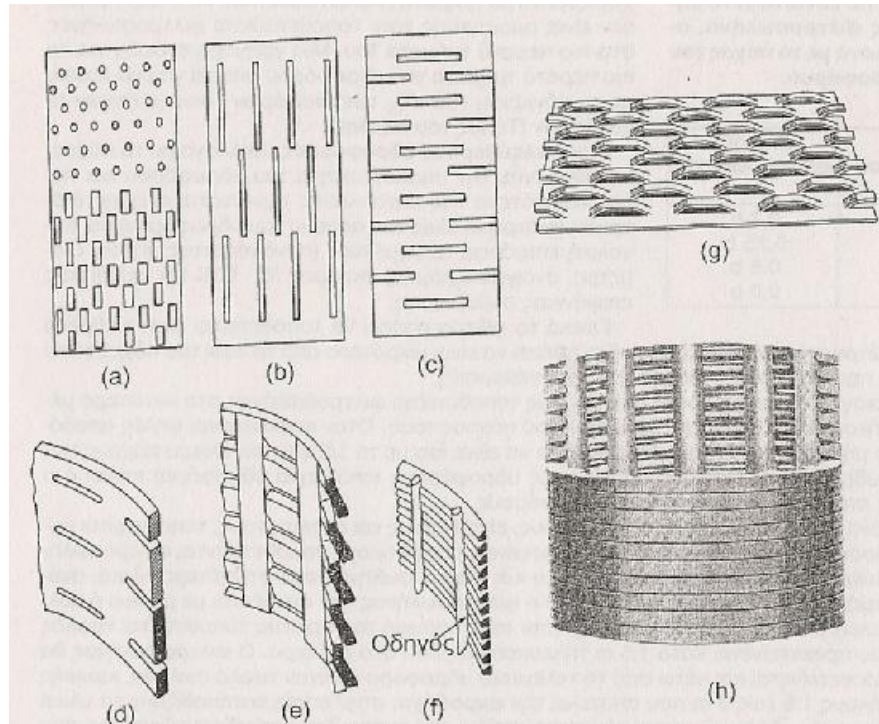
Στο εμπόριο υπάρχει μεγάλη ποικιλία φιλτροσωλήνων αναφορικά με το είδος και τη διάταξη των σχισμών αλλά και με το υλικό κατασκευής τους. Οι σχισμές στους φιλτροσωλήνες μπορεί να είναι (Σχήμα 7.14):

- τρύπες κυκλικές ή ορθογώνιες ή λοξές ((Σχήμα 7.14a)
- σχισμές κατακόρυφες ((Σχήμα 7.14b)

- σχισμές οριζόντιες ((Σχήμα 7.14c και d)
- περσιδωτές σχισμές ((Σχήμα 7.14e)
- συνεχείς σχισμές περιέλιξης ((Σχήμα 7.14f και h)
- γεφυρωτές σχισμές ((Σχήμα 7.14g)



Σχήμα 7.13 Σχέση μεταξύ παροχής και % επιφάνειας ανοιγμάτων σε αρτεσιανούς και ελεύθερους υδροφόρους (U.S Water and Power Resources Service, 1981)



Σχήμα 7.14 Τύποι φιλτροσωλήνων: (a) με κυκλικές ή ορθογώνιες τρύπες, (b) με κατακόρυφες σχισμές, (c) και (d) με οριζόντιες σχισμές, (e) με πεοιδωτές σχισμές (f) και (h) με συνέχεις σχισμές περιέλιξης και (g) με γεφυρωτές σχισμές.(Castany , 1968)

7.7.3 Η ταχύτητα εισόδου του νερού στους φιλτροσωλήνες

Έχει αποδειχτεί πειραματικά ότι οι απώλειες φορτίου ελαχιστοποιούνται και η διάρκεια ζωής των φιλτροσωλήνων μεγιστοποιείται όταν η ταχύτητα εισόδου του νερού στη γεώτρηση διατηρείται μέσα σε καθορισμένα όρια, ανάλογα με την υδροπερατότητα του υδροφόρου. Κατά μέσο όρο η βέλτιστη αυτή ταχύτητα εισόδου είναι μικρότερη ή ίση με 3 cm/s.

Αν η ταχύτητα αυτή ξεπεραστεί περισσότερο από 1,5 cm/s τότε πρέπει να αυξάνεται η διάμετρος του φιλτροσωλήνα ή να αυξάνεται το μήκος του, ώστε να πετυχαίνεται η επιθυμητή μέγιστη ταχύτητα εισόδου. Όσο μεγαλύτερη είναι η ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων των σχισμών του φιλτροσωλήνα τόσο μικρότερο μήκος φιλτροσωλήνα απαιτείται για να διατηρείται η ταχύτητα εισόδου στα προκαθορισμένα όρια.

Η ταχύτητα εισόδου του νερού στο ανώτερο 10% του μήκους του φιλτροσωλήνα είναι 70 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο κατώτερο 10% του μήκους του φιλτροσωλήνα. Έτσι ποσοστό 78% περίπου της συνολικής επιφάνειας των ανοιγμάτων χάνεται (πρακτικά ανέρχεται η απώλεια στο 50%). Σε φιλτροσωλήνα δοσμένου μήκους και διαμέτρου η απώλεια φορτίου ελαττώνεται γρήγορα με την αύξηση της επιφάνειας των ανοιγμάτων μέχρι ποσοστό 15%. στη συνέχεια και μέχρι ποσοστό 25% λιγότερο γρήγορα και σχετικά αργά μεταξύ 25% και 60%. Πέρα από το όριο του 60% δεν αυξάνεται η απόδοση της υ-δοογεώτρησης (Σχήμα 7.13). Πρακτικά είναι αποδεκτή συνοχή επιφάνεια ανοιγμάτων του φιλτροσωλήνα 15%. Αν τούτο δεν είναι δυνατόν τότε, προκειμένου η ταχύτητα εισόδου του νερού να μην ξεπεράσει τα 3 cm/s αυξάνεται το μήκος ή η διάμετρος του φιλτροσωλήνα.

Προτείνονται, τα όρια ταχυτήτων εισόδου του νερού στην υδρογεωτρηση, αναλογα με την υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου, που φαίνονται στον πίνακα 7.6

Για να μετατραπούν οι ταχύτητες εισόδου V_s του Πίνακα 7.6 σε απαιτούμενες διαμέτρους φιλτροσωλήνα χρησιμοποιείται η σχέση:

$$V_s = \frac{Q}{Cp d_s L_s P} \quad (7.1)$$

Όπου: Q = η παροχη της γεώτρησης

C = Ο συντελεστής αποφραξης των σχισμών (εκτιμώμενος στο 0.5 με βάση το συλλογισμό ότι περίπου το 50% της επιφάνειας των ανοιγμάτων των σχισμών του φιλτροσωλήνα φράζεται από το υλικό του υδροφόρου).

d_s = η διάμετρος του φιλτροσωλήνα,

L_s =το μήκος του φιλτροσωλήνα,

P = το ποσοστό % της επιφάνειας των ανοιγμάτων των σχισμών του φιλτροσωλήνα (όπως το δίνουν οι κατασκευαστές του) και

$\pi = 3.14$.

Όταν χρησιμοποιούνται φιλτροσωλήνες συνεχούς περιέλιξης (τύπου Jonson) ο συντελεστής C δεν εφαρμόζεται στην πιο πάνω εξίσωση.

Έτσι για δοσμένα, υδροφόρο υλικό, πάχος του υδροφόρου, παροχή της υδρογεώτρησης και τύπο φιλτροσωλήνα, μπορούν να επιλεγούν η κατάλληλη διάμετρος και το κατάλληλο μήκος του φιλτροσωλήνα.

Οι φιλτροσωλήνες όπως και οι τυφλοί σωλήνες είναι κατασκευασμένοι από ποικιλία υλικών (λαμαρίνα γαλβανισμένη ή μαύρη, μεταλλικά κράματα, πλαστικές ύλες, τσιμέντο, αμιαντοτσιμέντο, ξύλο, μέταλλο καλυμμένο με στρώμα χαλαζιακής άμμου, PVC με στρώμα χαλαζιακής άμμου κ.λπ.).

Πίνακας 7.6 Βέλτιστη ταχύτητα εισόδου του νερού στο τρωσωλήνες συνεχούς περιέλιξης φιλτροσωλήνα (Walton , 1962).

Υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου cm/s	Βέλτιστη ταχύτητα εισόδου στο φιλτροσωλήνα m/min
$>2,8 \times 10^{-1}$	3,7
$2,8 \times 10^{-1}$	3,4
$2,3 \times 10^{-1}$	3,0
$1,8 \times 10^{-1}$	2,7
$1,4 \times 10^{-1}$	2,4
$1,1 \times 10^{-1}$	2,1
$9,2 \times 10^{-2}$	1,8
$6,9 \times 10^{-2}$	1,5
$4,6 \times 10^{-2}$	1,2
$2,3 \times 10^{-2}$	0,9
$<2,3 \times 10^{-2}$	0,6

7.7.4 Επιλογή του ανοίγματος των σχισμών

Το άνοιγμα των σχισμών του φιλτροσωλήνα πρέπει να καθορίζεται μετά από κοκκομετρική ανάλυση των υλικών του υδροφόρου (φυσικά του προσχωματικού ή του χαλαρού κοκκώδους υδροφόρου).

Αν ο συντελεστής ομοιομορφίας (U) του κοκκομετρηθέντος υλικού του υδροφόρου σε μια υδρογεωτρηση χωρίς χαλκικό φίλτρο είναι < 5 , τότε το άνοιγμα της σχισμής του φιλτροσωλήνα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να συγκρατεί το 40-50% του υλικού, και να αφήνει να περνά το υπόλοιπο 60 - 50%.

Αν τα δείγματα που κοκκομετρήθηκαν δεν είναι αντιπροσωπευτικά ή αν το νερό είναι διαβρωτικό, τότε η σχισμή του φιλτροσωλήνα πρέπει να συγκρατεί το 40 - 45% των υλικών του υδροφόρου. Αν το δείγμα είναι αντιπροσωπευτικό αλλά αντιμετωπίζεται το πρόβλημα απόθεσης αλάτων από το νερό και δεν υπάρχει πρόβλημα διάβρωσης, η σχισμή του φιλτροσωλήνα θα πρέπει να συγκρατεί το 40 - 50% του υλικού.

Όταν ο συντελεστής U είναι >5 τότε πρέπει να συγκρατιέται από τον φιλτροσωλήνα το 30 -50% του υλικού. Όταν υπάρχει πρόβλημα απόθεσης αλάτων από το νερό, τότε το άνοιγμα της σχισμής πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να συγκρατιέται το 30 - 40%. Όταν το δείγμα που κοκκομετρήθηκε δεν είναι αντιπροσωπευτικό ή το νερό είναι διαβρωτικό, η σχισμή θα πρέπει να συγκρατεί το 40- 50% των υλικών του υδροφόρου.

Οι περισσότεροι όμως υδροφόροι δεν είναι ομοιογενείς και ομοιόμορφοι αλλά αποτελούνται από στρώματα, από υλικά διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης και κατανομής, δηλαδή διαφορετικού U. Έτσι ένα μόνο μέγεθος ανοίγματος σχισμής, σπάνια είναι κατάλληλο για όλο το πάχος του υδροφόρου. Στις περιπτώσεις τέτοιων υδροφόρων πρέπει να συντάσσεται ένας πίνακας, στον οποίο τα επιμέρους στρώματα θα κατατάσσονται με βάση τη λιθολογία τους και την κοκκομετρία τους, με τη σειρά που συναντηθήκανε στην υδρογεώτρηση. Για τα στρώματα που αποτελούνται από άργιλο ή ιλύ επιλέγεται τυφλή σωλήνωση. Τυφλή σωλήνωση επιλέγεται επίσης για τα στρώματα, που ποσοστό μεγαλύτερο

από 20% του υλικού τους περνάει από κόσκινο 100 mesh. Τα πιο πάνω στοιχεία καταχωρούνται στον πίνακα. Στον ίδιο πίνακα καταχωρούνται και τα ανοίγματα των σχισμών για τα αδρομερή στρώματα με βάση την κοκκομετρική ανάλυση και τα προαναφερθέντα. Αν το πάχος των αδρομερών ενστρώσεων είναι μικρότερο από 1.5 m τότε δεν χρειάζεται επιλογή άλλου ανοίγματος σχισμής. Εκεί που λεπτομερέστερο υλικό υπέρκειται αδρομερέστερου, ο φιλτροσωλήνας με το άνοιγμα της σχισμής που επιλέχτηκε για το πρώτο, προεκτείνεται μέσα στο δεύτερο, τουλάχιστον μέχρι το 10% του πάχους του α-δρομερούς υλικού. Το άνοιγμα των σχισμών του φιλτροσωλήνα στον τελευταίο δεν πρέπει να ξεπερνά το διπλάσιο του ανοίγματος των σχισμών του φιλτροσωλήνα στον πρώτο.

Όταν στην υδρογεώτρηση τοποθετηθεί και χαλικόφιλτρο τότε το άνοιγμα των σχισμών του φιλτροσωλήνα καθορίζεται από το μέγεθος των χαλικιών του χαλικόφιλτρου. Το άνοιγμα των σχισμών στην περίπτωση αυτή συμπίπτει με το ενεργό μέγεθος του χαλικόφιλτρου.

Στην παράγραφο αυτή όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη αναφέρονται στην κοκκομετρική καμπύλη συγκροτουμένων.

7.7.5 Επιλογή της διαμέτρου φιλτροσωλήνα

Η επιλογή της διαμέτρου του φιλτροσωλήνα είναι συνάρτηση της επιθυμητής παροχής αντλήσεως και του πάχους του υδροφόρου. Στον πίνακα 7.7 δίνονται οι συνιστώμενες ελάχιστες διαμέτροι φιλτροσωλήνων. Θα πρέπει, κατά τον καθορισμό της διαμέτρου του φιλτροσωλήνα, να λαμβάνεται υπόψη το συνολικό άνοιγμα των σχισμών, η αποδεκτή μέγιστη ταχύτητα εισόδου του νερού σ' αυτόν, καθώς επίσης ότι η διάμετρος του φιλτροσωλήνα θα πρέπει να είναι κατά 5 cm τουλάχιστον μικρότερη από τη διάμετρο του σωλήνα θαλάμου αντλίας.

Οι πιο πάνω διαμέτροι μπορεί να αυξηθούν ώστε να επιτευχθούν αποδεκτές ταχύτητες εισόδου του νερού.

Μετά τον καθορισμό της ελάχιστης διαμέτρου και του ανοίγματος της σχισμής του φιλτροσωλήνα, εκτιμάται εύκολα η μέση ταχύτητα εισόδου του

νερού, διαιρώντας την επιθυμητή παροχή άντλησης (m^3/s) με την ολική επιφάνεια ανοιγμάτων του φιλτροσωλήνα (m^2).

Πίνακας 7.7 Συνιστώμενες ελάχιστες διαμέτροι φιλτροσωλήνων ανάλογα με την επιθυμητή παροχή άντλησης (U.S Water and Power Resources Service, 1981)

Παροχή άντλησης $m^3/ώρα$	Ελάχιστη ονομαστική διάμετρος φιλτροσωλήνα	
	cm	ΙΝΤΣΕΣ
<11	5	2
11-28	10	4
28-80	15	6
80-182	20	8
182-318	25	10
318-568	30	12
568-795	36	14
795-1136	41	16
1136-1590	46	18
1590-2044	51	20

7.7.6 Επιλογή του μήκους και της θέσης τοποθέτησης φιλτροσωλήνων

Λόγω του μεγάλου κόστους των φιλτροσωλήνων θα πρέπει στους βαθείς και παχείς υδροφόρους να εξετάζεται ο πιο οικονομικός συνδυασμός διάτρησης και σωλήνωσης με φίλτρο. Στους αρτεσιανούς υδροφόρους καλό είναι να διατρυπιέται όλο το πάχος τους και να χρησιμοποιούνται φιλτροσωλήνες με τη μέγιστη δυνατή συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων τουλάχιστον εκεί που το βάθος και το πάχος του υδροφόρου καθιστά μια τέτοια κατασκευή οικονομικά εφικτή. Στους ομοιογενείς αρτεσιανούς υδροφόρους το μήκος του φιλτροσωλήνα πρέπει να είναι συνολικά ίσο με το 70% - 80% του πάχους του υδροφόρου και πιο συγκεκριμένα όπως στον πίνακα 7.8

Συνιστάται για λόγους οικονομίας η κατανομή του φιλτροσωλήνα σε ίσα ισαπέχοντα τμήματα χωριζόμενα με τμήματα τυφλών σωλήνων. Αν ο υδροφόρος δεν είναι ομοιογενής τότε τοποθετούνται φιλτροσωλήνες στα πιο περατά

τιμήματα του. Μια γρήγορη ένδειξη για τα πιο περατά τμήματα του υδροφόρου μπορεί να έχει κανείς με τη σύγκριση του d_{10} των διαφόρων κοκκομετρικών αναλύσεων

Πίνακας 7.8. Συνιστώμενο μήκος φιλτροσωλήνα, ανάλογα με το πάχος του υδροφόρου. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Πάχος υδροφόρου σε m	Μήκος φιλτροσωλήνα
<10	0,7 b
10 – 18	0,75 b
18 – 25	0,8 b
>25	0,9b

Στους ελεύθερους υδροφόρους, ανάλογα με το πάχος, τη λιθολογία, την αποδοτικότητα του υδροφόρου και την οικονομικότητα της κατασκευής συνιστάται πλήρης διάτρηση (διάτρηση όλου του πάχους του υδροφόρου) και συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων, (συνδυάζοντας μήκος, διάμετρο, άνοιγμα σχισμής) ίση προς 35 - 50% της συνολικής επιφάνειας σωλήνωσης. Γενικά το φίλτρο πρέπει να τοποθετείται στον πυθμένα της υδρογεώτρησης, το δε μήκος του δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το 35% του πάχους του υδροφόρου που έχει διατρηθεί από την υδρογεώτρηση.

Στους ομοιογενείς ελεύθερους υδροφόρους τοποθετείται φιλτροσωλήνας στο κατώτερο μέρος τους, μήκους ίσου με το 1/3 του συνολικού πάχους τους. Όταν επιδιώκονται ψηλές αποδόσεις τότε το μήκος του φιλτροσωλήνα πρέπει να είναι ίσο με το 1/2 του συνολικού πάχους του ελεύθερου υδροφόρου. Για τους ετερογενείς υδροφόρους (επάλληλα υδροφόρα) ισχύει ό,τι και για τους ετερογενείς αρτεσιανούς υδροφόρους.

Κατά κανόνα στους ομοιογενείς υδροφόρους, ελεύθερους και αρτεσιανούς, τοποθετείται συνεχής φιλτροσωλήνας. Στους παχείς, ανομοιογενείς υδροφόρους τοποθετούνται φιλτροσωλήνες στα καλύτερα μόνο υδροφόρα στρώματα και

τυφλοί σωλήνες στα φτωχότερα υλικά, ανάμεσα στα τεμάχια των φιλτροσωλήνων. Όταν ο φιλτροσωλήνας δεν συνδέεται με μούφα ή κόλληση με το σωλήνα του θαλάμου αντλίας, τότε στην κορυφή του πρώτου τοποθετείται τυφλός σωλήνας που προεκτείνεται κατά 1.5 m τηλεσκοπικά μέσα στο δεύτερο. Ο φιλτροσωλήνας θα πρέπει να προεκτείνεται και κάτω από το τελευταίο υδροφόρο με έναν τυφλό σωλήνα, κωνικής μορφής, μήκους 1.5 έως 3 m που αποτελεί την αμμοδόχο, στην οποία κατακαθίζουν τα υλικά που μπαίνουν στην υδρογεώτρηση, τόσο στο στάδιο της ανάπτυξης της υδρογεώτρησης όσο και κατά τη λειτουργία της. Οι φιλτροσωλήνες στα χαλαρά υλικά πρέπει να έχουν στον πυθμένα τους μία χαλύβδινη πλάκα για πώμα πυθμένα που θα εμποδίζει τα υλικά να φτάσουν στον φιλτροσωλήνα, μέσω του πυθμένα του.

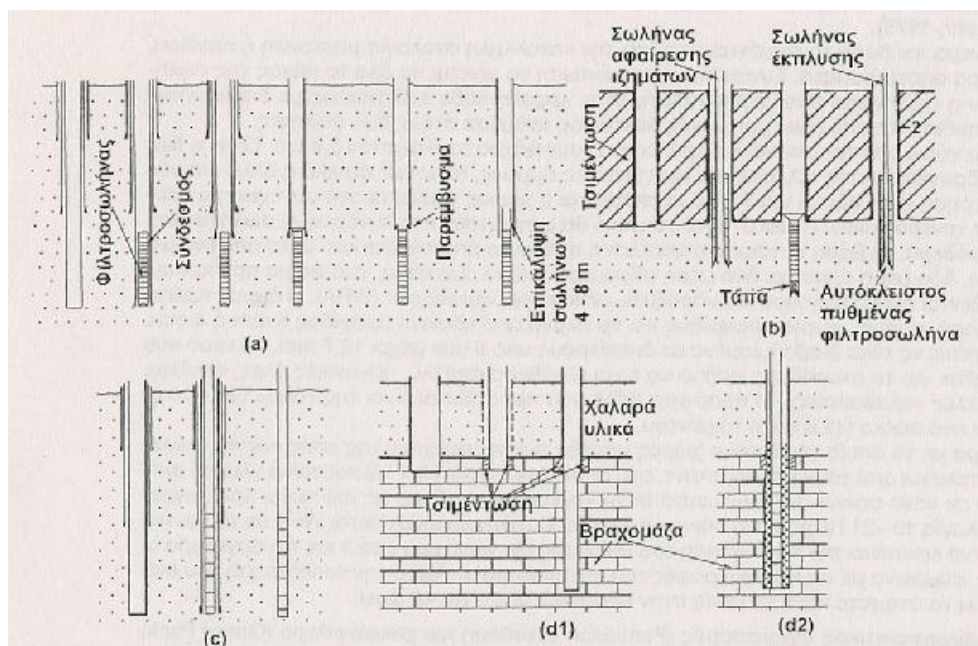
7.7.7 Επιλογή του υλικού κατασκευής των φιλτροσωλήνων

Οι φιλτροσωλήνες κατασκευάζονται από διάφορα μέταλλα και μεταλλικά κράματα, από πλαστικά υλικά, κυρίως PVC, από σκυρόδεμα, από τσιμέντο και αμίαντο, από εποξειδικά υλικά, από ξύλο κ.λπ. Οι φτηνότεροι είναι οι χαλύβδινοι με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Όταν όμως το νερό είναι διαβρωτικό, ή αποθέτει άλατα τότε χρησιμοποιούνται φιλτροσωλήνες από μη σιδηρούχα μέταλλα και κράματα ή από πλαστικό. Στην εξωτερική πλευρά του φιλτροσωλήνα, η ταχύτητα εισόδου του νερού είναι η μέγιστη, η δε υδροστατική πίεση η ελάχιστη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση CO₂ και άλλων διαλυμένων αερίων, μερικά από τα οποία είναι ισχυρά διαβρωτικά μέσα. Τούτο, σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες, διαταράσσει τη χημική ισορροπία του νερού, με αποτέλεσμα να αποτίθενται στο φιλτροσωλήνα άλατα ανθρακικά, του ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου κ.λπ. που κλείνουν τις σχισμές και ελαττώνουν τη συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων. Αυτή η απόθεση αλάτων αντιμετωπίζεται με την επεξεργασία των φιλτροσωλήνων με υδροχλωρικό οξύ. Αυτή όμως η επεξεργασία προκαλεί κάποια διάβρωση. Στις περιπτώσεις διαβρωτικών νερών ή νερών που αποθέτουν άλατα, μία καλή λύση είναι η χρήση πλαστικών

φιλτροσωλήνων, οι οποίοι όμως παρουσιάζουν μικρή αντίσταση στον εφελκυσμό, ιδιαίτερα για βάθη μεγαλύτερα των 50 m.

7.7.8 Τοποθέτηση και εξαγωγή φιλτροσωλήνων

Φιλτροσωλήνες τοποθετούνται σε όλους τους χαλαρούς και τους περισσότερους ημισυνεκτικούς υδροφόρους, σπανιότερα δε και στους συνεκτικούς σχηματισμούς. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές τοποθέτησης φιλτροσωλήνων (Σχήμα 7.15) ανάλογα με τη φύση των υλικών του υδροφόρου, τη μέθοδο διάτρησης, τις διαστάσεις της οπής, τις υδραυλικές συνθήκες στον υδροφόρο και τέλος τη σωλήνωση και το υλικό κατασκευής του φιλτροσωλήνα.



Σχήμα 7.15 Εγκατάσταση φιλτροσωλήνων: (α) μέθοδος ανέλκυσης, (b) μέθοδος καθαρισμού, (c) μέθοδος σύνδεσης με τη σωλήνωση, (d)1 και (d)2 τοποθέτηση σωλήνωσης σε συμπαγή πετρώματα (Huisman, 1972).

i. Μέθοδος ανέλκυσης Αρχικά χρησιμοποιείτο στις γεωτρήσεις που ανοίγονταν με κρουστική διάτρηση. Μετά από μία σειρά βελτιώσεις η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως και στις περιστροφικές διατρήσεις. Με την τεχνική αυτή αντιμετωπίζονται, εύκολα, προβλήματα καταπτώσεων, διόγκωσης των αργιλικών

τοιχωμάτων της γεώτρησης και τοποθέτησης των φιλτροσωλήνων σε λάθος βάθη. Τέλος, η μέθοδος επιτρέπει την αντικατάσταση των φιλτροσωλήνων χωρίς να καταστραφεί η τσιμεντώση της εξωτερικής σωλήνωσης. Η χρήση της μεθόδου έχει επεκταθεί και στην περιστροφική διάτρηση με αέρα, συνίσταται δε στη σωλήνωση της γεώτρησης με τυφλούς σωλήνες μέχρι το τελικό βάθος, στη συνέχεια τοποθετούνται οι φιλ-τροσωλήνες, μέσα από την τυφλή σωλήνωση, μέχρι να ακουμπήσουν στον πυθμένα και ακολούθως ανελκύεται η τυφλή σωλήνωση όσο χρειάζεται για να βρεθούν οι φιλτροσωλήνες απέναντι από τα υδροφόρα υλικά (Σχήμα 7.15α). Για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής απαιτείται υψηλή αντοχή από τους τυφλούς σωλήνες. Η σύνδεση ανάμεσα στους φιλτροσωλήνες και την τυφλή σωλήνωση γίνεται με παρέμβυσμα ή με ειδικούς διάτρητους σωλήνες .

ii.Μέθοδος διπλής σωλήνωσης Όταν έχει προηγηθεί η εκτέλεση δοκιμαστικής (ερευνητικής) γεώτρησης και είναι πλήρως γνωστά τα υδρογεωλογικά, υδραυλικά, γεωμετρικά και λιθοφασικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου, τότε κατασκευάζεται γεώτρηση μέχρι την οροφή του υδροφόρου, σωληνώνεται με τυφλούς σωλήνες, τσιμεντώνεται (πάχος τσιμέντου γύρω από τη σωλήνωση 5 cm τουλάχιστον) και μετά αναμονή 24 ωρών συνεχίζεται η διάτρηση μέσα από τη σωλήνωση μέχρι το τελικό βάθος και ακολούθως τοποθετούνται οι φιλτροσωλήνες στην κορυφή των οποίων έχει προστεθεί "συστολή" ή τεμάχιο τυφλού σωλήνα κωνικού σχήματος και η στεγανοποίηση γίνεται με παρέμβυσμα. Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον αποτελεσματική και ασφαλής.

iii.Μέθοδος καθαρισμού της υδρογεώτρησης Κατ' αυτήν κατεβάζεται ο φιλτροσωλήνας με ταυτόχρονο καθαρισμό της υδρογεώτρησης κάτω από το φιλτροσωλήνα μέχρι να κατέβει στο επιθυμητό βάθος (Σχήμα 7.15b). Η μέθοδος συνίσταται στην αφαίρεση των ιζημάτων στο τμήμα που θα τοποθετηθεί το φίλτρο, ώστε το τελευταίο πρακτικά να "καθίσει". Η τυφλή σωλήνωση τοποθετείται πριν αρχίσει ο καθαρισμός και τσιμεντώνεται. Ακολούθως αφαιρείται το υλικό που βρίσκεται κάτω από τη σωλήνωση, συχνά με χρήση air-

lift και κατεβάζεται προοδευτικά ο φιλτροσωλήνας μαζί με την αφαίρεση του υλικού. Συχνά της αφαίρεσης υλικού προηγείται διάτρηση μικρής διαμέτρου μέσα από τη σωλήνωση. Η μέθοδος χρησιμοποιείται όταν είναι δύσκολη η ανέλκυση της σωλήνωσης ή ο υδροφόρος αποτελείται από εξαιρετικά χαλαρά υλικά και η στάθμη του υδροφόρου βρίσκεται ψηλά.

iv. Μέθοδος έκπλυσης Κατά τη μέθοδο αυτή η τυφλή σωλήνωση τοποθετείται στο επιθυμητό βάθος και τσιμεντώνεται. Ακολούθως κατεβάζεται ο φιλτροσωλήνας στο τέλος του οποίου προσαρμόζεται βαλβίδα η οποία συνδέεται με σωλήνα μικρής διαμέτρου ή με τα στελέχη μέσα από τα οποία διαβιβάζεται νερό ή άλλο ρευστό κυκλοφορίας χαμηλού ειδικού βάρους, το οποίο στη συνέχεια εξέρχεται στην επιφάνεια, όπως στη διάτρηση θετικής κυκλοφορίας. Η μέθοδος περιορίζεται σε βάθη μέχρι 150 m.

v. Μέθοδος εκτόξευσης νερού. Περιορίζεται στην τοποθέτηση φιλτροσωλήνων μικρής διαμέτρου (2 ιντσών συνήθως) σε μικρά βάθη (60 m περίπου) σε πολύ χαλαρές άμμους. Ένας σωλήνας διαμέτρου $\frac{3}{4}$ της ίντσας διέρχεται μέσω του φιλτροσωλήνα και καταλήγει στην τυφλή σωλήνωση μέσα από την οποία εισχωρεί τουλάχιστον κατά 0,5 m κάτω από τη βάση της, όπου και στερεώνεται. Καμιά φορά ο σωλήνας εκτείνεται μέχρι την επιφάνεια. Διαβιβάζεται νερό με πίεση μέσα από τον σωλήνα και εφόσον τα υλικά αποτελούνται από χαλαρές άμμους ο φιλτροσωλήνας βυθίζεται μέσα σε αυτές. Το νερό μαζί με την άμμο εξέρχεται όπως στην περιστροφική διάτρηση θετικής κυκλοφορίας. Όταν οι απώλειες είναι μεγάλες και το βάθος τοποθέτησης του φιλτροσωλήνα σημαντικό, με το νερό αναμιγνύονται πρόσθετα.

vi. Μέθοδος σύνδεσης με την τυφλή σωλήνωση. Κατά τη μέθοδο αυτή ο φιλτροσωλήνας συνδέεται με την τυφλή σωλήνωση και κατεβάζεται στο επιθυμητό βάθος σαν μια ενότητα (Σχήμα 7.15c). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται κατά κανόνα στην Ελλάδα.

vii. Εγκατάσταση πλαστικών φίλτρων. Τα κύρια προβλήματα εντοπίζονται στην ισχυρή άνωση που υφίστανται οι φιλτροσωλήνες, στη μειωμένη αντοχή

τους στον εφελκυσμό σε σχέση με τους χαλύβδινους και στην ενδεχόμενη παραμόρφωση τους όταν επί μακρόν εκτίθενται στον ήλιο ή σε υψηλές θερμοκρασίες. Συνιστάται η χρήση τους μόνο στις γεωτρήσεις που έχουν κατασκευαστεί με περιστροφική διάτρηση και με συνδυασμό τους με τυφλή πλαστική επίσης σωλήνωση, παρά το γεγονός ότι αυξάνονται οι περιπτώσεις επιτυχούς συνδυασμού πλαστικών φιλτροσωλήνων και μεταλλικής τυφλής σωλήνωσης. Η τοποθέτηση τους γίνεται είτε απευθείας με τη σύνδεση τους με τη σωλήνωση (περίπτωση vi) είτε τηλεσκοπικώς μέσα από τη σωλήνωση.

viii.Τοποθέτηση φιλτροσωλήνων με τεχνητό φίλτρο άμμου. Για την προστασία του αμμόφιλτρου που έχει προστεθεί εξωτερικά του πλαστικού φιλτροσωλήνα η τοποθέτηση του γίνεται με τη μέθοδο της "Ανέλκυσης". Στα συνεκτικά πετρώματα κατά κανόνα δεν τοποθετείται φιλτροσωλήνας (Σχήμα 7.15d1), παρά μόνο αν υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης των τοιχωμάτων ή εισόδου στην υδρογεώτρηση 1 λεπτομερών υλικών π.χ από ψαμμίτες ή δολομίτες (Σχήμα 7.15d2).

ix.Εξαγωγή φιλτροσωλήνων. Σε πολλές περιπτώσεις επιβάλλεται η εξαγωγή των φιλτροσωλήνων από την υδρογεώτρηση ιδιαίτερα δε όταν διαπιστωθεί χαμηλή απόδοση της γεώτρησης λόγω κακής επιλογής ή τοποθέτησης του φιλτροσωλήνα, όταν παραστεί ανάγκη εκβάθυνσης της γεώτρησης και τέλος προκειμένου να αντικατασταθεί λόγω διάβρωσης του ή απόθεσης αλάτων.

Γενικώς είναι ευκολότερη η εξαγωγή φιλτροσωλήνων που έχουν τοποθετηθεί τηλεσκοπικά (μέθοδος ανέλκυσης). Η εξαγωγή διευκολύνεται με την προσθήκη στην υδρογεώτρηση και επεξεργασία της με ελαφρό οξύ, ώστε να διαλυθούν μερικώς τα άλατα που έχουν αποτεθεί. Ενίοτε χρησιμοποιούνται διαλύματα πολυφωσφορικών αλάτων στη ζώνη γύρω από τους φιλτροσωλήνες. Για τη μείωση των τριβών αποτελεσματικά είναι επίσης τα διάφορα πολυμερή πρόσθετα.

Για την εξαγωγή φιλτροσωλήνων διαμέτρου >4 ιντσών η καλύτερη μέθοδος είναι η "sandlock " (αμμοκλείδωμα), κατά την οποία τοποθετούνται γωνιώδη

χαλίκια μικρού μεγέθους (διαμέτρου 4-6 χλστ.) μεταξύ των εσωτερικών τοιχωμάτων του φιλτροσωλήνα και του σωλήνα ανέλκυσης ο οποίος κατεβάζεται μέχρι το 70% του μήκους των φιλτροσωλήνων. Το κάτω άκρο του σωλήνα ανέλκυσης έχει μεγαλύτερη διάμετρο από τον υπόλοιπο σωλήνα (τοποθέτηση διαστολής ή μεταλλικού δακτυλίου). Έτσι ο σωλήνας ανέλκυσης με την βοήθεια των γωνιωδών χαλικιών φρακάρει. Η διάμετρος του σωλήνα ανέλκυσης είναι περίπου το μισό της εσωτερικής διαμέτρου του φιλτροσωλήνα, πλέον 10%. Πάνω από τη διαστολή ή τον μεταλλικό δακτύλιο περιτυλίγονται λουρίδες από καναβάτσο ή караβόπαννο και στερεώνονται με συρματοσκοίνο. Το μήκος των λουρίδων πρέπει να είναι 1 μέτρο περίπου και το φάρδος τους 5-10 εκατοστά. Μετά το ,κατέβασμα του σωλήνα ανέλκυσης τοποθετείται το χαλίκι μέχρι να καλυφθούν τα 2/3 του μήκους του. Ακολούθως γίνεται ανέλκυση των φιλτροσωλήνων προοδευτικά και με αργό ρυθμό. Συχνά στο σωλήνα ανέλκυσης προστίθενται δύο με τρεις μεταλλικοί δακτύλιοι σε διαφορετικά βάθη για βελτίωση του μπλοκαρίσματος.

7.7.9 Επιλογή φιλτροσωλήνα

Η καλύτερη απόδοση των υδρογεωτρήσεων επιτυγχάνεται όταν η συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων του φιλτροσωλήνα είναι ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργό πορώδες του υδροφόρου. Επισημαίνεται ότι το ενεργό πορώδες του χαλαρού αμμοχάλικου κυμαίνεται από 28% μέχρι 43% ενώ των ψαμμιτών από 33% έως 37%. Η μεγάλη επιφάνεια ανοιγμάτων εξασφαλίζει για δοσμένη παροχή μικρή ταχύτητα εισόδου του νερού, συνεπώς μικρές μη γραμμικές απώλειες φορτίου καθώς και μικρή μείωση της πίεσης του νερού, άρα ελαχιστοποίηση της τάσης του για απόθεση αλάτων και κατά συνέπεια μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του φιλτροσωλήνα. Η μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων του φιλτροσωλήνα, η οποία κατανέμεται ανάμεσα στις περισσότερες σχισμές (σε σχέση με φιλτροσωλήνες με μικρή επιφάνεια ανοιγμάτων) έχει ως συνέπεια να περνάει από καθεμιά χωριστά σχισμή μικρότερη ποσότητα νερού (αυξημένος ο

αριθμός των σχισμών ανά μονάδα επιφάνειας φιλτροσωλήνα) και κατά συνέπεια μειώνεται η διαβρωτική ενέργεια των διαβρωτικών νερών. Η διαβρωτική αυτή ενέργεια είναι αντιστρόφως ανάλογη της συνολικής επιφάνειας ανοιγμάτων.

Η διάμετρος των φιλτροσωλήνων μπορεί να είναι η ίδια με τη διάμετρο των τυφλών σωλήνων, ή μικρότερη, ώστε να μπορούν να εγκαθίστανται μέσα από τους τελευταίους (τηλεσκοπικοί φιλτροσωλήνες). Στην τελευταία περίπτωση ως ονομαστική διάμετρος τους αναφέρεται η διάμετρος των τυφλών σωλήνων μέσα από τους οποίους τοποθετούνται π.χ. τηλεσκοπικός φιλτροσωλήνας ονομαστικής διαμέτρου 4 ιντσών πρακτικά έχει εξωτερική διάμετρο $3 \frac{3}{4}$ της ίντσας ώστε να διέρχεται από σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 4 ιντσών.

Με εξαίρεση τους σωλήνες συνεχούς περιέλιξης όλοι οι άλλοι σωλήνες εγκαθίστανται υποχρεωτικά σε γεωτρήσεις στις οποίες τοποθετείται χαλικόφιλτρο, γιατί αλλιώς μεγάλο μέρος των σχισμών μπλοκάρεται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης από την άμμο που ενδεχόμενα περιέχεται στον υδροφόρο.

7.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΔΡΟΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

7.8.1 Διάβρωση

Οι μεταλλικοί φιλτροσωλήνες, οι σωλήνες και τα αντλητικά συγκροτήματα που χρησιμοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις, αντιδρώντας με το περιβάλλον στο οποίο τοποθετούνται, υπόκεινται σε μείωση της αντοχής τους και, ενδεχόμενα, σε καταστροφή. Αυτή η καταστροφική διαδικασία είναι γνωστή σαν «διάβρωση». Η «διάβρωση» αυτή είναι είτε χημική είτε ηλεκτρολυτική (γαλβανική). Η χημική «διάβρωση» οφείλεται στη χημική αντίδραση των μετάλλων με στοιχεία του εδάφους ή του νερού, στα οποία τοποθετούνται. Τα μέταλλα που υφίστανται χημική διάβρωση διαλύονται και το διάλυμα αυτό απομακρύνεται από το σημείο προσβολής. Η ηλεκτρολυτική «διάβρωση» οφείλεται στη δράση των ηλεκτρολυτικών στοιχείων που σχηματίζονται μεταξύ

διαφορετικών μετάλλων ή συνθηκών στο πηγάδι. Τούτο συνεπάγεται την προσβολή των μετάλλων, στα ανοδικά σημεία και συχνά την απόθεση των προϊόντων της «διάβρωσης» στις καθόδους. Επίσης ορισμένα φύκη, βακτήρια και μύκητες προκαλούν «διάβρωση» ή την επιταχύνουν ή την εντατικοποιούν. Οι οργανισμοί αυτοί δεν προσβάλλουν κατευθείαν το μέταλλο, αλλά προκαλούν περιβαλλοντικές μεταβολές, οι οποίες, σε συνδυασμό με τα παραπροϊόντα του μεταβολισμού τους, προκαλούν χημική ή ηλεκτρολυτική «διάβρωση».

Η «διάβρωση», μέχρι κάποιο βαθμό, είναι αναπόφευκτη σε οποιαδήποτε εγκατάσταση. Η χημική ανάλυση του υπόγειου νερού και η σχετική ερμηνεία δίνουν κάποια ένδειξη για το εάν το νερό θα προκαλέσει ή θα διευκολύνει τη χημική ή την ηλεκτρολυτική «διάβρωση», ελάχιστες όμως πληροφορίες δίνουν για την ένταση του φαινομένου.

Γενικά χημική «διάβρωση» μπορεί να εκδηλωθεί όταν η συγκέντρωση των CO_2 , HCO_3^- , O_2^- , H_2S , Cl , H_2SO_4 ή των αλάτων τους ξεπεράσει τα 5 -10 ppm, το pH του νερού είναι μικρότερο από 7 και ο δείκτης Ryznar είναι μικρότερος από 7. Όταν ο δείκτης Ryznar είναι πάνω από 7, το pH κάτω από 7 και το TDS πάνω από 300 ppm, τότε εκδηλώνεται ηλεκτρολυτική διάβρωση. Η «διάβρωση» που προκαλείται από βακτήρια είναι δύσκολο να προβλεφτεί. Τα βακτήρια μπορεί να υπάρχουν παντού στον υδροφόρο ή μπορεί να εισαχθούν στη γεώτρηση κατά τις εργασίες της διάτρησης. Τα σιδηροβακτήρια προκαλούν διάβρωση, φράζουν τους φιλτροσωλήνες και δίνουν στο νερό δυσάρεστη γεύση και οσμή. Επειδή πολύ λίγα είναι γνωστά για την προέλευση και τον έλεγχο των βακτηριδίων και της βακτηριδιακής «διάβρωσης», θα πρέπει οι γεωτρήσεις να απολυμαίνονται μετά τη διάτρηση και κατά την εγκατάσταση της αντλίας. Στον πίνακα 7.9 τα μέταλλα και τα κράματα δίνονται κατά τη σειρά κατά την οποία αυξάνεται η αντίσταση στη διάβρωση.

Πίνακας 7.9 Διαβάθμιση μετάλλων και κραμάτων ως προς το ηλεκτρολυτικό δυναμικό τους (U.S. Water and Power Resources Service, 1981).

Ενεργό (ανοδικό) διαβρωτικό άκρο
Μαγνήσιο
Κράματα μαγνησίου
Ψευδάργυρος
Αλουμίνιο 23
Κάδμιο
Αλουμίνιο 17δΤ
Χάλυβας, χυτοσίδηρος
Χρωμιοσίδηρος (ενεργός)
Νικέλιο
Χρωμιονικελιούχος σίδηρος (ενεργός)
Μόλυβδος, κασσίτερος ή κολλήσεις από μόλυβδο - κασσίτερο
Νικέλιο (ενεργό)
Ενεργά κράματα νικελίου
Χαλκός ή ορείχαλκος ψευδαργύρου
Ορείχαλκος κασσιτέρου
Κράματα νικελίου monel
Κολλήσεις αργύρου
Νικέλιο (παθητικό)
Κράματα νικελίου (παθητικά)
Χρωμιοσίδηρος (παθητικός)
Χρωμιονικελιοσίδηρος (παθητικός)
Άργυρος
Χρυσός ή λευκόχρυσος
Μη ενεργό (καθοδικό) αντιδιαβρωτικό άκρο

Η ηλεκτρολυτική διάβρωση δύο γειτονικών, στον πίνακα, μετάλλων ή κραμάτων είναι μικρή. Όσο περισσότερο απέχουν τόσο μεγαλύτερη είναι η τάση για την πρόκληση ηλεκτρολυτικής διάβρωσης στο ανοδικό υλικό. Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ανομοιογενή υλικά, η επιφάνεια του πιο καθοδικού υλικού πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη, η δε επιφάνεια του ανοδικού υλικού όσο το δυνατό μεγαλύτερη.

Συνήθως, για οικονομικούς λόγους, είναι προτιμότερη η χρησιμοποίηση φθηνότερου μετάλλου και η αύξηση του πάχους των τοιχωμάτων του φιλτροσωλήνα ή του σωλήνα, παρά η χρησιμοποίηση ακριβών μετάλλων. Όταν ο φιλτροσωλήνας συνδέεται απευθείας στη σωλήνωση, τότε τα δύο υλικά (σωλήνας και φιλτροσωλήνας) θα πρέπει να απομονώνονται με διηλεκτρικό σύνδεσμο (μούφα).

7.8.2 Απόθεση αλάτων - καθαλάτωση

Η απόθεση αλάτων είναι η αντίθετη διαδικασία από τη «διάβρωση» μια και στην πρώτη δημιουργείται συγκέντρωση ορυκτών αποθέσεων στα ανοίγματα, αρχικά, του φιλτροσωλήνα και τα κενά του σχηματισμού γύρω από την υδρογεώτρηση.

Η απόθεση αλάτων προκαλείται από την απόθεση πάνω ή κοντά στον φιλτροσωλήνα υλικών που μεταφέρονται διαλυμένα (CaCO_3 , MgCO_3) ή αιωρούμενα (άργιλος, ιλύς). Η απόθεση αλάτων μπορεί επίσης να οφείλεται στην παρουσία μικροοργανισμών στο νερό (σιδηροβακτήρια, αμμωνιοβακτήρια ή βακτήρια που τρέφονται από οργανικές ενώσεις). Η απότομη πτώση της πίεσης μαζί με τη μαζική εισροή νερού κατά τις αντλήσεις με μεγάλη, από την αρχή, παροχή, ελευθερώνει CO_2 και προκαλεί καθίζηση CaCO_3 . Η παρουσία οξυγόνου στο πηγάδι μπορεί να προκαλέσει την οξείδωση διαλυτού δισθενούς σιδήρου σε αδιάλυτο υδροξείδιο του τριθενούς σιδήρου.

Αυτή η απόθεση αλάτων εμποδίζει την είσοδο του νερού στη γεώτρηση, μειώνει την απόδοση της, αυξάνει την πτώση στάθμης και ελαττώνει την παροχή της. Ο ρυθμός απόθεσης των ορυκτών αλάτων εξαρτιέται από τον χαρακτήρα και την ποιότητα του νερού και αυξάνει με την πτώση στάθμης και την ταχύτητα εισόδου του νερού στη γεώτρηση. Όταν συμβαίνει το TDS να ξεπερνά τα 150 ppm, η περιεκτικότητα του νερού σε δισανθρακικό Ca. και Fe να είναι υψηλή, ο δείκτης Ryzar να είναι μικρότερος του 7 και το pH μεγαλύτερο του 7.5, υπάρχουν πολλές πιθανότητες να δημιουργηθούν προβλήματα απόθεσης αλάτων. Τα προβλήματα αυτά δεν έχουν καμμία σχέση με την ποιότητα των υλικών των σωλήνων και φιλτροσωλήνων.

Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις απόθεσης αλάτων είναι:

α) Δημιουργία ιζήματος ανθρακικών Fe και Ca με τη μορφή σκληρού, «τσιμέντου» που φράζει τους φιλτροσωλήνες και συγκολλά το χαλικόφιλτρο ή τους κόκκους του υδροφορέα για κάποια απόσταση από τη γεώτρηση.

β) Συγκέντρωση υδροξειδίων του Fe και Mn ή ένυδρων οξειδίων των ίδιων μετάλλων στους φιλτροσωλήνες ή στα υλικά γύρω απ' αυτούς. Τα υδροξείδια είναι αδιάλυτα και έχουν τη μορφή «ζελέ», εκτός αν υπάρχει οξυγόνο, οπότε οξειδώνονται σε ένυδρα οξείδια ή οξείδια, χρώματος μαύρου, καστανού ή ερυθρωπού και κοκκώδους μορφής.

γ) Συχνά τα αιωρούμενα σωματίδια ιλύος και αργίλου αποτίθενται πάνω στο φιλτροσωλήνα και μειώνουν την είσοδο του νερού, ή στο χαλικόφιλτρο όταν αυτό είναι πολύ αδρομερές και ανεπαρκώς αναπτυγμένο.

δ) Αποσύνθεση λιγνιτικών στρωμάτων που, ενδεχόμενα, υπάρχουν στο υπέδαφος και, δημιουργία ενός γλοιώδους μαύρου ή καφέ ιξώδους υλικού γύρω από το φιλτροσωλήνα και στα υλικά του υδροφόρου γύρω από τη γεώτρηση.

Αν και η απόθεση αλάτων, όταν υπάρχουν οι προϋποθέσεις απόθεσης τους, δεν μπορεί να αποφευχθεί, μπορεί όμως να επιβραδυνθεί με την ελαχιστοποίηση της ταχύτητας εισόδου του νερού στη γεώτρηση, κάτι που γίνεται με τη μεγιστοποίηση της επιφάνειας υδροληψίας (συνδυασμός διαμέτρου, μήκους και

επιφάνειας ανοίγματος σχισμών φιλτροσωλήνα), την ομοιομορφία των σχισμών των φιλτροσωλήνων, την καλή ανάπτυξη της γεώτρησης και την απομάκρυνση απ' αυτή όλων των λεπτομερών υλικών και με την δημιουργία χαλκίκοφίλτρου ή φυσικού φίλτρου μεγαλύτερης υδραυλικής αγωγιμότητας από τον υδροφόρο. Όταν διαπιστωθεί ο κίνδυνος απόθεσης αλάτων πρέπει να μειώνεται ο ρυθμός άντλησης με την εγκατάσταση μικρότερης αντλίας και με την αύξηση της διάρκειας άντλησης. Μια άλλη λύση είναι η αντικατάσταση της μιας γεώτρησης άντλησης με περισσότερες, αλλά μικρότερης, η καθεμιά, παροχής.

7.8.3 Βακτηριακή δράση στους φιλτροσωλήνες

Η ανάπτυξη αποικιών βακτηρίων κυρίως Fe ή Mn είναι μία συχνή αιτία καταστροφής των φιλτροσωλήνων, της αντλίας και της σωλήνωσης της υδρογεώτρησης. Τα βακτήρια αυτά απαντούν συχνά σε υδρογεωτρήσεις ανοιχτές στην ατμόσφαιρα, όταν στο υπόγειο νερό υπάρχει επάρκεια Fe ή και Mn σε συνδυασμό με οργανικές ύλες, ανθρακικό οξύ ή διοξείδιο του άνθρακα. Τα βακτήρια δρουν ως ενζυματικοί καταλύτες στην οξείδωση του Fe και Mn και στη συγκέντρωση μεγάλων ποσοτήτων υδροξειδίων του τρισθενούς Fe. Τα βακτήρια κατ' αυτήν τη δράση τους παίρνουν την ενέργεια από τη μετατροπή ιόντων δισθενούς σε ιόντα τρισθενούς Fe, τα οποία στη συνέχεια καθιζάνουν ως υδροξείδια. Έτσι παράγεται τεράστια ποσότητα υλικού που φράζει τις σχισμές του φιλτροσωλήνα αλλά και τους πόρους του χαλκίκοφίλτρου ή του φυσικού φίλτρου γύρω από το σωλήνα.

Συχνά μια υδρογεώτρηση μπορεί να καταστεί άχρηστη σε μερικούς μήνες. Η καθίζηση του σιδήρου μπορεί να γίνει ακόμα και χωρίς ενζυματική δράση, με τους ακόλουθους μηχανισμούς:

- Με την αύξηση του pH του νερού με το μεταβολισμό ορισμένων πρωτεϊνών και το σχηματισμό αμμωνίας ή με την κατανάλωση αλάτων των οργανικών οξέων που μπορεί να οδηγήσει στη σύνθεση αλκαλικών υδροξυλίων ή ακόμη με

την αφομοίωση του διαλυμένου στο νερό CO₂ από κυανοβακτήρια ή κυανοφύκη κατά τη φωτοσύνθεση.

- Με τη μεταβολή του οξειδοαναγωγικού δυναμικού κατά τη φωτοσύνθεση των φυκών. Η απελευθέρωση οξυγόνου αυξάνει το οξειδοαναγωγικό δυναμικό προκαλώντας έτσι καθίζηση του Fe.

- Με την απελευθέρωση χηλικού Fe με τη διάσπαση των ενώσεων του Fe με τα οξαλικό, κιτρικό, χουμικό οξέα ή τις ταννίνες.

Τα προϊόντα που παράγονται από τη δράση των βακτηρίων έχουν τη μορφή γλοιώδους ζελατινώδους μάζας. Στην περίπτωση αυτή το νερό μπορεί να περιέχει, όταν αντλείται λεπτά, μικρού μήκους ερυθρωπά-καστανά φυλλάκια ζελατινώδους υλικού, και να έχει δυσάρεστη γεύση και οσμή. Το υλικό αυτό όχι μόνο φράζει τους φιλτροσωλήνες αλλά και «διαβρώνει» όλα τα μεταλλικά μέρη της γεώτρησης. Ο μόνος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι η απολύμανση της γεώτρησης. Τέλος έχει αναφερθεί και η παρουσία στις υδρογεωτρήσεις των μολυσματικών βακτηρίων *Giardialamblia* και *Pseudomonas*.

7.8.4 Πρόληψη και αντιμετώπιση των προβλημάτων

Η απόθεση αλάτων δεν είναι δυνατόν να προληφθεί. Η μοναδική μέθοδος γνωστή από τη βιβλιογραφία είναι η μέθοδος «Vyredox system», η οποία αποβλέπει στη μείωση των ιόντων του Fe που φθάνουν στο φιλτροσωλήνα, με την έκχυση οξυγυνομένου νερού σε μια σειρά από γεωτρήσεις που περιβάλλουν την υδρογεώτρηση, ώστε να οξειδωθούν τα ιόντα Fe, να αναπτυχθούν σιδηροβακτήρια προκειμένου να μειωθεί στο ελάχιστο η ποσότητα του Fe που θα φτάσει στην υδρογεώτρηση.

Αντίθετα όμως μπορεί να επιβραδυνθεί ο χρόνος εμφάνισης του φαινομένου με τη σωστή σχεδίαση της υδρογεώτρησης (μεγάλη συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων φιλτροσωλήνα, τοποθέτηση φιλτροσωλήνα σε όλο το μήκος του υδροφόρου) με μείωση της παροχής και αύξηση της διάρκειας άντλησης,

κατανομή της παροχής σε μικρότερες παροχές από περισσότερες γεωτρήσεις μικρότερης διαμέτρου και συντήρηση και καθαρισμός των φιλτροσωλήνων.

Η βακτηριακή δράση μπορεί να προληφθεί με την αποφυγή εισαγωγής σιδηροβακτηρίων στην υδρογεώτρηση μέσω της απολύμανσης υλικών, εξοπλισμού και μέσων κατασκευής της υδρογεώτρησης και σχολαστικής εφαρμογής των μέτρων υγειονομολογικής προστασίας της γεώτρησης. Εάν παρ' ελπίδα αναπτυχθούν σιδηροβακτήρια στη γεώτρηση θα πρέπει αυτή να υποστεί επεξεργασία με χλώριο ή με υπερμαγγανικό κάλιο ή ακόμα και με αμμωνιακές ενώσεις (απολύμανση) .

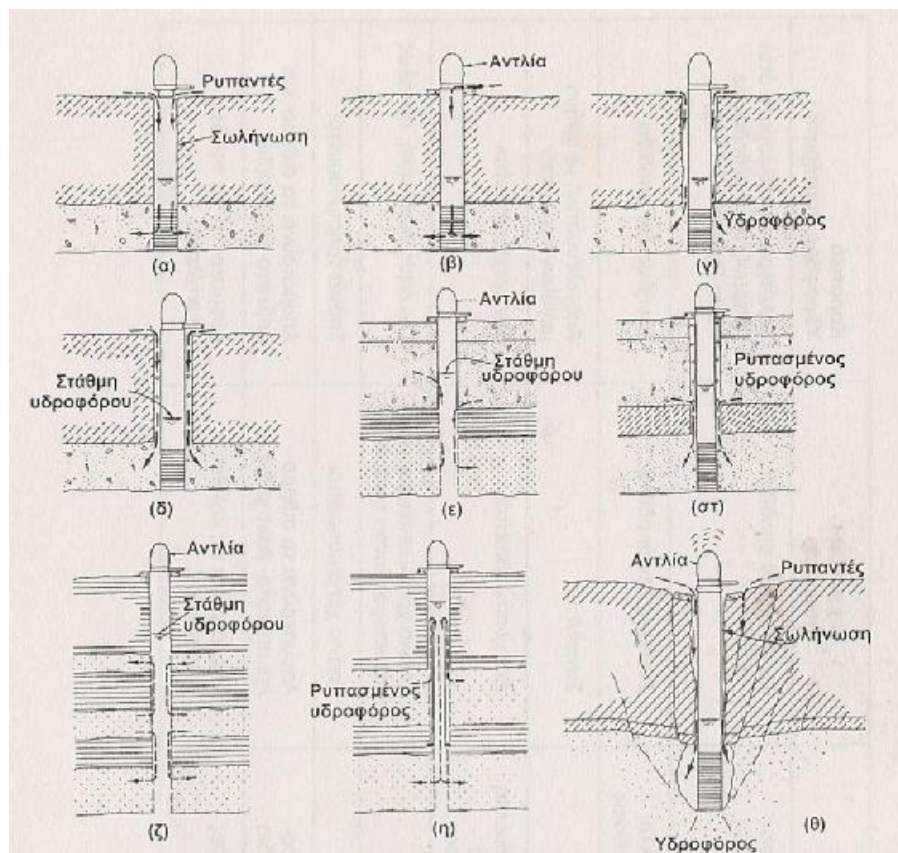
Η έμφραξη των φιλτροσωλήνων από λεπτόκοκκα υλικά μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση χημικών ενώσεων που ανήκουν στις πολυφωσφορικές ενώσεις όπως το πολυφωσφορικό νάτριο, ακόμα και επιφανειοδραστικών μη ιονικών ουσιών, οι οποίες διαβιβάζονται στην υδρογεώτρηση η οποία παράλληλα αναδεύεται.

Η διάβρωση, ανάλογα με τη φύση της (διάλυση, γαλβανική, χημική, ηλεκτροχημική, επιλεκτική, σε ρωγμές κ.λπ.) αλλά και ανάλογα με την ποιότητα της σωλήνωσης (γαλβανισμένη λαμαρίνα, μαύρη λαμαρίνα, ανοξείδωτος χάλυβας, χάλυβας χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, σωλήνες από ειδικά κράματα) μπορεί να προληφθεί με καθοδική προστασία (θάψιμο ανόδου από μαγνήσιο που συνδέεται με τον σωλήνα με επενδεδυμένο χάλκινο σύρμα) ή με κατάλληλη επιλογή του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι σωλήνες και φιλτροσωλήνες.

7.8.5 Υγειονομική προστασία υδρογεωτρήσεων - απολύμανση

Το Σχήμα 7.16 δείχνει διάφορους δυνατούς τρόπους εισόδου ρύπων στις υδρογεωτρήσεις. Προκειμένου να αποκλειστεί η είσοδος ανεπιθύμητων επιφανειακών νερών ή άλλων ρύπων στη γεώτρηση, ο χώρος ανάμεσα στα τοιχώματα της γεωτρήσεως και της εξωτερικής τυφλής σωλήνωσης πρέπει να γεμίζεται με τσιμέντο . Η κορυφή της γεώτρησης πρέπει να σφραγίζεται με

ένα υδατοστεγανό κοχλιωτό κάλυμμα. Ο χώρος ανάμεσα στο σωλήνα θαλάμου της αντλίας και την περιφραγματική σωλήνωση πρέπει να σφραγίζεται στο πάνω μέρος και να αφήνεται απλώς ένας σωληνίσκος για τις μετρήσεις στάθμης. Η σφράγιση με πώμα μπορεί να είναι μεταλλική, ασφαλτική κ.λπ. Όταν κατασκευάζεται ή επισκευάζεται μία γεώτρηση μπορεί να ρυπανθεί από τον εξοπλισμό, τα επιφανειακά νερά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της κ.λπ.



Σχήμα 7.16 Τρόποι εισόδου ρύπων στις υδρογεωτρήσεις (Campbell - Lehr 1974): α) από αστοχία ανάμεσα στη βάση της αντλίας και της σωλήνωσης ή στη στεγανοποίηση, β) από αναστροφή της ροής, μέσω της αντλίας, γ) από τη διαταραγμένη ζώνη, γύρω από τη σωλήνωση, δ) από την κακή σχεδίαση του χαλκίφιλτρου που τοποθετείται από την κορυφή μέχρι τον πυθμένα της γεώτρησης, χωρίς απομόνωση των επιφανειακών στρωμάτων, ε) και στ) από την

επικοινωνία με ρυπασμένο υδροφόρο, είτε μέσω της σωλήνωσης (ε), είτε μέσω του χαλκικόφιλτρου (στ), που δρουν ως κατακόρυφοι αγωγοί, ζ) από κατακόρυφη ροή ρυπασμένου υδροφόρου μέσω αστοχιών στη σωλήνωση (η) από κατακόρυφη ροή ρυπασμένου υδροφόρου μέσω επέκτασης του χαλκικόφιλτρου προς τα πάνω, χωρίς απομόνωση, μέχρι επιφανειακό υδροφόρο, και τέλος θ) λόγω καθίζησης που προκαλείται από την άντληση νερού και άμμου ή από αστοχία στην επιφανειακή τσιμεντώση ή στον σωλήνα εξαγωγής.

Συνιστάται η χλωρίωση και ανάδευση του νερού της γεώτρησης, με τη χρησιμοποίηση διαλύματος χλωρίου περίπου 50 - 200 mg/l που παίρνεται με την προσθήκη υποχλωριώδους Νατρίου ή με τη διάλυση υποχλωριώδους Ca ή αερίου χλωρίου στο νερό. Ο χρόνος παραμονής του διαλύματος στο νερό πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 ώρες. Η χλωρίωση κατά κανόνα καταστρέφει τα βακτήρια και τους ιούς. Η αποτελεσματικότητα της χλωρίωσης πρέπει να ελέγχεται με τον προσδιορισμό των κολοβακτηριδίων του νερού μετά από άντληση του για μερικές ώρες. Τα κολοβακτηρίδια των κοπράνων αυτά καθ' αυτά είναι ακίνδυνα, αλλά η παρουσία τους μπορεί να σημαίνει την ύπαρξη στο νερό βακτηριδίων χολέρας και σαλμονέλλας (τυφοειδούς και παρατυφοειδούς), ιού της ηπατίτιδας και άλλων παθογόνων μικροοργανισμών).

Πίνακας 7.10 Απαιτούμενη ποσότητα $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ για την παρασκευή 0,5 κ.μ. διαλύματος Cl (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Περιεκτικότητα σε CL (mg/l)	Ξηρο υποχλωριώδες Ca (gr)
50	30
100	60
150	90
200	112
300	200
400	250

Για την παρασκευή μισού κυβικού διαλύματος χλωρίου απαιτείται η εξής ποσότητα ξηρού υποχλωριώδους ασβεστίου (πίνακας 7.10), ανάλογα με την περιεκτικότητα του διαλύματος σε Cl.

Όταν η περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε ασβέστιο μαζί με εκείνο του υποχλωριώδους διαλύματος ξεπερνά τα 300 ppm, πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση του τελευταίου και να προτιμάται το υποχλωριώδες Na, γιατί προκύπτει ίζημα Ca(OH)_2 .

Ειδικά, προκειμένου να θανατωθούν τα θειοβακτηρίδια και τα σιδηροβακτηρίδια, απαιτείται η χρησιμοποίηση τόσο χλωρίου, ώστε το διάλυμα να περιέχει 400 mg/l ελεύθερο χλώριο και ο χρόνος παραμονής να είναι περίπου 24 ώρες.

Το καλύτερο είναι να υπολογίζεται ο όγκος του νερού που περιέχεται στη γεώτρηση και να χρησιμοποιείται αρκετή ποσότητα χλωρίου, ώστε το διάλυμα που θα προκύψει να έχει συγκέντρωση χλωρίου 1000 mg/l. Το διάλυμα του χλωρίου πρέπει να αναμιχτεί καλά στη γεώτρηση με εμβολισμούς από τον πυθμένα της προς τα πάνω. Το διάλυμα στη συνέχεια θα πρέπει να παραμείνει στη γεώτρηση τουλάχιστον για 6 ώρες, κατά τη διάρκεια των οποίων θα γίνονται εμβολισμοί ανά δίωρο. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί υποχλωριώδες Ca, κατ' αρχήν υπολογίζεται ο όγκος του νερού στη γεώτρηση ($\rho r^2 h$ όπου ρ η ακτίνα του φιλτροσωλήνα ή του ασωλήνωτου τμήματος που υδρομαστεύει τον υδροφόρο και h η στήλη νερού στη γεώτρηση), στη συνέχεια υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα του υποχλωριώδους ασβεστίου, προκειμένου η περιεκτικότητα του νερού στη γεώτρηση, σε χλώριο να γίνει 1000 mg/l. Η απαιτούμενη ποσότητα του υποχλωριώδους ασβεστίου τοποθετείται στον κάδο καθαρισμού, ο οποίος ανεβοκατεβάζεται στη γεώτρηση από τον πυθμένα μέχρι την επιφάνεια του νερού, μέχρι να λιώσει τελείως. Επειδή η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα, μια πρακτική λύση είναι η διάλυση του υποχλωριώδους ασβεστίου σε αναλογία 4 l καθαρού νερού ανά 0,5 kg υποχλωριώδους ασβεστίου. Αν

χρησιμοποιηθεί διάλυμα υποχλωριώδους Na, το διάλυμα μπορεί να διαβιβαστεί όπως έχει στη γεώτρηση.

Ο υπολογισμός της ποσότητας του υποχλωριώδους Ca. ή Na που χρειάζεται μπορεί να γίνει από τη σχέση:

$$B = V \frac{C_1}{C_2} \quad (7.1)$$

όπου: B = το βάρος του $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ή NaClO σε kg.

V = ο όγκος του νερού στη γεώτρηση σε l.

C_1 = η επιθυμητή συγκέντρωση σε χλώριο στο νερό της γεώτρησης (0,001).

C_2 = η συγκέντρωση του απολυμαντικού, π.χ.

για 70% $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, $C_2 = 0.70$,

για 25% χλωρασβέστιο, $C_2 = 0,25$ κ.ο.κ.

Στον πίνακα 7.11 δίνονται οι ποσότητες χλωριούχων ενώσεων που απαιτούνται για να δώσουν διάφορες συγκεντρώσεις χλωρίου στο νερό.

Πίνακας 7.11 Ποσότητες NaClO ή $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ και νερού που απαιτούνται για να δώσουν διάφορες συγκεντρώσεις χλωρίου (U.S. Water and Power Resources Service, 1981).

Συγκέντρωση Χλωρίου σε ppm	Όγκος νερού ανά 4L υποχλωριώδους Νατρίου 5,25% σε m^3	Όγκος νερού ανά 4 l υποχλωριώδους Νατρίου 10% σε m^3	Βαρος υποχλωριώδους ασβεστίου, 70% σε χλωριο ανά 4 m^3 νερού σε gr
10	20	38	54
20	10	19	108
30	6,6	12,5	162
40	5,0	9,5	217
50	4,0	7,6	271
60	3,3	6,2	325
70	2,9	5,4	380
80	2,5	4,7	433
90	2,2	4,2	487
100	2,0	4,0	541

Αλλά απολύμανση δεν χρειάζεται μόνο το νερό των γεωτρήσεων αλλά και ο σταθεροποιητικός σχηματισμός και το χαλκόφιλτρο. Τούτο μπορεί να γίνει με την πρόσμιξη 0,5 kg, υπαχλωριώδους ασβεστίου σε κάθε 0,8 m^3 χαλκόφιλτρου κατά την στιγμή της τοποθέτησης του στη γεώτρηση ,ή η διαβίβαση ,μεσα από το σωλήνα τοποθέτησης χαλκόφιλτρου του διαλύματος των χλωριούχων ενώσεων ανά 0,8 m^3 χαλκόφιλτρου στις πιο κατω ποσοτητες :

- 84000 ppm διαλυμα υποχλωριώδους ασβεστίου (0,5 kg ανά 4 l νερού) 3 l ανά 0,8 m^3 χαλκόφιλτρου
- 27000 ppm διάλυμα χλωριωμένης υδροασβέστου (0,5 kg ανά 4 l νερού), 10 l ανά 0,8 m^3 χαλκόφιλτρου

- 52500 ppm διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου (3,8 l ανά 4 l νερού), 4,8 l ανά 0,8 m³ χαλκικόφιλτρου.

7.8.6 Συντήρηση - επανόρθωση υδρογεωτρήσεων

Η ζωή των υδρογεωτρήσεων περιορίζεται σημαντικά είτε από κακή κατασκευή είτε από την ελαττωματική άντλισή τους (υπεράντληση κ.λπ.). Μία καλά σχεδιασμένη, κατασκευασμένη αντλούμενη και συντηρούμενη γεώτρηση μπορεί να «ζήσει» για 40 ή και περισσότερα χρόνια . Συννά η απόδοση των γεωτρήσεων πέφτει, άλλα επανέρχεται στο αρχικό επίπεδο μετά από καθαρισμό του. Πέντε είναι οι βασικοί λόγοι της μείωσης της απόδοσης των γεωτρήσεων :

- α) Υποβιβασμός της στάθμης του υδροφόρου (εξάντληση),
- β) Ελαττωματική κατασκευή των γεωτρήσεων
- γ) Ελαττωματική λειτουργία της αντιστάσης (προκαλούμενη από διάβρωση ή απόθεση αλάτων)
- δ) καταστροφή του φιλτροσωλήνα (διάβρωση, απόθεση αλάτων, ανάπτυξη βακτηριδίων κ.λπ.),
- ε) Φράξιμο των σχισμών του φιλτροσωλήνα από λάσπη, άμμο και ιλύ

Ο πίνακας 7.12 συνοψίζει τις μεθόδους επανόρθωσης των γεωτρήσεων και τις εφαρμογές τους.

i) Εξάντληση του υδροφόρου πτώση στάθμης: Δεν έχει σχέση με την κατάσταση της γεώτρησης και της αντλίας αλλά με τις συνολικές απολήψεις νερού. Αντιμετωπίζεται είτε με τη μείωση της αντλούμενης παροχής (συνιστάται) ή την εκβάθυνση της γεώτρησης (δεν συνιστάται).

ii) Ελαττωματική κατασκευή της γεώτρησης (ελαττωματική σωλήνωση ή σύνδεση σωλήνων κακή εκλογή φιλτροσωλήνων, ατελής συμπλήρωση και ανάπτυξη, κακή επιλογή της θέσεως της γεώτρησης . Η αποκατάσταση είναι δύσκολη, αμφίβολης αποτελεσματικότητας και συχνά πιο δαπανηρή από την κατασκευή μιας καινούργιας γεώτρησης.

iii) Διάβρωση και απόθεση αλάτων. Αποτελούν τον πιο σημαντικό λόγο μείωσης απόδοσης των γεωτρήσεων. Η διάβρωση μπορεί να οφείλεται στην άμεση χημική δράση του νερού ή στην ηλεκτρολυτική δράση που προκαλείται από την παρουσία δύο διαφορετικών μετάλλων στον εξοπλισμό της γεώτρησης.

Πίνακας 7.12 Μέθοδοι επανόρθωσης γεωτρήσεων και οι εφαρμογές τους (Erickson, 1961)

Μέθοδος	Χαλαροί Υδροφόροι	Συμπαγείς ψαμμίτες	Καρστικά Υδροφόρα συστήματα
Υδροχλωρικό οξύ (όχι σε τσιμέντινους σωλήνες) και στη συνέχεια αέριο χλώριο	Απομακρύνει τις ενώσεις Fe, S, και τις ανθρακικές	Συνήθως δεν αποδίδει	Καλύτερα αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται η μεθοδος με πίεση (pressure acidizing)
Πολυφωσφορικά και στη συνέχεια αέριο χλώριο	Απομακρύνει ιλύ, άργιλο, κολλοειδή, μερικές ενώσεις	Συνήθως δεν αποδίδει	Συνήθως δεν αποδίδει
Δυναμιτισμός	Δεν συνιστάται	Συνιστάται	Αποτελεσματική με χρήση μεγάλων γομώσεων
Πιεσμένος αέρας	Απομακρύνει τα λεπτόκοκκα υλικά (ιλύς και άμμος) που φράζουν τα φίλτρα	Δεν χρησιμοποιείται	Δεν χρησιμοποιείται
Ξηρός πάγος	Ομοίως	Σπάνια χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση τριμμάτων	Όχι αποτελεσματική, συνήθως
Εμβολισμός	Ομοίως	Σπάνια χρησιμοποιείται	Σπάνια χρησιμοποιείται
Χλώριο (συγκέντρωση 500 mg/l)	Απομακρύνει τα σιδηρο- και άσβεστο- βακτηρίδια	Απομακρύνει τα σιδηρο- και άσβεστο- βακτηρίδια	Απομακρύνει τα σιδηρο- και άσβεστο- βακτηρίδια
Καυστική σόδα (υδροξείδιο Na)	Απομακρύνει τις κηλίδες ορυκτελαίου	Απομακρύνει τις κηλίδες ορυκτελαίου	Απομακρύνει τις κηλίδες ορυκτελαίου

Το αποτέλεσμα της διάβρωσης μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την τοποθέτηση μη μεταλλικών φιλτροσωλήνων ή φιλτροσωλήνων από ανθεκτικά υλικά στη διάβρωση μετάλλων άλλα δαπανηρών όπως π.χ από ανοξείδωτο χάλυβα, νικέλιο ή χαλκό ή με την καθοδική προστασία τους (π.χ με την εισαγωγή στη γεώτρηση ενός μετάλλου που βρίσκεται χαμηλά στην ηλεκτροχημική κλίμακα -όπως δακτύλιοι μαγνησίου - το οποίο θα διαβρωθεί αντί του φιλτροσωλήνα,) ή ακόμη και με τον έλεγχο του pH του νερού (προσθήκη αλκαλικών ουσιών).

Ο καθαρισμός του σωλήνα από τα άλατα μπορεί να γίνει με πρόκληση δονήσεων(με εκρηκτικά) στη γεώτρηση ,με την χρησιμοποίηση υδροχλωρικού ή σουλφαμικού οξέων (εκχρησση στη γεώτρηση), συνδυασμένη με ανάδευση του νερού. Όταν οι φιλτροσωληνες μπλοκάρονται από μικροοργανισμούς, ιδιαίτερα ασβεστοβακτηρίδια συνιστάται η χρησιμοποίηση αέριου χλωρίου ή υποχλωριωδών διαλυμάτων. Για τη βελτίωση της παροχής των γεωτρήσεων σε συμπαγή πετρώματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επεξεργασία με οξέα και η πρόκληση εκρήξεων .

Όταν οι ενώσεις Fe και Mn αποτελούν πάνω από το 20% του υλικού, που έχει αποθεθεί στους φιλτροσωλήνες (το δείγμα παίρνεται με περιστρεφόμενο δίσκο που ξύνει τους φιλτροσωλήνες με την κίνηση των στελεχών του γεωτρήσανου), υπάρχει πιθανότητα οι φιλτροσωλήνες να έχουν διαβρωθεί. Αν το υλικό αποτελείται κυρίως από ανθρακικά άλατα Ca, Mg, Fe ή υδροξείδια του Fe είναι δυνατή η επανόρθωση με τη χρησιμοποίηση υδροχλωρικού ή σουλφαμικού οξέος. Αν ο λόγος των μοριακών βαρών $Fe(OH)_3$ προς FeS είναι 3 προς 1, τότε υπάρχουν θειοβακτηρίδια που προκαλούν την απόθεση αλάτων.

Όταν το μεγαλύτερο μέρος των ουσιών που αποτελούν τα άλατα που έχουν αποθεθεί στους φιλτροσωλήνες είναι Fe ή Mn, τότε οι ενώσεις τους με διάλυμα οξέος, σε pH 3 σχηματίζουν αδιάλυτο ίζημα που καθιζάνει. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα πιο κάτω οξέα για να διατηρηθούν οι ενώσεις Mn και Fe σε διάλυμα που μπορεί να αντληθεί:

- Κιτρικό οξύ,
- Φωσφορικό οξύ,
- Τρυγικό οξύ,
- Οξαλικό οξύ κ.ά.

Οι συνηθισμένες ποσότητες που χρησιμοποιούνται είναι:

- 0.5 kg, του οξέος με 7.5 kg σουλφαμικό οξύ σκόνη.
- 1 kg για 4 kg HCl 15%.
- 2 kg για 4 kg H₂SO₄

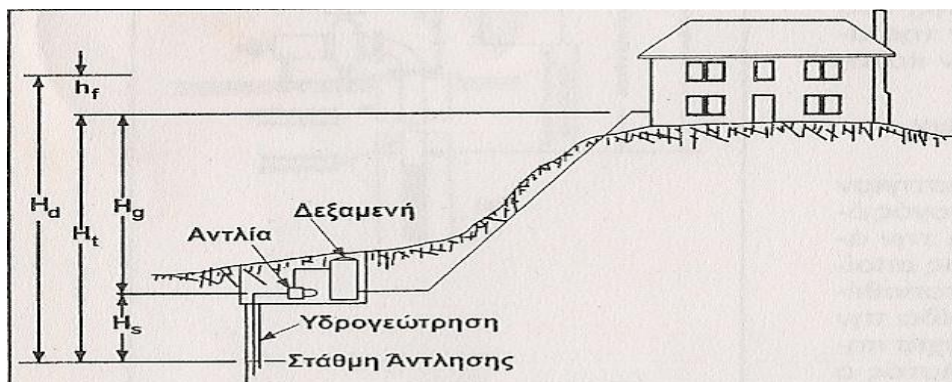
Κατά τη χρησιμοποίηση υδροχλωρικού οξέος, εκτιμείται ο όγκος του νερού για κάθε φιλτροσωλήνα και διαβιβάζεται μέσα από πλαστικό σωλήνα, απέναντι από κάθε φιλτροσωλήνα, ποσότητα οξέος 2 με 2.5 φορές περισσότερη από τον όγκο του νερού. Το οξύ αφήνεται στη γεώτρηση για 4 -6 ώρες. Η γεώτρηση εμβολίζεται για 15 - 20 min ανά 1 ώρα. Στο τέλος το διάλυμα αντλείται και χύνεται. Το σουλφαμικό οξύ χρησιμοποιείται ευκολότερα και δίνει καλά αποτελέσματα. Συνήθως χρησιμοποιούνται μίγματα που αποτελούνται από 400 l νερό, 150 kg σουλφαμικό οξύ, 10 kg κιτρικό οξύ και 75 kg χλωριούχο νάτριο. Το διάλυμα αυτό που μοιάζει με λάσπη αφήνεται στη γεώτρηση για 12-24 ώρες, ενώ ανά 1 ώρα αναδεύεται για 15-20 λεπτά (εμβολισμοί). Το διάλυμα αντλείται και χύνεται όταν το pH είναι 6-7. Όταν τα άλατα αποτελούνται από SiO₂ ή άργιλο, τότε η μόνη δυνατότητα είναι η χρήση του πολύ ακριβού HF.

Για την επανόρθωση γεωτρήσεων σε σκληρά πετρώματα, ασωλήνωντων γεωτρήσεων, χρησιμοποιείται υδροχλωρικό οξύ 18°B σε ποσότητα δύομιση φορές περισσότερη από τον όγκο του νερού μέσα στη γεώτρηση. Το οξύ παραμένει τουλάχιστον 6 ώρες στη γεώτρηση και γίνονται εμβολισμοί για 15 -20 min ανά 1 ώρα. Συχνά η επανόρθωση γίνεται με πρόκληση εκρήξεων και στη συνέχεια με επεξεργασία με οξύ. Συνήθως χρησιμοποιούνται γομώσεις 4.5 kg από δυναμίτη 50 - 60% σε αποστάσεις 1.5 m. Οι εκρήξεις πρέπει να γίνονται σε αποστάσεις 3 m από τα σκληρά πετρώματα, ή σε 16 m από τον πυθμένα της

επιφανειακής σωλήνωσης, αν υπάρχει. Οι εκρήξεις πρέπει να γίνονται χάρια, με αρχή από τον πυθμένα της γεώτρησης. Όταν ολοκληρωθούν οι εκρήξεις, ακολουθεί καθαρισμός (με κάδο καθαρισμού) και ανάπτυξη. Στα πολύ σκληρά πετρώματα οι γομώσεις μπορεί να φτάσουν τα 50 kg, σε αποστάσεις 3 - 4 m.

7.9 ΑΝΤΛΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Οι αντλίες μεταβλητής μετατόπισης τοποθετούνται σε διάφορες θέσεις, οπωσδήποτε κάτω από τη στάθμη του νερού στη γεώτρηση. Το ποτήρι της αντλίας πρέπει να βρίσκεται σταθερά κάτω από τη στάθμη άντλησης (δυναμική στάθμη), δηλαδή σε συνθήκες θετικού φορτίου πίεσης. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτών των αντλιών είναι η αντίστροφη σχέση που υφίσταται ανάμεσα στην απόδοση τους και στο μανομετρικό ύψος. Η παροχή άντλησης είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το φορτίο. Στο Σχήμα 7.17 παριστάνονται σχηματικά οι διάφορες συνιστώσες του φορτίου σε αντλητικό σύστημα.



Σχήμα 7.17 Οι επιμέρους συνιστώσες του μανομετρικού φορτίου σε σύστημα άντλησης από γεώτρηση (Driscoll 1987, με τροποποιήσεις)

- H_s : Βάθος αναρρόφησης (Φορτίο άντλησης μέχρι την αντλία)
- H_g : Φορτίο ανύψωσης του νερού πάνω από την επιφάνεια του εδάφους
- H_t : Ολικό φορτίο
- H_f : Φορτίο τριβών
- H_d : Συνολικό δυναμικό φορτίο

Οι πιο σημαντικοί τύποι αυτών των αντλιών είναι:

1. Φυγόκεντρες αντλίες
 - Αναρρόφησης .
 - Στροβιλοφόρες «βαθέων φρεάτων» .
 - Υποβρύχιες στροβιλοφόρες.
2. Αντλίες εκτόξευσης νερού .
3. Αεραντλίες .

Πίνακας 7.13 Κύρια χαρακτηριστικά των πιο συνηθισμένων τύπων αντλιών.
(Γ.Α. Καλλέργης 1999)

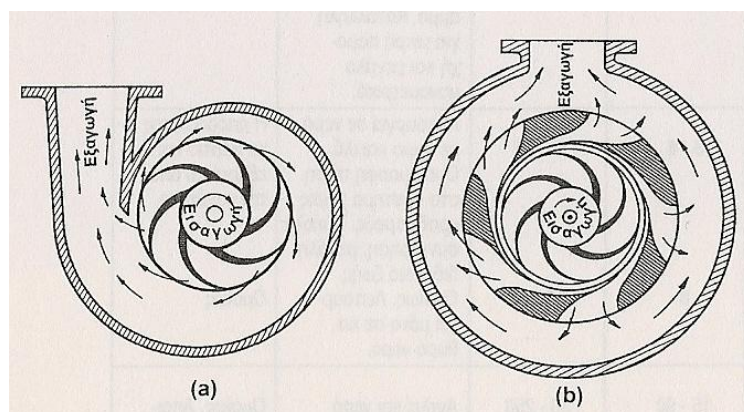
Τύπος αντλίας	Πρακτικό ύψος αναρρόφησης (m)	Συνηθισμένο βάθος άντλησης (m)	Συνηθισμένο Μανομετρικό ύψος (m)	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Παλινδρομική (εμβολοφόρα) -ρηχών πηγαδιών -βαθειών πηγαδιών	6-7 6-7	6-7 μέχρι 180	30-60 μέχρι 180	Λειτουργεί με διάφορα φορτία και με ιλύ και άμμο. Κατάλληλη για μικρή παροχή και μεγάλο μανομετρικό	Θορυβώδης. Ψηλό κόστος συντήρησης
Κεντρόφυγα (αναρρόφησης) -μιας βαθμίδας ευθύγραμμη - στροβιλοφόρα μιας φτερωτής	6 max 8 max	3 – 6 8	30 – 45 30 - 60	Λειτουργεί σε νερά με άμμο και ιλύ. Ομοιόμορφη πίεση στο σύστημα χωρίς κραδα-σμούς. Εύκολη συντήρηση, μεγάλη διάρκεια ζωής. Ομοίως Λειτουργεί μόνο σε καθαρό νερό.	Η απόδοση της το φορτίο και εξαρτάται από την ταχύτητα Ομοίως
Πομόνα (Στροβιλοφόρα κατακόρυφου άξονα με				Αντλεί και νερό με ιλύ. Ομοιόμορφη	Ομοίως. Απαιτεί κατακόρυφες και

πολλές βαθμίδες)	Αρκεί ο στρόβιλος να βρίσκεται στο νερό.	15 - 90	30 - 250	πίεση στο σύστημα χωρίς κραδασμούς. Εύκολη συντήρηση, μεγάλη διάρκεια ζωής	μεγάλης διαμέτρου γεωτρήσεις.
Υποβρύχια (πολλές βαθμίδες)	Αρκεί ο στρόβιλος κι ο κινητήρας να βρίσκονται στο νερό,	15 - 120	15 - 120	Μπαίνει σε μη κατακόρυφες και μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις.	Χρειάζεται καθαρό νερό. Δύσκολη η επισκευή του κινητήρα (εξαγωγή αντλίας). Δύσκολη η απόμόνωση του ηλεκτρικού εξοπλισμού από τους ατμούς.
Αντλίες εκτόξευσης σέρα (Jet) -ρηχών πηγαδιών -βαθειών πηγαδιών	4 – 6m κάτω από τον εκτοξευτήρα 4 - 6 κάτω από τον εκτοξευτήρα	Μέχρι 4-6 κάτω από τον εκτοξευτήρα 7 – 35 60max	28 – 45 25 - 45	Ψηλή απόδοση, με μικρά φορτία Δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί πάνω από τη γεώτρηση. Δεν υπάρχουν κινητά μέρη στη γεώτρηση. Ομοίως	Ελαττώνεται η απόδοση με την αύξηση της ανύψωσης. Ομοίως
Περιστροφικές - γριναζωτός τύπος (ρηχά) πηγάδια - τύπος έλικα (βαθείς γεωτρήσεις)	7 συνήθως υποβρύχια	7 15 - 150	15 – 75 30 - 150	Σταθερή παροχή σε μεταβαλλόμενα φορτία. Ομοίως	Ευπρόσβλητη στην άμμο και ιλύ. Ομοίως

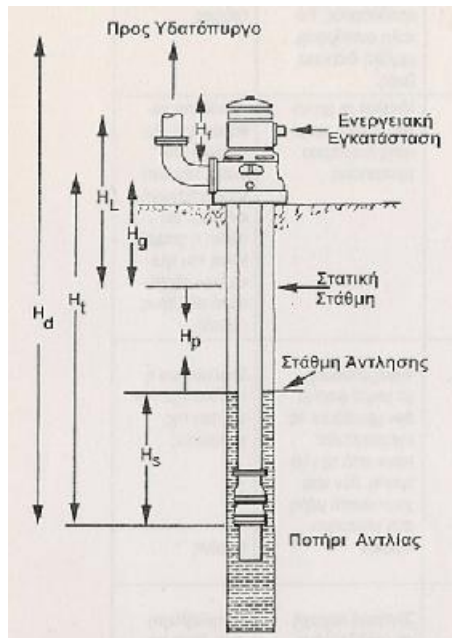
7.9.1 Φυγόκεντρες αντλίες

Οι φυγόκεντρες αντλίες αποτελούν τον πιο σημαντικό τύπο αντλιών μεταβλητής μετατόπισης. Πρόκειται για αντλίες οριζόντιου άξονα, οι βασικές αρχές λειτουργίας των οποίων είχαν ήδη διατυπωθεί εδώ και 300 χρόνια. Οι αντλίες αυτού του τύπου μπορεί να είναι ελικοφόρες ή στροβιλοφόρες (Σχήμα 7.18). Η ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής έλικας είναι της τάξης των 1750 - 3500 στροφών / min. Ανάλογα με τον τύπο της φτερωτής έλικας διακρίνονται σε κλειστού, ημίκλειστου και ανοικτού τύπου, με βαθμό απόδοσης που ελαττώνεται από τον κλειστό προς τον ανοικτό τύπο.

Ανάλογα με το μανομετρικό τους ύψος χαρακτηρίζονται ως χαμηλής (μανομετρικό μέχρι 20 m), μέσης (μανομετρικό μέχρι 60 m) και υψηλής πίεσης (μανομετρικό μεγαλύτερο από 60 m). Ανάλογα με την παροχή τους και το συνολικό μανομετρικό έχουν συνταχθεί πίνακες υπολογισμού για τις απώλειες λόγω τριβών και ταχύτητας h_f (Σχήμα 7.19). Οι αντλίες με ανοιχτή φτερωτή προσφέρονται για άντληση ακάθαρτων, αλλά παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό απόδοσης. Οι αντλίες με ημίκλειστη φτερωτή προσφέρονται για άντληση νερού από βάθη μέχρι 7 μέτρα, αλλά έχουν τη δυνατότητα κατάθλιψης του νερού μέχρι τα 40 μέτρα.



Σχήμα 7.18 Σχηματική παρουσίαση φυγόκεντρων αντλιών (a)ελικοφόρα. (b)Στροβιλοφόρα. (Von JohnsonDiv., 1975, με τροποποιήσεις).



Σχήμα 7.19 Η σύνθεση του μανομετρικού ύψους σε αντλιακό συγκροτημα «βαθέων φρεάτων» (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Οι αντλίες κλειστής φτερωτής έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης (>80%). Οι αντλίες αυτού του τύπου είναι ευαίσθητες στην άμμο που ενδέχεται να περιέχει το αντλούμενο νερό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κοινές φυγόκεντρες αντλίες έχουν βάθος αναρρόφησης μέχρι 7,6 μέτρα. Η παροχή της αντλίας μηδενίζεται πρακτικά όταν το βάθος αναρρόφησης ξεπεράσει τα 8,40 μέτρα. Αυτός είναι ο βασικότερος περιορισμός των αντλιών αυτού του τύπου. Δεν πρέπει βέβαια να συγχέεται το βάθος αναρρόφησης με το μανομετρικό ύψος (Σχήμα 7.19). Για την αντιμετώπιση του μικρού βάθους αναρρόφησης των αντλιών αυτού του τύπου στα σκαφτά πηγάδια μεγάλης διαμέτρου οι αντλίες τοποθετούνται κοντά στη στάθμη άντλησης, στα λεγόμενα «παραπήγαδα». Αξιοσημείωτο είναι ότι το βάθος αναρρόφησης των αντλιών ελαττώνεται κατά 0,3 m, για κάθε αύξηση του υψόμετρου ανά 300 m πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

Υπολογισμός του βάθους αναρρόφησης.

Οι φυγόκεντρες αντλίες λειτουργούν μόνο εφόσον το ρευστό μπορεί να εισέλθει στην πρώτη βαθμίδα (φτερωτή) κάτω από πίεση ισοδύναμη συνήθως

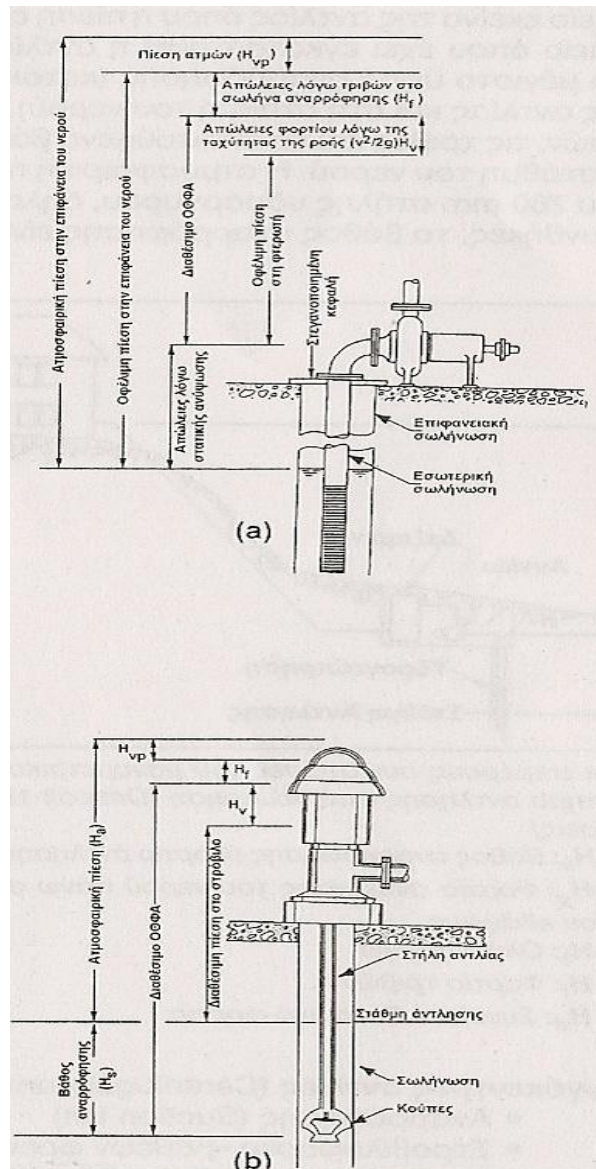
μίας ατμόσφαιρας (101 kPa). Η πίεση ή καλύτερα το φορτίο πίεσης που είναι διαθέσιμο στην αντλία συνίσταται από το φορτίο του νερού και το φορτίο που οφείλεται στην ατμοσφαιρική πίεση. Οι αντλίες που λειτουργούν μόνο με αναρρόφηση εκμεταλλεύονται μόνο την ατμοσφαιρική πίεση. Η πίεση που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας αποτελεί το ωφέλιμο θετικό φορτίο αναρρόφησης, ΟΦΘΑ, (Net Positive Suction Head, NPSH) το οποίο πρέπει να επαρκεί για την αποφυγή της δημιουργίας ατμών καθώς το νερό εισέρχεται στην αντλία. Το NPSH (ΟΦΘΑ) μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\text{NPSH} = H_s + H_a - H_{vp} \quad (7.2)$$

όπου τα διάφορα H φαίνονται στις Σχήμα 7.20 (a) και (b).

Το πρόβλημα της εξατμίσης όταν εμφανίζεται στην άντληση του νερού με αντλία αυτού του τύπου έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση ή τη διακύμανση της αντλούμενης παροχής, την αλλοπρόσαλλη κατανάλωση ενέργειας (κυμαινόμενη ανάγνωση της έντασης στο αμπερόμετρο) καθώς και την πρόκληση θορύβου. Το φαινόμενο οφείλεται στη μεγάλη ταχύτητα με την οποία εισέρχεται το νερό στην αντλία, με αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης του νερού (Νόμος Bernoulli) κάτω από την τάση των ατμών, στη δοσμένη θερμοκρασία, οπότε μέρος του νερού αρχίζει να εξατμίζεται και μέρος της ροής μέσω της αντλίας αποτελείται από «θύλακες» ατμού. Όταν αυξηθεί η πίεση του νερού οι «τσέπες» καταρρέουν με εκκοφαντικό θόρυβο.

Τα αίτια εμφάνισης του φαινομένου είναι η ασυμβατότητα του φορτίου, της απόδοσης, του βάθους αναρρόφησης και των στροφών της αντλίας με τα προδιαγραφόμενα από τον κατασκευαστή μεγέθη.



Σχήμα 7.20 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαμόρφωση του NP8H (a) στις φυγόκεντρες αναρροφητικές αντλίες («ρηχών φρεάτων») και (b) στις στροβιλοφόρες κατακόρυφου άξονα («βαθέων φρεάτων») (Driscoll 1987, με τροποποιήσεις).

7.9.2 Στροβιλοφόρες αντλίες «βαθέων φρεάτων»

Οι φυγόκεντρες αντλίες αρχικά σχεδιάστηκαν ως «αντλίες αναρρόφησης», παρά το γεγονός ότι πολύ γρήγορα χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση από βαθιές υδρογεωτρήσεις, στις οποίες η αναρρόφηση είναι αδύνατη, με την τοποθέτηση κατακόρυφου άξονα ο οποίος μεταδίδει την κίνηση είτε από επίγεια,

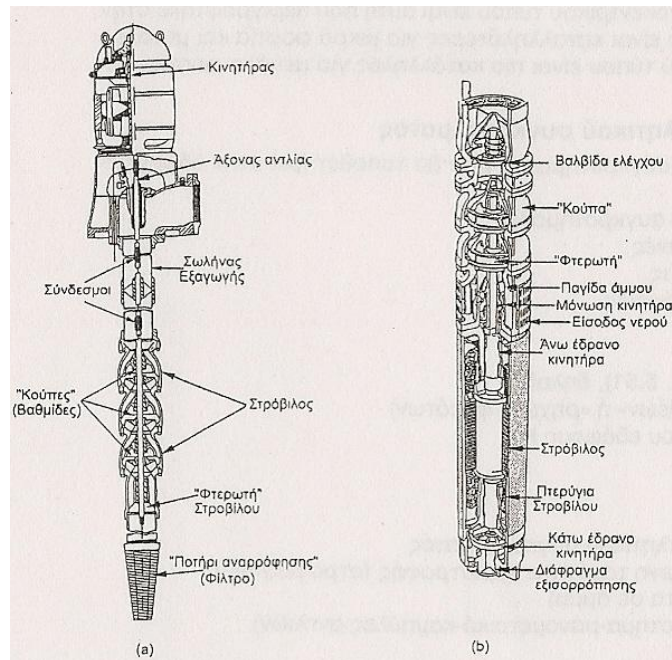
είτε από υποβρύχια πηγή κίνησης στον στρόβιλο της αντλίας. Αυτός ο τύπος της αντλίας είναι πια γνωστός ως «στροβιλοφόρα βάθρων φρεάτων». Ο στρόβιλος βυθίζεται στην υδρογεώτρηση και ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδεται η κίνηση σε αυτόν, χαρακτηρίζονται ως «κατακόρυφου άξονα» (πομόνες) όταν ο κινητήρας είναι επίγειος και η κίνηση μεταδίδεται με κατακόρυφο άξονα που περνάει από τη στήλη κατάθλιψης δηλαδή από το σωλήνα μέσα από το οποίο διοχετεύεται το νερό στην επιφάνεια, ή σαν υποβρύχιος ή καταδυόμενος, που κινούνται από τον ηλεκτροκινητήρα που βρίσκεται ενσωματωμένος στο κάτω μέρος του σώματος της αντλίας. Οι πομόνες απαιτούν πλήρη κατακορυφότητα των υδρογεωτρήσεων πράγμα που δε συμβαίνει με τις υποβρύχιες αντλίες, οι οποίες όμως απαιτούν καθαρό νερό για να δουλέψουν, διαφορετικά εύκολα καταστρέφονται.

α) Στροβιλοφόρες αντλίες κατακόρυφου άξονα ή «πομόνες»

Η αρχή λειτουργίας τους εξακολουθεί να είναι η ίδια με τις κοινές κεντρόφυγες. Όμως πρόκειται όπως προαναφέρθηκε για φυγόκεντρες αντλίες με κατακόρυφο άξονα που αντί φτερωτής έχουν κατακόρυφο στρόβιλο (Σχήμα 7.21a), ο οποίος πρακτικά αναρτάται στην υδρογεώτρηση και γι' αυτό η τελευταία πρέπει να είναι κατακόρυφη. Και στις αντλίες αυτές το βάθος αναρρόφησης τους ελαττώνεται κατά 0,3 m, για κάθε αύξηση του υψόμετρου κατά 300 m, πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

Όπως προαναφέρθηκε, η φτερωτή της φυγόκεντρης αντλίας οριζόντιου άξονα έχει αντικατασταθεί από έναν στρόβιλο αποτελούμενο από μια ή περισσότερες φτερωτές που φιλοξενούνται σε μια ή περισσότερες βαθμίδες που περιλαμβάνουν και από μια «κούπα». Κάθε βαθμίδα παρέχει ορισμένο βάθος αναρρόφησης. Αν και η απόδοση της αντλίας και η παροχή μένουν σταθερές, η αύξηση των «βαθμίδων» προκαλεί ανάλογη αύξηση του μανομετρικού. Πρέπει να αποφεύγεται η τοποθέτηση του ποτηριού της αντλίας έναντι φιλτροσωλήνα, γιατί προκαλούνται μεγάλες μη γραμμικές απώλειες φορτίου, άντληση άμμου και

διάβρωση της σωλήνωσης, ή ακόμα και απόφραξη των σχισμών λόγω ανάμιξης νερού και αέρα.



Σχήμα 7.21 Σχηματική απεικόνιση αντλιών «βαθέων φρεάτων» (α)Πομόνα, (β)Υποβρύχια. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Η μετάδοση της κίνησης στην αντλία γίνεται είτε με ηλεκτροκίνητο κινητήρα που λειτουργεί στις 1800 στροφές/min, είτε με βενζινοκινητήρα ή πετρελαιοκινητήρα. Το κόστος προμήθειας και συντήρησης των πομονών είναι σχετικά υψηλό, όμως παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης, η παροχή τους μπορεί να ρυθμιστεί αν ο κινητήρας έχει τη δυνατότητα να ρυθμίζονται οι στροφές του, είναι ανθεκτικές στην παρουσία άμμου στο νερό άντλησης και έχουν υψηλό μανομετρικό.

β) Υποβρύχιες Αντλίες

Ο στρόβιλος με τις «κούπες» έχει πρακτικά την ίδια σχεδίαση με τις αντλίες κατακόρυφου άξονα αλλά εδώ ο κινητήρας είναι υποβρύχιος, βρίσκεται αμέσως κάτω από τον στρόβιλο με τον οποίο συνδέεται χωρίς την παρεμβολή άξονα (Σχήμα 7.21b). Οι υποβρύχιοι όμως κινητήρες είναι ευαίσθητοι τόσο στην

υπερθέρμανση αλλά και στις διακυμάνσεις της ηλεκτρικής τάσης. Το ποτήρι της αντλίας βρίσκεται ανάμεσα στον κινητήρα και το στρόβιλο, ενώ ο σωλήνας εξαγωγής είναι η «στήλη της αντλίας».

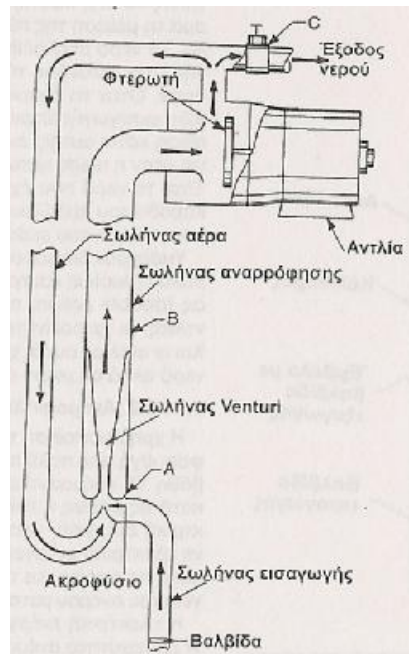
Οι περισσότερες μικρού δυναμικού αντλίες λειτουργούν στις 3500 στροφές ανά min. Μπορούν να λειτουργούν ακόμα και σε βάθη μεγαλύτερα των 650 m. Όμως η απόδοση τους είναι μικρότερη από την απόδοση των αντλιών κατακόρυφου άξονα, είναι ευαίσθητες στην παρουσία άμμου στο υπόγειο νερό, η παροχή τους δεν μπορεί να ρυθμίζεται μια και οι στροφές του ηλεκτροκινητήρα δεν είναι δυνατόν να μεταβάλλονται, και τέλος είναι ευαίσθητες στην υπερθέρμανση και τις μεταβολές της τάσης. Όμως είναι αθόρυβες, δεν απαιτούν πλήρη ευθυγραμμία, κατακορυφότητα και σταθερή εσωτερική διάμετρο των υδρογεωτρήσεων, δε χρειάζεται η κατασκευή οικίσκων για τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και οι απώλειες ενέργειας είναι μικρότερες,

7.9.3 Αντλίες εκτόξευσης (Jet Pumps)

Οι αντλίες αυτού του τύπου είναι κατάλληλες για οικιακή χρήση και αποτελούν συνδυασμό φυγόκεντρης αντλίας και διάταξης ακροφύσιων τύπου Venturi (Σχήμα 7.22). Το νερό εκρέει με πίεση μέσα από ένα ακροφύσιο που παρεμβάλλεται στο σωλήνα αναρρόφησης και ακολούθως εισέρχεται σε σωλήνα τύπου Venturi

Το ακροφύσιο αυξάνει την ταχύτητα ροής του νερού. Αυτό συνεπάγεται μείωση της πίεσης (Νόμος Bernoulli) στο σημείο Α, με αποτέλεσμα το νερό να παρασύρεται στο σωλήνα Venturi. Η βαθμιαία αύξηση της διατομής στο σωλήνα προκαλεί βαθμιαία αποκατάσταση της πίεσης στο σημείο Β. Η φυγόκεντρη αντλία από τη μια μεριά προκαλεί τη ροή προς το ακροφύσιο και από την άλλη συντηρεί τη συνδυασμένη ροή από το σωλήνα εισαγωγής. Το κύκλωμα ροής του νερού είναι κλειστό και μόνο η πρόσθετη ποσότητα νερού που προέρχεται από τη γεώτρηση φτάνει μέσω της βαλβίδας ελέγχου στο σημείο Ο και ακολούθως

οδηγείται στη δεξαμενή ή το χρήστη. Η βαλβίδα ελέγχου διατηρεί την απαραίτητη πίεση για τη δημιουργία ροής στο δοσμένο φορτίο.



Σχήμα 7.22 Βασική σχεδίαση αντλίας εκτόξευσης. Συνδυασμός σκροφύσιου - σωλήνα Venturi. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Η παροχή της αντλίας παραμένει σταθερά όπως σε όλες τις ελικοφόρες αντλίες. Η προσθήκη αντλίας εκτόξευσης στην υδροληψία αντλίας αναρρόφησης αυξάνει σημαντικά το βάθος αναρρόφησης. Οι αντλίες αυτού του τύπου περιορίζονται για χρήση σε γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου (περίπου 5 cm) για άντληση από μεγαλύτερα από όσο οι συμβατικές φυγόκεντρες αντλίες βάθη.

Η εξαέρωση της αντλίας, όπως και όλων των φυγόκεντρων, γίνεται με πλήρωση με νερό όλου του κυκλώματος.

7.10 ΑΝΤΛΙΕΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ

Οι αντλίες αυτού του τύπου δίνουν σταθερή παροχή ανεξαρτήτως βάθους αναρρόφησης, πάντως μέσα στα όρια λειτουργίας τους. Οι κυριότεροι τύπου αυτών των αντλιών είναι:

- περιστροφικές
- περισταλτικές
- εμβολοφόρες (παλινδρομικές).

Οι περιστροφικές και περισταλτικές αντλίες δε χρησιμοποιούνται συνήθως για άντληση από γεωτρήσεις. Αντίθετα πιο διαδεδομένες είναι οι εμβολοφόρες αντλίες .

7.10.1 Εμβολοφόρες (παλινδρομικές) αντλίες

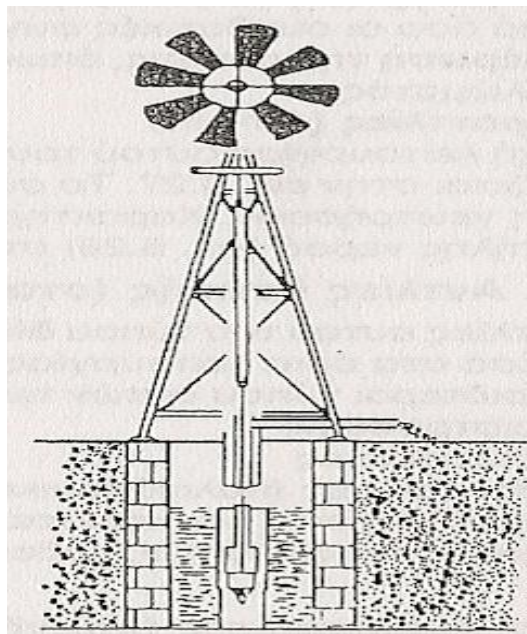


Σχήμα 7.23 Σχηματική απεικόνιση εμβολοφόρου αντλίας. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

Το Σχήμα 7.23 παριστάνει μια απλή διάταξη εμβολοφόρας (παλινδρομικής) αντλίας. Όταν το έμβολο σύρεται προς τα πάνω, η βαλβίδα ελέγχου ή εξαγωγής (στο έμβολο) κλείνει λόγω βαρύτητας και της πίεσης του νερού πάνω απ' αυτήν με αποτέλεσμα τη μείωση της πίεσης κάτω από το μετακινούμενο έμβολο. Το νερό ακολούθως εισρέει μέσω της βαλβίδας εισαγωγής στον κύλινδρο της αντλίας λόγω της διαφοράς των πιέσεων. Όταν το έμβολο κινείται προς τα κάτω, κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής όταν η πίεση πάνω απ' αυτήν ξεπεράσει την πίεση

κάτω αυτής, ενώ η βαλβίδα ελέγχου (εξαγωγής) ανοίγει όταν η πίεση κάτωθι της ξεπεράσει την πίεση άνω αυτής. Έτσι το νερό που έχει εγκλωβιστεί στον κύλινδρο κατά την κάθοδο του εμβόλου ωθείται προς την έξοδο κατά την επόμενη κίνηση του εμβόλου προς τα άνω.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εμβολοφόρων αντλιών διπλού εμβόλου και τριπλού εμβόλου, διπλής ενέργειας που λειτουργούν ως αναρροφητικές αντλίες, οι χειροκίνητες («τουλούμπες») και οι ανεμοαντλίες. Και οι αντλίες αυτές χρειάζονται πλήρωση του κυκλώματος με νερό αλλά σε μικρό σχετικά βαθμό.



Σχήμα 7.24 Σχηματική απεικόνιση ανεμοαντλίας. (Γ.Α. Καλλέργης 1999)

7.10.2 Ανεμοαντλίες

Η χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας βρήκε εφαρμογή από πολύ παλιά και στην άντληση νερού, από μικρά βάθη. Οι ανεμοαντλίες διακρίνονται σε:

(α) ηλεκτροκίνητες, κατά τις οποίες η ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω ανεμογεννήτριας, όπου η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κινεί την αντλία και

(β) ανεμοκίνητες, κατά τις οποίες για την κίνηση της αντλίας η δυναμική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια (Σχήμα 7.24).

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται κυμαίνεται από 400 W με ταχύτητα ανέμου 5 m/s μέχρι 2 KW με ταχύτητα ανέμου 10 m/s. Οι ανεμοκίνητες αντλίες που χρησιμοποιούνται συνήθως στην Ελλάδα (οροπέδιο Λασιθίου, περιοχές της Σητείας, κυκλαδονήσια) λειτουργούν ως εμβολοφόρες. Η αποδοχή τους μπορεί να φτάσει τα 200 m³/h. Το μανομετρικό τους ύψος δεν ξεπερνά τα 20 m.

7.10.3 Πηλαντλίες

Οι πηλαντλίες ανήκουν σε δύο κύριους τύπους:

- στον παλινδρομικό (εμβολοφόρα)
- στο φυγόκεντρο (ελικοφόρα).

Ο παλινδρομικός τύπος μπορεί να είναι είτε απλής, είτε διπλής δράσης. Είναι δυνατή η τοποθέτηση περισσότερων εμβόλων παράλληλα μεταξύ τους που κινούνται όμως από κοινό άξονα. Ανάλογα με τη διάταξη, στο εμπόριο αναφέρονται ως ένας κύλινδρος, δύο κύλινδροι και τρεις κύλινδροι. Μπορούν να προστεθούν και άλλοι κύλινδροι για την αύξηση της παροχής.

Η βέλτιστη απόδοση επιτυγχάνεται όταν ο σωλήνας αναρρόφησης είναι ο κοντότερος δυνατός, η διάμετρος της γραμμής αναρρόφησης είναι η μεγαλύτερη δυνατή ώστε να διατηρείται μικρή η ταχύτητα αναρρόφησης (<0,9 m/s), στο τέλος του αναρροφητικού σωλήνα τοποθετείται φίλτρο διπλάσιας ως τετραπλάσιας διαμέτρου από τη διάμετρο του ποτηριού, η διάμετρος του σωλήνα εξαγωγής είναι αρκετά μεγάλη ώστε η ταχύτητα ροής να είναι μικρότερη από 1,2 m/s, υπάρχει σταθερά θετικό φορτίο αναρρόφησης κ.λπ.

Οι αντλίες αυτού του τύπου είναι καταλληλότερες για μικρά φορτία και μεγάλες παροχές ενώ οι πηλαντλίες παλινδρομικού τύπου είναι πιο κατάλληλες για μεγάλα φορτία πίεσης και μικρές παροχές.

8. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

8.1 ΠΗΓΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Η ρύπανση των υπόγειων νερών, είναι η τεχνητά προκαλούμενη υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας τους. Η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού αναφέρεται στη βιβλιογραφία και σαν μόλυνση. Τελικά η χρησιμοποίηση των δύο αυτών όρων, άλλοτε με ταυτόσημο και άλλοτε με διαφορετικό περιεχόμενο, έχει προκαλέσει κάποια σύγχυση. Προσπάθειες διαχωρισμού των δύο όρων, στηριζόμενες είτε στο αίτιο που προκαλεί την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού -φυσικά ή χημικά αίτια της μεταβολής της ποιότητας στη ρύπανση, μικροβιολογικά αίτια της πιο πάνω μεταβολής στη μόλυνση- είτε στο αποτέλεσμα που προκύπτει από την υποβάθμιση της ποιότητας, μάλλον μεγάλωσαν τη σύγχυση.

Ως ρύπανση ή μόλυνση θα αναφέρουμε οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού, που είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Η ρύπανση μπορεί να αποβεί απαγορευτικός παράγοντας στη χρήση του νερού ή να δημιουργήσει κινδύνους στη δημόσια υγεία, μέσω της τοξικότητας ή της μετάδοσης ασθενειών. Έχει αναφερθεί, ότι η επιδημία χολέρας στο Λονδίνο, το 1854, που στοίχισε τη ζωή σε περισσότερα από 500 άτομα, μέσα σε 10 ημέρες, προήλθε από τη χρήση του νερού, για ύδρευση, μιας μολυσμένης υδρογεώτρησης.

Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης προέρχονται από την απόρριψη των απόβλητων, που δημιουργούνται μετά από κάθε χρήση νερού .

Σε αντίθεση με τη ρύπανση των επιφανειακών νερών, η ρύπανση των υπόγειων νερών είναι πολύ δύσκολο να εντοπισθεί και ακόμη πιο δύσκολο να αντιμετωπισθεί ενώ μπορεί να διατηρηθεί για δεκαετίες.

Στον πίνακα 8.1 δίνονται τα αίτια υποβάθμισης της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Πίνακας 8.1 Αιτια υποβαθμισης της ποιότητας των υπογειων νερων

Μόλυνση και ρύπανση	
i)	<u>Οικιακά και δημόσια λύματα</u>
ii)	<u>Βιομηχανικά απόβλητα</u>
	§ Οργανικά απόβλητα
	§ Επεξεργασία τροφίμων
	§ Επεξεργασία σκουπιδιών- παλιών αντικειμένων κλπ.
iii)	<u>Μεταλλευτικά απόβλητα</u>
	§ Μεταλλουργικές βιομηχανίες
	§ Μεταλλευτικές βιομηχανίες –εξόρυξη μεταλλευμάτων
	§ Δωλιστήρια πετρελαίου- εξόρυξη πετρελαίου
	§ Χημικές βιομηχανίες
	§ Διαφορές άλλες δραστηριότητες
iv)	<u>Νερό ψύξης</u>
v)	<u>Στερεά και ημιστερεά σκουπίδια</u>
Υποβάθμιση της ποιότητας	
i)	<u>Ανάπτυξη , χρήση και επαναχρησιμοποίηση νερού</u>
	§ Επιστροφές από το νερό άρδευσης
	§ Επιφανειακή στράγγιση
	§ Διήθηση
	§ Επικοινωνία υδροφόρων , λόγω κακής κατασκευής ή εγκατάλειψης γεώτρησης
	§ Εξάντληση υδροφόρων , λόγω υπεράντλησης
	§ Εξάντληση υδροφόρων
	§ Διείσδυσης της θάλασσας
	§ Διαταραχή του ισοζυγίου αλάτων
	§ Άνοδος νεαρού ή συγγενετικού λόγω άντλησης
	§ Μόλυνση από επιφανειακά νερά λόγω κακής γεωτρήσεων
ii)	<u>Φυσικές αιτίες</u>
	§ Εισροές ή διηθήσεις μεταλλικών νερών από πηγές ή υδρορεύματα
iii)	<u>Άλλες αιτίες</u>
	§ Επιταχυνόμενη διάβρωση
	§ Διαπνοή των φυτών και / ή έντονη εξάτμιση

Πίνακας 8.2 Κυριότερες πηγές ρύπανσης των υπόγειων νερών (Todd, 1976)

Πηγή ή αιτία	Γεωμετρία ρύπανσης			Λεκάνη διήθησης	Επιφανειακή κατάκλυση και άρδευση	Ορύγματα και τάφροι Διήθησης	Ξηρά υδατο-ρεύματα	Σκουπίδο-τοποι	Πηγάδια	
	Σημειακή	Γραμμική	Διάχυση						Απόρριψης	Έκχυσης
Αστική Διαρροές υπονόμων	0	0								
Υγρά απόβλητα	0	0	0	0	0	0	0		0	
Στερεά απόβλητα	0				0			0		
Βιομηχανική Υγρά απόβλητα	0		0		0				0	0
Δεξαμενές-αγωγοί (διήθηση)	0	0					0		0	0
Μεταλλευτική δραστηριότητα	0	0	0	0	0		0	0	0	0
Σαλαμούρες πετρελαίου	0	0	0	0	0	0				0
Γεωργική Επιστροφές άρδευσης			0		0	0				
Λύματα ζώων	0		0	0	0	0		0		
Λιπάσματα-βελτιωτικά εδαφών			0		0					
Ζιζανιοκτόνα		0	0		0					
Άλλες πηγές Υπερχειλίσσεις επιφανειακές εκκενώσεις	0									
Υπαίθριες αποθηκεύσεις	0									
Σηττικοί και απορροφητικοί βάθροι	0		0		0	0		0		
«Αποπαγοποίηση» οδοστρωμάτων		0	0							
Διείδυση θαλασσινού νερού	0		0							
Ανταλλαγή νερού με άλλα πηγάδια	0									
Επιφανειακό νερό	0	0								

Πίνακας 8.3 Παραμετροι και συστατικά που πρέπει να ερευνούνται κατά τις αναλύσεις των ρυπανσμενων νερων σε mg/l εκτος αν αναφερεται διαφορετικα (Todd et al ,1976)

Χημικά Οργανικά	Χημικά Ανόργανα
BOD (Βιοχημικά απαιτούμενο Οξυγόνο)	NO ₂
CCE (Άνθρακός εξαρχεί με χλωροφόρμιο)	NO ₃
COD (Χημικά απαιτούμενο Οξυγόνο)	Άζωτο
	Υδατάνθρακες
	Οξυγόνο
	pH σε μονάδες pH
Απορρυπαντικά σε mg/l	PO ₄
Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)	K
Οργανοφωσφορικά ζ: ζανιοκτόνα σε mg/l	Se σε mg/l
Φαινόλες	Ag σε mg/l
Ταινίες και λιγνίτες	SiO ₂
Χημικά Ανόργανα	Na
Οξύτητα σε mg/l CaCO ₃	TDS
Αλκαλικότητα σε mg/l	Αιωρούμενα στερεά
Al σε mg/l	Sr σε mg/l
NH ₄	SO ₄
Sb σε mg/l	S
As σε mg/l	SO ₃
Ba σε mg/l	Sn σε mg/l
Be σε mg/l	Tl σε mg/l
HCO ₃	
B σε mg/l	Βιολογικά
Br σε mg/l	Κολοβακτηρίδια άτομα 100/ ml
Cd σε mg/l	Κολοβακτηρίδια κοπράνων 100 / ml
Ca	Στρεπτόκοκκοι κοπράνων 100/ml
CO ₃	
Cl	Φυσικά χαρακτηριστικά
Cr σε mg/l	Χρώμα PCa
Co σε mg/l	Οσμή TO
Ειδική αγωγιμότητα σε μS/ cm σε 25 ⁰ C	Θερμοκρασία σε ⁰ C
Cu σε mg/l	Θολότητα Tu
CN σε mg/l	
Σκληρότητα σε mg/l CaCO ₃	Ραδιολογικά
OH	¹⁴⁰ Ba pCi/l
J σε mg/l	¹⁴¹ Se και ¹⁴⁴ Se -
Fe σε mg/l	¹³⁴ Cs και ¹³⁷ Cs -
Li σε mg/l	Ολική γ -
Mg σε mg/l	Φασματοσκοπία γ -
Mn σε mg/l	Ολική α -
Hg σε mg/l	¹³¹ I -
Mo σε mg/l	²³⁹ Np -
Ni σε mg/l	Ra -
	Th μg/l
	³ H pCi/l
	O μg/l

Οι πιθανοί ρύποι του υπόγειου νερού είναι στην πραγματικότητα απεριόριστοι. Στον πίνακα 8.3 περιγράφεται μία ποικιλία ρύπων που μπορούν να

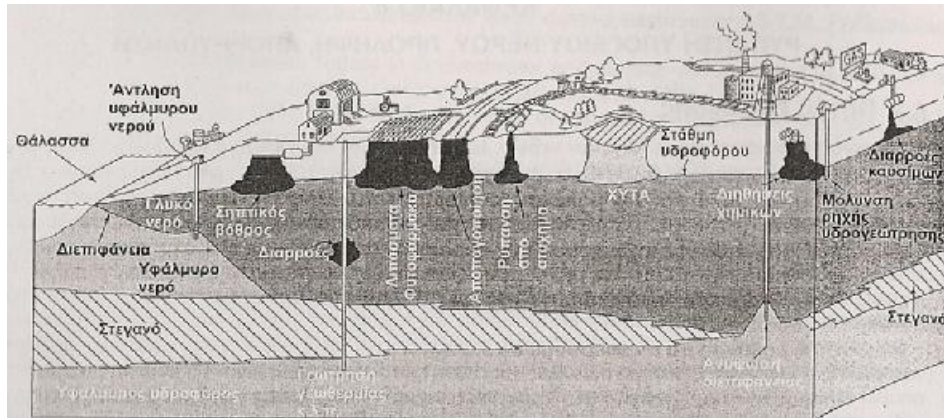
βρεθούν στο υπόγειο νερό .Ο πίνακας αυτός είναι ενδεικτικός και όχι περιοριστικός.

Οι πηγές και οι αιτίες της ρύπανσης των υπόγειων νερών συνδέονται στενά με τη χρήση του νερού από τον άνθρωπο. Ο πίνακας 8.2 δίνει τις κυριότερες απ' αυτές. Το μεγαλύτερο μέρος της ρύπανσης προέρχεται από την απόρριψη των απόβλητων πάνω ή μέσα στο έδαφος .Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι απόρριψης των απόβλητων, είναι η τοποθέτηση τους :

- σε λεκάνες διήθησης ,
- στην επιφάνεια του εδάφους ,
- σε ορύγματα και τάφρους διήθησης ,
- σε ξερά υδατορεύματα ,
- σε σκουπιδότοπους ,
- σε αβαθείς γεωτρήσεις απόρριψης ,
- σε βαθιές γεωτρήσεις έκχυσης .

Αναφορικά με τη γεωμετρία της εστίας και της ρύπανσης αυτές διακρίνονται σε :

- σημειακές , όταν προέρχονται από μία μοναδική θέση,
- γραμμικές όταν οι πηγές ή αιτίες της ρύπανσης παρουσιάζουν μία επικρατούσα γραμμική διάταξη ,
- διάχυτες , όταν η πηγή ρύπανσης κατέχει μία εκτεταμένη περιοχή τελείως καθορισμένη ή όχι.



Σχήμα 8.1 Μηχανισμοί ρύπανσης των υπόγειων νερών (Fetter, 1993, με τροποποιήσεις).

Στο Σχήμα 8.1 δίνονται παραστατικά, μηχανισμοί μετανάστευσης των ρύπων, ανάλογα με τη φύση τους και τη φύση του υδροφόρου μέσου.

Οι μη σημειακές πηγές παραγωγής ρυπαντών μπορούν να διακριθούν στις εξής τέσσερις κατηγορίες:

- i) Φυσικές πηγές, οι οποίες δημιουργούνται από τους κύκλους μεταβολισμού ή με φυσικό τρόπο.
- ii) Ενώσεις που προέρχονται από χημικές αντιδράσεις, «καθαρών» συστατικών, στον αέρα ή στο νερό.
- iii) Στραγγίσματα από σωρούς ή αποθηκεύσεις στερεών αποβλήτων ή από σκουπιδότοπους.
- iv) Ανθρωπογενείς πηγές, όπως η χρήση παρασιτοκτόνων που στη συνέχεια εισάγονται στην επιφανειακή απορροή.

8.1.1 Ραδιενεργοί ρύποι

Παράγονται από την πυρηνική κυρίως βιομηχανία, τη μεταλλεία και επεξεργασία ραδιενεργών μεταλλευμάτων, τους σταθμούς πυρηνικής ενέργειας, τον εμπλουτισμό του ουρανίου και την απόρριψη των ραδιενεργών αποβλήτων.

8.1.2 Ιχνοστοιχεία

Πρόκειται για μεταλλικά στοιχεία που προέρχονται από απόβλητα μεταλλευτικών δραστηριοτήτων, από απορροές, στερεά ή υγρά απόβλητα που προέρχονται από αστικές περιοχές, από αγροτικά απόβλητα και λιπάσματα και τέλος από τα υγρά καύσιμα. Τα ιχνοστοιχεία μπορεί να είναι τοξικά ακόμα δε και θανατηφόρα για τον άνθρωπο. Μεταξύ των άλλων έχουν εντοπιστεί στο υπόγειο νερό τα ακόλουθα ιχνοστοιχεία:

Al, Sb, Ac, Ba, Be, b, Cd, Cr, Co, Cu, Au, Fe, Pb, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Se, Ag, Sr, Ta, Sn, Ti, U, Va και Zn. Το As και οι ενώσεις του προέρχονται από τα χρώματα, τα παρασιτοκτόνα και εν γένει τα φυτοφάρμακα, τα μεταλλικά κράματα κ.ά.

8.1.3 Θρεπτικά

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται ιόντα ή οργανικές ενώσεις που περιέχουν N ή P. Πρόκειται κυρίως για τα NO_3^- και NH_4^+ . Κυριότερες πηγές νιτρορρύπανσης ή ρύπανσης από ενώσεις του φωσφόρου είναι η γεωργική χρήση λιπασμάτων, η κτηνοτροφία και η καλλιέργεια παρθένων εδαφών όπου αφθονεί η οργανική ύλη με αποτέλεσμα να οξειδώνονται μεγάλες ποσότητες αζώτου. Άλλες πηγές θρεπτικών είναι οι διαρροές από υπονόμους, βόθρους και την αποχέτευση εν γένει αποβλήτων.

Ως επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από τις ενώσεις του αζώτου πιθανολογούνται η μεθαιμοσφαιρινεμία, ο καρκίνος από τις νιτροσαμίνες που δημιουργούνται κ.ά. Οι ενώσεις του φωσφόρου επειδή είναι λιγότερο διαλυτές στο νερό μειώνουν την κινητικότητα του P επειδή αυτός έχει την τάση να προσροφάται και απορροφάται από τη στερεά φάση του εδάφους ενώ απουσιάζουν αποδείξεις για τα προβλήματα υγείας που μπορούν να προκληθούν.

8.1.4 Άλλα ανόργανα είδη

Άλλα ανόργανα είδη: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται μεταλλικά ιόντα σε συγκεντρώσεις σημαντικά υψηλές (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) αλλά και αμέταλλα ιόντα όπου περιέχουν C ή S όπως π.χ. HCO_3^- , HS^-) ή ακόμη και ιόντα Cl^- και F^- . Πολλά από αυτά τα ιόντα συμβάλλουν στην αλατότητα του υπόγειου νερού. Οι κύριες πηγές της αλατότητας αυτής, είναι οι διαρροές του στραγγίσματος από τις χωματερές, τις αποχετεύσεις, τις μεταλλευτικές και μεταλλουργικές δραστηριότητες κ.λ.π. Πολύ τοξικό είναι το φθόριο που σε συγκεντρώσεις πάνω από 1,5 mg/l καταστρέφει τις οδοντοστοιχίες, το Na το οποίο προκαλεί υπέρταση αλλά σε ακόμη υψηλότερες συγκεντρώσεις αλλάζει το χημισμό του αίματος ή του κυττάρου.

8.1.5 Οργανικοί ρυπαντές

Ο κατάλογος των οργανικών ρυπαντών είναι αρκετά μακρύς και περιλαμβάνει:

- υδρογονάνθρακες και παράγωγα:

Η συμπεριφορά τους είναι συνάρτηση της σύνθεσης τους, του μοριακού τους βάρους αλλά και της διαλυτότητας τους. Η διαλυτότητα των υδρογονανθράκων ποικίλλει ανάλογα με την πυκνότητα τους.

- Αλογονομένες αλιφατικές ενώσεις:

Πρόκειται για ενώσεις του C και H στις οποίες κάποια άτομα υδρογόνου αντικαθίστανται από άτομα Cl, F ή Br (χλωροεθάνια, βρωμοεθάνια κ.λπ.) που χρησιμοποιούνται ως διαλύτες.

- Αλογονομένες χρωματικές ενώσεις:

Πρόκειται για ενώσεις που προέρχονται από το βενζόλιο στο οποίο άτομα του H αντικαθίστανται από άτομα Cl, (π.χ. διχλωροβενζόλιο). Χρησιμοποιούνται για διάφορους γεωργικούς και βιομηχανικούς σκοπούς. Οι ενώσεις αυτές είναι μεγάλου ειδικού βάρους και ανήκουν στην κατηγορία των DNAPL.

- Πολυχλωριωμένα διφαινυλια:

Ενώσεις που παλιότερα χρησιμοποιούντουσαν στη βιομηχανία ηλεκτρικών συσκευών, πυκνωτών και αντιστάσεων. Πρόκειται για εξαιρετικά ανθεκτικούς και τοξικούς ρυπαντές.

8.1.6 Βιολογικοί ρυπαντές

Πρόκειται για τους παθογόνους μικροοργανισμούς (βακτήρια, ιοί, παράσιτα). Πηγές βιολογικής ρύπανσης είναι η διάθεση στη χέρσο ανεπεξέργαστων λυμάτων, το στράγγισμα από τους σκουπιδότοπους και η ανεξέλεγκτη διάθεση κοπριάς.

8.2 ΑΝΤΙΡΥΠΙΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

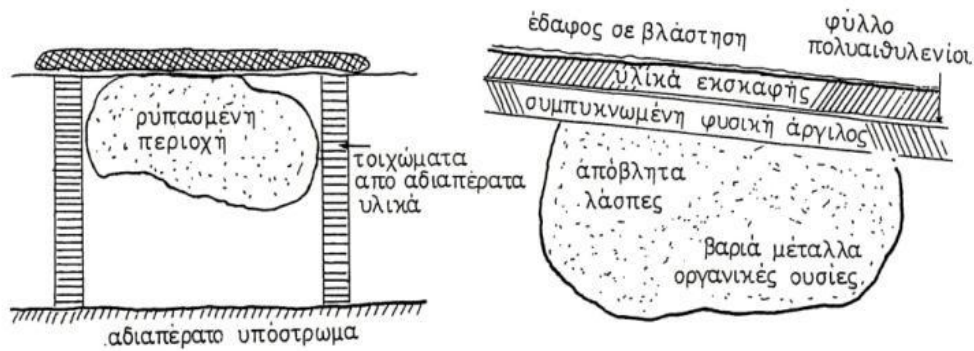
8.2.1 Εγκιβωτισμός

Σκοπός του εγκιβωτισμού (containment) είναι να κρατηθούν οι ρύποι στο έδαφος και να αποφευχθεί η παρά πέρα εξάπλωση τους. Γι' αυτό το σκοπό, χρησιμοποιούνται φυσικά και υδροδυναμικά φράγματα.

Μια από τις τεχνικές εγκιβωτισμού είναι η δημιουργία γύρω από τη ρυπασμένη περιοχή τοιχωμάτων από υλικό μικρής διαπερατότητας (τοιχώματα λάσπης, τοιχώματα από πηλό), με αποτέλεσμα είτε να απομονωθούν οι ρύποι από τη γύρω περιοχή είτε να προκληθεί διακοπή της ροής δια μέσου της ρυπασμένης περιοχής.

Άλλος τρόπος είναι με τη δημιουργία φράγματος με σιδερένιους πασσάλους. Υπάρχει ο κίνδυνος όμως της διαρροής από τις επαφές μεταξύ των πασσάλων.

Οι γεωμεβράνες είναι συνθετικά φύλλα που τοποθετούνται σε ανοιγμένες τάφρους και χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό προστασίας από την εξάπλωση των ρύπων.



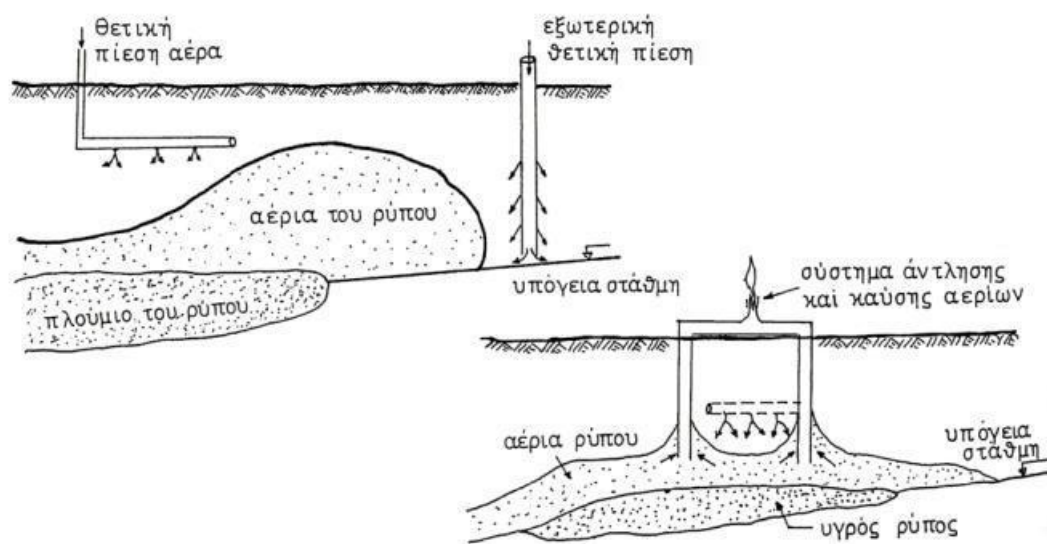
Σχήμα 8.2 Διαγραμματική αναπαράσταση

- α) πλευρικού εγκιβωτισμού ρυπασμένης περιοχής στο έδαφος και
- β) κάλυψη της επιφάνειας με αδιαπέρατα υλικά (Αντωνόπουλος, 2001)

Ο εγκιβωτισμός, εκτός από τις περιπτώσεις που γίνεται μέσα στο έδαφος, μπορεί να γίνει και από την επιφάνεια, καλύπτοντας την έτσι ώστε να αποφεύγεται η διήθηση της βροχής. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα αργιλώδη, πηλοαργιλώδη, μίγματα φυσικών εδαφών και σταθεροποιητών από τσιμέντο και ιπτάμενης τέφρας. Επίσης χρησιμοποιούνται μεμβράνες συνθετικές από πολυαιθυλένιο και πολυβινιλοχλωρίδιο (PVC). Για την απομάκρυνση των βρόχινων νερών κατασκευάζονται επιφανειακοί τάφροι συλλογής και απομάκρυνσης νερού.

Ο υδροδυναμικός έλεγχος της ρύπανσης των υπόγειων νερών έχει σαν σκοπό τη μείωση της υπόγειας στάθμης ώστε να αποφευχθεί η εκφόρτιση του σε ποτάμια και λίμνες, τη μείωση του ρυθμού ρύπανσης με την αραίωση των αποβλήτων και με τον εγκιβωτισμό του πλουμίου σε ένα χαμηλό δυναμικό δημιουργώντας τον κατάλληλο συνδυασμό φρεατίων άντλησης και φόρτισης. Η τεχνική αυτή απαιτεί τη σωστή εγκατάσταση και διαχείριση ώστε να αποφευχθούν προβλήματα από την υπεράντληση από ορισμένα φρεάτια ή τη φόρτιση από άλλα.

Ο έλεγχος των πτητικών μορφών των ρύπων μπορεί να επιτευχθεί με τα συστήματα θετικής και αρνητικής πίεσης. Κατά την έκχυση των υδρογονανθράκων στο έδαφος, το πιο άμεσο πρόβλημα είναι η ταχύτατη εξάπλωση των ατμών. Ακόμα και όταν το υγρό έχει απομακρυνθεί οι ατμοί συνεχίζουν να παραμένουν και να παρατείνουν το πρόβλημα. Η ρύθμιση του προβλήματος των ατμών μπορεί να γίνει με την εισαγωγή αέρα υπό πίεση στο έδαφος και την απομάκρυνση του.



Σχήμα 8.3 Διάταξη

- α) εγκιβωτισμού των ατμών με την εφαρμογή υπό πίεση αέρα στο έδαφος και
 - β) της απομάκρυνσης τους με τον συνδυασμό πίεσης και άντλησης
- (Αντωνόπουλος, 2001)

8.2.2 Απομάκρυνση του ρύπου

Η απομάκρυνση του ρύπου (contaminant withdrawal) από το έδαφος είναι η πιο ολοκληρωμένη μέθοδος αποκατάστασης της ποιότητας μιας περιοχής. Μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους.

Με άντληση από φρεάτια απομακρύνονται οι ρύποι από το έδαφος. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με επιτυχία κάτω από πολλές και διαφορετικές συνθήκες. Το πρόβλημα που υπάρχει πάντα είναι το τι θα γίνει το ρυπασμένο νερό που

απομακρύνεται από τον υδροφορέα. Απαιτείται κατάλληλη επεξεργασία πριν χρησιμοποιηθεί για επαναπλήρωση ή να διατεθεί σε επιφανειακούς αποδέκτες.

Η χρησιμοποίηση στραγγιστικών αγωγών και τάφρων,σε μικρό βάθος και σε βάθος 1-2 μέτρων από την υπόγεια στάθμη, για τη συλλογή ρύπων στο επίπεδο της υπόγειας στάθμης είναι μια ακόμη μέθοδος απομάκρυνσης των ρύπων.Έτσι απομακρύνονται οι ρύποι που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι πτητικές οργανικές ουσίες απομακρύνονται από την ακόρεστη ζώνη με αερισμό.Τα αέρια του εδάφους μπορούν να απομακρυνθούν με την εφαρμογή ρεύματος αέρα με πίεση σ' ένα φρεάτιο. Απαιτούνται όμως μεγάλοι όγκοι αέρα που θα διέλθουν δια μέσου του ρυπασμένου όγκου του εδάφους. Με την δημιουργία ρευμάτων αέρα προκαλείται επίσης αεριοποίηση και βιοαποικοδόμηση των ρύπων. Τα εξερχόμενα αέρια πρέπει να υποστούν κάποια επεξεργασία πριν ελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα.

Η εκσκαφή και απομάκρυνση του εδάφους με το ρύπο είναι η πιο δραστική μέθοδος. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι το κόστος εκσκαφής και η εξεύρεση κατάλληλης θέσης για την απόθεση του ρυπασμένου εδάφους.

8.2.3 Επεξεργασία του ρύπου

Μερικές από τις τεχνικές επεξεργασίας ρύπων μπορούν να εφαρμοστούν in situ για την απομάκρυνση και μείωση του ρύπου. Τέτοιες τεχνικές είναι η αποικοδόμηση των οργανικών ουσιών, η οξείδωση και η ακινητοποίηση των ρύπων.

Η βιολογική και χημική αποικοδόμηση των ρύπων είναι από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους. Η βιολογική αποικοδόμηση περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση των οργανικών ουσιών ως πηγή ενέργειας των βακτηρίων και την παραγωγή απλών προϊόντων, όπως νερού και CO₂ από τα σύνθετα οργανικά μόρια. Η πιο κοινή τεχνική είναι η υποβοήθηση της ανάπτυξης των γηγενών βακτηρίων με την προσθήκη θρεπτικών στοιχείων,όπως αζώτου και φωσφόρου και οξυγόνου.Για την επιτυχία της βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών

ουσιών πρέπει οι γεωλογικές συνθήκες να δημιουργούν συνθήκες σχετικά μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας, για να διευκολύνεται η μεταφορά οξυγόνου και θρεπτικών στοιχείων και να υπάρχει σημαντικός αριθμός βακτηρίων από τα είδη που αποικοδομούν τον ρύπο. Τα πλεονεκτήματα της βιολογικής αποικοδόμησης είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία υδρογονανθράκων και οργανικών ουσιών ευδιάλυτων στο νερό, είναι περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος καθώς δεν παράγονται άλλου είδους παράγωγα απόβλητα και προκαλεί πλήρη αποικοδόμηση του ρύπου, αξιοποιεί γηγενείς μικροοργανισμούς χωρίς να εισάγονται επικίνδυνοι οργανισμοί. Η επεξεργασία της ποιότητας γίνεται με τη μετακίνηση με το υπόγειο νερό και γενικά είναι επιτυχής για μικρής κλίμακας ρύπανση. Τα μειονεκτήματα της είναι ότι αναστέλλεται από βαριά μέταλλα και τοξικές ουσίες, τα βακτήρια μπορεί να προσκολληθούν στο έδαφος και να μειωθεί η ανακύκλωση, η εισροή θρεπτικών στοιχείων μπορεί να προκαλέσει τα γνωστά προβλήματα εμπλουτισμού των επιφανειακών νερών, τα υπολείματα μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα γεύσης και οσμής και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε υδροφορείς με μικρή διαπερατότητα που δεν επιτρέπουν ικανοποιητική ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων.

Με τη χημική αποικοδόμηση επεξεργάζονται οι ρύποι *in situ* προσθέτοντας κατάλληλα χημικά μέσα δια μέσου ενός δικτύου φρεατίων. Το μεγάλο πρόβλημα είναι η αβεβαιότητα επιτυχίας σε σχέση με άλλες μεθόδους αποκατάστασης, γιατί αν η διαδικασία της χημικής εξυγίανσης αποτύχει θα πρέπει να καθαριστούν εκτός από τον αρχικό ρύπο και τα χημικά πρόσθετα της αποικοδόμησης.

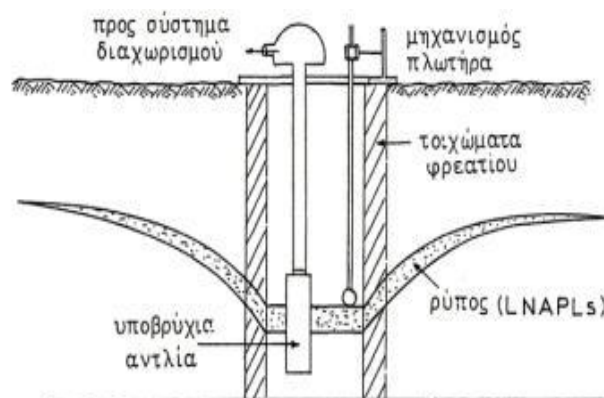
8.2.4 Συστήματα άντλησης των ρύπων από τον υδροφορέα

Από τα τρία κυριότερα προβλήματα ρύπανσης, που είναι, η ρύπανση με διαλυτές στο νερό ουσίες, με ελαφρότερα μη αναμιγνυόμενα με το νερό υγρά (LNAPLs) και με βαρύτερα μη αναμιγνυόμενα με το νερό υγρά (DNAPLs), αυτά που αντιμετωπίζονται ευκολότερα με την άντληση από τους υδροφορείς είναι τα

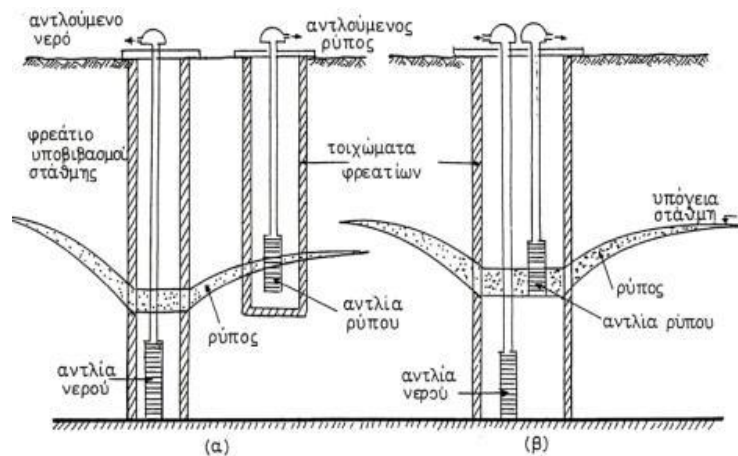
πρώτα. Η απομάκρυνση των LNAPLs παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Το σύστημα άντλησης πρέπει να δημιουργεί ένα κώνο υποπίεσης στην υπόγεια στάθμη ώστε να προκαλείται ροή προς το φρεάτιο και να δημιουργεί τις συνθήκες κίνησης των ρύπων προς το φρεάτιο. Η λειτουργία των συστημάτων άντλησης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή γι' αυτό πρέπει να γίνεται συνεχής καταγραφή του βάθους της υπόγειας στάθμης και να ελέγχεται το βάθος της αντλίας του ρύπου με ένα πλωτήρα.

Η πιο απλή κατασκευή άντλησης LNAPLs αποτελείται από ένα φρεάτιο (Σχήμα 8.4), αλλά μπορεί να αποτελείται και από δύο φρεάτια σε πολυ κοντινή απόσταση (Σχήμα 8..5).

Στη πρώτη περίπτωση, η αντλία τοποθετείται στο φρεάτιο ώστε να αντλείται το νερό και ο ρύπος. Η άντληση δημιουργεί υποβιβασμό της υπόγειας στάθμης και απομακρύνεται ο ρύπος που επιπλέει. Υπάρχει ανάμιξη όμως του ρύπου με το νερό, οπότε πρέπει να υπάρχει στην επιφάνεια ειδική κατασκευή διαχωρισμού τους. Στην δεύτερη περίπτωση, με την αντλία που βρίσκεται βαθύτερα από την υπόγεια στάθμη, όπου επιπλέει ο οργανικός ρύπος, επιτυγχάνεται υποβιβασμός της υπόγειας στάθμης και δημιουργία του κώνου για τη κίνηση του υγρού ρύπου προς το φρεάτιο. Στο άλλο φρεάτιο με την άλλη αντλία που βρίσκεται στη περιοχή της υπόγειας στάθμης αντλείται ο υγρός ρύπος.



Σχήμα 8.4 Διάταξη άντλησης ρύπων στο επίπεδο της υπόγειας στάθμης με ένα φρεάτιο άντλησης (Αντωνόπουλος, 2001)



Σχήμα 8.5 Διάταξη άντλησης α) με δύο φρεάτια και δύο αντλίες του επιπλέοντος ρύπου στην υπόγεια στάθμη και β) με ένα φρεάτιο και δύο αντλίες (Αντωνόπουλος, 2001)

8.2.5 Εξυγίανση με βιολογικές μεθόδους

Η εξυγίανση και αποκατάσταση των υπόγειων νερών από τη ρύπανση τους με βιολογικές μεθόδους (bioremediation), αποτελεί μια βιώσιμη μέθοδο για την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων. Κατά την εξυγίανση με βιολογικές μεθόδους, χρησιμοποιούνται μικροβιολογικές διαδικασίες καθαρισμού του ρυπασμένου εδάφους και των υπόγειων νερών. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι: α) ο μόνιμος περιορισμός των ρύπων με βιοχημικούς μετασχηματισμούς και ανοργανοποίηση,

β) αποφεύγεται η επεξεργασία με χημικά και φυσικά μέσα,

γ) γίνεται αποκατάσταση *in situ* και

δ) το κόστος δεν είναι απαγορευτικό.

Η βιοαποκατάσταση περιλαμβάνει σύνθετες αλληλεπιδράσεις των βιολογικών, χημικών και φυσικών διεργασιών. Η μελέτη των συστημάτων βιοαποκατάστασης διευκολύνεται με τη διακεκριμενοποίηση των παρατηρήσεων και των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα σε τρεις κλίμακες μεγέθους (Πίνακας 8.4).

Πίνακας 8.4 Φαινόμενα που επηρεάζουν τη βιοαποκατάσταση στις τρεις κλίμακες μεγέθους των συστημάτων (Sturman et al.,1995)

Μικροκλίμακα	
Μικροοργανισμοί	Τοξικότητα
Διαδικασίες αποικοδόμησης	Οξύτητα ,pH
Στοιχειομετρία αντιδράσεων	Αντιδράσεις με στερεά εδάφους
Κινητικές αντιδράσεων	Χημική ισοροπία
Δέκτες ηλεκτρονίων	Προσρόφηση
Μεσοκλίμακα	
Προσρόφηση (ασταθής)	
Προσκόλληση- αποκόλληση μικροοργανισμών	
Διάχυση	
Μεταφορά στις διεπιφάνειες	
Μακροκλίμακα	
Μετακίνηση	
Διασπορά	
Υδραυλικές ιδιότητες και οριακές συνθήκες Χωρική ετερογένεια	

Μετά τον προσδιορισμό των φαινομένων που κυριαρχούν σ' ένα πρόβλημα, αναζητούνται οι υπάρχουσες μέθοδοι για το χαρακτηρισμό και την ποσοτικοποίηση των φαινομένων και γίνεται η εκτίμηση της δυνατότητας αντιμετώπισης του φαινομένου με βιομετασχηματισμούς. Η βιοαποικοδόμηση και η επιτυχία της εξαρτάται από τον αριθμό των βακτηρίων και από τις συνθήκες που αναστέλλουν την ανάπτυξη τους.

Η χωρική ετερογένεια στη περιοχή της ρύπανσης μπορεί να προκαλέσει σημαντική επίδραση στη μετακίνηση των ρύπων και την ταχύτητα αποικοδόμησης. Παράμετροι που παρουσιάζουν χωρική μεταβλητότητα είναι το πορώδες, η αγωγιμότητα, η πυκνότητα μικροοργανισμών και οι χημικές ιδιότητες όπως τα θρεπτικά στοιχεία και οι δέκτες ηλεκτρονίων.

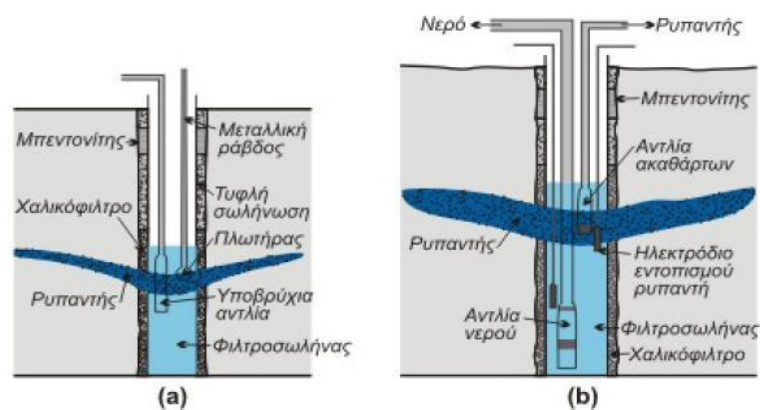
8.2.6 Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat)

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση διαλυμένων ρυπαντών που αναμειγνύονται με το υπόγειο νερό, γίνεται άντληση του υπόγειου νερού με σύστημα γεωτρήσεων και στη συνέχεια οδηγείται σε μονάδα επεξεργασίας. Μετά την επεξεργασία είναι δυνατή η επανεισαγωγή του επεξεργασμένου νερού στον υδροφόρο, ή η διάθεση στο έδαφος, ή τέλος η διοχέτευσή του σε γειτονικό υδρόρευμα.

Η βέλτιστη απόσταση των γεωτρήσεων απορρύπανσης είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής του υπόγειου νερού, του πάχους του υδροφόρου, της μεταβιβαστικότητας, του συνολικού αριθμού γεωτρήσεων και της παροχής άντλησης καθεμιάς εξ' αυτών.

Ο συνδυασμός γεωτρήσεων άντλησης-έκχυσης (εμπλουτισμού) δίνει καλύτερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα όταν διατάσσονται κατάλληλα. Η πλέον αποτελεσματική διάταξη είναι αυτή στην οποία υπάρχουν δύο γεωτρήσεις άντλησης και μία γεώτρηση έκχυσης στο μέσο των δύο πρώτων, όλες σε ευθεία γραμμή (κεντροαξονική διάταξη).

Η επεξεργασία του αντλούμενου ρυπανμένου νερού μπορεί να γίνει με προσρόφηση από ενεργό άνθρακα.



Σχήμα 8.6 Συστήματα “άντλησης-επεξεργασίας” για την ανάκτηση NAPL:

(a) Απλή γεώτρηση, μία αντλία,

(b) απλή γεώτρηση, ζεύγος αντλιών (Domenico- Schwartz, 1998)

8.2.7 Απορρύπανση με άντληση επιπλέοντων ρύπων

Μια από τις πλέον συνήθεις ρυπάνσεις είναι η ρύπανση του εδάφους με ελαφρά πετρελαιοειδή λόγω τυχαίων διαφυγών από δεξαμενές αποθήκευσης σε διυλιστήρια, βιομηχανίες αλλά και κατοικίες. Τα πετρελαιοειδή που διαφεύγουν στο έδαφος συνήθως κατακρατούνται στους πόρους του εδάφους εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης (λόγω τριχοειδών δυνάμεων). Εάν τα πετρελαιοειδή είναι σε μεγάλες ποσότητες υπερβαίνουν τη δυνατότητα συγκράτησης των εδαφικών πόρων, φθάνουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του δημιουργώντας μια κηλίδα (plume). Με την πάροδο του χρόνου, η κηλίδα διαχέεται στην οριζόντια διεύθυνση και μπορεί να καταλάβει μεγάλη έκταση φθάνοντας σε μεγάλη απόσταση από το σημείο της διαρροής. Εάν η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις, η επιπλέοντα κηλίδα παρακολουθεί τη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα και ρυπαίνει τη μερικώς κορεσμένη ζώνη του εδάφους καθ' ύψος σε μεγάλη απόσταση από την πηγή της ρύπανσης. Η διαπίστωση της έκτασης της ρύπανσης από επιπλέοντα πετρελαιοειδή μπορεί να γίνει με ερευνητικές γεωτρήσεις που φθάνουν μέχρι τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της γεώτρησης λαμβάνονται εδαφικά δείγματα από τη μερικώς κορεσμένη ζώνη στα οποία προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε πετρελαιοειδή με χημικές μεθόδους (π.χ. με πύρωση)

Η απορρύπανση των υπόγειων υδροφορέων από επιπλέοντες ρύπους (συνήθως ελαφρά πετρελαιοειδή) γίνεται με το σύστημα της διπλής άντλησης του επιπλέοντος πετρελαιοειδούς (dual pump free product recovery). Η μέθοδος συνίσταται στην άντληση νερού από τον υδροφορέα μέσω γεώτρησης, ώστε να δημιουργηθεί ένας κώνος ταπείνωσης της στάθμης του υδροφορέα. Ο επιπλέον ρύπος παρακολουθεί την επιφάνεια του κώνου ταπείνωσης και λόγω της υδραυλικής κλίσης που δημιουργείται, κινείται προς τη γεώτρηση, απ' όπου αντλείται με μια δεύτερη αντλία (skimmer pump). Λόγω της παρουσίας δυο αντλιών, η απόδοση της μεθόδου εξαρτάται από τη ρύθμιση των παροχών τους

(και ιδίως από την παροχή της αντλίας νερού), δηλαδή από την επιτυγχανόμενη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα. Αυξάνοντας την ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, τα επιπλέοντα πετρελαιοειδή ρυπαίνουν τον υδροφορέα καθ' ύψος σε όλη την έκταση του κώνου ταπείνωσης και αυξάνεται η ποσότητα του ρύπου που συγκρατείται στους πόρους του υδροφορέα, χωρίς να μπορεί να ανακτηθεί με τη μέθοδο της άντλησης και να απαιτεί τη χρήση άλλων μεθόδων (όπως η εφαρμογή υποπίεσης, η θέρμανση κλπ).

Για το λόγο αυτό, η ρύθμιση της ταπείνωσης της στάθμης θα πρέπει να γίνεται με προσοχή. Επιπλέον για μια συγκεκριμένη ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, η αντλούμενη παροχή του επιπλέοντος ρύπου απαιτεί προσεκτική ρύθμιση. Αν η αντλούμενη παροχή του ρύπου είναι πολύ μικρή, τότε η απόδοση της μεθόδου μειώνεται. Αντίθετα, αν η αντλούμενη παροχή του ρύπου είναι πολύ μεγάλη, τότε η ανώτερη αντλία θα αρχίσει να παράγει μίγμα πετρελαίου με νερό, τα οποία θα πρέπει να διαχωρισθούν αυξάνοντας το κόστος λειτουργίας της μεθόδου.

8.2.8 Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction)

Η εφαρμογή της υποπίεσης δεν μπορεί να γίνει κάτω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα αλλά μόνον εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης με συνέπεια να επηρεάζεται μόνο η επιφάνεια του υδροφορέα. Έτσι, η μέθοδος είναι αποδοτική για την απορρύπανση από επιπλέοντες πτητικούς ρύπους (όπως είναι τα ελαφρά κλάσματα της απόσταξης των πετρελαιοειδών: βενζίνη κλπ). Η εφαρμογή της στις ΗΠΑ κατά την τελευταία δεκαετία δείχνει ότι συχνά η μέθοδος αυτή πλεονεκτεί σε σχέση με τη μέθοδο της διπλής άντλησης των επιπλεόντων ρύπων ως προς το κόστος, τον απαιτούμενο χρόνο και ότι ταυτοχρόνως γίνεται ανάκτηση τόσο των επιπλεόντων υδρογονανθράκων όσο και των υδρογονανθράκων που συγκρατούνται στους πόρους του εδάφους (εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης). Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου εφαρμογής υποπίεσης είναι η ανάγκη απομόνωσης της μερικώς κορεσμένης

ζώνης του εδάφους από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε να είναι αποδοτική η εφαρμογή της υποπίεσης. Αυτό συνήθως γίνεται με προσωρινή κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με συνθετική μεμβράνη, αν και συχνά οι χώροι είναι ήδη καλυμμένοι επιφανειακά με ασφαλτοτάπητα ή κτίρια, οπότε η απαίτηση αυτή δεν ισχύει.

8.3 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης χρησιμοποιούνται:

- Μέθοδοι εγκιβωτισμού (διαφράγματα)

Τα διαφράγματα κατασκευάζονται από υλικά στεγανοποίησης (μπετονίτη, τσιμέντο), από σιδερένιους πασσάλους ή από γεωμεμβράνες. Τα διαφράγματα μπορεί να τοποθετηθούν υπόγεια ή και επιφανειακά για να εμποδίσουν τη διήθηση της βροχής. Αρχικά είναι απαραίτητη η οριοθέτηση της ρυπασμένης περιοχής και αυτό γίνεται με γεωτρήσεις δειγματοληψίας σε διαφορετικά βάθη. Συστήματα κάλυψης της επιφάνειας περιοχών που έχουν ρυπανθεί με σκοπό τον εγκιβωτισμό των ρύπων, ώστε αφενός μεν να μη διασπείρονται στο περιβάλλον με τη μορφή σκόνης, αφετέρου δε να περιορίζεται η κατείδυση των επιφανειακών υδάτων (γεγονός που μπορεί να καταλήξει στη ρύπανση των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής). Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα, με σκοπό τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης μέσω της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού στην οριζόντια διεύθυνση. Οριζόντια διαφράγματα βάσης, με σκοπό τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης μέσω της κίνησης των ρύπων στην κατακόρυφη διεύθυνση.

- Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού

Περιλαμβάνουν ρύθμιση της στάθμης ώστε να αποφευχθεί εκφόρτιση των ρυπασμένων νερών σε υδάτινους αποδέκτες (λίμνες, ποτάμια) ή αραίωση των ρύπων. Οι υδραυλικοί φραγμοί δημιουργούνται με τον συνδυασμό γεωτρήσεων άντλησης και εμπλουτισμού.

- Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification)

Η εφαρμογή της μεθόδου βασίζεται στην ανάμειξη του ρυπασμένου εδάφους με κάποιο υλικό, ώστε το μείγμα (κονίαμα) να στερεοποιηθεί. Με αυτόν τον τρόπο τα ρυπαντικά φορτία εγκλωβίζονται μέσα στην στερεοποιημένη εδαφική μάζα. Επιπλέον η σταθεροποιημένη εδαφική μάζα έχει μικρή υδροπερατότητα και έτσι δεν ευνοείται η κίνηση του υπόγειου νερού και κατά συνέπεια η επέκταση της ρύπανσης. Τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των εδαφών είναι : το τσιμέντο, η άσβεστος (CaO), συνθετικές ουσίες (πολυμερή), ασφαλτικά υλικά.

Στις μεθόδους απορρύπανσης ανήκουν και οι μέθοδοι διάθεσης των λυμάτων στο έδαφος (άρδευση, διήθηση).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα μελέτη σχετικά με την διαχείριση των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων προκύπτουν τα πιο κάτω συμπεράσματα:

- Ο πλανήτης μας αποτελείται κατά τα 2/3 από το υγρό στοιχείο αλλά μονάχα το 2% από αυτό είναι πόσιμο και κατάλληλο για χρήση από τον άνθρωπο για τις καθημερινές του ανάγκες. Αυτό το ποσοστό τείνει να μικρύνει ακόμα περισσότερο με την κακή χρήση που κάνει ο άνθρωπος.
- Το νερό ανακυκλώνεται από την φύση μέσω της εξατμίσεως και της επαναυγροποίησης.
- Κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του το νερό μπορεί να μολυνθεί από αέριους ρύπους ή από την ρύπανση στα εδάφη που προέρχεται κυρίως από την ανεξέλεγκτη διάθεση των στερεών αποβλήτων.
- Τα υγρά απόβλητα ρυπαίνουν κυρίως τα επιφανειακά υδατικά αποθέματα, όμως ένα ποσοστό από αυτά καταλήγει στους υπόγειους υδροφορείς μέσω της κατείσδυσης του στους υπόγειους αποδέκτες.
- Οι περισσότεροι υδροφόροι έχουν μεγάλη έκταση. Το νερό εισέρχεται στην υπόγεια αποθήκη κυρίως με την φυσική κατείσδυση μέσω της βαρύτητας.
- Η χαρτογράφηση των περιοχών τροφοδοσίας, γίνεται με βάση τις μεταβολές της τοπογραφίας, την πιεζομετρία, τις υδροχημικές τάσεις, τα φυσικά ισότοπα του περιβάλλοντος κλπ.
- Τα υδρολογικά, γεωλογικά και υδραυλικά όρια καθορίζουν τη διαδρομή των υδροφόρων. Οι πιο σημαντικοί για την υδροφορία, είναι εκείνοι των προσχώσεων, δηλαδή των αλλουβιακών χαλαρών κλαστικών ιζημάτων και ακολούθως οι καρστικοί υδροφόροι.
- Μεγάλες παροχές αποδίδουν γεωτρήσεις κοντά στις κοίτες των ποταμών και των υδρορευμάτων, από τους οποίους προκαλείται εμπλουτισμός.

- Τα ρήγματα αποτελούν συνήθως φραγμούς, και γι' αυτό οι γεωτρήσεις πρέπει να τοποθετούνται στο υπερυψωμένο τμήμα των ζωνών διάρρηξης.
- Ο τρόπος απόθεσης των υλικών επηρεάζει το πορώδες. Λεπτόκοκκα υλικά έχουν μικρότερο πορώδες ενώ οι άμμοι έχουν μεγαλύτερο πορώδες.
- Όλα τα υπόγεια νερά περιέχουν διαλυμένα άλατα που η ολική συγκέντρωσή τους κυμαίνεται από 25 mg/l ή και λιγότερο ακόμη στις πηγές μέσα σε πυριτικά πετρώματα, μέχρι πάνω από 300.000 mg/l σε υπεράλυρα νερά.
- Κριτήρια ποιότητας του νερού, είναι η περιεκτικότητα του σε χημικά, βιολογικά, φυσικά και ραδιενεργά συστατικά, το pH, η αλατότητα, το Eh.
- Ο χημισμός του υπόγειου νερού οφείλεται κυρίως στην ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων και στις οξειδοαναγωγικές συνθήκες που επικρατούν.
- Τα υδρομαστευτικά έργα έχουν ως αποτέλεσμα την συλλογή υδατικών πόρων και διακρίνονται σε κατακόρυφα, οριζόντια και μικτά.
- Τα κατακόρυφα υδρομαστευτικά έργα τα οποία αναφέρονται και σαν «πηγάδια», διακρίνονται σε :α) Βαθεία, β) Ρηχά,
- Τα οριζόντια υδρομαστευτικά έργα διακρίνονται σε: α) γαλαρίες ή στοές β) Οριζόντιους σωλήνες. ή με συνδυασμό των δύο ειδών διάτρησης.
- Η κατασκευή των υδρογεωτρήσεων γίνεται με διάτρηση με γεωτρύπανα α) κρουστικά και β)περιστροφικά.
- Οι αεροφωτογραφίες αποτελούν μέσο εντοπισμού των μηχανικών ασυνεχειών (ρωγμές, ρήγματα), που συνδέονται με το πορώδες και την υδραυλική αγωγιμότητα και τελικά με την παροχή των πηγαδιών.
- Οι εφαρμογές των μεθόδων τηλεπισκόπησης καθώς επίσης και των μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων.
- Οι γεωτρήσεις πραγματοποιούνται με διατρητικές μεθόδους που είναι οι εξής: 1.Κρουστική διάτρηση με συρματόσκοινο 2.Κρουστική διάτρηση με

ελεύθερη πτώση 3.Υδραυλική κρουστική διάτρηση 4.Διάτρηση τύπου Καλιφόρνιας 5.Περιστροφική διάτρηση με ποδοβαλβίδα 6.Υδραυλική περιστροφική διάτρηση με κανονική 7.Άμεση περιστροφική διάτρηση με αέρα 8.Διάτρηση με αερόσφυρα 9.Αντίστροφη Διάτρηση 10.Περιστροφική διάτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας με διπλά τοιχώματα 11.Ταυτόχρονη διάτρηση και σωλήνωση 12.Κρουστική διάτρηση με εκτόξευση νερού.

- Η επιλογή της καλύτερης κατά περίπτωση μεθόδου διάτρησης προϋποθέτει την καλή γνώση των γεωλογικών συνθηκών της θέσης εκτέλεσης της γεώτρησης αλλά και των δυνατοτήτων και περιορισμών του γεωτρυπάνου.

- Η ολοκλήρωση των υδρογεωτρήσεων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη το είδος της σωλήνωσης, το μέγεθος της ανοιχτή επιφάνειας των σχισμών των φιλτροσωλήνων, την καλύτερη δυνατή ταχύτητα εισόδου του νερού στους φιλτροσωλήνες, τη σωστή επιλογή του ανοίγματος των σχισμών, τη αποδοτικότερη επιλογή της διαμέτρου φιλτροσωλήνα, το μήκος και τη θέση που θα τοποθετηθεί ο φιλτροσωλήνας, το υλικό κατασκευής του φιλτροσωλήνα, και τέλος την επιλογή του φιλτροσωλήνα, διότι όλα αυτά συντελούν στην αποδοτικότερη μέθοδο της γεώτρησης που θα μας αποφέρει την μεγαλύτερη απόδοση με την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

- Η επιλογή του είδους της αντλίας γίνεται σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των υδρογεωτρήσεων από μία σειρά επιλογών όπως η παλινδρομική εμβολοφόρα, η στροβιλοφόρα κατακόρυφου άξονα με πολλές βαθμίδες, η περιστροφική τύπου έλικα.

- Τα υπόγεια νερά, στην Ελλάδα, είναι μια από τις σημαντικότερες πηγές προέλευσης νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση και έχουν περιορισμένη ικανότητα αυτοκαθαρισμού.

- Τα επιζήμια αποτελέσματα της ρύπανσης των υπόγειων νερών είναι μολύνσεις, χημική επιβάρυνση, υψηλή αλατότητα και πρόκληση ασθενειών που μεταφέρονται στον άνθρωπο από το μικροβιακό φορτίο του μολυσμένου νερού.

- Οι κατάλληλες τεχνολογίες απορρύπανσης διαλέγονται κυρίως με βάση τα χαρακτηριστικά των ρύπων. Τεχνολογίες απορρύπανσης των υπόγειων νερών είναι ο εγκιβωτισμός, συστήματα άντλησης των ρύπων από τον υδροφορέα, εξυγίανση με βιολογικές μεθόδους, άλλοι μέθοδοι άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat), η απορρύπανση με άντληση επιπλεόντων ρύπων, η απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ahrens ,T.P.,Basic considerations of weel design, Water Well Jour .,v.24,no 4,pp45-50 ; pp.47-51 ; no. 8 , pp.35-37, 1970
2. Ambroggi, R.P. , Underground reservoirs to control the water cycle, Sci. Amer., v236, n0.5, p.p 21-27, 1977
3. Amer. Soc. Civil Engrs. , Ground Water management , Manual Engrng. Practice 40 ,216 pp., 1972
4. Amer.Water Works Assoc. AWWA standart for deep Weels AWWA-A100-66,Denver,Colorado, 57p.,1967
5. Anderson, k.e.,Water well Handbook ,2nd edition ,Missouri Water Well & Pump Constructors Assoc.,Rolla ,281p. ,1967
6. Bachmat Y (1994). Groundwater as part of the water system. In: Zoller U (ed.) Groundwater Contamination and Control. New York: Marcel Dekker
7. Bachmat Y., Collin M., (1987): Mapping to assess groundwater vulnerability to pollution, Proc. And Information No 38. TNO Committee on Hydrogeology Research, Hague, Netherlands, 297-307.
8. Bear, J., O.Levin, The optimal yield of an aquifer, Intl. Assoc. Sci. Hydrology Publ.72, pp.401-412, 1967
9. Blank, N.- Schoeder M., Geologic classification of aquifers, Ground Water, v.11, no. 2, pp. 3-5 , 1973
- 10.Boast,C., Kirkham, D.Y., Ayger hole seepage theory ,Soil Sci.Soc. Amer.Proc.,v35,pp.365-373,1971
- 11.Bouwer ,H ., Groundwater hydrology, McGraw- Hill ,480p. 1978
- 12.Bouwer H., (1996): Issues in artificial recharge. Wat. Sci. Tech, Vol. 33, No 10-11, 381-390
- 13.Brucker, R. Et al., Role of vertical shafts in the movement of ground water in carbonade aquifers,Ground Water , v. 10 ,no.6. pp. 5-13 ,1972

14. Buras, N., Conjunctive operation of dams and aquifers, Jour. Hydraulics Div., Amer. Soc. Civil Engrs., V.89, no HY6, pp. 111-131, 1963
15. Burt, O., Temporal allocation of groundwater, Water Research, v3, pp. 45-56, 1967
16. Castany, G., Traite pratique des eaux souterraines, pp.657, Dunod 1963.
17. Cedergren, R., Seepage, Drainage and flow nets, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 534 p., 1977
18. Darcy, H., Les Fontaines publiques de la ville de Dijon, v. Dalmont, Paris, 647p., 1856
19. Davis, S., DeWiest, R., Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 463p., 1966
20. E.C.E., Long-term planning of water management, Proc. Seminar Zlanti Piasatzi (Bulgaria), 3 volumes, N.Y., 1976.
21. Feigin A., Ravina I. and Shalhevet J., (1991): "Irrigation with Treated Sewage Effluent: Management for Environmental Protection", Advance series in agricultural science, Springer – Verlag, Berlin.
22. Freeze R., Cherry J., Groundwater, Prentice–Hall, Englewood-Cliffs, N.J. 604 p., 1979
23. Gibb, J.P., Wells and pumping systems for domestic water supplies, Illinois State Water Survey Circ.117, Urbana, 12p., 1973
24. Grant, F.S., and G.F. West, Interpretation theory in applied geophysics, McGraw-Hill, New York, 583 pp., 1965.
25. Hamil, L., F.G. Bell, Groundwater Resource Development, 344p., Butterworths, 1986
26. Hazen, A., Some physical properties of sands and gravels with Special Reference to their use in Filtration. Mass. St. Brd of Health. 24 Aug. Rep., 1893

27. Hem, J.D., Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, 3rd ed., U.S. Geological Survey Water –Supply Paper 2254, 363p., 1985
28. Johnson, C.R., and R.A. Greenkorn, Comparison of core analysis and drawdown test results from a water-bearing Upper Pennsylvania sandstone of central Oklahoma Geol. Soc. America Bull., v. 71, pp.1898, 1960
29. Karrenberg, H., Hydrogeologie der nichtferkarstungsfähige Festgesteine 284s., Springer-Verlag, Wien, 1981
30. LeGrand, H.E., Sheet Structure, a major factor in the occurrence of ground water in the granites of Georgia. Econ. Geol., v. 44, pp.110-118, 1949.
31. Mandel, S. –Shiftan, Z.: Groundwater resources, Investigation and Development, Academic Press, N.Y. London, 269p. 1981
32. Mathess, G. Ubell, K., Allgemeine Hydrogeologie. Grundwasserhaushalt Gebr. Borntr. Berlin – Stuttgart, 438 pp. 1983
33. Mollard, J.D., The role of photo-interpretation in finding groundwater sources in Western Canada, Proc. 2nd Seminar in Air Photo Interpretation in the Development of Canada, The Queen's Printer, Ottawa, pp. 57-75, 1968.
34. Monroe, W., A. Glossary of karst terminology, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1899-K, 26 p., 1927
35. Morris, D.B., The application of resistivity methods to ground-water exploration of alluvial basins in semiarid areas, Jour. Instn. Water Engrs., v.18, pp.59-65, 1964.
36. Rumer, R.R., Drinker, P., Resistance to laminar flow through porous media, Jour. Hydraulics Div., Amer Soc. Civil Engrs., v.9, pp 73-89, 1969

- 37.Sawyer, C.N., -P.L. Mc.Carty ,Chemistry for sanitary engineers , 2nd ed
., McGraw-Hill ,New York , 518p., 1967
- 38.Schoeller, H., Les eaux souterraines: Paris, Masson ,642 pp., 1962
- 39.Smith ,D.et al., The age of groundwater in the chalk of London Basin,
Water Resources Research, v.12, p.392 -404 , 1976
- 40.Stewart, J.W., Water-yielding potential of weathered cry-stalline at the
Georgia Nuclear Laboratory : U.S. Geol. Survey Prof. Paper 450-B , pp.
106 – 107 ,1962
- 41.Thomas , H.E. ,Cyclic storage, where are you now? Ground Water ,v.16
,pp.12-17, 1978
- 42.Thurner, A., Hydrogeologie, pp. 350, Springer-Verlag, Wien 1967.
- 43.Todd ,D.K., Groundwater Hydrology ,2nd ed. 535p. pp267-315, John
Wiley & Sons ,1980
- 44.Tolman,C.F., Ground water , McCraw-Hill, New York,593p., 1937
- 45.U.S.N.R.C. (1992): Restoration of aquatic ecosystems. Nation. Acad.
Press., pp. 552.
- 46.UNESCO-WMO-IASH., Three centuries of Scientific Hydrology,
123p., 1937
- 47.Van Schilfgaarde,J.(ed.),Drainage for agriculture ,Agronomy
Monograph no.17 ,Amer .Soc. Agronomy ,Madison ,Wis. 700p., 1974
- 48.Walton, W.C.,Ground-Water resources of Camas Prairies,Camas and
Elmore Counties,Idaho. U.S.Geol. Survey Water-supply paper
1609,pp.612-632,1962
- 49.Walton,W.C., Groundwater resource evaluation, McCraw-Hill, New
York, 664p., 1970
- 50.Warner, D., Preliminary field studies using earth reistivity
measurements for delineating zones of contaminated water, Ground
Water, v.7, no.1, pp.9-16, 1969.

51. Watson ,L.J.,Development of ground water in Hawai,Jour .Hydraylics Div.,Amer.Soc.Civil Engrs .,v90,no HY6,pp. 185 – 202 , 1964
- 52.Αλμπάνης Τ., (1999): Ρύπανση και Τεχνολογία Περιβάλλοντος,Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
- 53.Αντωνόπουλος Β., (2003): Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών, Εκδόσεις Ζήτη,Θεσσαλονίκη.
- 54.Βαφειάδης, Π. , Η Τεχνική των Υδρογεωτρήσεων, Θεσσαλονικη ,Σελ 121,1977
- 55.Βουδούρης Κ., Γιαννάτος Γ., Διαμαντοπούλου Π., Ζάννης Π.,Παπακωνσταντίνου, Κ., (2002): Αποτελέσματα του πιλοτικού προγράμματος τεχνητού εμπλουτισμού του υπό πίεση υδροφορέα της βιομηχανικής περιοχής Πατρών, μέσω βαθιών γεωτρήσεων. Πρακτικά 6ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου. Ξάνθη, 47-58.
- 56.Γ.Α. Καλλέργης ,Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία ,τόμος Β ,Αθήνα , 1986
- 57.Γ.Α. Καλλέργης Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τομος Α' ,2^η Εκδοση , Αθήνα , 1999
- 58.Γ.Α. Καλλέργης Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία Τομος Β' ,2^η Εκδοση , Αθήνα , 2000
- 59.Διαμαντής Ι. και Πεταλάς Χ., (1997): Πηγές Επιβάρυνσης (ρύπανσης) Παράκτιων Υδροφορέων – Τεχνικές Αναγνώρισης – Τρόποι Αντιμετώπισης, Πρακτικά Συνεδρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τόμος ΙΙ, ΤΕΕ Θεσσαλίας.
- 60.Καράκωστας Ι., (2006): Περιβάλλον & Δίκαιο,Δίκαιο Διαχείρισης και Προστασίας των Περιβαλλοντικών Αγαθών, 2^η έκδοση, Εκδόσεις Αντ.Ν.Σάκουλα,Αθήνα – Κομοτηνή
- 61.Κατσογιάννης Α., Κουϊμτζής Θ., (2005): Απολύμανση πόσιμου νερού με βάση το χλώριο.Σύγκριση των διαφόρων μεθόδων χλωρίωσης. Πρακτικά 13ου Σεμιναρίου για την Προστασία του Περιβάλλοντος.Τμήμα Χημείας ΑΠΘ. Θεσσαλονίκη, 137-152.

- 62.Κουϊμτζής Θ. και Ματής Κ., (1987): Αρχές Τεχνολογίας Αντιρρύπανσης, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- 63.Κουμαντάκης Ι., Παναγόπουλος Α., Σταυρόπουλος Ξ., Βουδούρης Κ., (1999): Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού στο παράκτιο υδροφόρο σύστημα του Βόρειου τμήματος του Νομού.
- 64.Λέκκας Θ., (2001): Περιβαλλοντική Μηχανική ΙΙ- Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη
- 65.Matlock, W.G., Small Diameter wells Drilled by Jet-precussion method. Ground Water , v.8 ,no 1, pp.6 -9 , 1970
- 66.Μάστορης, Κ., Τεχνική της αναπτυξέως ,συμπληρώσεως και αντήσεως φρεάτων εντος ασβεστολιθικών σχηματισμών . Γεολογ. Γεωφ. Μελέται , ΙΓΕΥ,τ.XVI,Νο2 ,σελ 190-235,Αθήνα 1972
- 67.Χρίστουλας Δ., (1991): Ρύπανση των Υδάτων και Αντιρυπαντική Τεχνολογία 1^η έκδοση, Εκδόσεις Συμεών,Αθήνα.