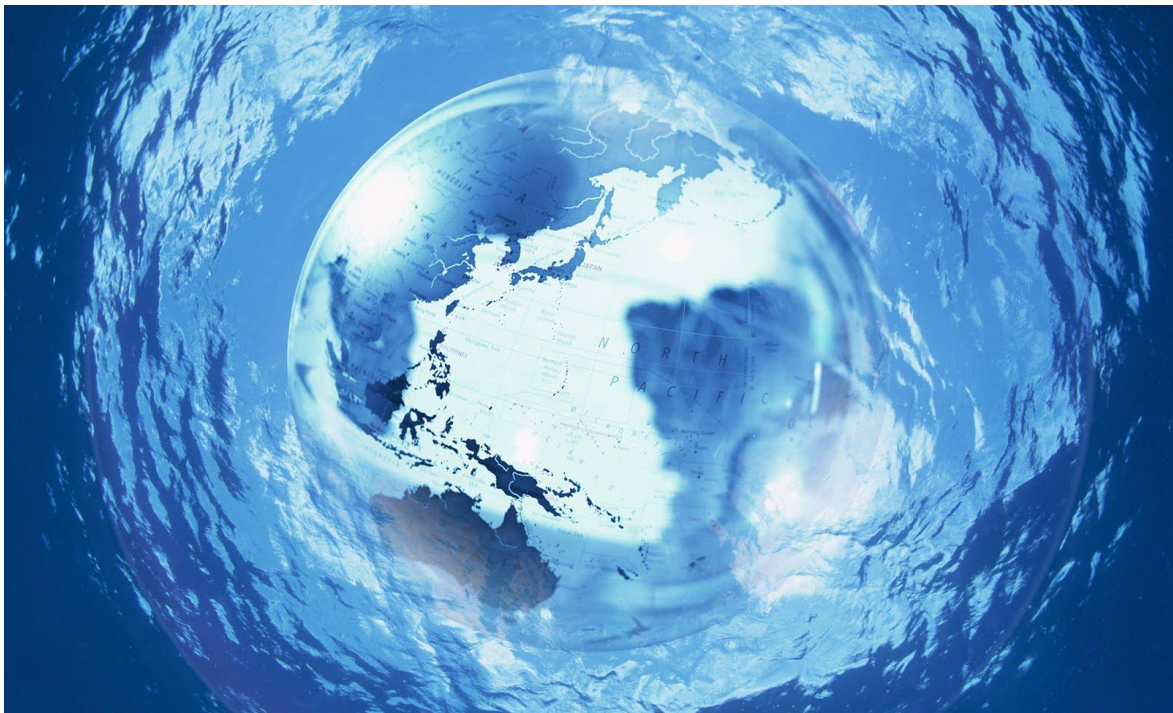


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ: ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ:
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ
ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: Τζιάκος Κωνσταντίνος

Κοντάκος Αθανάσιος

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ. Θεοδωροπούλου Π. Μαρία

Πάτρα 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ιδιαίτερωσ την καθηγήτρια Δρ. Θεοδωροπούλου Μαρία κυρίως για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της, για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Θα θέλαμε επίσης να απευθύνουμε τις ευχαριστίες μας στους γονείς μας, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μας με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωση μας. Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά και να εκφράσουμε την ειλικρινή μας ευγνωμοσύνη, σε όσους στάθηκαν δίπλα μας με κάθε τρόπο και μας βοήθησαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας.

Πρόλογος

Η ρύπανση και η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι μια ευρεία έννοια, η οποία περιλαμβάνει τη ρύπανση των διαφόρων βιολογικών συστατικών και μη των φυσικών στοιχείων του πλανήτη, ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Είναι δηλαδή, η αλλοίωση της μορφής του περιβάλλοντος και της ισορροπίας του ανθρώπου με τη φύση. Ο ίδιος ο άνθρωπος είναι υπεύθυνος για αυτή την καταστροφή, αφού εδώ και χρόνια εκμεταλλεύεται αλόγιστα τη γη. Η ρύπανση του περιβάλλοντος συνήθως ταξινομείται σε διάφορες γνωστές κατηγορίες όπως η ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους.

Ωστόσο, η ρύπανση διαχωρίζεται σε πολλές κατηγορίες όπως ηχορύπανση, θερμική ρύπανση, ρύπανση από ακτινοβολία, μικροβιακή ρύπανση, ρύπανση από τοξικές ουσίες, οργανική ρύπανση, ρύπανση από πετρελαιοειδή κ.α. Η ρύπανση έχει βλαβερή επίδραση στους οργανισμούς άρα είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία, γιατί αλλοιώνει την ποιότητα του αέρα και του νερού υποβαθμίζει τις δυνατότητες χρήσης τους.

Το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος σήμερα είναι παγκόσμιο με αποτέλεσμα την καταστροφή της φύσης, της χλωρίδας και της πανίδας του πλανήτη. Αιτία, η εμμονή του ανθρώπου να θέλει να διευκολύνει την καθημερινότητα του όσο περισσότερο μπορεί, χωρίς να υπολογίζει τις επιπτώσεις, με την αλόγιστη και ματαιόδοξη κατανάλωση των υλικών αγαθών.

Ο άνθρωπος καλείται να αντιμετωπίσει τις δικές του συνέπειες, αφού ουσίες όπως οργανικές ενώσεις, ανόργανοι ρύποι, βαρέα μέταλλα έχουν ρυπάνει τους υδροφόρους ταμιευτήρες και αργά ή γρήγορα εισχωρούν στην τροφική αλυσίδα. Οι επιπτώσεις τους στον άνθρωπο και σε άλλες μορφές ζωής στον πλανήτη είναι πλέον ορατές και αναμένεται να επιδεινωθούν με την πάροδο του χρόνου. Το πρόβλημα διαρκώς εντείνεται για αυτό στις αναπτυγμένες χώρες γίνεται προσπάθεια περιορισμού της ρύπανσης, μη τη λήψη διαφόρων μέτρων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δημιουργήσει μια νομοθεσία που προστατεύει το περιβάλλον. Ιδιαίτερα μετά το 1980 τα μέτρα προστασίας έγιναν αυστηρά και εντάθηκαν οι έλεγχοι σε όλα τα κράτη της.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία μελετά την ρύπανση ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων καθώς επίσης τους μηχανισμούς ρύπανσης και τεχνολογίες απορρύπανσης. Στόχος της εργασίας είναι να επισημάνουμε τους τρόπους ρύπανσης αλλά και τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε κάποιες φορές να την ανακαλύψουμε και να την περιορίσουμε. Λύση στο πρόβλημα της υπόγειας ρύπανσης δίνουν οι διάφοροι μέθοδοι και μηχανισμοί που έχουν αναπτυχθεί με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Για την αντιμετώπιση της ρύπανσης θα πρέπει η κάθε περίπτωση να εξετάζεται διαφορετικά σε στόχο την καλύτερη δυνατή επιλογή είτε τεχνολογίας απορρύπανσης την ρυπασμένης περιοχής είτε περιορισμού της επέκτασης της ρύπανσης. Στη διαδικασία διαφύλαξης του περιβάλλοντος το κράτος θεσπίζει νόμους και τοποθετεί όρια θέλοντας να προστατεύσει όσο περισσότερο μπορεί το περιβάλλον αλλά και ότι ζει μέσα του.

Στο 1^ο Κεφάλαιο αναφέρονται γενικά ότι αφορά το έδαφος το υπέδαφος και η υποβάθμιση αυτών. Επιπλέον, περιγράφεται η δημιουργία ταμιευτήρων αποθήκευσης νερού και ο διαχωρισμός φυσικών - τεχνικών ταμιευτήρων. Στην συνέχεια αναπτύσσονται οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται οι ταμιευτήρες νερού καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά τους.

Στο 2^ο Κεφάλαιο περιγράφονται οι διεργασίες ρύπανσης. Οι διαφορές μεταξύ έμμεσης και άμεσης, ανθρωπογενούς και φυσικής, καθώς και ο διαχωρισμός τους που σε μερικές περιπτώσεις είναι δύσκολος. Επιπλέον, αναφέρονται οι βασικές αιτίες ρύπανσης του εδάφους και του νερού, καθώς και διάφοροι μηχανισμοί ρύπανσης οι οποίοι έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη ποιότητα του νερού.

Στο 3^ο Κεφάλαιο αναλύεται το υπόγειο νερό δηλαδή, οι φυσικοχημικές παράμετροι των υπόγειων νερών καθώς επίσης και οι παράμετροι της ρύπανσης και η κατηγοριοποίηση της. Ακολουθούν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά και οι παράγοντες που ελέγχουν τα υπόγεια νερά αναλύοντας τις περιπτώσεις που προκαλούν περιβαλλοντικά προβλήματα.

Στο 4^ο Κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι μέθοδοι απορρύπανσης εδαφών και υπόγειων υδάτων. Η εξέλιξη της τεχνολογίας δίνει την δυνατότητα να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος για κάθε ρυπασμένη περιοχή και να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα με ακρίβεια. Στο 5^ο Κεφάλαιο περιγράφονται οι μέθοδοι περιορισμού και επέκτασης της ρύπανσης, δίνοντας προσωρινές λύσεις σε περιοχές που δεν υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμοστεί εξειδικευμένη μέθοδος απορρύπανσης.

Στο 6^ο κεφάλαιο αναφέρεται η περιβαλλοντική μελέτη που χρειάζεται για τον περιορισμό της ρύπανσης καθώς επίσης και για τις επιπτώσεις που έχει στην φύση και στον

άνθρωπο. Ακολουθούν τα μέτρα προστασίας των εδαφών και των υπόγειων υδάτων, καθώς και ο τρόπος επιλογής της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης ρυπασμένης περιοχής.

Τέλος, στο 7^ο Κεφάλαιο αναπτύσσεται η κατανομή του νερού παγκοσμίως και ορίζονται οι υδάτινοι πόροι καθώς και την σημασία τους για τον άνθρωπο. Ακολουθούν τα στάδια επεξεργασία του νερού, ο καθαρισμός αλλά και ο έλεγχος που πραγματοποιείται για να κρίνει την ποιότητα του.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Γενικά	
1.1	Εισαγωγή	1
1.2.	Υδρολογικός Κύκλος	1
1.3	Έδαφος και Υπέδαφος.	3
1.4.	Υπόγεια Ύδατα	4
1.5.	Ταμιευτήρες νερού	8
1.6.	Χαρακτηριστικά των Ταμιευτήρων	9
1.7.	Υπόγειοι Ταμιευτήρες νερού	10
Κεφάλαιο 2	Ρύπανση	
2.1	Ρύπανση	14
2.1.1	Άμεση Ρύπανση	14
2.1.2	Έμμεση Ρύπανση	14
2.1.3	Ρύπανση ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία	14
2.2	Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων	15
2.2.1	Ταξινόμηση πηγών ρύπανσης	16
2.3	Ρύπανση των υδάτων	17
2.3.1.	Αποοξυγόνωση νερού	18
2.4	Πηγές ρύπανσης υδάτων	18
2.4.1	Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες	19
2.4.2	Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες	20
2.4.3	Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες	21
2.4.4	Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες.	22
2.4.5	Ρύπανση από φυσικές διεργασίες	23
2.4.5.1	Όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα.	24
2.5	Ο κίνδυνος της ρύπανσης των υδάτων στην ζωή του ανθρώπου	26
2.5.1	Μόλυνση νερών	26
2.5.2	Ρύπανση πόσιμου νερού	27
2.6	Η μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς.	27
2.6.1	Μηχανισμοί Ρύπανσης Υπεδάφους και Υπόγειων Υδάτων.	29
2.6.2	Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων.	30
2.7	Επιπτώσεις της ρύπανσης των ταμιευτήρων νερού	32
Κεφάλαιο 3	Υπόγειο νερό	
3.1	Οι Φυσικοχημικές παράμετροι των υπογείων νερών	34
3.2	Ποιότητα των υπογείων νερών	35
3.3	Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού	36

3.4	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.	37
-----	--	----

Κεφάλαιο 4 Μέθοδοι Απορρύπανσης

4.1	Γενικά	39
4.2	Μέθοδοι απορρύπανσης	40
4.2.1	Μέθοδοι απορρύπανσης εδαφών	42
4.2.1.1	Βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)	42
4.2.1.2	Εκπλυση του εδάφους με χημικές ουσίες (soil washing, chemical extraction, leaching)	49
4.2.1.3	Εκσκαφή του εδάφους	51
4.2.1.4	Θερμική επεξεργασία με απλή θέρμανση (heating), καύση (incineration) ή επεξεργασία με ατμό (steam stripping)	52
4.2.1.5	Χημική επεξεργασία	53
4.2.1.6	Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction) ή απλού αερισμού (soil venting).	54
4.2.1.7	Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων	55
4.2.2.	Μέθοδοι απορρύπανσης ταμειυτήρων υπόγειων υδάτων	55
4.2.2.1	Βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)	55
4.2.2.2	Απορρύπανση με άντληση και απορρύπανση διαλυμένων ρύπων (pump and treat)	57
4.2.2.3	Απορρύπανση με άντληση επιπλεόντων ρύπων (dual pump free product recovery)	58
4.2.2.4	Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction)	62
4.2.2.5	Απορρύπανση από βαρέα μέταλλα	63
4.2.2.6	Απονίτρωση υπόγειων υδάτων	65
4.3.	Κυριότερες μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης του εδάφους και των υδροφόρων	66

Κεφάλαιο 5 Κεφάλαιο 5: Μέθοδοι περιορισμού επέκτασης της ρύπανσης

5.1	Γενικά	67
5.2.	Μέθοδοι προστασίας επέκτασης ρύπανσης υπόγειων ταμειυτήρων	68
5.2.1	Μέθοδοι εγκιβωτισμού	68
5.2.2	Διαφράγματα	69
5.2.2.1	Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα	69
5.2.2.2	Οριζόντια διαφράγματα βάσης	76
5.2.2.3	Διαπερατό φράγμα	77
5.2.3	Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού	78
5.2.4	Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification)	79

Κεφάλαιο 6	Περιβαλλοντική μελέτη και επιπτώσεις ρύπανσης	
6.1	Περιβαλλοντική μελέτη	80
6.1.1	Επιλογή μεθόδου προστασίας επέκτασης ρύπανσης	81
6.2	Επιλογή τεχνικών απορρύπανσης μολυσμένων περιέχων.	85
6.3	Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων απορρύπανσης και περιορισμού επέκτασης ρύπανσης.	86
Κεφάλαιο7	Έλεγχος Υδάτινων Πόρων	
7.1	Κατανομή νερού παγκοσμίως	87
7.2.	Σημασία υδατικών πόρων	89
7.3	Στάδια επεξεργασίας ύδατος.	91
7.4	Καθαρισμός πόσιμου νερού	93
7.5	Έλεγχος ποιότητας νερού.	95
Βιβλιογραφία		97

Κεφαλαίο 1: Γενικά

1.1. Εισαγωγή

Περιβάλλον ορίζεται κάθε τι που βρίσκεται στην φυσική του μορφή και ο άνθρωπος ζει μέσα σε αυτό, όπως η γη, ο αέρας, η θάλασσα, το νερό, τα δάση ακόμα και τα ζώα. Όπως το λέει και η λέξη το περιβάλλον προέρχεται από το ρήμα περιβάλλω, ανάμεσα στον άνθρωπο και στο περιβάλλον υπάρχει μια μεγάλη εξάρτηση.

Φυσικό περιβάλλον είναι η φύση γύρω μας, η γη, το έδαφος και το υπέδαφος, ο αέρας το νερό, η θάλασσα, τα ποτάμια οι λίμνες και γενικά ο χώρος μέσα στον οποίο ζει και κινείται ο άνθρωπος. Με τον όρο «ρύπανση του περιβάλλοντος» χαρακτηρίζεται η απορρύπανση ρύπων στο φυσικό περιβάλλον από βιομηχανική δραστηριότητα και δημοτικά και οικιακά λύματα. Η ρύπανση διακρίνεται σε αστική και βιομηχανική, σε ρύπανση της ατμόσφαιρας, του νερού και του εδάφους και τείνει να καταστρέψει την πανίδα και τη χλωρίδα της γης, τις θεμελιώδεις δηλαδή προϋποθέσεις της ζωής στον πλανήτη μας.

Μόλυνση χαρακτηρίζεται η οποιαδήποτε παρουσία παθογόνων μικροβίων είτε σε αντικείμενα κοινής χρήσης είτε ειδικότερα στην επιφάνεια ενός ζωντανού οργανισμού ή και την είσδυσή τους εντός αυτού. Μερικές φορές γίνεται λόγος για τη μόλυνση του περιβάλλοντος, ενώ συνήθως εννοείται η ρύπανση. Άρα ρύπανση – μόλυνση του περιβάλλοντος είναι η αλλοίωση της μορφής του περιβάλλοντος και της ισορροπίας που υπάρχει μεταξύ του ανθρώπου και της φύσης. Οι αιτίες που την προκαλούν είναι αναρίθμητες και την ευθύνη δεν την φέρει μόνο η σημερινή κοινωνία αλλά ξεκίνησε από παλιότερα εξαιτίας της έλλειψης λογικής εκμετάλλευσης της γης από τους προγόνους μας.

Αρχικά αξίζει να αναφερθούμε στην ακαταλόγιστη χρήση φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων τα οποία χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την αύξηση της παραγωγής του. Έπειτα την δημιουργία εργοστασίων χωρίς κατάλληλα μέτρα προστασίας για την προστασία του αέρα από το μονοξείδιο του άνθρακα που εκπέμπεται κατά την βιομηχανική παραγωγή, τα βιομηχανικά απόβλητα που απορρίπτονται στο περιβάλλον χωρίς επεξεργασία. Αίτια ρύπανσης μπορεί να θεωρηθεί και η ακαταλόγιστη υλοτομία για την οικοπεδοποίηση πολλών στρεμμάτων γης, ακόμα και οι πυρκαγιές που βοηθούν στην διαδικασία αυτή, οι οποίες πολλές φορές οφείλονται σε ανθρώπινους παράγοντες. Μπορεί όλα τα παραπάνω να έδωσαν στον άνθρωπό ότι χρειαζόταν για μια πολυτελή ζωή του στέρησαν όμως το πολυτιμότερο αγαθό, ένα υγιές περιβάλλον.

1.2. Υδρολογικός Κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, αναφέρεται στην κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της γης και κάτω από αυτή. Το νερό της γης είναι πάντα σε κίνηση

και σε διαφορετική μορφή. Η ζωή στην γη εξαρτάται από το νερό, αν η γη δεν είχε νερό θα ήταν ένας αφιλόξενος πλανήτης.

Δεν μπορούμε να πούμε ότι ο υδρολογικός κύκλος έχει αρχή, αλλά θα ήταν εύκολο να πούμε ότι ξεκινάει από την θάλασσα. Ο ήλιος κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό της θάλασσας και ένα μέρος αυτού το εξατμίζει, επομένως ανυψώνεται με την μορφή του ατμού στον αέρα. Το νερό εξατμίζεται και από λίμνες, ποτάμια ακόμα και από το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση όπου είναι η εξάτμιση από τους πάγους, από στερεή μορφή καταλήγουν κατευθείαν σε αέρια χωρίς να περάσουν το στάδιο της υγρής μορφής.



Εικόνα 1.1.: Κύκλος νερού.

Με την βοήθεια των αέριων ρευμάτων οι υδρατμοί οδηγούνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου εκεί οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας. Ο αέρας σε συνάρτηση με την χαμηλή θερμοκρασία δεν μπορεί να συγκρατήσει όλη την μάζα των υδρατμών και έτσι ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζονται τα σύννεφα. Σαν σύννεφα πλέον τριγυρνούν γύρω από την γη, κατά την κίνηση τους ενώνονται και με άλλα σύννεφα και μεγαλώνουν. Τελικά καταλήγουν να πέφτουν από τον ουρανό σαν κατακρημνίσματα είτε με την μορφή της βροχής είτε σαν χιόνι.

Όσον αφορά την ποσότητα νερού που πέφτει στην στεριά ένα μέρος αυτού καταλήγει στην θάλασσα ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας ως επιφανειακή απορροή. Η

επιφανειακή απορροή βέβαια καταλήγει και σε λίμνες, υπόγειους ταμιευτήρες νερού όπου αποτελούν τις κυριότερες αποθήκες νερού σε συνάρτηση με τους ποταμούς.

Το νερό των κατακρημνισμάτων ρέει μέσα στο έδαφος, δηλαδή διαπερνάει το έδαφος με την λειτουργία της διήθησης, σχηματίζοντας έτσι το υπόγειο νερό. Ένα μέρος της ποσότητας αυτής ξαναβγαίνει στην επιφάνεια, ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναμπαίνει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" και "ξεκινάει".

1.3. Έδαφος και Υπέδαφος.

Ως έδαφος ορίζονται οι άνω στρώσεις του φλοιού της γης που μπορούν να υποστηρίξουν την ανάπτυξη φυτών. Το έδαφος αποτελείται κατά το μισό του όγκου του από στερεά συστατικά (ανόργανα και οργανικά), και κατά το άλλο μισό του εδάφους από αέρα και νερό.

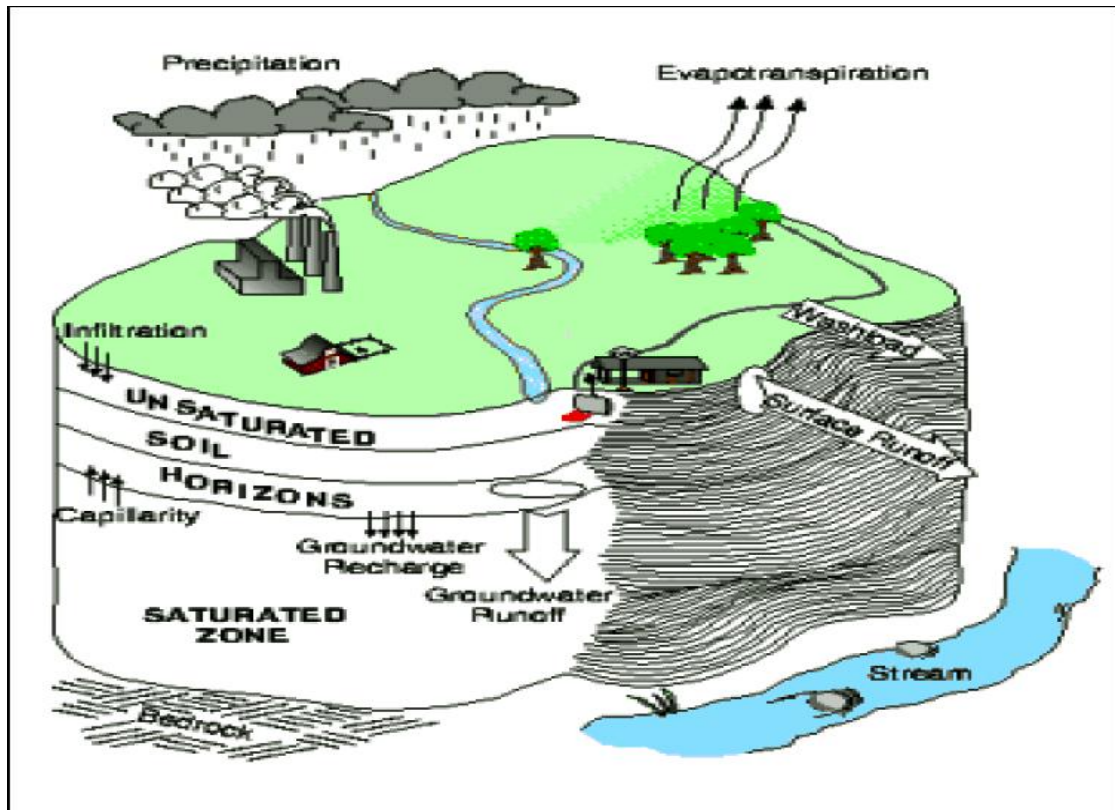
Το εδαφικό νερό προέρχεται από φυσικά φαινόμενα όπως τις βροχές και τις χιονοπτώσεις που παρουσιάζονται κατά την πάροδο του χρόνου. Οι εδαφικοί πόροι είναι γεμάτοι με νερό. Τα άλατα του εδάφους διαλύονται στο νερό και έτσι δημιουργείται το εδαφικό διάλυμα που έχει μεγάλη σημασία κυρίως ως μέσο τροφοδότησης των φυτών με θρεπτικά συστατικά.

Η σύσταση του εδαφικού νερού εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι η θερμοκρασία του εδάφους, η ποσότητα ανόργανων συστατικών, η χρήση λιπασμάτων, τα ποτίσματα ακόμα και η εποχή του χρόνου. Στο έδαφος υπάρχει και αέρας ο οποίος περιέχεται στους πόρους που είναι ακάλυπτοι. Περιέχει ποσότητα οξυγόνου απαραίτητη για τη δράση των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια για την ανάπτυξη των φυτών.

Το υπέδαφος ορίζεται ως τις υποκείμενες στρώσεις του εδάφους του ανώτερου φλοιού. Το υπέδαφος μπορεί να χωριστεί σε ακόρεστη ή σε μερικώς κορεσμένη ζώνη και σε κορεσμένη. Οι εδαφικές στρώσεις που παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών των ζωνών μπορεί να είναι:

- Αδιαπέρατες
- Αδιαπέρατες στεγανές στρώσεις
- Υδροφορείς ή ημιδιαπερατές στρώσεις

Για την κατανόηση των παραπάνω μπορεί να παρατηρηθεί η εικόνα 1.2.



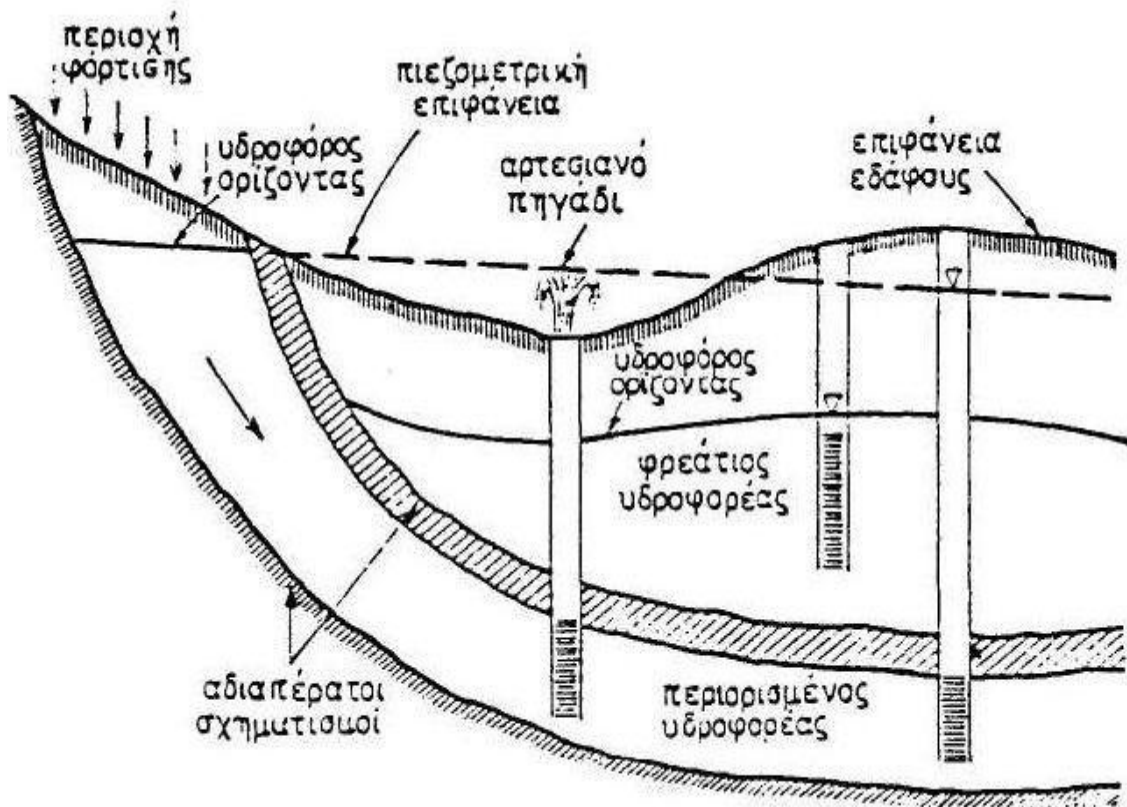
Εικόνα 1.2.: Ακόρεστη, μερικώς κορεσμένη και κορεσμένη ζώνη.

1.4. Υπόγεια Ύδατα

Τα υπόγεια ύδατα δεν είναι ορατά, αλλά αποτελούν σημαντικό κομμάτι στον κύκλο του νερού. Περισσότερο από το 95% των γλυκών υδάτων του πλανήτη, εκτός των παγετώνων και των εκτάσεων πολικών πάγων, βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν τη σταθερή, βασική ροή σε ποτάμια και υδροτόπους. Η διατήρηση της ποσότητας και της καθαρότητας της ροής αυτής είναι ζωτικής σημασίας για τα οικοσυστήματα των επιφανειακών υδάτων.

Τα υπόγεια ύδατα λοιπόν, αποτελούν ένα μέρος της ποσότητας του νερού που βρίσκεται στον πλανήτη. Η ποσότητα των υπογείων υδάτων δεν είναι στάσιμη, είναι αποθηκευμένα ή κινούνται μέσα στο έδαφος και τα πετρώματα.

Υδροφορέας ορίζεται ο γεωλογικός σχηματισμός που επιτρέπει τη διέλευση και αποθήκευση νερού μέσα στη μάζα του. Δηλαδή η δυνατότητα κίνησης και αποθήκευσης του νερού σε συγκεκριμένα στρώματα εδάφους. Υπάρχουν υδροφορείς που έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν αλλά όχι να μετακινούν νερό και ας είναι σε μικρή ποσότητα, αυτό παρουσιάζεται κυρίως στα αργιλικά εδάφη.



Εικόνα 1.3.: Τύποι Υπόγειων Υδροφορέων.

Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν ένα σημαντικό πόρο παροχής νερού σε πολλές χώρες. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι προστατεύονται φυσικά από το έδαφος, τον αργό ρυθμό της ανατροφοδότησης και της ροής του νερού. Από την άλλη μεριά η αργή ροή ή η στασιμότητά τους παρόλο που είναι ευνοϊκή για την προστασία τους, λειτουργεί αρνητικά στα έργα αποκατάστασης και εξυγίανσης. Βέβαια η εξάπλωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων σε συνδυασμό με την ευπάθεια ορισμένων συστημάτων υπογείων υδάτων στην μόλυνση κάνουν τα ύδατα να βρίσκονται σε συνεχή κίνδυνο.

Ανάλογα με το είδος των στρώσεων του εδάφους διακρίνουμε δύο κατηγορίες υδροφορέων στην κορεσμένη ζώνη. Έτσι έχουμε:

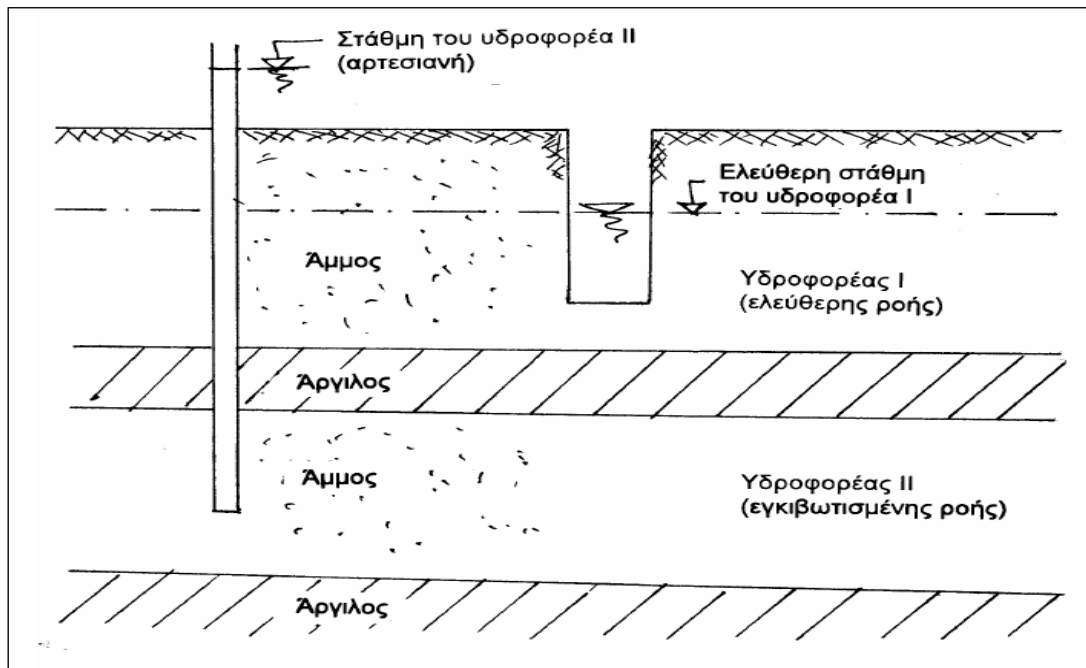
- *Περιορισμένους ή υπό πίεση υδροφορείς (εγκιβωτισμένης ροής):*

Υδροφορείς περιορισμένοι προς τα άνω και προς τα κάτω από αδιαπέρατους σχηματισμούς με ροή ανάλογη της ροής σε κλειστούς αγωγούς. Στην περίπτωση που το πιεζομετρικό ύψος βρίσκεται υψηλότερα της επιφάνειας του εδάφους τότε έχουμε αρτεσιανό υδροφόρα (Εικόνες 1.2 και 1.4).

- Φρεάτιους ή μη περιορισμένους υδροφορείς (ελεύθερης ροής):

Υδροφορείς περιορισμένοι προς τα κάτω από αδιαπέρατους σχηματισμούς και με ελεύθερη επιφάνεια προς τα πάνω. Η ροή του υπόγειου νερού μέσω αυτών είναι ανάλογη της ροής σε ανοιχτούς αγωγούς (Εικόνες 1.2 και 1.5).

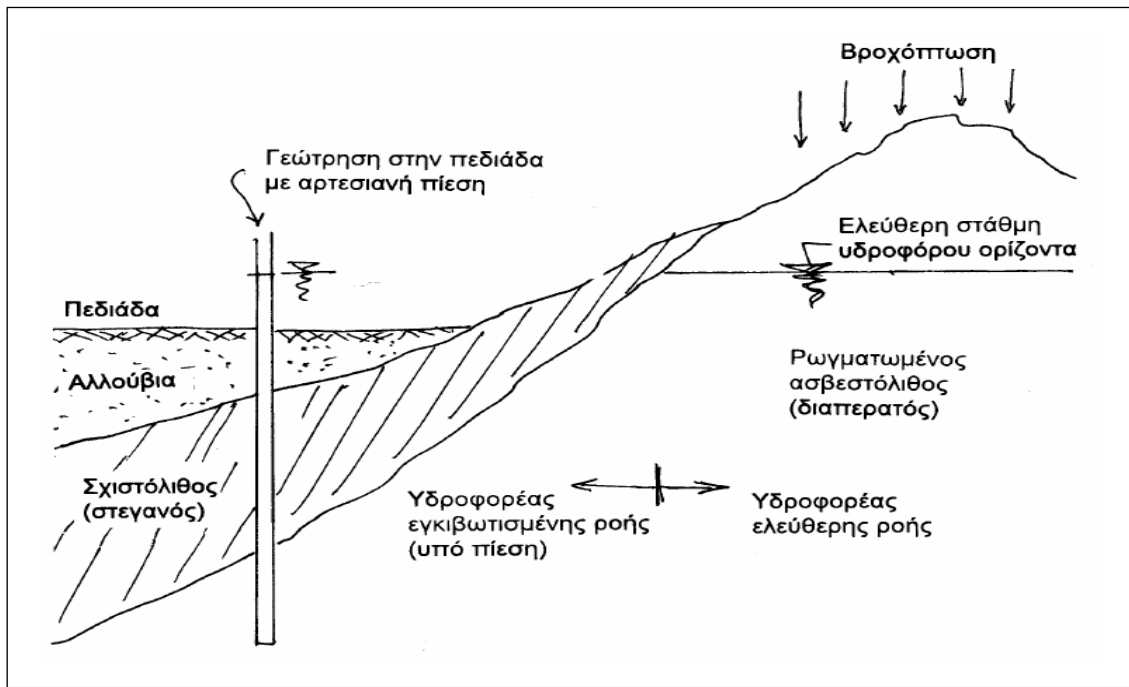
Το σύνολο σχεδόν του νερού που περιέχεται στο έδαφος, δηλαδή το υπόγειο νερό και τροφοδοτεί τους υδροφορείς προέρχεται από τα επιφανειακά νερά όπως είναι η βροχόπτωση, χιόνι, ποταμοί, λίμνες, νερό τεχνητής άρδευσης κλπ. μέσω της κατείσδυσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ή της διήθησης των συγκεντρωμένων επιφανειακών υδάτων.



Εικόνα 1.4.: Υδροφορείς ελεύθερης και εγκιβωτισμένης ροής.

Ο **συντελεστής κατείσδυσης** εκφράζει το ποσοστό του όγκου των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που κατεισδύει εντός του εδάφους. Οι τιμές του συντελεστή κατείσδυσης εξαρτώνται από το είδος των επιφανειακών εδαφικών σχηματισμών, την κλίση του ανάγλυφου του εδάφους, τη βλάστηση αλλά και τη χρονική κατανομή και ένταση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.

Από το νερό που κατεισδύει στο έδαφος, ένα μέρος μόνον τροφοδοτεί τους υδροφορείς. Το υπόλοιπο είτε χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής, είτε χάνεται κινούμενο προς βαθύτερους υδροφόρους ορίζοντες, είτε συγκρατείται στην ανώτερη μερικώς κορεσμένη ζώνη για να αντικαταστήσει προηγούμενες απώλειες στη ζώνη αυτή λόγω εξατμισοδιαπνοής.

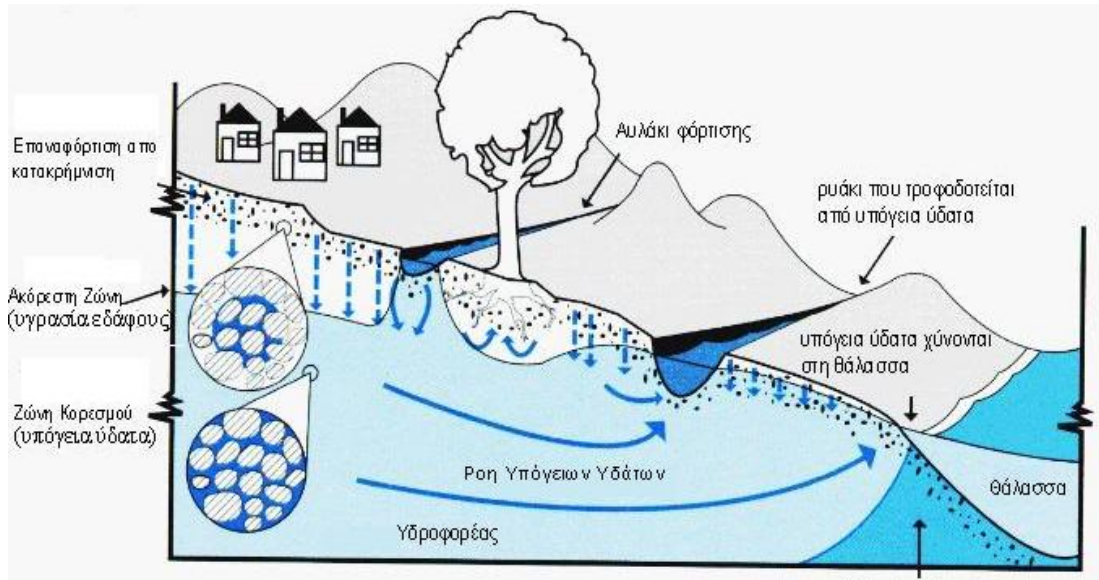


Εικόνα 1.5.: Δημιουργία υδροφορέων ελεύθερης ροής και εγκιβωτισμένης ροής.

Από πλευράς ευχέρειας στη διήθηση του υπόγειου νερού, δηλαδή ευχέρειας στην κίνηση του νερού εντός του εδάφους οι γεωλογικοί σχηματισμοί όταν βρίσκονται κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Τους υδροφορείς, οι οποίοι επιτρέπουν την ευχερή διήθηση του υπόγειου νερού διαμέσου της μάζας τους, δηλαδή τους σχηματισμούς που έχουν υψηλή υδραυλική αγωγιμότητα. Είναι προφανές ότι η έννοια της «υψηλής» υδραυλικής αγωγιμότητας είναι σχετική και εξαρτάται από τη δυνατότητα εκμετάλλευσης του υδροφορέα. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι υδροφορείς είναι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επιτρέπουν την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού που διακινείται διαμέσου της μάζας τους.
- Τους σχηματισμούς περιορισμένης υδροφορίας, οι οποίοι επιτρέπουν την περιορισμένη κίνηση του υπόγειου νερού διαμέσου της μάζας τους, και συνεπώς δεν προσφέρονται πάντοτε για την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού που περιέχεται στη μάζα τους. Είναι προφανές ότι η διαφορά των σχηματισμών περιορισμένης υδροφορίας με τους υδροφορείς είναι καθαρά θέμα κλίμακας. Έτσι, για παράδειγμα ένας σχηματισμός που μπορεί να χαρακτηρίζεται ως υδροφορέας για τις ανάγκες ύδρευσης μιας μικρής κοινότητας, μπορεί να έχει ανεπαρκή παροχαρακτηριστική για την ύδρευση μιας μεγάλης πόλης και να χαρακτηρίζεται ως σχηματισμός περιορισμένης υδροφορίας για τη μεγάλη πόλη.

- Τους στεγανούς σχηματισμούς, οι οποίοι πρακτικώς δεν επιτρέπουν την κίνηση του υπόγειου νερού διαμέσου της μάζας τους και συνεπώς δεν προσφέρονται για την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού.



Εικόνα 1.6.: Ροή Υπόγειων Υδάτων.

1.5. Ταμιευτήρες νερού

Οι ταμιευτήρες χαρακτηρίζονται από την στασιμότητα του νερού σε σχέση με τους ποταμούς που χαρακτηρίζονται από νερά που είναι σε κίνηση. Τα στάσιμα νερά των ταμιευτήρων κινούν τα συστατικά τους αργά. Οι ταμιευτήρες τείνουν να αποθηκεύουν νερό για σχετικά μεγάλες περιόδους, ο αυξανόμενος χρόνος αποθήκευσης επιτρέπει την εσωτερική ανακύκλωση και η ύλη που γεννιάται μέσα στον ταμιευτήρα (αυτόχθονη) έχει αυξημένη σημασία σε σχέση με αυτά που γεννιούνται έξω και μεταφέρονται μέσα στον ταμιευτήρα (αλλόχθονα υλικά).

Η εσωτερική παραγωγικότητα που παρουσιάζουν οι ταμιευτήρες νερού διαφέρει κατά εποχή ή έτη, έτσι οι αποκλίσεις στη μεταφορά και την ανάμιξη των συστατικών του νερού είναι σημαντικές. Βέβαια εξαρτώνται και από το βάθος των στάσιμων νερών, αυτοί είναι και οι λόγοι που παρουσιάζεται αλλοίωση της ποιότητας του νερού σε ορισμένους ταμιευτήρες.

Οι ταμιευτήρες νερού δεν έχουν καθορισμένα ρεύματα και μόνο μια κατεύθυνση ροής. Η κατεύθυνση ροής και μίξης σε ένα ταμιευτήρα επηρεάζεται από την θερμική δομή, τις εισροές και εκροές. Με την βοήθεια των βαθυμέτρων λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις σε διάφορα επίπεδα του ταμιευτήρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα βαθύμετρα είναι ψηφιακά όργανα μέτρησης που έχουν την δυνατότητα να μετρούν το βάθος και την κατεύθυνση της ροής των υδάτων.

Στους ταμιευτήρες νερού παρατηρείται ότι οι ρύποι μετακινούνται με δύο τρόπους, είτε με την οριζόντια μεταφορά είτε με την κάθετη. Πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι η οριζόντια μεταφορά και ανάμιξη είναι ταχύτερη διότι ακολουθεί την ροή των υπόγειων νερών. Αντίθετα με την κάθετη μεταφορά και ανάμιξη, η κίνηση των ρύπων γίνεται κατακόρυφα οδηγούμενη στα κατώτερα στρώματα χρειάζεται περισσότερο χρόνο.

1.6. Χαρακτηριστικά των Ταμιευτήρων.

Κάθε ταμιευτήρας έχει μοναδικά χαρακτηριστικά και αυτό οφείλεται στους εξής παράγοντες:

- Κλίμα:

Η θερμοκρασία, ο άνεμος, η βροχόπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζουν καθοριστικά όλες τις λίμνες και υπόγειους ταμιευτήρες, δηλαδή τα υδρολογικά και χημικά χαρακτηριστικά, που μπορεί να επηρεάσουν τη σύνθεση της βιολογικής κοινότητας. Το νερό της βροχής είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την απορροή και την περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και ιζήμα. Η Θερμοκρασία, η αιολική και η ενέργεια από τον ήλιο επηρεάζουν τη διαστρωμάτωση και την ανάμειξη, την ανάπτυξη των φυτών, και την εξάτμιση σε επιφανειακούς και υπόγειους ταμιευτήρες.

- Γεωλογικό υπόστρωμα και τα εδάφη της λεκάνης:

Ο τύπος του εδάφους επηρεάζει τη δυνατότητα για απορροή και διάβρωση. Τα φυσικά χαρακτηριστικά του υποστρώματος καθορίζουν την έκταση, τη φύση και την ποιότητα των υπογείων υδάτων, τις εισροές και τις εκροές. Αυτοί είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τις χημικές διεργασίες στους ταμιευτήρες, λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ του νερού και των ιζημάτων. Επίσης, επηρεάζεται από τη συμβολή των ιζημάτων, τα ορυκτά και τις θρεπτικές ουσίες που από τη λεκάνη απορροών καταλήγουν στο ταμιευτήρα.

- Χρήση γης:

Το είδος, τη θέση, την έκταση, και η ιστορία της χρήσης της γης όπως είναι η γεωργία, οι αγροτικές, οι αστικές και οι ανεπτυγμένες βιομηχανικές περιοχές μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποσότητα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, τις εισροές και τις εκροές, καθώς και τα ποσά και τα είδη των θρεπτικών ουσιών στα ιζήματα, επίσης και τα χημικά προϊόντα (φυσικές ή συνθετικές ύλες), που μεταφέρονται στον ταμιευτήρα από τη λεκάνη απορροής.

- Μορφομετρία ταμιευτήρα:

Το μέγεθος, το σχήμα και το βάθος είναι τα χαρακτηριστικά της μορφομετρίας ενός ταμιευτήρα και είναι ζωτικής σημασίας για τον προσδιορισμό της ροής των υδάτων.

1.7. Υπόγειοι Ταμιευτήρες νερού.

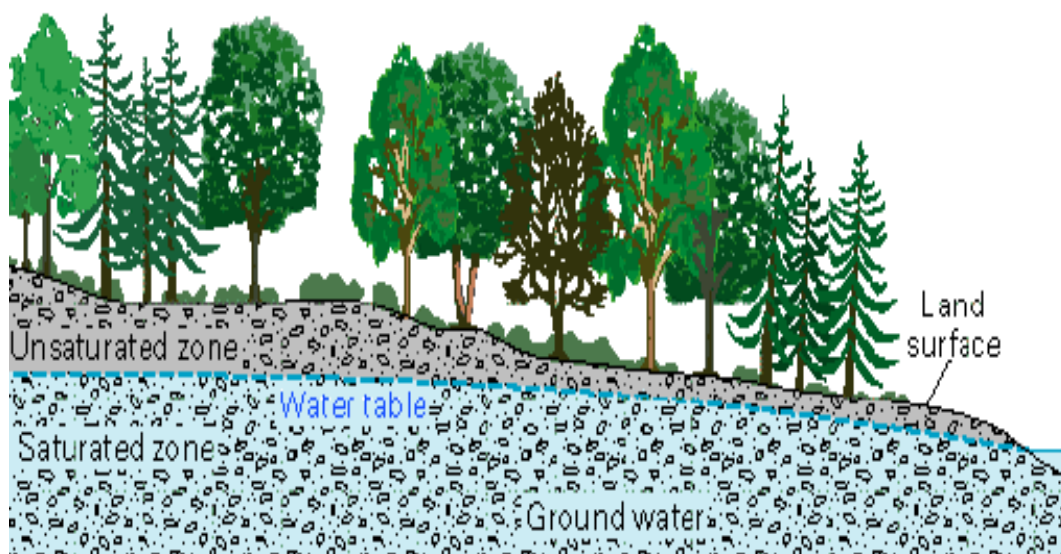
Οι υδάτινοι πόροι δεν είναι μόνο αυτοί που είναι διακριτοί, συγκεντρώνονται στις λεκάνες απορροής και τα όρια τους είναι ευδιάκριτα και καλά ώστε να μπορούν να χαραχτούν με την βοήθεια τοπογραφικών χαρτών. Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν κυρίως τα επιφανειακά νερά. Όμως, οι υπόγειοι υδατικοί πόροι (υδροφόροι) δεν είναι ευδιάκριτοι και συχνά ούτε διακριτοί ανάμεσά τους. Τα όρια των υδροφόρων είναι φυσικά και όχι τοπογραφικά. Οι υδροφόροι μπορεί να έχουν διαφορετικά χημικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά.

Επιπλέον, οι υπόγειοι υδροκρίτες δεν συμπίπτουν κατά κανόνα με τους επιφανειακούς υδροκρίτες δηλαδή, δεν έχουν κοινή νοητή γραμμή για να ενώνει τα υψηλότερα σημεία ενός εδαφικού εξογκώματος και να διαχωρίζει τη ροή των βρόχινων υδάτων στις εκατέρωθεν πλευρές των υψωμάτων αυτών. Ο όγκος του νερού είναι μεταβλητός και σε αυτή την περίπτωση. Το σύστημα εμπλουτίζεται από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις οι οποίες όμως δεν χάνονται με εξατμισοδιαπνόμενη και με την απορροή όπως γίνεται στους επιφανειακούς υδροφορείς.

Οι υπόγειοι ταμιευτήρες νερού πρέπει να χρησιμοποιούνται με σωστό τρόπο και αυτό εξασφαλίζεται με την τήρηση κάποιων βασικών κριτηρίων και αρχών:

- Στην ανάπτυξη τεχνολογίας η οποία θα βελτιώσει την αποθηκευτική ικανότητα των υδροφόρων συστημάτων.
- Στην προστασία της ποιότητας του υπόγειου νερού.
- Στην αύξηση της ποσότητας του υπόγειου νερού.
- Στη χρησιμοποίηση των υπόγειων υδατικών πόρων για την ιεραρχική κάλυψη των αναγκών της κοινωνίας που έχουν την υψηλότερη προτεραιότητα.

Οι υδροφόροι έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν ως αγωγοί αλλά και να αποθηκεύουν ως υπόγειοι ταμιευτήρες, υπόγειο νερό.



Εικόνα 1.7: Υπόγεια ύδατα στο φυσικό περιβάλλον.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των υδροφόρων συστημάτων, όπως έχουμε προαναφέρει, είναι:

- Μεταβλητότητα της υπόγειας ροής και αποθήκευσης ήτοι:
 - Οι ελεύθεροι υδροφόροι περιέχουν 5 – 10πλάσιο όγκο νερού από τον όγκο νερού που δέχονται με φυσικό εμπλουτισμό.
 - Οι υδροφόροι που έχουν μεγάλες αποδόσεις αλλά περιορισμένα αποθέματα, δηλαδή έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν μόνο μερικά εκατομμύρια m^3 όγκου νερού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι με τα Υδρομαστευτικά έργα επιφάνειας γίνεται ο εγκλωβισμός του ρέοντος ύδατος ή αυτού που ρέει στον αβαθή ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα. Σε αυτά ανήκουν οι υδρογεωτρήσεις μικρού βάθους και πολύ μεγάλης διαμέτρου, που αποτρέπουν μέσω της ειδικής κατασκευής τους την υφαλμύριση των υπό εκμετάλλευση υδροφορέων. Επιπλέον, η κατασκευή φρεατίων σε συνδυασμό με υδρομαστευτικές τάφρους, γίνεται με σκοπό τη μεγιστοποίηση της συγκέντρωσης νερού από τους υδροφόρους με μικρές δυναμικότητες.

- Μεταβλητότητα της αντίδρασης των ελεύθερων υδροφόρων στις μεταβολές των υδρομετεωρολογικών συνθηκών, ήτοι:
 - Ο φυσικός εμπλουτισμός των ελεύθερων υδροφόρων είναι σημαντικός ενώ των αρτεσιανών υδροφόρων είναι ασήμαντος έως ανύπαρκτος.
 - Ο μέσος φυσικός εμπλουτισμός είναι μεγαλύτερος των 25mm ετησίως στους ελεύθερους υδροφόρους με ημιπερατή οροφή, δηλαδή μη έχοντας

την δυνατότητα διέλευσης όλων των ουσιών – μικροοργανισμών, και φθάνει ή ξεπερνά τα 800mm στα συστήματα.

➤ Μεταβλητότητα της σχέσης τους με τα επιφανειακά νερά, ήτοι:

- Η σχέση μεταξύ των επιφανειακών νερών και των υπόγειων ταμιευτήρων μπορεί να κυμαίνεται από πλήρη ανεξαρτησία, μέχρι άμεση εξάρτησή τους και είναι ανάλογα από πού προέρχεται η τροφοδοσία των υδροφόρων νερών σε όλες τις δυνατές περιπτώσεις.
- Οι περισσότεροι υδροφόροι δρουν ως ένα ρυθμιστικό σύστημα του γενικού υδραυλικού συστήματος: απορροφούν ακραίες μεταβολές του υδρολογικού καθεστώτος.
- Το ισοζύγιο των ελεύθερων υδροφόρων σε ετήσια βάση σπανίως είναι ισοσκελισμένο. Κατά κανόνα παρουσιάζει είτε έλλειμμα είτε πλεόνασμα, που εκφράζεται σε έλλειμμα ή πλεόνασμα υπόγειου νερού. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται εναλλαγές θετικού ή αρνητικού υπολοίπου της διαφοράς Εμπλουτισμός - Εκφόρτιση.

Στόχος του εμπλουτισμού είναι η δημιουργία υδραυλικής ισορροπίας μέσω της ενίσχυσης της κατείδυσης και άλλων μέτρων αναπλήρωσης του δυναμικού των υδροφόρων στρωμάτων. Ένας μεταβλητός όγκος νερού εμπλουτίζει τον υδροφόρο ορίζοντα και ένας ομοίως μεταβλητός όγκος νερού εκφορτίζεται από το υδροφόρο σύστημα.

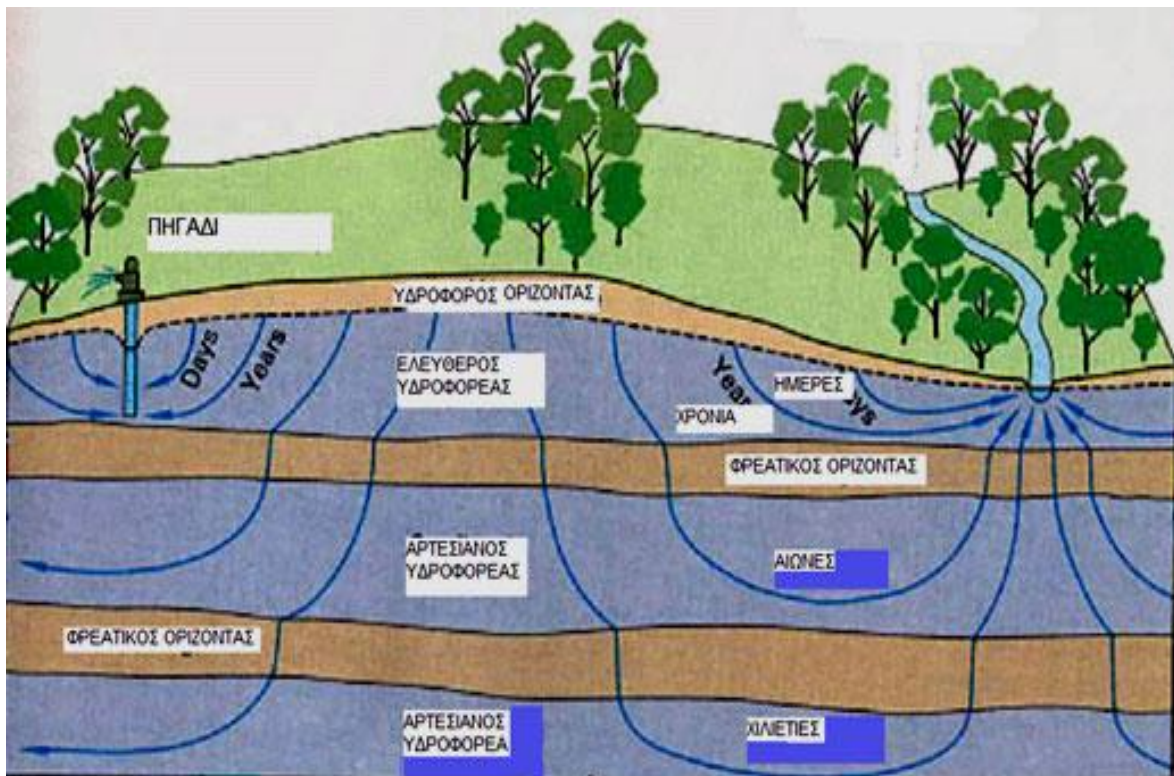
Ο ρυθμός εμπλουτισμού καθορίζεται από το ποσό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δε χάνονται με την εξατμισοδιαπνοή, την απορροή, την κατακόρυφη υδροπερατότητα και τέλος από τη μεταβαστικότητα και την πιεζομετρία στο υδροφόρο σύστημα. Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι είναι επικίνδυνες οι γενικεύσεις όσον αφορά την συμπεριφορά των υδροφόρων σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

➤ Η ευαισθησία στην ξηρασία μπορεί να επηρεάσει:

- Την μεταβλητότητα του υδραυλικού φορτίου. Το υδραυλικό φορτίο και οι διάφορες μεταβολές καθορίζουν κατά βάση την εναλλαγή στην ποσότητα των νερών στους υδροφορείς. Το υδραυλικό φορτίο είναι η πλέον ευαίσθητη μεταβλητή στις μεταβολές των εξωτερικών συνθηκών και ιδιαίτερα των συνθηκών εμπλουτισμού των υδροφόρων. Αυτό έχει ως συνέπεια τα αποτελέσματα της ξηρασίας να είναι πιο έντονα στο υδραυλικό φορτίο από ότι σε άλλες μεταβλητές.
- Εποχικότητα του φυσικού εμπλουτισμού. Ο φυσικός εμπλουτισμός είναι εντόνως εποχικός και λαμβάνει χώρα κυρίως κατά την χειμερινή περίοδο όπου τα υγρά φαινόμενα είναι πιο έντονα. Αυτή η εποχικότητα του εμπλουτισμού σε συνδυασμό με τις υπόγειες απορροές αλλά και τις

απολήψεις αντανακλώνται από αντίστοιχες μεταβολές του υδραυλικού φορτίου.

Ο φυσικός εμπλουτισμός των υδροφόρων λαβαίνει χώρα κυρίως την περίοδο μεταξύ Οκτωβρίου-Μαρτίου έως και Απριλίου (Οκτώβριος: χαμηλές στάθμες, Απρίλιος ή Μάιος: υψηλές στάθμες).



Εικόνα 1.8.: Κατανομή υπόγειων υδάτων.

Κεφάλαιο 2: Ρύπανση

2.1. Ρύπανση

Ρύπανση θεωρείται η δυσμενής μεταβολή των φυσικοχημικών ή βιολογικών συνθηκών ενός συγκεκριμένου περιβάλλοντος, καθώς η βραχυπρόθεσμη και η μακροπρόθεσμη βλάβη στην ευζωία την ποιότητα ζωής και την υγεία των ζωντανών οργανισμών (άνθρωποι, ζώα, φυτά κτλ). Η ρύπανση μπορεί να είναι χημική με την εισαγωγή επικίνδυνων ουσιών, ενεργειακή, βιολογική, αισθητική ηχητική και γενετική.

Ρύπανση νερού θεωρείται οποιαδήποτε υποβάθμιση της φυσικής ποιότητας του νερού. Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60 της Ε.Ε για την πολιτική των νερών, ρύπανση ορίζεται: η συνεπεία ανθρώπινων δραστηριοτήτων, άμεση ή έμμεση εισαγωγή, στον αέρα, το νερό ή το έδαφος, ουσιών ή θερμότητας που μπορούν να είναι επιζήμια για την υγεία του ανθρώπου ή την ποιότητα των υδατικών οικοσυστημάτων ή των χερσαίων οικοσυστημάτων που εξαρτώνται άμεσα από υδατικά οικοσυστήματα, συντελούν στη φθορά υλικής ιδιοκτησίας, ή επηρεάζουν δυσμενώς ή παρεμβαίνουν σε λειτουργίες αναψυχής ή σε λοιπές νόμιμες χρήσεις του περιβάλλοντος

2.1.1. Άμεση Ρύπανση

Άμεση ρύπανση είναι αυτή που μπορούμε να αντιληφθούμε. Για παράδειγμα η απόθεση τοξικών αποβλήτων απευθείας σε μία θάλασσα ή ένα ποτάμι, προκαλώντας άμεσο και αιφνίδιο θάνατο στην υδρόβια ζωή.

2.1.2. Έμμεση Ρύπανση

Έμμεση ρύπανση είναι αυτή που δεν μπορούμε να αντιληφθούμε εύκολα και κυρίως δεν είναι ορατή. Για παράδειγμα η απόθεση αποβλήτων σε ποσότητες τέτοιες που το υδάτινο οικοσύστημα δεν μπορεί να καθαρίσει, προκαλεί σταδιακές αλλαγές στα είδη που υπάρχουν μέσα σε αυτό. Η ρύπανση μπορεί να προκαλέσει μείωση οξυγόνου και αύξηση άλλων αερίων (υδρόθειο, αμμωνία κ.ά.) επικίνδυνων για την ζωή.

2.1.3. Ρύπανση ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία

Ρυπαντής ή ρύπος ή ρυπαντική ουσία είναι κάθε διαλυτή (υδρόφιλη π.χ. ανόργανα άλατα) ή αδιάλυτη (υδρόφοβη, π.χ. υδρογονάνθρακες, PCBs, διαλύτες κ.λπ.) στο νερό, ουσία, η οποία όταν εισάγεται στο περιβάλλον από ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλεί

δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι πιο συνηθισμένοι ρυπαντές, που με διάφορους τρόπους καταλήγουν στα νερά είναι:

- Βαρέα μέταλλα (*Hg, Pd, Cd κ.α.*)
- Τοξικά στοιχεία και ενώσεις (*As, Se, CN κ.α.*)
- Ανόργανες ενώσεις (NO_3^- , PO_4^{3-} , NO_2^- κ.α.)
- Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.α.).
- Ραδιενεργές ουσίες
- Παθογόνοι μικρο-οργανισμοί (βακτήρια και ιοί)

Ποιοτική υποβάθμιση των νερών συμβαίνει επίσης, λόγω θερμικής αλλοίωσης από νερά ψύξης των βιομηχανιών και από υφαλμύριση του γλυκού νερού στους παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες.

2.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων

Οι κυριότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων είναι:

- *Διαλυτότητα:* Είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα μεταφέρονται στους ταμιευτήρες πιο εύκολα με τα επιφανειακά νερά.
- *Πτητικότητα:* Είναι η ικανότητα που έχουν τα μόρια να διαφεύγουν από την επιφάνεια ενός υγρού και να μεταβαίνουν στην αέρια φάση.
- *Προσροφητικότητα:* Εκφράζει την ικανότητα προσρόφησης μιας ουσίας από τα σωματίδια του εδάφους.
- *Βαθμός αποσύνθεσης:* Είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποσυντεθεί μια ουσία π.χ. παρασιτοκτόνο, σε άλλες ενώσεις.
- *Συντελεστής κατανομής:* Περιγράφει τον τρόπο κατανομής ενός ρύπου μεταξύ δύο μέσων, π.χ. στερεού-υγρού, ατμών-υγρού.
- *Πίεση ατμών:* Είναι η πίεση που ασκούν οι ατμοί ενός υγρού, όταν το υγρό βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του και εκφράζεται με το νόμο του Raoult. Η σταθερά Henry (H) συνδέει τη μερική πίεση (Pμ) μιας πτητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της (C) στο

διάλυμα: $P_{\mu} = H \cdot C$ (νόμος Henry). Από αυτήν προκύπτει ότι η διαλυτότητα αερίου εντός υγρού (gr/L) υπό σταθερή θερμοκρασία είναι ανάλογη με την πίεση του αερίου σε ισορροπία με το υγρό.

- *Δείκτης βιοσυγκέντρωσης*: Εκφράζει την ποσότητα μιας ουσίας που μπορεί να συσσωρευθεί στους υδρόβιους οργανισμούς.
- *Τοξικότητα*: Είναι η πρόκληση δυσμενών επιπτώσεων στα οικοσυστήματα, όταν εκτεθούν στους ρύπους. Η έκθεση γίνεται μέσω της αναπνοής, της διατροφής και της επιδερμίδας. Η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρα δόση (LD50), που είναι η δόση (mg/kg σωματικού βάρους) στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών που εκτίθενται σε αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Όταν η έκθεση γίνεται με την αναπνοή, η τοξικότητα εκφράζεται με τη μέση θανατηφόρο συγκέντρωση (LC50), που είναι η συγκέντρωση του ρύπου σε ορισμένο όγκο αέρα που εισπνέεται, στην οποία επιβιώνει μόνο το 50% των οργανισμών. Τοξικοί ρύποι στα επιφανειακά νερά είναι: βαρέα μέταλλα (Hg, Cd, Pb, Cr κ.ά), οργανικές ενώσεις (παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα, απορρυπαντικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια PCBs, διοξίνες), τοξικά αέρια (Cl₂, NH₃), τοξικά ανιόντα, οξέα και αλκάλια. Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω τη πεπτικής οδού, με την αναπνοή και μέσω του δέρματος. Συσσωρεύονται κυρίως στο λίπος (PCBs), τα οστά (Pb, F), τα νεφρά (Cd) και το πλάσμα του αίματος.

2.2.1. Ταξινόμηση πηγών ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης ταξινομούνται ανάλογα με την γεωμετρία και χαρακτηρίζονται:

- ✓ Σημειακές: όταν προέρχονται από μια μοναδική θέση (ΧΥΤΑ, χωματερές, βόθροι, υπόγειες δεξαμενές)
- ✓ Γραμμικές: όταν οι πηγές ή οι αιτίες της ρύπανσης παρουσιάζουν μία επικρατέστερη γραμμική διάταξη (δρόμοι, αύλακες)
- ✓ Διάχυτες: όταν η πηγή ρύπανσης κατέχει μία εκτεταμένη περιοχή (νιτρορρύπανση, όξινη βροχή)

Επίσης, ταξινομούνται με τον ρυθμός εκπομπής ρυπογόνων ουσιών και χαρακτηρίζονται:

- ✓ Συνεχούς εκπομπής
- ✓ Στιγμαίας εκπομπής

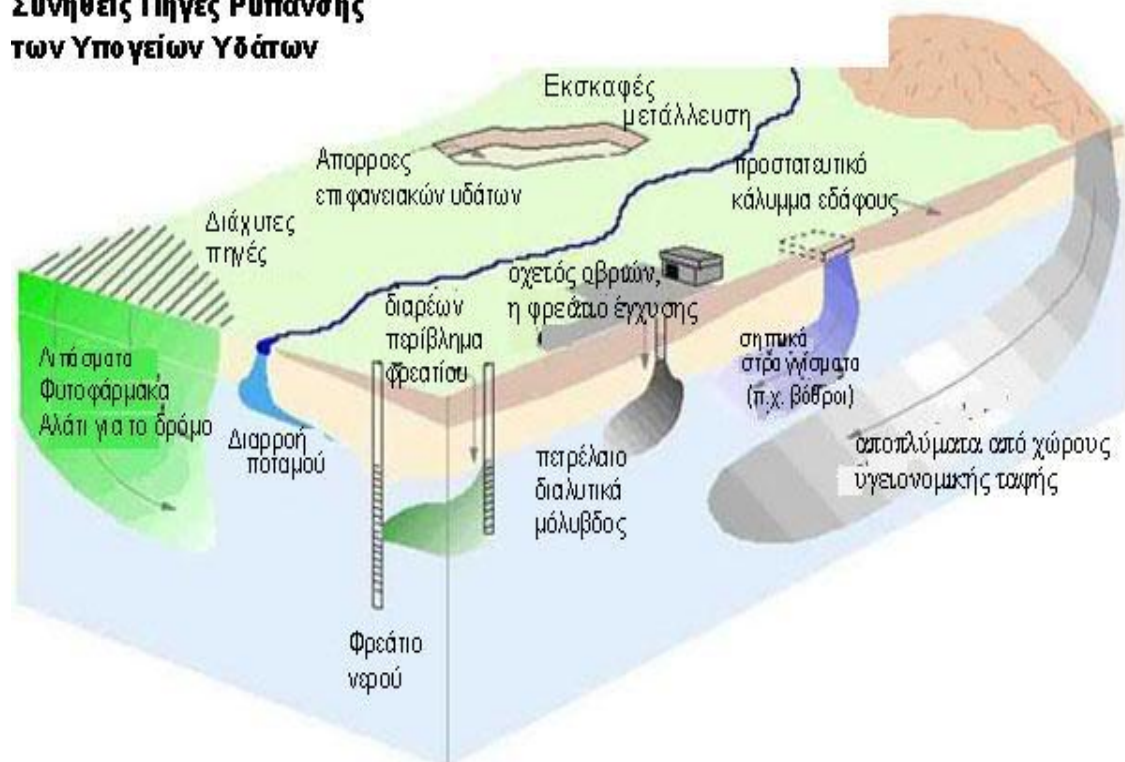
2.3. Ρύπανση των υδάτων

Με τον όρο ρύπανση υδάτων εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού των θαλασσών, λιμνών, ποταμών, ή υπόγειων νερών η οποία μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και τις βιοχημικές διαδικασίες και τις συνθήκες ζωής.

Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται με την απόθεση ουσιών που διαλύονται ή μη σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες. Οι ρύποι αυτοί είναι πολλοί και αυτό γιατί στον υδάτινο ορίζοντα καταλήγουν οι ρύποι και των άλλων συστημάτων, όπως είναι οι ρύποι της ατμόσφαιράς και του εδάφους μέσω των βροχών και της απορροής.

Η θερμική ρύπανση είναι μία διαφορετική μορφή ρύπανσης, η οποία προκαλεί άνοδο της θερμοκρασίας του νερού και πραγματοποιείται με την απελευθέρωση ενέργειας στο νερό υπό την μορφή θερμότητας ή ραδιενέργειας. Ρύπανση των υδάτων μπορεί να δημιουργηθεί από μικρο-οργανισμούς των οικιακών αποβλήτων, από οργανικές ουσίες όπως το πετρέλαιο και τα προϊόντα του και από τοξικά μέταλλα.

Συνήθεις Πηγές Ρύπανσης των Υπογείων Υδάτων



Εικόνα 2.1.: Συνήθεις πηγές ρύπανσης υδάτων.

2.3.1. Αποοξυγόνωση νερού

Τα νερά απειλούνται συχνά με την πλήρη ή την μερική αποοξυγόνωση. Δεν έχουν την δυνατότητα του αέρα που έχει σχεδόν πάντα σταθερή συγκέντρωση οξυγόνου ανεξάρτητα από την ρύπανση. Με την αυξανόμενη ρύπανση των υδάτων κυρίως, με οργανικές ύλες, παρουσιάζεται αύξηση της θερμοκρασίας με συνέπεια την μείωση του διαλυμένου οξυγόνου. Οι μικρο-οργανισμοί με την αναερόβια αναπνοή που κάνουν για την αποσύνθεση καταναλώνουν το υπάρχον οξυγόνο.

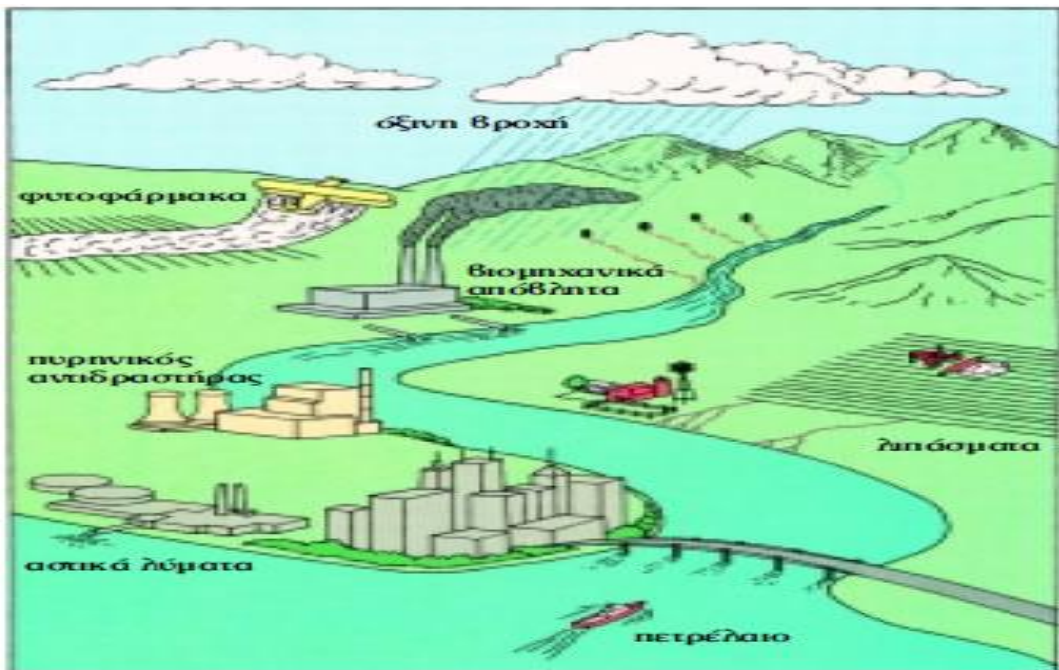
Όταν λοιπόν, ρυπαίνονται τα επιφανειακά νερά με απόβλητα που περιέχουν ουσίες, που αποσυντίθενται από μικρο-οργανισμούς, εκτός των άλλων περιορίζεται από τα νερά και το οξυγόνο, που είναι απαραίτητο για την επιβίωση των φυτικών και ζωικών υδρόβιων οργανισμών. Αποτέλεσμα όλων αυτών, είναι η καταστροφή των υδρόβιων οργανισμών αφού κινδυνεύουν από ασφυξία. Η ρύπανση από αστικά λύματα ή άλλα απόβλητα, που περιέχουν οργανικό φορτίο, μπορεί να απειλήσει με καταστροφή ένα ολόκληρο υδατικό οικοσύστημα.

2.4. Πηγές ρύπανσης υδάτων

Οι σπουδαιότερες πηγές ρύπανσης, οι οποίες επιβαρύνουν κατά αρχήν τα επιφανειακά νερά και κατ' επέκταση τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, μπορεί να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Αστικά λύματα, τα οποία είναι τα ακάθαρτα νερά πόλεων και οικισμών που προέρχονται από τις κατοικίες και διάφορες άλλες δραστηριότητες και μεταφέρονται μέσω των υπονόμων και του δικτύου διοχέτευσης σε χώρους που είναι επιφανειακοί ή υπόγειοι.
- Βιομηχανικά υγρά απόβλητα, που μπορεί να είναι παρόμοια με τα αστικά λύματα ή να περιέχουν και επικίνδυνα ή και τοξικά στοιχεία.
- Ρύπανση από πετρελαιοειδή.
- Αέριοι ρύποι, οι οποίοι προσκολλώνται σε αιωρούμενα σωματίδια και μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις και καταλήγουν στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στο νερό.
- Γεωργικά υγρά απόβλητα, δηλαδή, τα νερά απορροής εντατικά καλλιεργούμενων εκτάσεων που μπορεί να περιέχουν λιπάσματα - φυτοφάρμακα.

- Κτηνοτροφικά υγρά απόβλητα, τα υγρά απόβλητα που προέρχονται από μεγάλες ή μικρότερες μονάδες εκτροφής ζώων.
- Διείσδυση θαλασσινού νερού λόγω υπεράντλησης των υπόγειων νερών ή λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της αλλαγής του παγκόσμιου κλίματος.
- Όξινη βροχή εξαιτίας της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή κατακρήμνισης των αέριων ρύπων με τη βροχή, το χιόνι, τον άνεμο ή λόγω βαρύτητας.



Εικόνα 2.2.: Πηγές ρύπανσης.

2.4.1. Ρύπανση από αστικές και οικιακές δραστηριότητες

Οι ρύποι από αστικές και οικιακές δραστηριότητες των υπογείων νερών διακρίνονται σε:

- Στερεά απορρίμματα
- Αστικά λύματα.

Αν όμως τα κατάλοιπα της επεξεργασίας των ανωτέρων διατεθούν στο έδαφος τότε έχουν την δημιουργία και άλλου ρύπου από την πηγή. Αν τα στερεά απορρίμματα αφήνονται ανεπεξέργαστα στο έδαφος τότε ο κίνδυνος της ρύπανσης των υπογείων νερών είναι άμεσος από διασταλίζοντα υγρά. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές υγειονομικής ταφής για την αποφυγή και την μείωση των κινδύνων.

Τα αστικά λύματα ρυπαίνουν όχι μόνο από απευθείας διάθεση τους στο έδαφος αλλά και από τη διάθεση λάσπης των επεξεργασμένων καταλοίπων τους. Η σύσταση τους χημική και μικροβιακή, μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λύματα των συλλογικών δικτύων αλλά και των μεμονωμένων κατοικιών που συλλέγονται σε βόθρους. Στην κατηγορία των αστικών λυμάτων ανήκουν και οι τύποι ρύπανσης που αφορούν χημικές ουσίες που διαρρέουν μέσω των οδοστρωμάτων, τέτοιοι είναι η διαρροή ενός αγωγού αποχέτευσης, η χρήση αλατιού στο ξεπάγωμα του δρόμου ακόμα και τα υγρά που πέφτουν στο έδαφος μετά από ένα τροχαίο ατύχημα.

2.4.2. Ρύπανση από βιομηχανικές δραστηριότητες

Η ρύπανση των υπογείων νερών από τις βιομηχανικές δραστηριότητες είναι ποικίλη και βασίζεται στις οργανικές και ανόργανες ουσίες και ενώσεις που μπορούν να χαρακτηριστούν ρύποι. Ο βασικός διαχωρισμός τους γίνεται σε:

- Βιομηχανικά απόβλητα που διατίθενται στον αέρα, το έδαφος, τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά,
- Διαρροές
- Ατυχήματα

Τα υγρά απόβλητα αποτελούνται από υψηλές συγκεντρώσεις αλάτων, καθώς και από οξέα και οργανικές ενώσεις που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα. Ο πιο κοινός τρόπος διάθεσης τους είναι απευθείας σε επιφανειακές δεξαμενές, στοές, λεκάνες, ή βαθιά πηγάδια. Τα στερεά απόβλητα τοποθετούνται σε ειδικούς χώρους ταφής, αλλά με την βροχή και το διηθούμενο νερό διασταλάζουν ρύπους. Οι διαρροές αφορούν κυρίως τους αγωγούς μεταφοράς και τις δεξαμενές αποθήκευσης ρευστών π.χ. πετρελαιοειδή ή διάφορα χημικά προϊόντα. Οι διαρροές από αγωγούς μπορούν να χαρακτηρισθούν και ως ατυχήματα, εφόσον η διάρκεια τους είναι μικρή.

Σαν ρύπανση από ατυχήματα μπορεί να χαρακτηριστούν και αυτά που γίνονται κατά τη μεταφορά χημικών ή πετρελαιοειδών με μέσα μεταφοράς, έχοντας κάποιο ατύχημα κατά την μετακίνηση τους. Επειδή σε τέτοια ατυχήματα ο μεγάλος κίνδυνός είναι η έκρηξη για την διασφάλιση της απότρεψης αυτής γίνεται έκπλυση στην περιοχή με μεγάλη ποσότητα νερού. Επομένως έχουμε την διείσδυση των ρύπων στους υποκείμενους υδροφορείς.

Στην πρώτη κατηγορία των βιομηχανικών ρύπων είναι τα μέταλλα, τα οποία τις περισσότερες φορές βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις αλλά η επικινδυνότητα λόγω της τοξικότητας τους είναι μεγάλη. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν και τα άλατα που προέρχονται είτε από βιομηχανικές δραστηριότητες είτε από διαρροές ατυχημάτων, σε αυτές τις περιπτώσεις κανείς μπορεί να καταμετρήσει χιλιάδες βλαβερούς ρύπους. Εξίσου επικίνδυνοι ρύποι είναι και αυτοί που προκαλούνται από εντομοκτόνα και φυτοφάρμακα,

όπου σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν και τα πετρελαιοειδή με κοινό χαρακτηριστικό την αδιαλυτότητα τους στο νερό.

Τέλος, οι οργανικές ενώσεις από άλλες βιομηχανίες, όπως επεξεργασίας τροφίμων, χαρτιού κτλ., αποτελούν σημαντικό ποσοστό του συνόλου των ρύπων που διατίθενται στο έδαφος, η μόνη προς το παρόν συνέπεια είναι η αύξηση του οργανικού του φορτίου.

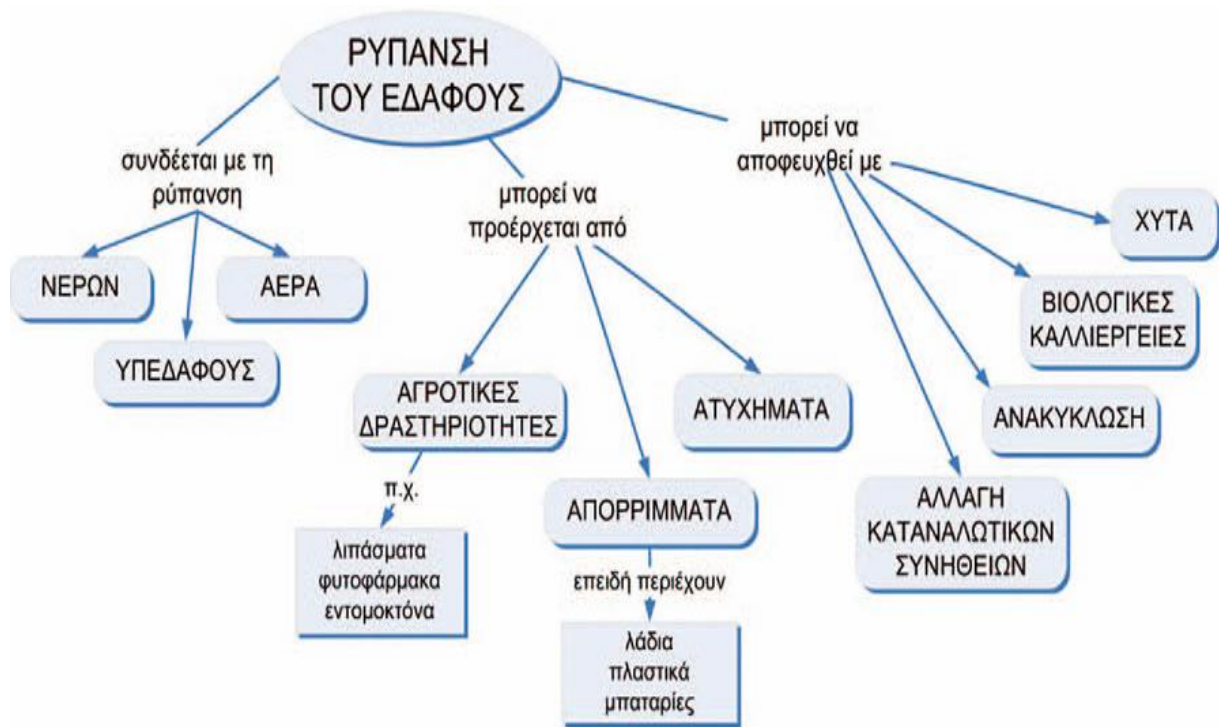
				
<p>Έλεγχος της ρύπανσης από τα αστικά απόβλητα</p>	<p>Έλεγχος της ρύπανσης από τα βιομηχανικά απόβλητα</p>	<p>Έλεγχος της ρύπανσης από τα κτηνοτροφικά απόβλητα</p>	<p>Έλεγχος της ρύπανσης από τα απόβλητα της εξορυκτικής βιομηχανίας</p>	<p>Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχος της Ρύπανσης</p>
				
<p>Διαχείριση των Νερών Κολύμβησης</p>	<p>Νιτρορύπανση</p>	<p>Χρήση Λάσπης στη Γεωργία.</p>	<p>Προστασία των υπόγειων υδάτων</p>	<p>Επικίνδυνες ουσίες και Ουσίες Προτεραιότητας</p>

Πίνακας 2.1.: Έλεγχος ρύπανσης σε διάφορους τομείς.

2.4.3. Ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες

Η ρύπανση από αγροτικές δραστηριότητες του υπογείου νερού προκαλείται από ζωικά λύματα, άλατα αρδεύσεων και τα διάφορα χημικά προϊόντα που εφαρμόζονται στους αγρούς. Οι ανόργανες και οργανικές ενώσεις αζώτου, φωσφόρου και του καλίου που υπάρχουν στα εμπορικά λιπάσματα, εντομοκτόνα και ζιζανιοκτόνα θεωρούνται ρυπαντές μικρής κλίμακας.

Σημειακή ρύπανση, δηλαδή μικρής έκτασης μπορεί να προκληθεί από δραστηριότητες τοπικού χαρακτήρα που αφορούν την απόθεση ζωικών, φυτικών, γεωργοχημικών ουσιών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Μεγάλος κίνδυνος για τα υπόγεια ύδατα, που προέρχονται από αγροτικές δραστηριότητες αφορά τα αζωτούχα λιπάσματα. Για την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών κάνουν χρήση αυξημένης ποσότητας και σε μεγάλες εκτάσεις. Η ρύπανση αυτού του είδους αγγίζει ιδιαίτερα την Ελλάδα, λόγω της ανεπτυγμένης γεωργίας.



Διάγραμμα 2.1.: Συγκεντρωτικό Διάγραμμα πηγών ρύπανση.

2.4.4. Ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες.

Η ρύπανση από ραδιενεργές ουσίες που διοχετεύονται και οδηγούνται στα υπόγεια ύδατα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Οι πιο σημαντικές πηγές της κατηγορίας αυτής είναι:

- Ύπαρξη στο υπόγειο νερό ραδιενεργών ουσιών ή στοιχείων φυσικής προέλευσης
- Αστοχίες δοκιμών ατομικών όπλων
- Ειρηνικές χρήσεις της ατομικής ενέργειας.

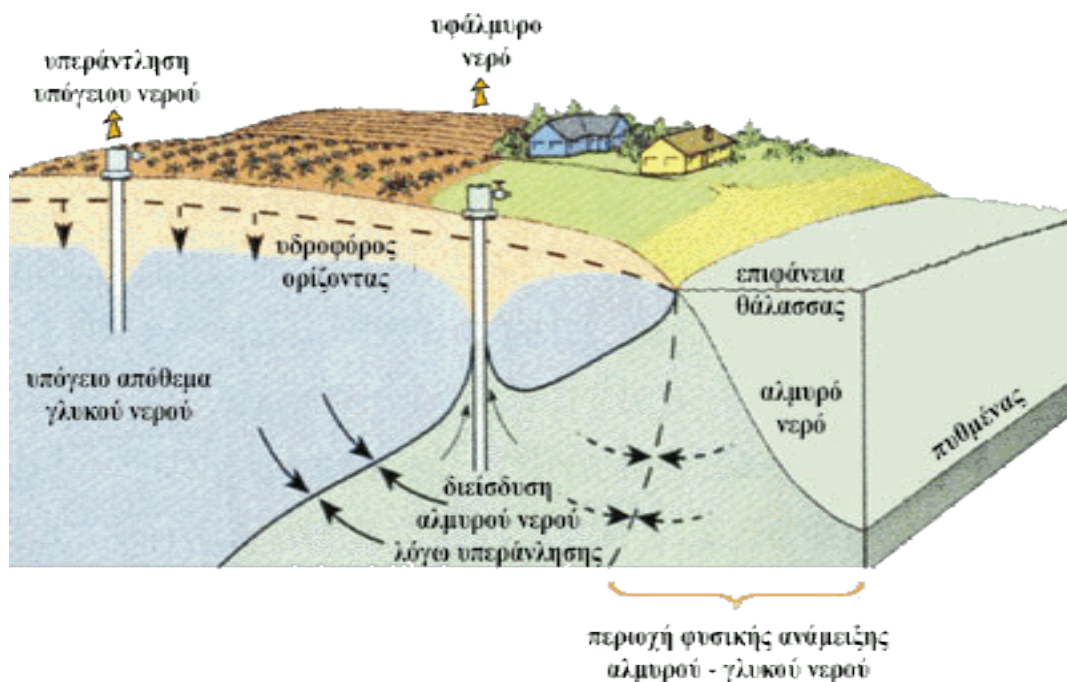
Ο μεγαλύτερος κίνδυνος προέρχεται από τους πυρηνικούς πυρηνικούς αντιδραστήρες. Ειδικά για τα υπόγεια νερά το υπ' αριθμόν ένα πρόβλημα αποτελεί η διάθεση των ραδιενεργών αποβλήτων στο έδαφος. Η διάθεση αυτή πρέπει να γίνεται λοιπόν με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη συνιστά πηγή κινδύνων για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, το θέμα της ρύπανσης από ραδιενεργές ουσίες δεν απασχολεί άμεσα την Ελλάδα, παρά μόνον έμμεσα λόγω της ύπαρξης πυρηνικών σταθμών στην γειτονική Βουλγαρία.

2.4.5. Ρύπανση από φυσικές διεργασίες

Οι πηγές προέλευσης της ρύπανσης υπογείων υδάτων από φυσικές διεργασίες είναι:

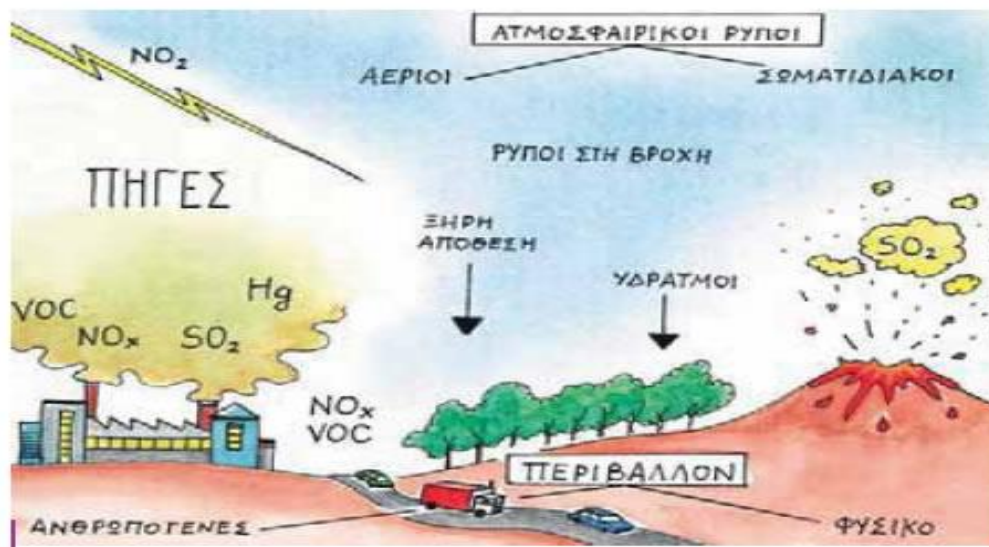
- Διείσδυση θαλασσινού νερού
- Ρύποι της ατμόσφαιρας
- Επαγωγικός εμπλουτισμός υδροφορέων με ακάθαρτα επιφανειακά νερά
- Θερμική ρύπανση

Η διείσδυση του θαλασσινού νερού αποτελεί τύπο ρύπανσης και μπορεί είτε να προκληθεί από τον άνθρωπο με υπεραντλήσεις είτε από γεωλογικά φαινόμενα και παλαιότερες γεωλογικές μεταβολές. Πρόκειται ίσως για τον σημαντικότερο τύπο ρύπανσης φυσικής προέλευσης ειδικά για την Ελλάδα που έχει ένα τεράστιο μήκος ακτών κατά μήκος των οποίων έχουν αναπτυχθεί πολλοί οικισμοί, χωριά ή και πόλεις.



Εικόνα 2.3.: Τρόποι διείσδυση θαλασσινού νερού.

Η ρύπανση των υπογείων νερών από ρύπους της ατμόσφαιρας γίνεται μέσω της βροχής. Ρύποι από εκπομπές βιομηχανιών, καυσαέρια από διαφορές πηγές, ακόμα ο επαγωγικός εμπλουτισμός από επιφανειακούς αποδέκτες, όπως ποτάμια ή λίμνες, που συνδέονται υδραυλικά μ' αυτούς, έχει ως συνέπεια τη μεταφορά ρύπων από τα επιφανειακά στα υπόγεια νερά. Οι ρύποι είναι συνήθως οργανικές και ανόργανες ενώσεις καθώς και βακτήρια και ιοί.



Εικόνα 2.4: Πηγες ρύπανσης.

Η θερμική ρύπανση των υπογείων νερών και η ρύπανση από τεχνητό εμπλουτισμό είναι ρύποι μικρής έκτασης και δεν προκαλούν πολλά προβλήματα. Για ρύπανση των υπογείων νερών πρέπει να επισημανθεί ότι οι επιστήμονες κάνουν συστηματικές έρευνες που συνδυάζουν τόσο την υδρογεωλογική διερεύνηση όσο και τη χημική ανάλυση των τόσων πολλών κατηγοριών ρύπων που εμφανίζονται στο υπόγειο νερό.

Φυσική συνέπεια αυτής της δραστηριοποίησης είναι η δημιουργία ενός νέου κλάδου που ονομάζεται χημική υδρογεωλογία και που έχει ως βασικό στόχο τη μελέτη της εμφάνισης, κατανομής και εξέλιξης των χημικών ουσιών σε συστήματα υδροφορέων.

2.4.5.1. Όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα.

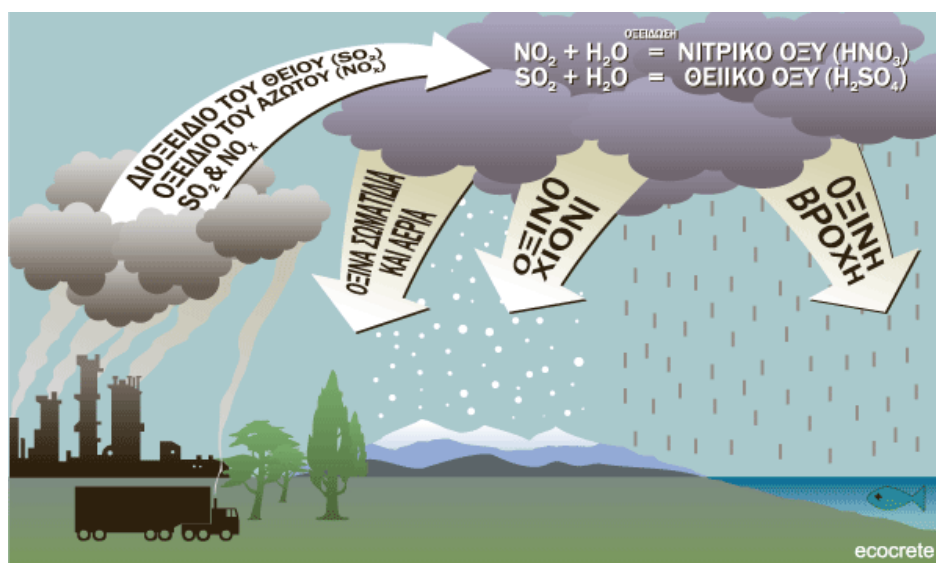
Στην κατηγορία των ρύπων με φυσικές διεργασίες όπως προαναφέραμε ανήκει η βροχή όπου με την κατάπτωσή της διεισδύει στο έδαφος και από εκεί στα υπόγεια ύδατα. Μία ακόμη πηγή ρύπανσης των εδαφών είναι και η όξινη βροχή. Η όξινη βροχή, δημιουργείται όταν από διάφορες βιομηχανίες, από τα αυτοκίνητα, τους σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούν ως καύσιμες ύλες γαιάνθρακες ή πετρέλαια, βγαίνουν αέρια

όπως διοξείδιο του θείου και αυτά ενώνονται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και σχηματίζουν θειικό οξύ.

Η όξινη βροχή δημιουργεί φθορά με την πάροδο των χρόνων στα κτίρια, αγάλματα και σε άλλα μαρμάρινα μνημεία. Επίσης απειλεί τη ζωή του πλανήτη μας και μολύνει τα νερά των ποταμών και των λιμνών θέτοντας σε κίνδυνο τη χλωρίδα και τη πανίδα. Σήμερα, πολλά κράτη καταβάλλουν προσπάθειες για τον περιορισμό των ρύπων που εκπέμπονται ιδιαίτερα σε βιομηχανικές περιοχές.

Οι καταστροφικές επιπτώσεις της όξινης βροχής παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά στα δάση του Μέλανα Δρυμού (Γερμανία κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1970). Η όξινη βροχή έχει αποτελέσει σήμερα μια από τις σοβαρότερες μορφές ρύπανσης του περιβάλλοντος σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής. Μπορεί να εκδηλωθεί μακριά από την πηγή σε άλλες περιοχές και να απειλήσει τις γειτονικές περιοχές. Οι ομίχλες με υψηλή οξύτητα μολύνουν κυρίως τις λίμνες και τους χείμαρρους, γεγονός εξαιρετικά επικίνδυνο για την επιβίωση των ψαριών και των άλλων υδρόβιων οργανισμών. Γενικά όλες οι μορφές όξινων κατακρημνισμάτων, αποδείχτηκε ότι είναι εξαιρετικά επιζήμιες για πολλά είδη βλάστησης, όπως είναι οι αγροτικές καλλιέργειες και τα δάση, κυρίως επειδή δυσχεραίνουν τη πρόληψη του αζώτου από τα φυτά και παρασύρουν τα θρεπτικά συστατικά από τα φύλλα τους.

Λέγοντας όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα εννοούμε την βροχή, τα χιόνια, το χαλάζι, την ομίχλη, τα οποία έχουν pH λιγότερο από 5,6. Το pH με την επίδραση του ανθρακικού οξέος από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας μπορεί να είναι σε φυσιολογικές βροχές 5,6 – 6, όταν όμως περιέχονται διοξείδιο του θείου SO_2 και οξείδιο του αζώτου NO_2 το pH μειώνεται σημαντικά με όλα τα δυσμενή αποτελέσματα που προαναφέραμε.

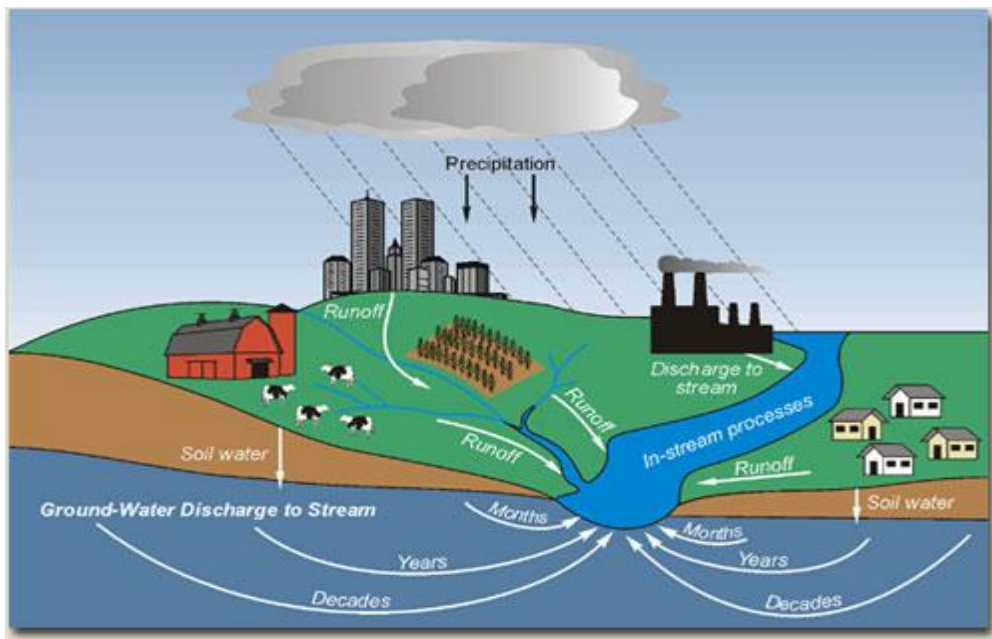


Εικόνα 2.5.: Όξινα μετεωρικά κατακρημνίσματα.

2.5. Ο κίνδυνος της ρύπανσης των υδάτων στην ζωή του άνθρωπου

Όπως προαναφέραμε στα προηγούμενα κεφάλαια, τα υπόγεια ύδατα είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση και δεν έχουν ικανότητα αυτοκαθαρισμού. Η κατάληξη αστικών λυμάτων, ξεπλυμάτων εδάφους από εντατική χρήση χημικών λιπασμάτων, αλλά και κτηνοτροφικών αποβλήτων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα έχει ως κύριο αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών αλάτων. Εξαιτίας αυτής της ρύπανσης, τα υπόγεια νερά γίνονται επικίνδυνα για τον άνθρωπο και τους ζωικούς οργανισμούς.

Τα νιτρικά, ενώσεις του αζώτου, είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο αν ξεπεράσουν τα 50 mg/l στο πόσιμο νερό και στα 500 mg/l γίνονται επικίνδυνα και για τα ζώα. Η ρύπανση του εδάφους με τοξικές ουσίες ή βιομηχανικά απόβλητα μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων ή άλλων τοξικών ουσιών στα υπόγεια νερά. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο και δαπανηρό να καθαρίσουμε τα υπόγεια νερά από επικίνδυνες και τοξικές ουσίες.



Εικόνα 2.6.: Κίνηση υπογείων υδάτων, κύκλος νερού με την παρέμβαση του ανθρώπου.

2.5.1. Μόλυνση νερών

Μια άλλη διαφορετική μορφή επιβάρυνσης των υπόγειων νερών είναι η μόλυνσή τους, δηλαδή η παρουσία παθογόνων μικρο-οργανισμών. Αυτή οφείλεται κατά κανόνα σε αστικά ή κτηνοτροφικά λύματα. Η ανίχνευση των παθογόνων μικρο-οργανισμών στο νερό μπορεί να γίνει και έμμεσα, μέσω της μέτρησης, για παράδειγμα, των κολοβακτηριδίων.

2.5.2. Ρύπανση πόσιμου νερού

Το πόσιμο νερό πρέπει να είναι το καλύτερο ελεγχόμενο μέσο διατροφής. Για τον λόγο αυτό, η νομοθεσία προσδιορίζει τις συγκεντρώσεις διαφόρων ουσιών, που επιτρέπεται να υπάρχουν μέσα στο πόσιμο νερό, ώστε να ανταποκρίνεται στις υψηλές ποιοτικές προδιαγραφές, που απαιτούνται σε σχέση με αυτό το σημαντικό για τη ζωή μας αγαθό.

Η τεχνολογία που διατίθεται σε αρκετές χώρες είναι σε θέση να ανιχνεύει στο νερό ιχνοστοιχεία, που βρίσκονται σε συγκεντρώσεις του δισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου ανά λίτρο. Αν και τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες, περίπου 1200 χημικά είδη, που περιέχουν 230 δραστικές ουσίες κυκλοφορούν στο εμπόριο και χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες ως φυτοφάρμακα, λιπάσματα ή ζιζανιοκτόνα. Πολλά από τα φυτοφάρμακα είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στο χρόνο και γι' αυτό εξαιρετικά επικίνδυνα, όταν καταλήγουν στο νερό. Το όριο που έχει υιοθετηθεί για την περιεκτικότητα σε φυτοφάρμακα είναι 0,5 μικρογραμμάρια (εκατομμυριοστό του γραμμαρίου) ανά λίτρο συνολικά, και ειδικά για ορισμένα οργανο-χημικά (τα ίδια ή τα προϊόντα αποικοδόμησής τους είναι ιδιαίτερα τοξικά) το όριο είναι το 0,1 μικρογραμμάρια ανά λίτρο.



Εικόνα 2.7.: Πόσιμο νερό, μπορεί η ρύπανση του να μην είναι φανερή.

2.6. Η μεταφορά των ρύπων στους υδροφορείς.

Για την σωστή αποτύπωση της μεταφοράς των ρύπων στο έδαφος, απαιτείται μελέτη για την εύρεση του φυσικοχημικού μηχανισμού που αναπτύσσεται σε κάθε έδαφος. Η επιτυχία ενός μοντέλου προσομοίωσης φαινομένων, μεταφοράς ρύπων στο έδαφος και στο υπόγειο νερό εξαρτάται από τον βαθμό αντίληψης και κατανόησης των διεργασιών και διαδικασιών που τα επηρεάζουν.

Τα βασικά στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για τους ρύπους στους υδροφορείς είναι:

- Η εγκατάσταση ενός συστήματος μετρήσεων και ελέγχου.

- Η πρόβλεψη του χρόνου άφιξης και οι τιμές συγκέντρωσης των ρύπων στις θέσεις ελέγχου.
- Ο σχεδιασμός ενός οικονομικού και ασφαλούς συστήματος διάθεσης αποβλήτων.
- Η ανάπτυξη εφικτών και οικονομικά αποδεκτών λύσεων για την εξυγίανση μολυσμένων υδροφορέων.

Οι ρύποι που εισέρχονται στα υπόγεια νερά κινούνται κυρίως με οριζόντια κατεύθυνση. Η κίνηση τους καθορίζεται από την υδραυλική κλίση. Η συγκέντρωση των ρύπων κατά την διάρκεια της μεταφοράς τους μειώνεται εξαιτίας διαφόρων διεργασιών όπως είναι:

- ✓ Διασπορά
- ✓ Προσρόφηση
- ✓ Διαφορές χημικές αντιδράσεις
- ✓ Μικροβιακή αποδόμηση
- ✓ Ρυθμός διάθεσης των ρύπων στο έδαφος
- ✓ Σχετική απόσταση που διανύει ο ρύπος

Οι φυσικές διεργασίες επηρεάζουν με τον ίδιο τρόπο όλες τις κατηγορίες των ρύπων, ενώ σε αντίθεση οι άλλες (η προσρόφηση, διαφορές χημικές αντιδράσεις, αποδόμηση), έχουν διαφορετικές επιδράσεις και κατά συνέπεια άλλους ρυθμούς μεταβολής.

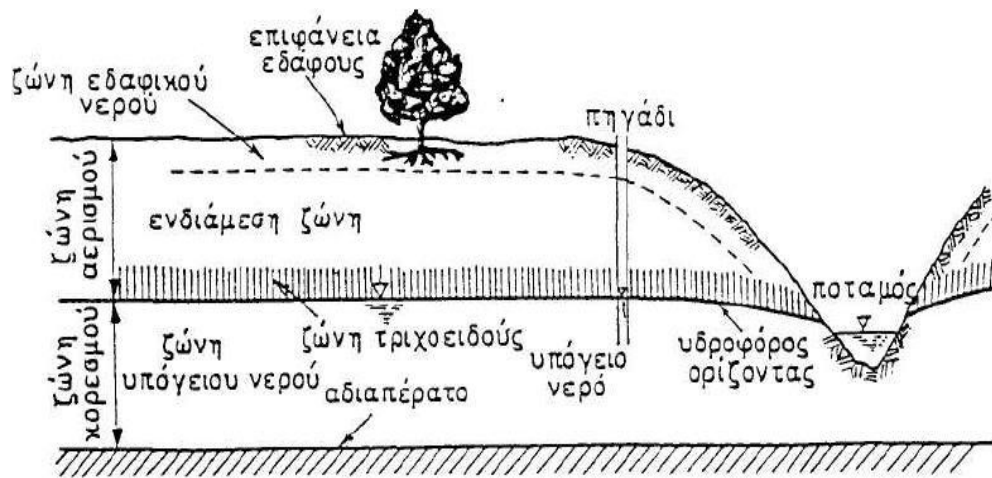
Η ανάπτυξη αυτών των φαινομένων γίνεται σε ένα πλαίσιο πολυπλοκότητας του καιρού και σε συνδυασμό με την μεγάλη ποικιλία των ρύπων καθιστά αδύνατη την κατηγοριοποίηση τους σε παράγοντες που τα επηρεάζουν. Έτσι δημιουργήθηκαν διάφορα μαθηματικά μοντέλα για την προσομοίωση και την πρόγνωση της εξέλιξης των φαινομένων. Στόχος είναι να περιγραφούν συνοπτικά οι μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων στους υδροφορείς, έστω αργότερα να γίνουν πιο εύκολα κατανοητοί οι τρόποι επίλυσης των προβλημάτων.

Στο σχήμα 2.1. παρατηρούμε την ζώνη του εδαφικού νερού του αερισμού κι του κορεσμού. Πως αυτές συνδέονται με την ενδιάμεση ζώνη, την διαχωριστική ζώνη τριχοειδούς του υδροφόρου ορίζοντα και την ζώνη των υπόγειων νερών. Για την κατανόηση του σχήματος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ροή του νερού στους υδροφορείς αναφέρεται συνήθως ως ροή σε πορώδη μέσα, αφού έτσι χαρακτηρίζονται όλα τα πετρώματα και εδάφη που αποτελούνται από ένα στερεό σκελετό με τη μορφή συνάθροισης στερεών κόκκων που διαχωρίζονται και περιβάλλονται από διάκενα, δηλαδή πόρους ή ρωγμές.

Το βασικό κριτήριο για την ταξινόμηση των υδροφορέων αποτελεί η θέση της ανώτατης στάθμης του νερού στο έδαφος, παρατηρούνται δύο ζώνες και είναι οι εξής:

- Ζώνη αερισμού ή ακόρεστη ζώνη
- Ζώνη κορεσμού ή κορεσμένη

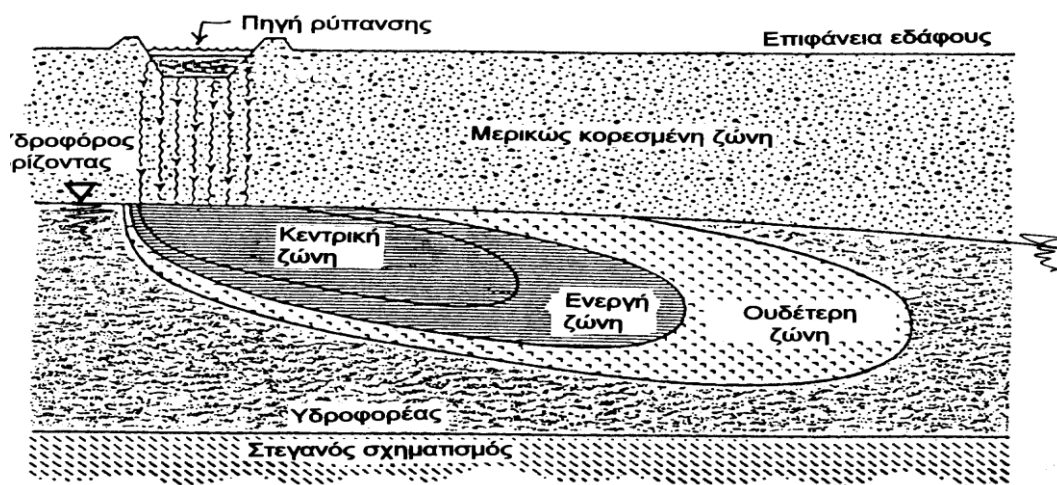
Το άνω όριο της ζώνης κορεσμού ονομάζεται υδροφόρος ή φρεάτιος ορίζοντας. Η κίνηση του νερού στη ζώνη αερισμού γίνεται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, ενώ στη ζώνη κορεσμού γίνεται οριζόντια.



Σχήμα 2.1. : Κατανομή νερού στους υπόγειους ταμιευτήρες.

2.6.1. Μηχανισμοί Ρύπανσης Υπεδάφους και Υπόγειων Υδάτων.

Όπως αναφέρθηκε οι ρύποι όταν διαφύγουν από την περιοχή απόθεσης τους κινούνται διαμέσου της μερικώς κορεσμένης ζώνης. Ένα μέρος των ρύπων παραμένει στο έδαφος λόγω γεωχημικής εισρόφησης ή λόγω μηχανικής συγκράτησης. Οι υπόλοιποι ρύποι φτάνουν στον υδροφόρο ορίζοντα. Οι ρύποι που έχουν εισχωρήσει στον υδροφόρο ορίζοντα διαλύονται στο νερό και ακολουθούν την πορεία των υπογείων υδάτων. Κατά την κίνησή τους οι ρύποι υπόκεινται σε διαφορές μηχανικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που έχουν ως αποτέλεσμα την επέκταση της ρύπανσης, την αραίωση των ρύπων και την βαθμιαία υποβάθμιση και κατά συνέπεια την εξασθένηση του ρυπαντικού φορτίου.



Σχήμα 2.2.: Κίνηση ρύπων εντός του εδάφους.

2.6.2. Φυσικοί μηχανισμοί μεταφοράς ρύπων.

Οι μηχανισμοί μεταφοράς των ρύπων εξαρτώνται από το ένα τα εδαφικά υλικά είναι κορεσμένα ή μερικώς κορεσμένα και αφορούν την κατηγορία των ρύπων που μπορεί να αναμειχθούν με το υπόγειο νερό. Εξαιρούνται από την κατηγορία αυτή τα πετρελαιοειδή, γιατί κατατάσσονται στους επιπλέοντες ρύπους και οι μηχανισμοί μεταφοράς διαφέρουν.

Τρεις είναι οι βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς των ρύπων και είναι οι εξής:

➤ **Μεταγωγή ή υδραυλική μεταφορά:**

Ο ρύπος παρασύρεται από το υπόγειο νερό. Η κίνησή του πραγματοποιείται διαμέσου των πόρων λόγω υδραυλικής κλίσης από περιοχές υψηλής ενέργειας προς περιοχές χαμηλής ενέργειας. Η συγκέντρωση του ρύπου σε μια συγκεκριμένη θέση μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου και αυτό οφείλεται στην συνεχόμενη τροφοδοσία του με νέα μόρια νερού. Τέλος αν η υδραυλική κλίση είναι μηδενική τότε ο ρύπος δεν μετακινείται.

➤ **Διάχυση ή μοριακή διάχυση:**

Ο ρύπος διαχέεται εντός του υπόγειου νερού λόγω διαφοράς συγκέντρωσης από θέση σε θέση. Ο ρύπος κινείται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές με χαμηλότερη συγκέντρωση. Με τον μηχανισμό αυτό η μετακίνηση του ρύπου δεν εξαρτάται από την κίνηση του νερού επομένως, η διάχυση συμβαίνει και στην περίπτωση που το νερό είναι στάσιμο.

Άρα ισχύει ο νόμος του Fick δηλαδή όταν η συγκέντρωση της ύλης δεν είναι ομοιόμορφη σε ένα χώρο, τότε αυτή ρέει σε αυτόν τον χώρο. Το αποτέλεσμα της ροής είναι να μεταβάλλεται η συγκέντρωση μέχρις ότου να δημιουργηθεί μια δυναμική ισορροπία. Άρα, δεν μεταβάλλεται η συγκέντρωση, ωστόσο εξακολουθούν να υπάρχουν ροές οι οποίες αλληλοεξουδετερώνονται. Ο νόμος Fick περιγράφεται από το παρακάτω τύπο:

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

Όπου:

J → Η ποσότητα της ύλης που διέρχεται ανά μονάδα επιφάνειας,

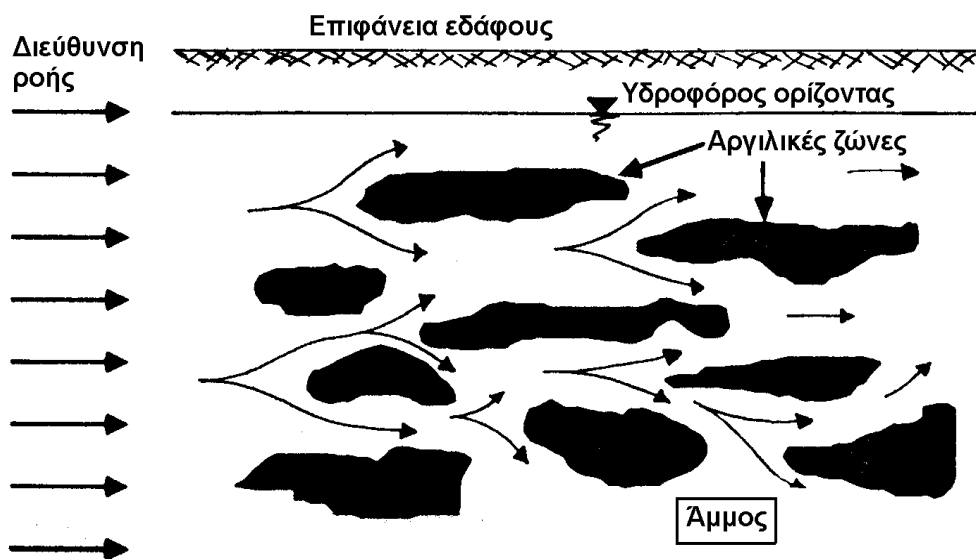
$\frac{\partial c}{\partial x}$ → Η μεταβολή της συγκέντρωσης ανά μονάδα απόστασης και D η σταθερά διάχυσης.

D → Η σταθερά διάχυσης

➤ **Διασπορά ή μηχανική διασπορά:**

Ο μηχανισμός αυτός της ρύπανση οφείλεται στην παρουσία αλληλοσυνδεδεμένων πόρων του εδαφικού σκελετού με τυχαίες διευθύνσεις. Ο ρύπος παρασύρεται από το υπόγειο νερό και ακολουθεί την τυχαία και ακανόνιστη κατεύθυνση του. Το αποτέλεσμα της διάχυσης και της διασποράς είναι το ίδιο μακροσκοπικά. Για το συνδυασμένο μηχανισμό της διάχυσης και της διασποράς χρησιμοποιείται ο όρος υδροδυναμική διασπορά. Η βασική διαφορά είναι ότι η διάχυση είναι μοριακό φαινόμενο, ενώ όσον αφορά τη διασπορά, πρόκειται για μεταγωγή σε μικροσκοπική κλίμακα.

Οι μηχανισμοί μπορούν να δράσουν ταυτοχρόνως αλλά και ανταγωνιστικά (σχήμα 2.3.), ο μηχανισμός της μεταγωγής προκαλεί κίνηση του ρύπου από δεξιά προς τα αριστερά (δηλαδή από την περιοχή υψηλού υδραυλικού φορτίου προς την περιοχή χαμηλότερου υδραυλικού φορτίου), ενώ η μοριακή διάχυση προκαλεί κίνηση του ρύπου από αριστερά προς τα δεξιά (δηλαδή από την περιοχή υψηλής συγκέντρωσης του ρύπου προς την περιοχή χαμηλότερης συγκέντρωσης).



Σχήμα 2.3.: Μηχανική διασπορά της ρύπανσης κατά την κίνηση του υπόγειου νερού διαμέσου των εδαφικών πόρων.

Οι προαναφερόμενοι φυσικοί μηχανισμοί διέπουν τη μεταφορά των ρύπων σε πορώδη υλικά. Η μεταφερόμενη μάζα των ρύπων επηρεάζεται και από άλλες μή-μηχανικές διεργασίες, που έχουν ως αποτέλεσμα τη βαθμιαία μείωση δηλαδή, την υποβάθμιση του ρυπαντικού φορτίου. Οι διεργασίες αυτές συνοπτικά είναι οι εξής:

➤ **Βιολογικές και βιοχημικές διεργασίες:**

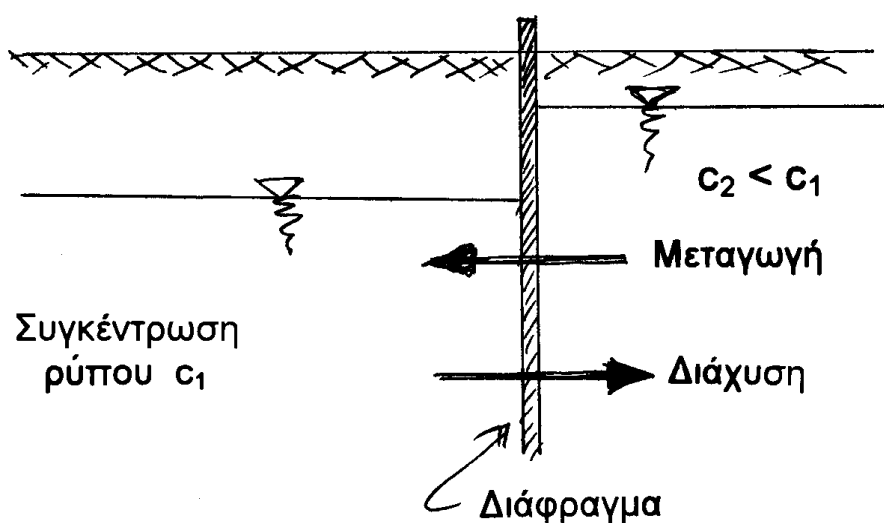
Η αποσύνθεση των οργανικών ρύπων και η αποδόμηση ποικίλων ρύπων μέσω μικρο-οργανισμών, αερόβιων και αναερόβιων.

➤ **Χημικές διεργασίες:**

Η εισρόφηση ρύπων στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών που αποτελούν τους εδαφικούς κόκκους, η ανταλλαγή ιόντων μεταξύ ρύπων και εδαφικών κόκκων και η καθίζηση, οξείδωση και αναγωγή ρύπων ανάλογα με τις υδρογεωχημικές συνθήκες του υπόγειου νερού και των εδαφικών σχηματισμών.

➤ **Πυρηνικές διεργασίες:**

Η βαθμιαία διάσπαση των ραδιενεργών ισοτόπων με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 2.4.: Ανταγωνιστική δράση των μηχανισμών μεταγωγής και διάχυσης ρύπων στο υπόγειο νερό.

2.7. Επιπτώσεις της ρύπανσης των ταμιευτήρων νερού

Όπως αναφέραμε η ρύπανση μπορεί να επηρεάσει την συγκέντρωση του οξυγόνου στο νερό, σε αντίθεση με την ατμόσφαιρα που το οξυγόνο παραμένει σε μεγάλο ποσοστό σταθερό ανεξάρτητα από την ρύπανση, τα νερά αποτελούνται συχνά με πλήρη ή μερική αποξυγόνωση (αναερόβιες συνθήκες). Με την αύξηση της ρύπανσης των νερών και την αύξηση της

θερμοκρασίας του μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο, γιατί καταναλώνεται λόγω της αερόβιας αναπνοής των μικρο-οργανισμών που κάνουν αποσύνθεση.

Με την ρύπανση των επιφανειακών νερών, με απόβλητα που περιέχουν ουσίες που αποσυντίθενται σε μικρο-οργανισμούς αφαιρείται εκτός των άλλων και το οξυγόνο από τα νερά, το οποίο είναι απαραίτητο για την υδρόβια ζωή. Οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς, αφού κινδυνεύουν από ασφυξία. Επομένως, η ρύπανση με αστικά λύματα ή άλλα απόβλητα, που περιέχουν οργανικό φορτίο, μπορεί να απειλήσει με καταστροφή ένα ολόκληρο υδατικό οικοσύστημα.

Οι κλιματικές αλλαγές επίσης, έχουν διαφορετικές επιπτώσεις στους ταμιευτήρες νερού, στις πιο ζεστές και πιο κρύες περιοχές της Γης. Πειραματικές μελέτες απέδειξαν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στα στρώματα των βαθιών νερών των λιμνών και ταμιευτήρων, μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στην ανταλλαγή των θρεπτικών ουσιών μέσα στο νερό.

Σε κάποιες περιπτώσεις, η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων σε αλληλεπίδραση με τους κλιματικούς παράγοντες οδηγούν στην μείωση του οξυγόνου στα χαμηλότερα βάθη. Το ποσοστό του οξυγόνου που μένει δεν είναι επαρκές για πολλούς μικρο-οργανισμούς, έτσι δημιουργείται μια συσσώρευση θρεπτικών ουσιών στα βαθιά νερά.

Οι ταμιευτήρες νερού αποτελούν ένα αξιόλογο αντικείμενο έρευνας για την ανάλυση σχετικά με την παροχή γενικών πληροφοριών για την κυκλοφορία του νερού κάτω από ασταθείς κλιματικές συνθήκες. Η ανταλλαγή θρεπτικών συστατικών και οξυγόνου μεταξύ των διαφόρων βαθών ελέγχεται αποκλειστικά από τις διαφορές της θερμοκρασίας. Πρέπει να παρατηρηθεί ότι οι θερμοκρασίες των βαθιών νερών στις πιο κρύες λίμνες θα παραμείνουν ίδιες σε ζεστούς χειμώνες, κάτι που σημαίνει ότι οι αυξήσεις στη θερμοκρασία δε θα είναι υπερβολικές, ενώ οι θερμοκρασίες στα βαθιά νερά των πιο ζεστών περιοχών είναι πιο πιθανό να αυξηθούν.

Η ποιότητα των νερών στους ταμιευτήρες είναι ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας για τον τουρισμό, τις εταιρίες νερού και τις επιχειρήσεις αλιείας. Επομένως, η διαμόρφωση της ποιότητας του νερού κάτω από διαφορετικές συνθήκες είναι κάτι που απασχολεί τους ερευνητές.

Κεφάλαιο 3: Υπόγειο Νερό

3.1. Οι Φυσικοχημικές παράμετροι των υπογείων νερών.

Η ποιότητα του νερού περιγράφεται με ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, οι οποίες καλύπτουν χημικά στοιχεία, φυσικοχημικές ιδιότητες και βιολογικά υλικά. Ο αριθμός των παραμέτρων δεν είναι σταθερός και μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο και τον τόπο. Η διάθεση στο περιβάλλον νέων χημικών ενώσεων οδηγεί στην δημιουργία νέου καταλόγου παραμέτρων.

Οι κυριότερες παράμετροι που καθορίζουν την ποιότητα του υπογείου νερού είναι:

- Φυσικές:
 - ✓ Θερμοκρασία
 - ✓ Χρώμα
 - ✓ Θολότητα
 - ✓ Οσμή
 - ✓ Ραδιενέργεια

- Χημικές:
 - ✓ pH
 - ✓ Αγωγιμότητα
 - ✓ Σκληρότητα
 - ✓ Αλκαλικότητα
 - ✓ Δυναμικό οξειδοαναγωγής

- Κύρια ιόντα: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-
- Δευτερεύοντα ιόντα: Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , F^- , CO_3^{2-} , Al^{3+} κ.ά.
- Βαρέα μέταλλα: Pb^{2+} , Cr^{6+} , Hg^{2+} , As^{3+} , Cd^{2+} κ.ά.
- Θρεπτικές ενώσεις του N, P
- Πρωτεΐνες, Οργανικές ενώσεις, Αέρια (O_2 , N_2 , H_2S , NH_3 , CH_4)

Μια μορφή ομαδοποίησης των ανωτέρων παραμέτρων ως πρόβλημα της ρύπανσης, για τις επίπτωσης πάνω στον άνθρωπο είναι η εξής:

- Μικροοργανισμοί που είναι δείκτες πρόκλησης ασθενών στους ανθρώπους.
- Αιωρούμενα υλικά στα νερά προκαλούν προβλήματα στην ποιότητα και στους χρήστες τους.
- Αποικοδομήσιμες οργανικές ουσίες.
- Θρεπτικά στοιχεία που επηρεάζουν την υδρόβια ζωή και τον ευτροφισμό.
- Ανόργανα στοιχεία που προκαλούν αλατότητα και ιόντα που αποτελούν βασικές παραμέτρους εκτίμησης της καταλληλότητας των υδάτων.
- Ανόργανοι ρυπαντές που ανήκουν σε ομάδα μικροστοιχείων, προκαλώντας δυσμενείς περιπτώσεις.
- Οργανικοί ρυπαντές που περιλαμβάνουν και οργανικές ουσίες προκαλώντας δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο αλλά και την υδρόβια ζωή.
- Αέρια που συμπεριλαμβάνονται στην ατμόσφαιρα και πέφτουν με την μορφή κατακρημνισμάτων, με αποτέλεσμα την οξίνιση κυρίως των υπογείων νερών.
- Νιτρικά που αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή.

3.2. Ποιότητα των υπογείων νερών

Για την διατήρηση της ζωής σημαντικός παράγοντας είναι η καθαρότητα των φυσικών νερών. Υπάρχουν διάφοροι ανθρώπινοι παράγοντες όπως έχουμε προαναφέρει που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού. Ειδικότερα την ποιότητα των υπογείων νερών καθορίζουν συνοπτικά:

- Η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων
- Η απόθεση ορυκτών
- Η οργανική ύλη (έκλυση CO_2 , αναγωγή οξειδίων Fe^{2+} , NO_3^{-1} , SO_4^{-2} , μεθανογένεση CH_4)
- Η παρουσία βλάστησης (πρόσληψη καλίου, φωσφόρου, αερίων από την ατμόσφαιρα)
- Οι παράμετροι του υδρολογικού κύκλου (μεγάλη εξάτμιση στους αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες αυξάνει τη συγκέντρωση αλάτων)
- Αντιδράσεις ιοντοανταλλαγής
- Ανθρώπινες δραστηριότητες (χρήση φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων και λιπασμάτων στη γεωργία, διάθεση αστικών λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων στο έδαφος, διαρροές από χωματερές, διαφυγές ρυπαντών κ.ά).

3.3. Παράγοντες που ελέγχουν την ποιότητα του υπόγειου νερού

Η χημική συμπεριφορά των υπογείων νερών δεν είναι σταθερός, μεταβάλλεται και με τον χώρο αλλά και με τον χρόνο. Η χημική συμπεριφορά είναι, ο μηχανισμός με τον οποίο πραγματοποιείται μια χημική αντίδραση. Υπάρχουν διαφορά ενδιάμεσα στάδια τα οποία διέρχονται οι αρχικές ουσίες για να καταλήξουν στο τελικό προϊόν. Η γνωστοποίηση της πορείας των αντιδράσεων μας δίνει την δυνατότητα παρέμβασης και τροποποίησης είτε των προϊόντων της αντίδρασης είτε της απόδοσης της.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποιότητα του υπογείου νερού είναι:

- Η εξάτμιση και εξατμισοδιαπνοή, όπου σαν διαδικασίες οδηγούν στην αύξηση των ιοντικών συγκεντρώσεων.
- Εκλεκτική πρόληψη ιόντων από τη χλωρίδα, τα οποία αποθηκεύονται στη βιομάζα.
- Αποσύνθεση οργανικής ύλης, τα φυτά απελευθερώνουν και προσλαμβάνουν ιόντα ανάλογα με την εποχή και την ηλικία τους. Η αποσύνθεση οργανικής ύλης είναι μια οξειδοαναγωγική αντίδραση.
- Αποσάθρωση – διάλυση ανθρακικών, πυριτικών και εβαπορίτων (ορυκτά που σχηματίζονται σε περιοχές με στάσιμα νερά μεγάλου βάθους). Το υπόγειο νερό των ανθρακικών πετρωμάτων είναι πλούσιο σε Ca^{2+} και HCO_3^- , των εβαπορίτων σε SO_2^{-2} και Ca^{2+} , των υπερβασικών πετρωμάτων, που περιέχουν υψηλά ποσοστά ολιβίνης και πυροξένου, σε Mg^{2+} , των δολομιτών σε Ca^{2+} και Mg^{+2} σε περίπου ίσες ποσότητες. Η υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε Na^+ , K^+ , Cl^- υποδηλώνει ότι προέρχεται από γρανίτες ή μαγματίτες. Στα πετρώματα που αποτελούνται από δυσδιάλυτο χαλαζία ή σύνθεσή του υπογείου νερού μοιάζει με αυτού του βρόχινου.

Η σύσταση του υπογείου νερού εξαρτάται από την πηγή προέλευσης του και μετά από την διαδρομή του, από τι είδους πετρώματα πέρασε για να καταλήξει στον υδροφορέα και τέλος η σύσταση του ίδιου υδροφορέα. Η χρονική διάρκεια επαφής του νερού με τα πετρώματα αλλά και το υπέδαφος παίζει καθοριστικό ρόλο στην χημική του σύσταση. Πετρώματα όπως οι γρανίτες και οι ψαμμίτες λειτουργούν αναλογικά με τον χρόνο παραμονής τους μέσα στο νερό, επηρεάζοντας ιδιαίτερα την χημική του σύσταση. Υπάρχουν και πετρώματα που ανεξάρτητα με τον χρόνο επαφής τους με το νερό δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική του σύσταση, τα συστατικά τους διαλύονται ταχύτατα μέχρι το σημείο κορεσμού του τέτοια περίπτωση είναι των ασβεστόλιθων, των ηφαιστιτών και των αμμοχάλικων.

- Απόθεση ορυκτών είναι η διαδικασία αποσάθρωσης των πυριτικών ορυκτών οδηγεί στην δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών όπου σταδιακά κατά την διαδικασία χάνουν τα φορτία τους μέχρι να παραμείνουν τα αδιάλυτα υδροξείδια του Al. Αν στο πέτρωμα υπάρχει και σίδηρος, τότε δημιουργούνται και οξείδια του σιδήρου.
- Αντιδράσεις ιοντικής ανταλλαγής ανάμεσα σε διαλυμένα κατιόντα, αργιλικά ορυκτά και οργανική ύλη (κατείσδυση όξινης βροχής).
- Ανάμιξη διαφορετικών νερών, μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάμιξη των καθαρών νερών των πηγών ή των ζωνών διήθησης με ρυπασμένο.
- Ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως χρήση λιπασμάτων, αστικά και βιομηχανικά απόβλητα, χώροι απόθεσης σκουπιδιών κτλ.

3.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Οι υδάτινοι πόροι είναι ένας ευαίσθητος περιβαλλοντικός παράγοντας που πρέπει να αντιμετωπίζεται με υπευθυνότητα και σοβαρότητα. Η σωστή διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι μια μεθοδολογία που ορίζει την βέλτιστη εκμετάλλευση τους από τον άνθρωπο. Υπάρχουν κάποιοι «κανόνες» για την ορθολογική διαχείριση των υδάτων, που δυστυχώς δεν εφαρμόζονται πάντα και που σκοπό έχουν την διατήρηση της φυσικής ισορροπίας που χαρακτηρίζει τους υδάτινους πόρους.

Η γη όπως αναφέραμε χαρακτηρίζεται από ένα υδατικό ισοζύγιο, δηλαδή σημαίνει ότι οι λειτουργίες των υδάτινων πόρων ανακυκλώνονται μέσα στα όρια του χώρου αυτού. Η διαδικασία αυτή καθιστά υποχρεωτική την ορθολογική διαχείριση, λαμβάνοντας υπόψη όσο το δυνατόν περισσότερα χαρακτηριστικά στοιχεία του χώρου του υδροφορέα. Η μελέτη του χώρου είναι απαραίτητη για την σωστή διερεύνηση των στοιχείων που τον ορίζουν.

Τα όρια του χώρου λειτουργίας και συμμετοχής των υδάτινων πόρων συμπίπτουν με τα όρια του υδρολογικού κύκλου. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια είναι τόσο εκτεταμένα που καλύπτουν σχεδόν όλες τις περιβαλλοντικές λειτουργίες. Σχεδόν όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν άμεσες και έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η έλλειψη γνώσης αλλά και η μη συνειδητοποίηση της κατάστασης οδηγεί σε τραγικές συνέπειες για το περιβάλλον.

Παρακολουθώντας την πορεία του υδρολογικού κύκλου μπορούμε να παρατηρήσουμε τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο περιβάλλον. Όλοι γνωρίζουμε για την ρύπανση της ατμόσφαιρας, κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει την ρύπανση της βροχής και κατ' επέκταση των υδάτων, αλλοιώνοντας την ποιότητα του νερού. Το φαινόμενο της όξινης βροχής είναι συνέπεια των ανωτέρω.

Η ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου, σε συνδυασμό με την καταστροφή των δασών έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση των βροχοπτώσεων και μεταβολή της χωρικής κατανομής. Η ερημοποίηση τεράστιων εκτάσεων γης πάνω στον πλανήτη είναι ένα φαινόμενο άμεσα συνδεδεμένο με αυτό το φαινόμενο, καταλήγοντας στη προοδευτική απώλεια της γονιμότητας του εδάφους, μέσω της καταστροφής της δομής και της σύστασης του.

Τα μεγάλα κατασκευαστικά έργα μπορούν να επηρεάζουν ακόμα και να αλλάξουν ριζικά τις περιβαλλοντικές συνθήκες όχι μόνο του χώρου που περιβάλλεται. Για παράδειγμα με την κατασκευή ενός φράγματος, εμποδίζεται η διαφυγή του νερού στην θάλασσα με συνέπεια να υπάρχουν σοβαρές επιπτώσεις στην χλωρίδα και την πανίδα των παράπλευρων τμημάτων του ποταμού που δεν τροφοδοτούνται με το νερό, αλλά και τον μη εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα. Τέλος υπάρχουν επιπτώσεις ακόμα και στην υδρόβια ζωή της θάλασσας γιατί με την αποκοπή της ροής του νερού δεν παρασύρονται φερτές ύλες που είναι σημαντική πηγή τροφοδοσίας της παράκτιας ζώνης.

Όσον αφορά του υπόγειους υδροφορείς, οι επεμβάσεις του ανθρώπου έχουν πολύ σοβαρές συνέπειες. Η αλόγιστη εκμετάλλευση των υδροφορέων, η υπεράνληση πέρα των φυσικών ορίων οδηγεί σε σταδιακή μείωση των υδάτινων αποθεμάτων εγκυμονώντας πολλούς κινδύνους. Σε συνδυασμό με την ρύπανση των υδροφορέων μπορεί να οδηγήσει στην πλήρη εξάντληση τους. Το πρόβλημα της ρύπανσης εντείνεται από το γεγονός ότι οι υδροφορείς χαρακτηρίζονται από μικρές ταχύτητες ροής, με αποτέλεσμα ο χρόνος απορρύπανσης να είναι πολύ μεγάλος.

Πρέπει να επισημανθεί ότι είναι λανθασμένη αντίληψη που επικρατεί για την μη συμμετοχή των υπογείων υδατικών πόρων στην κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών, δηλαδή η άγνοια των ανθρώπων για την σωστή εκμετάλλευση των υπόγειων νερών εκθέτει τους υδροφορείς σε μεγάλους κινδύνους και ρύπανσης.

Η αυξανόμενη έλλειψη υδάτινων πόρων έχει φέρει σε σύγκρουση τους ρόλους του νερού. Αρχικά θεωρώντας το νερό ως εμπορεύσιμο αγαθό που εξυπηρετεί οικονομικούς στόχους της παραγωγικότητας σε γενικό επίπεδο αλλά και της ζωής για όλα τα είδη και τις φυσικές κοινότητες. Περισσότερο νερό για τις ανθρώπινες ανάγκες σημαίνει μείωση νερού για το οικοσύστημα άρα η φύση χάνει γρήγορα έδαφος. Για τους προαναφερόμενους λόγους πρέπει να υπάρχει ορθολογική αντίληψη διαχείρισης των υδατικών πόρων, που να μπορεί να συνδυάζει και τις ανθρώπινες ανάγκες αλλά και το σεβασμό για το περιβάλλον.

Κεφάλαιο 4: Μέθοδοι Απορρύπανσης

4.1. Γενικά

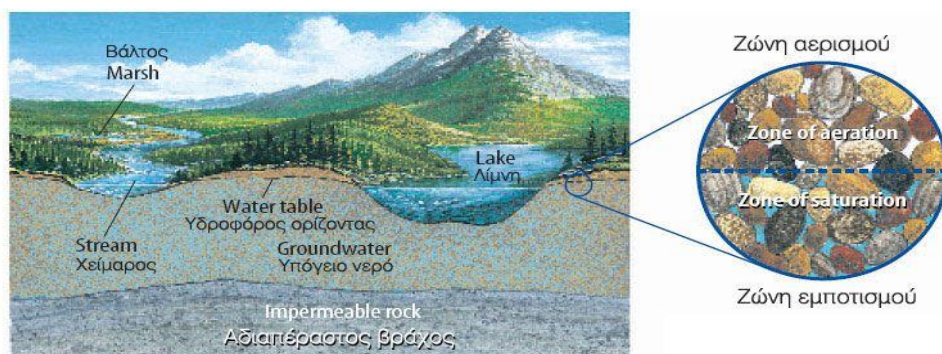
Η απορρύπανση των ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων αλλά και η προστασία τους από τη ρύπανση αποτελούν αντικείμενα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από τεχνολογική άποψη. Τα θέματα απορρύπανσης αφορούν την ανάληψη ενεργειών για την περιβαλλοντική αποκατάσταση των εδαφών που έχουν ήδη μολυνθεί. Επίσης, τα θέματα προστασίας αφορούν την λήψη μέτρων προστασίας των υπόγειων υδάτων για να αποφευχθεί η περαιτέρω επέκταση της ρύπανσης.

Με τις μεθόδους απορρύπανσης επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των ρύπων καθώς επίσης και η επεξεργασία τους. Ωστόσο, η ποιότητα του νερού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως τις υδροδυναμικές συνθήκες μεταφοράς και από τις επικρατούσες συνθήκες οι οποίες είναι φυσικές, χημικές και βιολογικές.

Οι ρυπαντές των υπόγειων ταμιευτήρων μπορεί να είναι είτε υγροί ελαφρύτεροι (LNAPLs, Light Non-Aqueous Phase Liquids) από το νερό με συνέπεια να μην αναμειγνύονται με αυτό και να απομακρύνονται σχετικά εύκολα, είτε να είναι βαρύτεροι (DNAPLs, Dense Non-Aqueous Phase Liquids) από το νερό με αποτέλεσμα να καταβυθίζονται χωρίς να αναμειγνύονται και η απομάκρυνση τους να είναι δύσκολη.

Ονομαστικά οι ρυπαντές των ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων είναι οι εξής:

- Υδρογονάνθρακες
- Αλκοόλες
- Υγρά καύσιμα
- Εστέρες
- Αιθέρες
- Νιτροαρωματικές ενώσεις
- Αλογονωμένες
- Αρωματικές και Αλιφατικές ενώσεις
- Μέταλλα(Cr, Ni, Cd, Zn, Pb, Hg).



Ο υδροφόρος ορίζοντας ακολουθεί το ανάγλυφο του εδάφους όσο παράξενο κι αν ακούγεται αυτό

Εικόνα 4.1.: Ταμιευτήρας υπόγειων υδάτων.

4.2. Μέθοδοι απορρύπανσης

Για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης επιβάλλεται μελέτη με σκοπό τον καθορισμό της παρουσίας ή της απουσίας της ρύπανσης, αλλά και την αξιολόγηση της έκτασης της. Επίσης, ο έλεγχος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της υπόγειας ρύπανσης.

Οι τρόποι για την αξιολόγηση της ρύπανσης είναι οι εξής:

- Κατασκευή υδρογεωτρήσεων παρακολούθησης της ποιότητας του υπόγειου νερού
- Παρακολούθηση των αερίων του εδάφους
- Δειγματοληψία του εδάφους
- Γεωφυσικές έρευνες

Οι εργαστηριακές μελέτες σε συνδυασμό με τις μεθόδους εντοπισμού της ρύπανσης οδηγούν στην κατανόηση της χημικής φύσης και συμπεριφοράς των ρυπαντών του υπογείου νερού αλλά και στην επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης. Για την σωστή διεκπεραίωση της έρευνας και της απορρύπανσης χρειάζεται κατάλληλος εξοπλισμός.

Ο βασικότερος εξοπλισμός απορρύπανσης είναι:

- Δειγματολήπτες εδάφους
- Δειγματολήπτες υπεδάφους (χειροκίνητοι δειγματολήπτες)
- Γεωτρύπανα δειγματοληψίας.
- Εξοπλισμός κατασκευής υδρογεωτρήσεων (γεωτρύπανα, αντλίες, σωλήνες)
- Δειγματολήπτες νερού από γεωτρήσεις.
- Όργανα εκτέλεσης επί τόπου μετρήσεων και αναλύσεων (πεχάμετρα, αγωγιμόμετρα)

Με την πάροδο των χρόνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί αρκετοί μέθοδοι απορρύπανσης. Η ταξινόμηση τους πραγματοποιείται με βάση τις εφαρμοζόμενες τεχνολογίες σε:

- **Φυσικές μέθοδοι αφαίρεσης των ρύπων:** η απορρύπανση επιτυγχάνεται με φυσικές διεργασίες.
- **Φυσικές μέθοδοι παγίδευσης των ρύπων:** οι οποίες είτε εγκλωβίζουν, είτε σταθεροποιούν τον ρύπο, επί τόπου με φυσικές διεργασίες.
- **Χημικές και ηλεκτροχημικές μέθοδοι:** με τις οποίες αφαιρείται ή μετασχηματίζεται σε άλλη μορφή ο ρύπος, όπως η δράση ενός διαλύτη ή ενός οξέως ή ενός ηλεκτρολύτη.

- **Θερμικές μέθοδοι:** οι οποίες στηρίζονται στην αρχή της θέρμανσης του ρυπαντή, με αποτέλεσμα να καταστραφεί ή να ακινητοποιηθεί.
- **Βιολογικές μέθοδοι:** οι οποίες στηρίζονται στη δράση και το μεταβολισμό ζώντων οργανισμών (βακτήρια), τα οποία εποικοδομούν τον ρύπο και μειώνουν την αιτία ρύπανσης.

Υπάρχει άμεση σύνδεση των ρυπασμένων εδαφών και των υπόγειων υδάτων. Η ρύπανση έχει την δυνατότητα να εξαπλώνεται σε όλα τα στρώματα με αποτέλεσμα να ρυπαίνει όχι μόνο το έδαφος αλλά και τον υδροφόρο ορίζοντα. Όπως έχουμε προαναφέρει οι ρύποι έχουν την δυνατότητα να κινηθούν είτε σε οριζόντια είτε σε κατακόρυφη διεύθυνση, με συνέπεια την εξάπλωση τους σε διαφορετικά επίπεδα. Επομένως, η ρύπανση μπορεί να εξαπλωθεί είτε από το έδαφος στα υπόγεια ύδατα είτε το αντίστροφο. Για την αντιμετώπιση της πρέπει να πραγματοποιείται απορρύπανση όλων των στρωμάτων, όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο.

Άρα οι μέθοδοι ενεργητικής απορρύπανσης των ταμειυτήρων υπόγειων υδάτων διαχωρίζονται στις μεθόδους απορρύπανσης εδαφών και τις μεθόδους απορρύπανσης υπόγειων υδάτων.

Οι κυριότερες μέθοδοι απορρύπανσης εδαφών είναι:

- ✓ Βιολογική αποκατάσταση
- ✓ Έκπλυση του εδάφους με χημικές ουσίες
- ✓ Εκσκαφή του εδάφους
- ✓ Θερμική επεξεργασία με απλή θέρμανση, καύση ή επεξεργασία με ατμό
- ✓ Χημική επεξεργασία
- ✓ Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης ή απλού αερισμού
- ✓ Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Οι κυριότερες μέθοδοι απορρύπανσης υπογείων υδάτων είναι:

- ✓ Βιολογική αποκατάσταση
- ✓ Άντληση διαλυμένων ρύπων
- ✓ Άντληση επιπλεόντων ρύπων
- ✓ Τεχνολογία απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης
- ✓ Τεχνολογία απορρύπανση από βαρέα μέταλλα
- ✓ Απονίτρωση υπόγειων υδάτων
- ✓ Υπέρθερμος ατμός
- ✓ Τεχνολογία πλύματος

4.2.1. Μέθοδοι απορρύπανσης εδαφών

4.2.1.1. Βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)

Η μέθοδος της βιολογικής αποκατάστασης (bio-remediation) θεωρείται μια από τις σημαντικότερες μεθόδους απορρύπανσης που χρησιμοποιείται για την απορρύπανση των υπόγειων ταμιευτήρων. Στηρίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών και την τελική μετατροπή τους σε αβλαβείς ουσίες μέσω της δράσης μικρο-οργανισμών.

Η πειραματική εφαρμογή της μεθόδου είχε πραγματοποιηθεί αρχικά για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με συστήματα βιολογικής επεξεργασίας. Τα αποτελέσματα της ήταν δραστικά με αποτέλεσμα τα τελευταία χρόνια να εφαρμόζεται στην ελεγχόμενη αποδόμηση των οργανικών ρύπων του εδάφους και των υπόγειων υδάτων. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση εδαφών από πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες όπως poly-aromatic hydrocarbons, PAH, πτητικές οργανικές ουσίες όπως το BTEX (μίγμα βενζολίου, τολουολίου και ξυλολίου), τους χλωριούχους οργανικούς ρύπους όπως ο τετραχλωράνθρακας, οι πενταχλωροφαινόλες-PCP και τα επίσης PCB (Poly-Chlorinated Biphenyls) και άλλες οργανικές ενώσεις.

Η βιολογική αποδόμηση των οργανικών ενώσεων γίνεται μέσω της δράσης μικρο-οργανισμών, όπως βακτηρίδια και μύκητες. Οι μικρο-οργανισμοί αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας είτε τον άνθρακα είτε την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τον μεταβολισμό των οργανικών ουσιών, δηλαδή την αποσύνδεση των οργανικών τους ενώσεων. Για την πραγματοποίηση της αποσύνδεσης χρησιμοποιούν ως καταλύτες ένζυμα (πρωτεΐνες) τα οποία παράγουν οι ίδιοι.

Το παραγόμενο τελικό προϊόν της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών μέσω των μικρο-οργανισμών είναι ανόργανες ουσίες κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και νερό, τα οποία θεωρούνται λιγότερο βλαβερά και επικίνδυνα από τις αρχικές ενώσεις. Στην περίπτωση που η αποσύνδεση δεν ολοκληρωθεί τότε παράγονται διαφορές ενώσεις όπως μεθάνιο, υδρόθειο, νιτρικά και θειικά άλατα.

Για την πραγματοποίηση της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών μέσω μικρο-οργανισμών είναι απαραίτητη η παρουσία των κατωτέρων στοιχείων:

- Μικρο-οργανισμοί που παράγουν ένζυμα κατάλληλα για τον μεταβολισμό της συγκεκριμένης οργανικής ουσίας.
- Οργανικές ουσίες οι οποίες με την αποσύνθεσή τους θα προσκομίσουν την απαιτούμενη ενέργεια για την ανάπτυξη των μικρο-οργανισμών.

- Θρεπτικές ουσίες όπως άζωτο, φωσφόρο, κάλιο και θείο, που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των μικρο-οργανισμών.
- Δέκτες ηλεκτρονίων δηλαδή ατόμων ή ριζών τα οποία δέχονται τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν κατά την οξείδωση των οργανικών ουσιών.
- Κατάλληλές συνθήκες, όπως υγρασία, θερμοκρασία και pH, για την ανάπτυξη των μικρο-οργανισμών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι απαραίτητη προϋπόθεση είναι η απουσία ορισμένων χημικών ουσιών σε συγκεντρώσεις, οι οποίες είναι τοξικές με συνέπεια να καταστρέφουν τους μικρο-οργανισμούς. Συμπερασματικά λοιπόν, η μέθοδος της βιολογικής αποκατάστασης έχει σκοπό την εξασφάλιση των παραπάνω απαιτήσεων, ώστε να προκύψει η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που αποτελούν το ρυπαντικό φορτίο του εδάφους ή του υπόγειου νερού.

Οι μηχανισμοί βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών ενώσεων εξαρτώνται από:

- ✓ Μικρο-οργανισμοί και οργανικές ενώσεις
- ✓ Θρεπτικές ουσίες
- ✓ Δέκτες ηλεκτρονίων
- ✓ Υγρασία
- ✓ Θερμοκρασία
- ✓ pH
- ✓ Τοξικότητα

Στην συνέχεια θα αναλυθεί ξεχωριστά κάθε ένας από τους μηχανισμούς βιολογικής αποσύνθεσης.

➤ **Μικρο-οργανισμοί και οργανικές ενώσεις**

Οι μικρο-οργανισμοί που αναπτύσσονται έχουν την δυνατότητα να διασπάσουν τις περισσότερες οργανικές ενώσεις, είτε είναι φυσικές είτε τεχνικές, δηλαδή σύνθετες ενώσεις που δημιουργούνται από τον άνθρωπο. Η διάσπαση των οργανικών ουσιών από τους μικρο-οργανισμούς πραγματοποιείται με βάση κάποιων αρχών και αυτές είναι:

- i. Η παρουσία πολλαπλών οργανικών ενώσεων αντιμετωπίζεται αρχικά με την διάσπαση των απλούστερων ενώσεων και στην συνέχεια των πολυπλοκότερων. Αυτό συμβαίνει διότι, η ανάπτυξη μικρο-οργανισμών που παράγουν ένζυμα για τη διάσπαση των απλών ενώσεων είναι πιο εύχρη.

- ii. Η διάσπαση των σύνθετων οργανικών ενώσεων πραγματοποιείται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, με συνέπεια αρχικά να γίνεται η διάσπαση των πιο απλών ενώσεων και στην συνέχεια οι μικρο-οργανισμοί να προσαρμόζονται και να παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα για την διάσπαση των πιο σύνθετων ενώσεων.
- iii. Οι οργανικές ουσίες αποσυντίθεται σε διαδοχικές φάσεις με τη δράση διάφορων μικρο-οργανισμών. Αρχικά η πρώτη ομάδα των μικρο-οργανισμών διασπά την οργανική ένωση σε κάποια απλούστερα τμήματα και στην συνέχεια διασπάται εξολοκλήρου από άλλους μικρο-οργανισμούς. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαρκώς μέχρι την στιγμή που θα παραχθούν πολύ απλές ενώσεις όπως είναι CO₂, H₂O, CH₄.

Ο ρυθμός της βιολογικής διάσπασης των οργανικών ουσιών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι παίζουν καθοριστικό ρόλο για την δράση των μικρο-οργανισμών. Οι παράγοντες είναι οι εξής:

- Το είδος των βακτηριδίων που προκαλούν την αποδόμηση
- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος, δηλαδή θερμοκρασία και pH

Ένα μεγάλος αριθμός βιολογικών διασπάσεων ακολουθούν τον γνωστό εκθετικό νόμο των πυρηνικών διασπάσεων, την κινητική πρώτης τάξεως - Monod kinetics. Ο νόμος ορίζει τον ρυθμό της διάσπασης να είναι ανάλογος του διαθέσιμου για διάσπαση αριθμού μορίων.

Η συγκέντρωση (c) της οργανικής ουσίας τη χρονική στιγμή (t) παρουσιάζεται από τον τύπο:

$$c = c_0 e^{-kt}$$

Όπου:

c_0 → Η αρχική συγκέντρωση για $t=0$

k → Η σταθερά διάσπασης για την οποία ισχύει η σχέση:

$$k = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

Όπου:

$t_{1/2}$ → Ο χρόνος ημιζωής, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για τη διάσπαση του ημίσεως των μορίων της οργανικής ένωσης.

Συμπέρασμα όλων των παραπάνω είναι ότι με τις κατάλληλες συνθήκες και τον επαρκή χρόνο υπάρχει η δυνατότητα να αναπτυχθούν μικρο-οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να διασπάσουν και τις πλέον σταθερές συνθετικές οργανικές ενώσεις. Κάθε οργανικοί ένωση παρουσιάζει κάποιο συγκεκριμένο χρόνο ημιζωής.

Πειραματικές μελέτες έχουν καταλήξει σε κάποιες ενδεικτικές τιμές κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή σε συνήθη συνθήκες περιβάλλοντος. Ωστόσο, θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο ρυθμός των βιολογικών διασπάσεων εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως τη θερμοκρασία, την υγρασία, το pH με συνέπεια να είναι διαφορετικός σε κάθε περίπτωση.

Οργανική Ένωση	Χρόνος ημιζωής ^a (ημέρες)
Βενζόλιο	1
Τολουόλιο	6.4
Ανθρακένιο	30
Ξυλόλιο	40
Πυρένιο	40
Ναφθαλένιο	95
Βενζο-φθορο-ανθένιο	1290
Βενζο-πυριλένιο	360
Ιδενο-πυρένιο	600

Πίνακας 4.1: Τυπικοί χρόνοι ημιζωής οργανικών ενώσεων κατά την βιολογική αποδόμηση υπό συνθήκες κινητικής πρώτης τάξεως.

➤ **Θρεπτικές ουσίες (nutrients)**

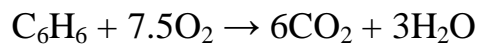
Η παρουσία θρεπτικών είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη των μικρο-οργανισμών. Τα θρεπτικά στοιχεία είναι τα εξής:

- ✓ Άζωτο (N)
- ✓ Φωσφόρος (P)
- ✓ Κάλιο (K)
- ✓ Θείο (S)
- ✓ Ιχνοστοιχεία

Τα παραπάνω στοιχεία υπάρχουν συνήθως στα εδαφικά υλικά. Η έλλειψη τους οδηγεί στην διακοπή της ανάπτυξης των μικρο-οργανισμών, με συνέπεια να προστίθενται με κατάλληλες μεθόδους για την μη διακοπή της ανάπτυξης. Μια ικανοποιητική αναλογία άνθρακα : άζωτο : φωσφόρο (C/N/P) στο έδαφος για την ανάπτυξη μικρο-οργανισμών είναι 100:10:1. Η έλλειψη οποιουδήποτε στοιχείου οδηγεί στην προσθήκη κατάλληλου χημικού λιπάσματος. Για παράδειγμα στην περίπτωση έλλειψης αζώτου γίνεται προσθήκη θεικής αμμωνίας.

➤ Δέκτες ηλεκτρονίων

Κατά την διάρκεια του βιολογικού μεταβολισμού οι διασπώμενες οργανικές ενώσεις χάνουν κάποια ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά μεταφέρονται σε κάποιον δέκτη ηλεκτρονίων. Ωστόσο, κατά την διάρκεια της αερόβιας διάσπασης ο τελικός αποδέκτης των ηλεκτρονίων είναι το οξυγόνο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αερόβια αποσύνθεση (οξειδωση) του βενζολίου, οι οποία παρουσιάζεται από τη σχέση:



Στην περίπτωση της αναερόβιας συνθήκης δεν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο με συνέπεια η νιτρική ρίζα (NO_3^-), τα ιόντα σιδήρου (Fe^{+3}), τα ιόντα μαγγανίου (Mn^{+2}) και η θειική ρίζα (SO_4^{-2}) να έχουν την δυνατότητα να δράσουν ως δέκτες ηλεκτρονίων. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εάν στο σύστημα έχουν αναπτυχθεί μικρο-οργανισμοί που μπορούν να παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα.

Η ανωτέρω χημική αντίδραση αποδεικνύει ότι με την αερόβια οξείδωση των οργανικών ενώσεων μειώνεται το οξυγόνο του συστήματος. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει αναπλήρωση του οξυγόνου το σύστημα θα μετατραπεί σε αναερόβιο. Επιπλέον, θα αναπτυχθούν αναερόβιοι μικρο-οργανισμοί και η αποσύνθεση θα παράγει μεθάνιο (CH_4) αντί για διοξείδιο του άνθρακα (CO_2). Η αναπλήρωση του οξυγόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με μηχανική ανάμειξη και αερισμό των υλικών είτε με τεχνητή κυκλοφορία αέρα.

Η αερόβια οξείδωση παράγει αβλαβή προϊόντα με αποτέλεσμα να προτιμάται. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα συστήματα απορρύπανσης μέσω της βιολογικής αποσύνθεσης γίνονται με κατάλληλο μηχανικό αερισμού είτε με αναμόχλευση είτε με ανάδευση. Σκοπός του είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου να διατηρείται σε ικανοποιητικό επίπεδο.

➤ Υγρασία

Για την κινητοποίηση των μικρο-οργανισμών απαιτείται η παρουσία υγρασία, η οποία θα πρέπει να κυμαίνεται, για το έδαφος, σε ποσοστό από 15 έως 30%. Στην περίπτωση που υπάρχει μείωση της υγρασίας κάτω από το 15% δρα ανασταλτικά στην κινητοποίηση των μικρο-οργανισμών. Σε αντίθετη περίπτωση, η αύξηση της υγρασίας πάνω από το ιδανικό ποσοστό του 30% οδηγεί σε κορεσμό του εδάφους που αγγίζει το 100%. Συνέπεια αυτού, είναι η μεγάλη μείωση του οξυγόνου και ο μη ικανοποιητικός αερισμός του εδάφους.

Από τα προαναφερόμενα συμπεραίνουμε ότι είναι δύσκολη η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ρύπων του υπόγειου νερού κάτω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα λόγω έλλειψης οξυγόνου, εκτός εάν γίνεται κυκλοφορία αέρα με τεχνητά μέσα. Αποτέλεσμα αυτών είναι η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ρύπων στο υπόγειο νερό που πραγματοποιείται

υπό αναερόβιες συνθήκες να καταλήγει στην παραγωγή μεθανίου και υδροθείου, τα οποία υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού όπως για παράδειγμα να δημιουργούν άσχημη οσμή.

➤ **Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία είναι ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει την δράση και την ανάπτυξη των μικρο-οργανισμών. Οι χαμηλές θερμοκρασίες θεωρούνται κατασταλτικές αλλά όχι καταστροφικές, δηλαδή η θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 5 έως 10°C αδρανοποιούν τους μικρο-οργανισμούς. Αντίθετα, οι υψηλές θερμοκρασίες άνω των 60°C είναι καταστροφικές για τους μικρο-οργανισμούς του συστήματος.

➤ **pH**

Το pH επηρεάζει σημαντικά την κινητοποίηση και την δράση των μικρο-οργανισμών. Οι τιμές που θα πρέπει να κυμαίνεται το pH είναι από 5.5 έως 8.5, οι οποίες θα πρέπει να διατηρούνται σταθερές για την βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ρύπων. Στην περίπτωση που το έδαφος δεν έχει κατάλληλο pH κρίνεται απαραίτητη η ρύθμιση του.

➤ **Τοξικότητα**

Η υψηλή συγκέντρωση ορισμένων χημικών ενώσεων λειτουργεί καταστρεπτικά για τους μικρο-οργανισμούς αφού είναι τοξικές. Οι μικρο-οργανισμοί έχουν την δυνατότητα να διασπάσουν τοξικές ουσίες που είναι πολύ επικίνδυνες για την ανθρώπινη υγεία. Για να γίνει εφαρμογή της μεθόδου της βιολογικής απορρύπανσης σε ένα συγκεκριμένο έδαφος, θα πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί το ποσοστό τοξικότητας των χημικών ουσιών που περιέχεται στο έδαφος για διάφορους τύπους μικρο-οργανισμών.

Για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα της μεθόδου πραγματοποιούνται ειδικές δοκιμές (toxicity assays), κατά τις οποίες ένα πρότυπο σύστημα μικρο-οργανισμών εκτίθεται σε δείγμα του εδάφους. Στην συνέχεια γίνεται παρακολούθηση των πληθυσμών των μικρο-οργανισμών για παρουσιαστούν οι αρχικές ενδείξεις της τοξικότητας. Στην περίπτωση αυξημένης τοξικότητας γίνεται ανάμειξη του μολυσμένου εδάφους είτε με άλλα «καθαρά» εδαφικά υλικά είτε πραγματοποιείται έκπλυση του εδάφους, με συνέπεια να μειωθούν οι συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών για τους μικρο-οργανισμούς.

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα βιολογικής απορρύπανσης εδαφών

Η δράση των μικρο-οργανισμών για την διάσπαση των οργανικών ρύπων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων υπό αναερόβιες συνθήκες θεωρείται ότι είναι δυνατή, όμως θα πρέπει να προτιμάται η αερόβια αποσύνθεση διότι τα προϊόντα της είναι σχετικά αβλαβή.

Το έδαφος χρειάζεται έναν καλό αερισμό (soil venting) είτε με έντονη μηχανική αναμόχλευση είτε με τεχνητή κυκλοφορία αέρα ώστε να δημιουργηθούν κατάλληλες

συνθήκες για την ανάπτυξη αερόβιων βακτηριδίων. Οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα με την μέθοδο της βιολογικής απορρύπανσης εδαφών, δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα για την αποσύνθεση πολύ-αρωματικών υδρογονανθράκων, πετρελαιοειδών και άλλων οργανικών ενώσεων.

Η μέθοδος έχει χαρακτηριστεί από καλά αποτελέσματα που έχει παρουσιάσει για την απορρύπανση εδαφών πάνω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα, δηλαδή την μερικώς κορεσμένη ζώνη. Στα κορεσμένα εδάφη δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αερισμός, διότι στα κορεσμένα εδάφη δεν υπάρχει δυνατότητα διέλευσης οποιασδήποτε μορφής (αέρα, νερό) και παραμόρφωσης του, με αποτέλεσμα να ευνοούνται συνθήκες αναερόβιας αποσύνθεσης που δεν είναι επιθυμητή. Πειραματικές μελέτες αποδεικνύουν ότι η μέθοδος της βιολογικής απορρύπανσης εδαφών είναι αρκετά αποτελεσματική σε χονδρόκοκκα εδάφη επειδή υπάρχει η δυνατότητα του αερισμού.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου της βιολογικής απορρύπανσης παρουσιάζονται παρακάτω και ήτοι:

- ❖ Η μακροχρόνια επεξεργασία που απαιτεί η μέθοδος της βιολογικής ρύπανσης την κάνει να μειονεκτεί αρκετά σε σχέση με άλλες. Πειρατικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι υπάρχουν περιπτώσεις σταθερών ρύπων που ο χρόνος που απαιτείται είναι μεταξύ 15 έως 20 χρόνια. Ωστόσο, ο χρόνος που χρειάζονται να δράσουν οι μικρο-οργανισμοί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με αποτέλεσμα να είναι αβέβαιο και κάθε περίπτωση να χρίζει διαφορετική αντιμετώπιση.
- ❖ Οι οργανικοί ρύποι που περιέχει το έδαφος είναι διαφόρων ειδών, με συνέπεια οι τοξικοί ρύποι που είναι και πολυπλοκότεροι να χρειάζονται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να διασπαστούν. Η καθυστέρηση της διάσπασης τους οδηγεί στην περεταίρω μόλυνση των εδαφών, αφού πρώτα επεξεργάζονται και διασπώνται οι ρύποι με μικρότερο ενδιαφέρον από πλευράς ρυπαντικού φορτίου.
- ❖ Όπως αναφέρθηκε οι παράγοντες που επηρεάζουν την απορρύπανση των εδαφών είναι η παρουσία δεκτών ηλεκτρονίων, θρεπτικών ουσιών, υγρασίας, θερμοκρασίας και pH, για την επιτυχή διεκπεραίωση της απορρύπανσης με την βιολογική μέθοδο απαιτείται οι παράγοντες να κυμαίνονται σε συγκεκριμένες τιμές, έχοντας ως αποτέλεσμα τους βέλτιστους ρυθμούς δράσης των μικρο-οργανισμών και συνεπώς της βέλτιστης απόδοσης της βιολογικής αποδόμησης των ρύπων. Οι αναγκαιότητα των παραμέτρων να κυμαίνονται σε συγκεκριμένες τιμές για την καλύτερη απόδοση της μεθόδου θεωρείται δύσκολη διότι κάθε παράγοντας επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους.
- ❖ Η μέθοδος είναι αποτελεσματική για την αποδόμηση οργανικών κυρίως ρύπων, υπάρχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις που χρησιμοποιείται και για την διάσπαση ανόργανων ουσιών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μετατροπή θεικών ριζών

σε θειούχες με την επίδραση μικρο-οργανισμών. Σε περίπτωση παρουσίας πολλαπλών ανόργανων ουσιών δεν χρησιμοποιείται διότι δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στην διάσπαση τους.

4.2.1.2. Έκπλυση του εδάφους με χημικές ουσίες (soil washing, chemical extraction, leaching)

Η έκπλυση του εδάφους (soil washing, chemical extraction, leaching) είναι μία τεχνολογία φυσικού ή και χημικού διαχωρισμού κατά την οποία γίνεται εκσκαφή και πλύση του εδάφους έτσι ώστε να απομακρυνθούν οι περιεχόμενοι ρύποι. Η έκπλυση του εδάφους γίνεται με νερό υπό πίεση το οποίο περιέχει είτε οξέα, είτε βάσεις είτε απορρυπαντικά με στόχο την διάλυση ή η διάσπαση των ρύπων. Για την έκπλυση των ρύπων απαιτείται έντονη αναμόχλευση του εδάφους κατά την διάρκεια της επεξεργασίας.

Η μέθοδος έκπλυσης του εδάφους απομακρύνει τους ρύπους με τους εξής τρόπους:

- Συγκεντρώνοντάς τους σε μικρότερο όγκο εδάφους, με εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας μεταλλευμάτων
- Διαλύοντας τους στο διάλυμα έκπλυσης.

Τρόπος 1^{ος}:

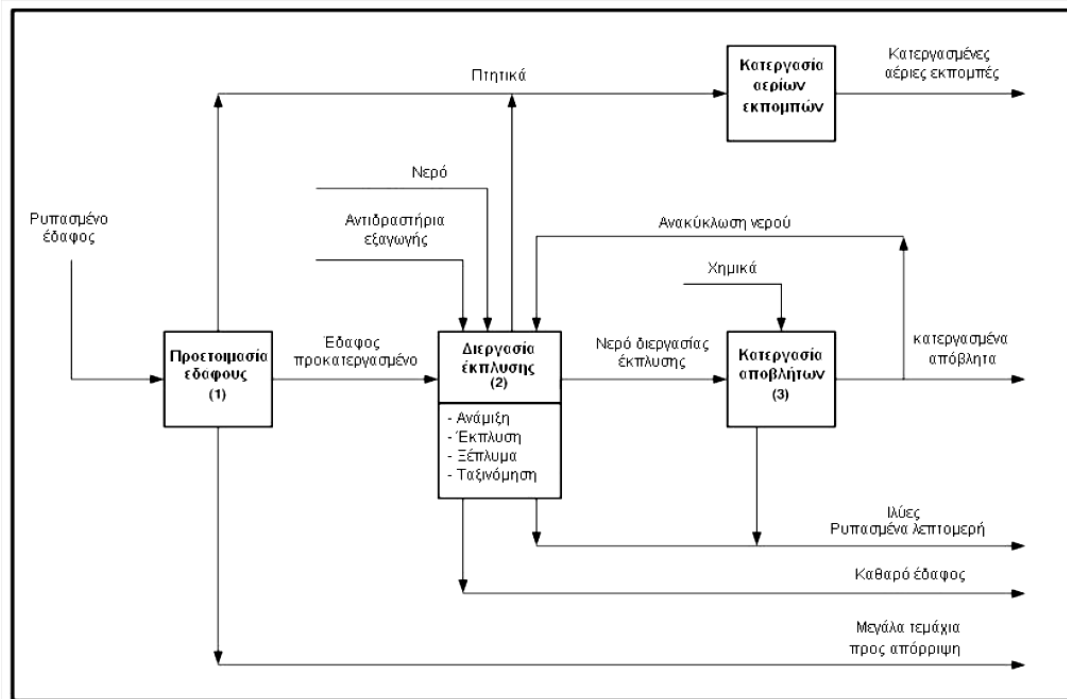
Τα σωματίδια καθαρού και ρυπασμένου εδάφους διαχωρίζονται εκμεταλλευόμενοι τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως είναι η επιλεκτική τους ρόφηση στα λεπτομερή τεμάχια αργίλου του εδάφους, διαφοροποιήσεις στο ειδικό βάρος, τις μαγνητικές και επιφανειακές ιδιότητές τους. Πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι ένα μεγάλο ποσοστό της ρύπανσης του εδάφους, ιδιαίτερα από οργανικές ενώσεις, σχετίζεται ή συγκρατείται από τα πολύ μικρά σωματίδια του εδάφους. Σε αυτές τις περιπτώσεις πραγματοποιείται φυσικός διαχωρισμός των μεγάλων σωματιδίων από τα μικρότερα με αποτέλεσμα την ικανοποιητική συγκέντρωση των ρύπων.

Τρόπος 2^{ος} :

Περιλαμβάνει τη χημική επεξεργασία με τη χρήση νερού ή χημικών αντιδραστηρίων και στοχεύει στην επιλεκτική εκχύλιση των ρύπων από τα σωματίδια του εδάφους, ή την ολική διαλυτοποίηση των ρυπασμένων σωματιδίων. Η χημική επεξεργασία εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων με τη χρήση διαφορετικών αντιδραστηρίων εκχύλισης, όπως ανόργανα οξέα, οργανικά οξέα, αντιδραστήρια συμπλοκοποίησης ή ακόμα και συνδυασμό αυτών των αντιδραστηρίων. Στην περίπτωση οργανικών ρύπων η χρήση αντιδραστηρίων επιφανειακής ενεργοποίησης θα πρέπει να γίνεται με προσοχή αφού τα αντιδραστήρια αυτά αυξάνουν τη διαλυτότητα των οργανικών στα υδατικά διαλύματα.

Η διαδικασία της έκπλυσης του εδάφους περιλαμβάνει τρεις κύριες εργασίες:

- Εντατική ανάμιξη του ρυπασμένου εδάφους με το υγρό έκπλυσης
- Διαχωρισμός των καθαρών σωματιδίων εδάφους
- Επεξεργασία της υδατικής φάσης που περιέχει τους διαλυμένους ή εναιωρήσει ρύπους.



Διάγραμμα 4.1: Τυπικό διάγραμμα ροής κυκλώματος έκπλυσης ρυπασμένων εδαφών.

Το κύριο στάδιο έκπλυσης του εδάφους περιλαμβάνει την ανάμιξη, την έκπλυση, το ξέπλυμα και την ταξινόμηση του υλικού. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί για την πραγματοποίηση του κύριου σταδίου της έκπλυσης:

- Πρώτος μηχανισμός: περιλαμβάνει την διασπορά των λεπτομερών ρυπασμένων σωματιδίων τα οποία υπάρχουν ως συσσωματώματα ή καλύπτουν την επιφάνεια των σωματιδίων εδάφους. Σαν αντιδραστήριο διασποράς χρησιμοποιούνται κυρίως υδροξείδιο του νατρίου αλλά και κάποια άλλα αντιδραστήρια.
- Δεύτερος μηχανισμός: περιλαμβάνει την διαλυτοποίηση των ρύπων στο υδατικό διάλυμα, η οποία μπορεί να ενταθεί με την προσθήκη των κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων εξαρτώμενα από τον τύπο των ρύπων. Η έντονη επαφή μεταξύ των κόκκων εδάφους και του διαλύματος έκπλυσης έχει ως αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση των ρύπων του εδάφους και τη διασπορά τους στο νερό.

Στην συνέχεια διαχωρίζονται τα καθαρά σωματίδια του εδάφους και το νερό έκπλυσης το οποίο περιέχει τους ρύπους. Ο διαχωρισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Υδροκυκλώνες: ο διαχωρισμός σωματιδίων στους υδροκυκλώνες στηρίζεται στην αρχή της φυγόκεντρου δύναμης · χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό για σωματιδίων με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 10-20 μm .
- Σύστημα διαχωρισμού ρευστοστερεάς κλίνης: ο διαχωρισμός βασίζεται στη διαφορετική βαρυτομετρική ταχύτητα καθίζησης μεταξύ των λεπτομερών ρυπασμένων σωματιδίων και των καθαρών σωματιδίων του εδάφους. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται ο επιλεκτικός διαχωρισμός για σωματίδια με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 50 μm .
- Βαρυτομετρικά συστήματα: ο διαχωρισμός επιτυγχάνεται όπως στους υδροσυγκεντρωτές, στις δονούμενες τράπεζες και στους σπειροειδείς συγκεντρωτές τύπου Humphrey.
- Επίπλευση: οι ρύποι που προσροφώνται στην επιφάνεια σωματιδίων αργίλου, ή οι ρύποι που είναι διακριτοί στο έδαφος, παρουσιάζουν διαφορετικές επιφανειακές ιδιότητες σε σχέση με τα καθαρά σωματίδια εδάφους. Με την προσθήκη ειδικών χημικών ουσιών, είναι δυνατή η δημιουργία υδρόφοβης επιφάνειας στα ρυπασμένα σωματίδια. Η μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα διαχωρισμού ρυπασμένων και μη-ρυπασμένων σωματιδίων του ίδιου μεγέθους κόκκων και της ίδιας πυκνότητας αλλά διαφορετικών επιφανειακών ιδιοτήτων.

Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι τα παραπροϊόντα της έκπλυσης, γιατί οι τεράστιες ποσότητες υγρών που προκύπτουν στο τέλος της επεξεργασίας δημιουργούν προβλήματα, αφού το υγρό περιέχει σημαντικό ρυπαντικό φορτίο. Αυτός είναι και ο λόγος που η μέθοδος της έκπλυσης δεν προτιμάται.

Το παραπροϊόν της μεθόδου πρέπει να υποστεί ειδική επεξεργασία για να απομακρυνθούν οι ρύποι και στην συνέχεια να ανακυκλωθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, παρουσιάζεται σημαντικός κίνδυνος διήθησης του υγρού στο υπέδαφος και επέκτασης της ρύπανσης. Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις που γίνεται χρήση οργανικών διαλυτών αντί του νερού, απαιτώντας ιδιαίτερη προσοχή αφού είναι τοξικοί και εύφλεκτοι.

4.2.1.3. Εκσκαφή του εδάφους

Για την απορρύπανση με εκσκαφή απαιτείται μεταφορά και αφαίρεση του ρυπασμένου εδάφους σε άλλη περιοχή, με σκοπό είτε την αποσύνθεση του είτε τον ενταφιασμό του αφού πρώτα έχει υποστεί ειδική επεξεργασία.

Η επεξεργασία του ρυπασμένου εδάφους μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Επιτόπου επεξεργασία με την χρήση αερισμού
- Βιοαπορρύπανση
- Θερμική επεξεργασία.

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι επεξεργασίας εδαφών αλλά οι ανωτέρω είναι οι πιο διαδεδομένοι. Επιπλέον, μετά την εκσκαφή του εδάφους θα πρέπει να γίνει αναπλήρωση του εδάφους είτε με το επεξεργασμένο εδαφικό υλικό είτε με υγιές υλικό μεταφερόμενο από άλλη περιοχή.



Εικόνα 4.2: Απεικόνιση εκσκαφής ρυπασμένου εδάφους.

Η εκσκαφή του εδάφους θεωρείται από τις πιο οικονομικές λύσεις απορρύπανσης. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα της μεθόδου την κάνουν ακατάλληλη στις περισσότερες περιπτώσεις.

Αρχικά, κατά την διάρκεια της εκσκαφής μπορεί να μην γίνει ολοκληρωτική απομάκρυνση του ρυπασμένου εδάφους με αποτέλεσμα η περιοχή να μην απορρυπανθεί πλήρως και ο ρύπος να επεκταθεί πάλι.

Επιπλέον, κατά την αναπλήρωση του εδάφους με υγιές υλικό το ρυπασμένο έδαφος θα πρέπει να μεταφερθεί και να απορριφτεί σε ελεγχόμενους αποδέκτες με σύγχρονα συστήματα προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης, ωστόσο αν δεν τηρηθούν πλήρως οι κανόνες μεταφοράς του ρυπασμένου εδάφους η ρύπανση μπορεί να επεκταθεί και σε άλλη περιοχή.

4.2.1.4. Θερμική επεξεργασία με απλή θέρμανση (heating), καύση (incineration) ή επεξεργασία με ατμό (steam stripping)

Η μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας με απλή θέρμανση πραγματοποιείται με δύο τρόπους και είναι οι εξής:

➤ *Μέθοδος Θερμικής επεξεργασίας με καύση*

Η μέθοδος της θερμικής επεξεργασίας του εδάφους χρησιμοποιεί κλιβάνους για την επιτυχή αφαίρεση των πτητικών ρύπων σε υψηλές θερμοκρασίας, χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα πετρελαιοειδή, κυανιούχα, πολυ-κυκλικές αρωματικές ενώσεις και

αμιάντος. Στην περίπτωση που υπάρχει μεγάλη αύξηση τη θερμοκρασίας προκαλείται καύση (incineration) των περισσότερων οργανικών ουσιών.

Οι πειραματικές μελέτες της μεθόδου πραγματοποιήθηκαν για την απορρύπανση ρυπανθέντων εδαφών με PCBs (Poly-Chlorinated Biphenyls). Η μέθοδος απαιτεί τον αυστηρό έλεγχο της θερμοκρασίας. Επίσης, πρέπει να πραγματοποιείται υπό ορισμένες συνθήκες διότι υπάρχει δυνατότητα να παραχθούν δηλητηριώδη αέρια που περιέχουν διοξίνες και μπορούν να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα.

➤ *Μέθοδος Θερμικής επεξεργασίας με ατμό*

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η εναλλακτική λύση της μεθόδου της θερμικής επεξεργασίας πραγματοποιείται επιτόπου με την παροχή υπέρθερμου ατμού στο έδαφος (steam stripping) μέσω γεωτρήσεων. Με την μέθοδο αυτή αρχικά εξατμίζονται οι πτητικοί ρύποι και συλλέγονται με άλλες γεωτρήσεις, στις οποίες ασκείται αναρρόφηση και στην συνέχεια οι ρύποι διαλύονται στο νερό του ατμού και αφαιρούνται μαζί με το νερό με σύστημα αποστράγγισης. Έχει αποδειχθεί ότι η αφαίρεση πτητικών ουσιών από το έδαφος μπορεί να επιτευχθεί με την ανόρυξη γεωτρήσεων εκτόνωσης.

Ωστόσο και οι δύο τρόποι θερμικής επεξεργασίας έχουν κοινούς στόχους και είναι οι εξής:

- Η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των ρύπων
- Η αδρανοποίησή τους και μετατροπή τους σε υλικά λιγότερο επιβλαβή
- Η απορρύπανση της ρυπασμένης περιοχής

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου θερμικής επεξεργασία είναι ότι έχει την δυνατότητα να εφαρμοστεί σε μικρές αλλά και μεγάλες περιοχές που έχουν ρυπανθεί, διότι είναι αποτελεσματική και έχει την δυνατότητα να επεξεργαστεί μεγάλες ποσότητες ρύπων. Ωστόσο έχει και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία είναι το υψηλό κόστος εφαρμογής της . Επιπλέον, η ανάγκη απασχόλησης εξειδικευμένου προσωπικού και η χρήση δαπανηρών συστημάτων ελέγχου και παρακολούθησης. Τέλος, γίνεται εκπομπή επικίνδυνων ρύπων μέσω των καυσαερίων με αποτέλεσμα την ατμοσφαιρική ρύπανση.

4.2.1.5. Χημική επεξεργασία

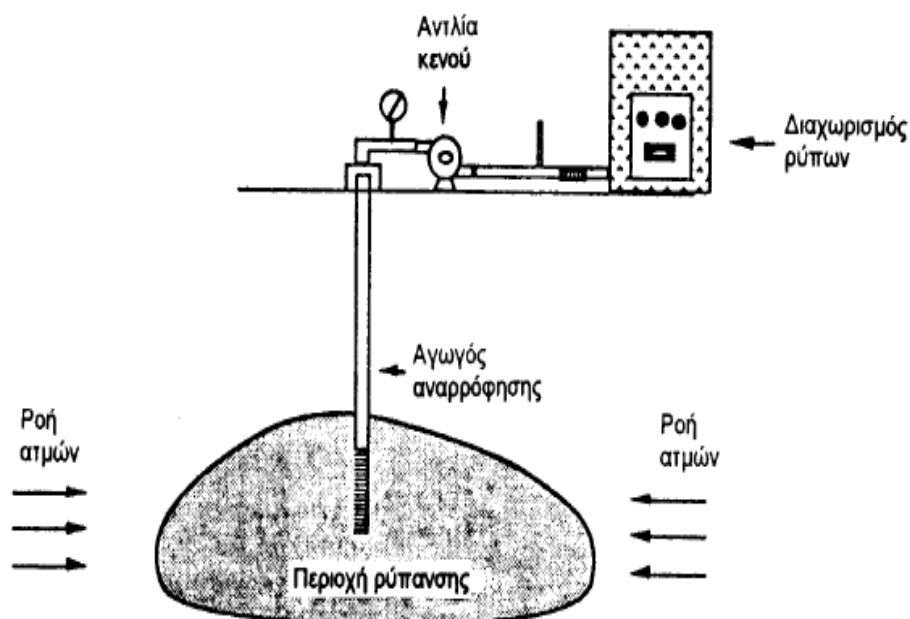
Η μέθοδος της χημικής επεξεργασίας παρουσιάζει κοινά στοιχεία με την μέθοδο της έκπλυσης του εδάφους με χημικές ουσίες. Στην περίπτωση της χημικής επεξεργασίας το νερό που χρησιμοποιείται είναι υπό πίεση και περιέχει απορρυπαντικά ή οξέα ή βάσεις.

4.2.1.6. Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction) ή απλού αερισμού (soil venting).

Η απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction) ονομάζεται και μέθοδος απλού αερισμού (soil venting). Η μέθοδος αυτή θεωρείται κατάλληλη για την απορρύπανση της μερικώς κορεσμένης ζώνης εδαφών από πτητικούς υδρογονάνθρακες, όπως είναι τα ελαφρά πετρελαιοειδή. Αν και είναι πρόσφατη, οι πειραματικές μελέτες την θεωρούν ως την πιο κατάλληλη για την απορρύπανση των εδαφών. Στην μέθοδο αυτή πραγματοποιείται διάνοιξη γεωτρήσεων εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης και στην εφαρμογή αναρρόφησης (υποπίεσης). Στόχος της εφαρμογής είναι η εξάτμιση των πτητικών υδρογονανθράκων και η περισυλλογή τους με τον αναρροφούμενο αέρα.

Η μέθοδος θεωρείται κατάλληλη για χονδρόκκοκα εδάφη με $k > 10^{-4}$ cm/sec. Ο λόγος που η μέθοδος δεν είναι αποδοτική σε λεπτόκκοκα εδάφη είναι επειδή έχουν μικρή αγωγιμότητα και η εφαρμογή δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγάλες ζώνες γύρω από τις γεωτρήσεις. Επιπλέον, η μέθοδος της υποπίεσης χρησιμοποιείται με ιδιαίτερη επιτυχία για την απορρύπανση υπόγειων υδροφορέων που είναι ρυπασμένοι από ελαφριά επιπλέοντα πετρελαιοειδή.

Η εφαρμογή της βασίζεται στην εξάτμιση των πτητικών πετρελαιοειδών τα οποία επιπλέον στην επιφάνεια των υπογείων νερών και στην συνέχεια συλλέγονται μαζί με τον αναρροφούμενο αέρα. Η ανάκτηση των ελαφρών πετρελαιοειδών από την επιφάνεια υπόγειων υδροφορέων, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την μέθοδο διπλής άντλησης είτε με την μέθοδο υποπίεσης.



Σχήμα 4.1.: Σύστημα απορρύπανσης εδαφών με εφαρμογή υποπίεσης.

Οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν καταλήξει σε κάποια συμπεράσματα, οδηγώντας την δεύτερη μέθοδο να πλεονεκτεί στην ταχύτητα απορρύπανσης με τον μικρότερο χρόνο αλλά και στο χαμηλότερο κόστος για την διεκπεραίωση της. Επίσης, έχει την δυνατότητα να απορρυπάνει ταυτόχρονα τη μερικώς κορεσμένη ζώνη και τους επιπλέοντες υδρογονάνθρακες, σε αντίθεση με την μέθοδο της διπλής άντλησης που περιορίζεται στην ανάκτηση των υδρογονανθράκων που επιπλέουν στο υπόγειο νερό.

Ωστόσο, η εφαρμογή της υποπίεσης παρουσιάζει ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο είναι η ανάγκη της απομόνωσης της μερικώς κορεσμένης ζώνης του εδάφους από τον ατμοσφαιρικό αέρα, για να είναι αποδοτική η εφαρμογή της. Αυτό συμβαίνει διότι, η προσωρινή κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους γίνεται με συνθετική μεμβράνη, όμως οι χώροι είναι ήδη καλυμμένοι επιφανειακά είτε με ασφαλτοτάπητα είτε με κτίρια με αποτέλεσμα η απαίτηση αυτή δεν ισχύει.

4.2.1.7. Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Η μέθοδος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιείται για την εξαέρωση των πτητικών υδρογονανθράκων και εφαρμόζεται με ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες υψηλών συχνοτήτων. Η εξαέρωση επιτυγχάνεται από την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους η οποία αγγίζει τους 150°C και απαιτεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 15 ημερών.

4.2.2. Μέθοδοι απορρύπανσης ταμειυτήρων υπογείων υδάτων

4.2.2.1. Βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)

Η βιολογική αποκατάσταση ή βιοαποκατάσταση όπως προαναφέραμε για την απορρύπανση εδαφών, είναι μια μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για την αποδόμηση των οργανικών ουσιών με τη δράση μικροοργανισμών, όπως βακτήρια και μύκητες. Για την επιλογή της πρέπει αρχικά να γίνει διάγνωση του ρυπαντή, δηλαδή αν υπάρχει η δεκτικότητα του στη βιοδιάσπαση από τους μικροοργανισμούς που διαμένουν ή εισάγονται στη θέση της ρύπανσης. Οι μικροοργανισμοί παράγουν κατάλληλα ένζυμα τα οποία χρησιμοποιούν ως καταλύτες.

Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται στην απορρύπανση των υπόγειων υδάτων. Ωστόσο, οι μικροοργανισμοί έχουν την δυνατότητα να διασπάσουν ένα μεγάλο ποσοστό οργανικών ρυπαντών.

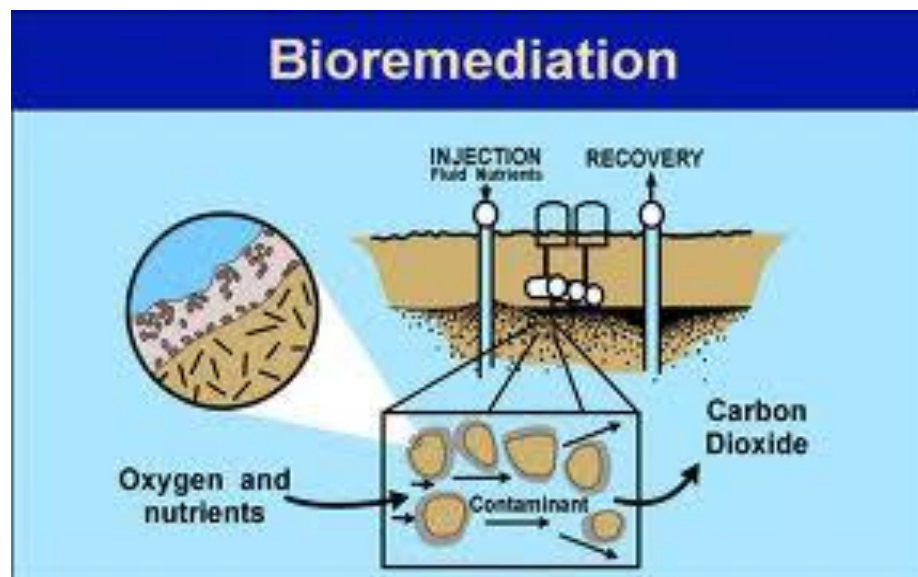
Το τελικό προϊόν της βιολογικής αποκατάστασης είναι ανόργανες ουσίες και είναι οι εξής:

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)
- Νερό (H_2O)
- Υδροθείο (H_2S)
- Μεθάνιο (CH_4)
- Νιτρικά και θειϊκά άλατα

Η μέθοδος της βιολογικής αποκατάστασης για την απορρύπανση υπόγειων υδάτων των ταμειυτήρων βασίζεται στις ίδιες αρχές με την ανάλογη μέθοδο που χρησιμοποιείται για την απορρύπανση των εδαφών πάνω από τη στάθμη του υπογείου ορίζοντα. Η βασική διαφορά είναι στο κατώτερο τμήμα του υπογείου ορίζοντα ο αερισμός είναι σχεδόν αδύνατος αφού παρουσιάζεται πολύ χαμηλό ποσοστό οξυγόνου.

Επιπλέον, η απουσία οξυγόνου οδηγεί στην αναερόβια αποσύνθεση, η οποία καταλήγει στην παραγωγή μεθανίου (CH_4) και υδροθείου (H_2S), που προσδίδουν άσχημη οσμή στο νερό. Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιείται τεχνητός αερισμός κατά τον οποίο διαβιβάζεται αέρας, μέσω βαθιών γεωτρήσεων, με σκοπό να γίνει αερόβια αποσύνθεση.

Η βιοαποκατάσταση διακρίνεται σε μηχανική βιοαποκατάσταση (engineered bioremediation) και σε ειδική βιοαποκατάσταση (intrinsic bioremediation). Στην περίπτωση της μηχανικής βιοαποκατάστασης επιβάλλεται η δημιουργία συνθηκών τεχνικά με σκοπό να παρέχουν τα κατάλληλα υλικά για τροφή και παροχή ενέργειας στους μικροοργανισμούς, δηλαδή την επέμβαση του ανθρώπου ενώ στην περίπτωση της ειδικής βιοαποκατάστασης, έχουμε την επέμβαση της φύσης ανάλογα τις συνθήκες.



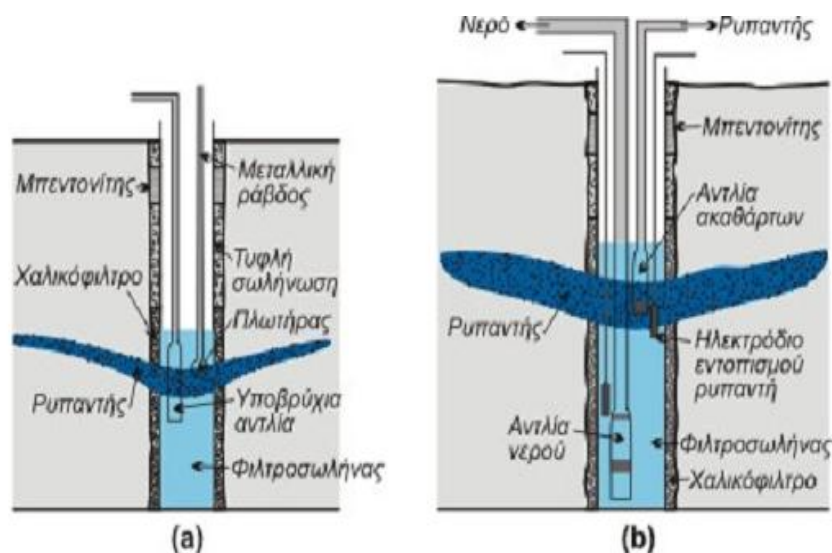
Σχήμα 4.2. : Απεικόνιση μεθόδου Βιολογικής αποκατάστασης (bio-remediation)

Ωστόσο, η μηχανική βιοαποκατάσταση πλεονεκτεί της ειδικής λόγω ταχύτητάς. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος μειονεκτεί στην συσσώρευση μικρο-οργανισμών σε μία θέση με αποτέλεσμα να υπάρξει πιθανή απόφραξη των γεωτρήσεων. Την λύση του προβλήματος την δίνουν τα πρωτόζωα τα οποία έχουν την δυνατότητα να καταστρέφουν τα βακτήρια.

Η βιολογική αποκατάσταση είναι μέθοδος *in situ* δηλαδή, εκτελείται επιτόπου η χημική επεξεργασία με τα κατάλληλα μέσα. Βασικό της μειονέκτημα είναι σε περίπτωση αστοχίας της επιβάλλεται όχι μόνο η απομάκρυνση του ρύπου αλλά και οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν για την απορρύπανση των υδάτων. Η βιολογική αποκατάσταση είναι από τις οικονομικότερες μεθόδους όμως δεν είναι κατάλληλη να αντιμετωπίσει τους ρύπους μόνη της, ωστόσο, δίνει άριστα αποτελέσματα αν εφαρμοστεί σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους.

4.2.2.2. Απορρύπανση με άντληση και απορρύπανση διαλυμένων ρύπων (pump and treat)

Η μέθοδος της άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρύπων (pump and treat) εφαρμόζεται όταν οι ρύποι έχουν αναμιχθεί με το νερό του υδροφορέα. Αρχικά το υπόγειο νερό αντλείται με ένα σύστημα γεωτρήσεων, το οποίο στη συνέχεια οδηγείται σε μονάδα επεξεργασίας για την απορρύπανσή του. Με την ολοκλήρωση της επεξεργασίας και της απορρύπανσης του, το νερό εισάγεται πάλι στον υδροφόρο ορίζοντα με την χρήση γεωτρήσεων. Η βέλτιστη απόσταση των γεωτρήσεων απορρύπανσης υπολογίζεται σαν συνάρτηση της με την ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού, το πάχος του υδροφόρου, το συνολικό αριθμό γεωτρήσεων και την παροχή άντλησης της κάθε μιας γεώτρησης.



Σχήμα 4.3.: Συστήματα άντλησης-επεξεργασίας.

(α) Απλή γεώτρηση, μία αντλία

(β) Απλή γεώτρηση, ζεύγος αντλιών.

Η κατάλληλη διάταξη και ο σωστός συνδυασμός των γεωτρήσεων άντλησης - έκχυσης (εμπλουτισμού) αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Η πειρατική διαδικασία της μεθόδου και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων της οδήγησε στην κεντροαξονική διάταξη, δηλαδή οι δύο γεωτρήσεις άντλησης και η μια γεώτρηση έκχυσης να βρίσκονται στο μέσο των δύο πρώτων και όλες να στοιχίζονται σε μια ευθεία.

Όπως έχουμε προαναφέρει και στην αρχή του Κεφαλαίου η απορρύπανση των ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων από υγρούς ρύπους, οι οποίοι είναι βαρύτεροι από το νερό είναι δυσχερής διότι βυθίζονται χωρίς να αναμειγνύονται. Οι βασικότεροι ρύποι ήτοι:

- Πυκνά πετρελαιοειδή (Dense Non-Aqueous Phase Liquids DNAPLs)
- Χλωριωμένοι διαλύτες
 - Τριχλωροαιθένιο-TCE
 - Τετραχλωροαιθένιο-PERC
- Απόβλητα από ξυλουργικές βιομηχανίες
 - Κρεόζοτο
 - Πενταχλωροφαινόλη
- Εντομοκτόνα
 - DDT
 - Aldrin
 - Endrin

Οι απομάκρυνση των ρύπων που έχουν καθίζηση στους ταμιευτήρες νερού είναι η πιο δυσμενέστερη περίπτωση ρύπανσης. Οι ρύποι όταν καθιζάνουν δημιουργούν συσσωματώματα με αποτέλεσμα η απομάκρυνση τους από τα κατώτερα στρώματα των υπογείων υδάτων είναι δύσκολη. Στην περίπτωση που η ρύπανση έχει επεκταθεί αρκετά ο όγκος των συσσωματωμάτων που δημιουργούν οι ρύποι είναι μεγάλος με αποτέλεσμα να απαιτείται η συμπύκνωση της μάζας τους.

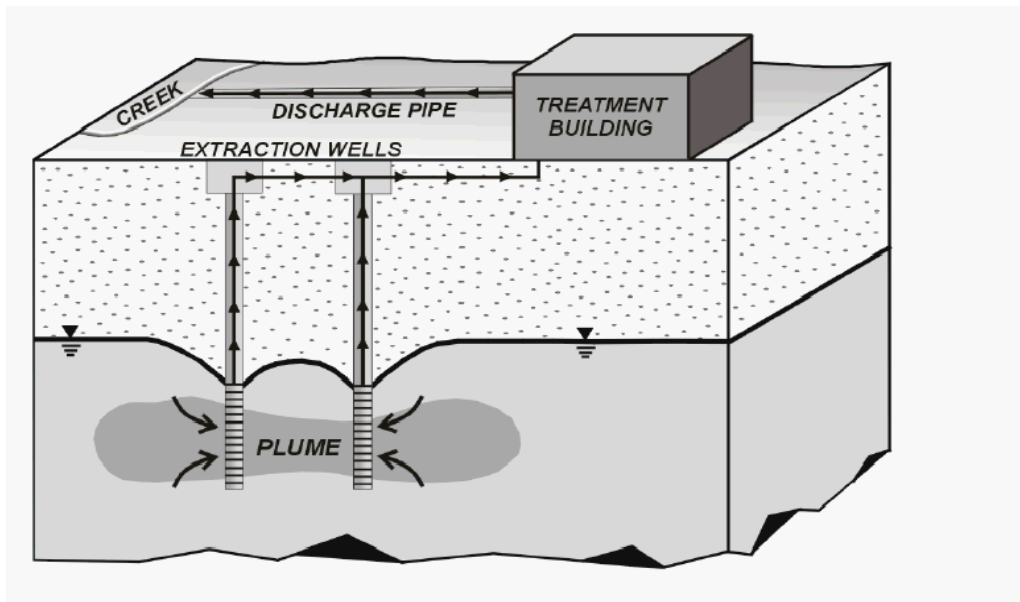
4.2.2.3. Απορρύπανση με άντληση επιπλεόντων ρύπων (dual pump free product recovery)

Όπως προαναφέρθηκε οι ρύποι οι οποίοι είναι ελαφρύτεροι από το νερό έχουν την δυνατότητα να επιπλέουν στην επιφάνεια του χωρίς να αναμειγνύονται με συνέπεια ο διαχωρισμός τους να είναι ευκολότερος. Το σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση των επιπλεόντων ρυπαντών είναι της διπλής άντλησης του ρυπαντή (dual pump free product recovery).

Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται ως εξής, αρχικά γίνεται άντληση του υπόγειου νερού και στην συνέχεια ο ρυπαντής κινείται προς την γεώτρηση και αυτό οφείλεται στην υδραυλική κλίση του συστήματος. Όταν το νερό φτάσει στην γεώτρηση γίνεται άντληση με δεύτερη αντλία. Στόχος της μεθόδου είναι η απομάκρυνση των ρύπων και η διαφύλαξη του υδροφορέα σε όλο το πάχος του από την ρύπανση.

Οι βασικότεροι ρύποι που ανήκουν στην κατηγορία των ελαφριών πετρελαιοειδών είναι το πετρέλαιο, η βενζίνη και η κηροζίνη ονομάζονται LNAPLs (Light Non-Aqueous Phase Liquids). Στην περίπτωση που τα πετρελαιοειδή διαφεύγουν στο έδαφος κατακρατούνται στους πόρους του εντός της μερικής κορεσμένης ζώνης και αυτό οφείλεται στην εμφάνιση τριχοειδών δυνάμεων. Στην περίπτωση που τα πετρελαιοειδή βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες τότε το έδαφος αδυνατεί να τους συγκρατήσει με αποτέλεσμα να εισέρχονται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και να συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του. Το μικρό τους βάρος τα βοηθά να επιπλέουν στο νερό με αποτέλεσμα να ενώνονται και να δημιουργούν κηλίδες.

Οι κηλίδες που δημιουργούνται διαχέονται σε οριζόντια κατεύθυνση και με το πέρασμα του χρόνου υπάρχει δυνατότητα να επεκταθεί σε μεγάλη απόσταση από το αρχικό σημείο διαρροής. Οι κηλίδες ακολουθούν την διακύμανση της στάθμης του υπογείου ορίζοντα της στάθμης επηρεαζόμενες από τις εποχιακές μεταβολές και ρυπαίνοντας την μερική κορεσμένη ζώνη του εδάφους καθ' ύψος σε μεγάλη απόσταση από την πηγή της ρύπανσης. Τέτοιου τύπου ρύπανση παρατηρείται συνήθως είτε σε περιοχές διυλιστηρίων είτε σε βιομηχανικές.



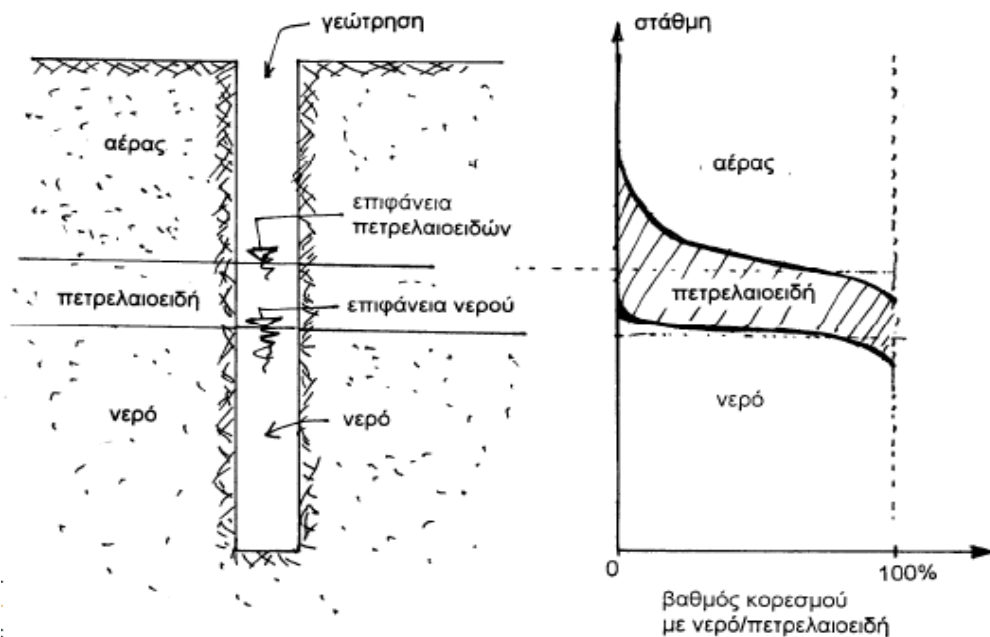
Σχήμα 4.4.: Σχηματισμός κηλίδας από ελαφριά πετρελαιοειδή σε υπόγειο ταμιευτήρα νερού.

Για την διαπίστωση της έκτασης της ρύπανσης από επιπλέοντα πετρελαιοειδή χρησιμοποιούνται γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις έχουν την δυνατότητα να φτάσουν στην στάθμη του υπόγειου ορίζοντα και να πάρουν τα απαιτούμενα δείγματα για τις έρευνες. Τα δείγματα που λαμβάνονται προσδιορίζουν την υπάρχουσα περιεκτικότητα των πετρελαιοειδών στα ύδατα και γίνεται χρήση χημικών μεθόδων όπως η πύρωση. Με την πάροδο του χρόνου συγκεντρώνονται επιπλέοντα πετρελαιοειδή μέσα στη γεώτρηση.

Για να αποκατασταθούν οι συνθήκες υδροστατικής ισορροπίας θα πρέπει το πάχος της στρώσης των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια του νερού να ισούται πρακτικά με το πάχος της πλήρως κορεσμένης με πετρελαιοειδή στοιβάδας εντός του εδάφους. Πάνω από τη ζώνη του εδάφους που είναι κορεσμένη με πετρελαιοειδή, υπάρχει μια μερικώς κορεσμένη ζώνη, όπου στους πόρους του εδάφους συγκρατείται πετρέλαιο, αυτό οφείλεται στις τριχοειδείς δυνάμεις και στην πρόσφυση των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων.

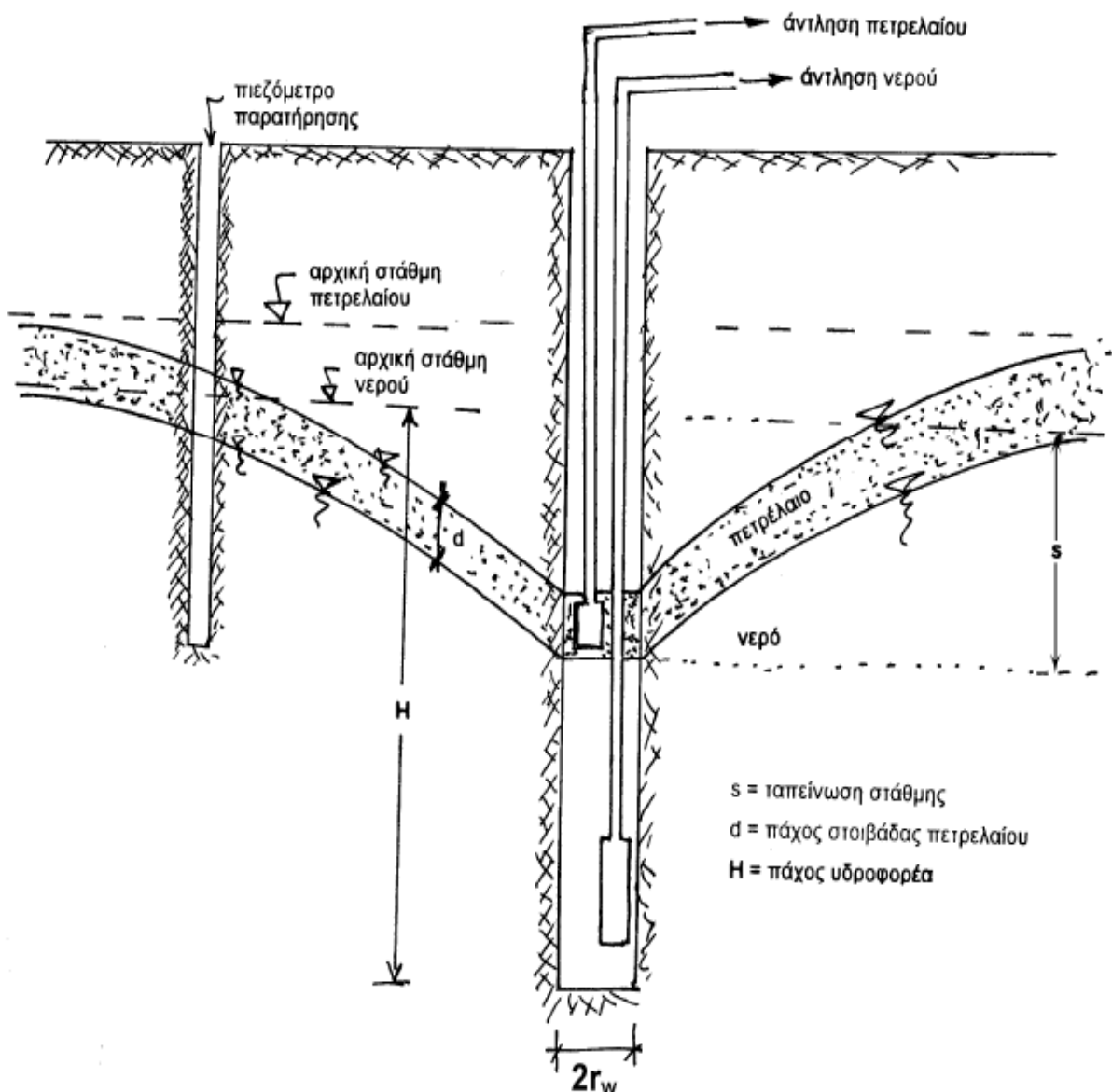
Για τον υπολογισμό του όγκου της κηλίδας των πετρελαιοειδών αρκεί να πολλαπλασιάσουμε το πάχος της επί την επιφάνεια της κηλίδας, Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πάχος της μετράται στο εσωτερικό της γεώτρησης και η επιφάνεια συνυπολογίζει το άθροισμα των γεωτρήσεων που έχουν δημιουργηθεί στην περιοχή που έχει ρυπανθεί.

Με την μέθοδο της άντλησης επιπλεόντων ρύπων αντλείται το νερό από τον ταμιευτήρα με την βοήθεια γεώτρησης, με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας κώνος ταπείνωσης της στάθμης του. Οι ρύποι που επιπλέον κινούνται προς την γεώτρηση ακολουθώντας την υδραυλική κλίση και στην συνέχεια αντλούνται με μία δεύτερη αντλία. Οι δύο αντλίες καθορίζουν την απόδοση της μεθόδου διότι εξαρτάται από την παροχή τους.

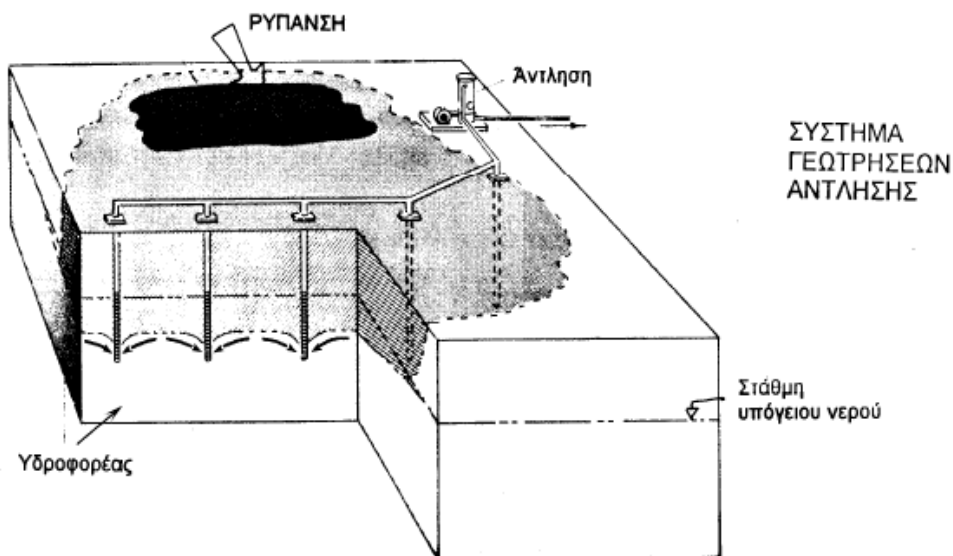


Σχήμα 4.5.: Ρύπανση του υπόγειου ορίζοντα με επιπλέοντα πετρελαιοειδή (LNAPLs).

Μια αρχική εκτίμηση είναι ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ταπείνωση της στάθμης του υδροφορέα, τόσο αυξάνει η παροχή άντλησης του επιπλέοντος ρύπου και συνεπώς αυξάνει η απόδοση της μεθόδου. Όμως, θα πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι αυξάνοντας την ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα, τα επιπλέοντα πετρελαιοειδή ρυπαίνουν τον ταμιευτήρα καθ' ύψος σε όλη την έκταση του κώνου ταπείνωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας του ρύπου που συγκρατείται στους πόρους του ταμιευτήρα, χωρίς να μπορεί να ανακτηθεί με τη μέθοδο της άντλησης και να απαιτεί τη χρήση άλλων μεθόδων, όπως η εφαρμογή υποπίεσης, η θέρμανσης.



Σχήμα 4.6. (α): Τομή μεθόδου διπλής άντλησης για απορρύπανση από επιπλέοντες ρύπους.



Σχήμα 4.6. (b): Μέθοδος διπλής άντλησης για απορρύπανση από επιπλέοντες ρύπους.

Συμπέρασμα των ανωτέρων είναι ότι η ρύθμιση της ταπείνωσης της στάθμης του ταμιευτήρα θα πρέπει να γίνεται με προσοχή. Δηλαδή, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι πιθανές συνέπειες λόγω της υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους. Η υποχώρηση αυτή οφείλεται στη μεταβολή των ενεργών τάσεων και μπορεί να εκτιμηθεί με τις συνήθεις μεθόδους της Εδαφομηχανικής.

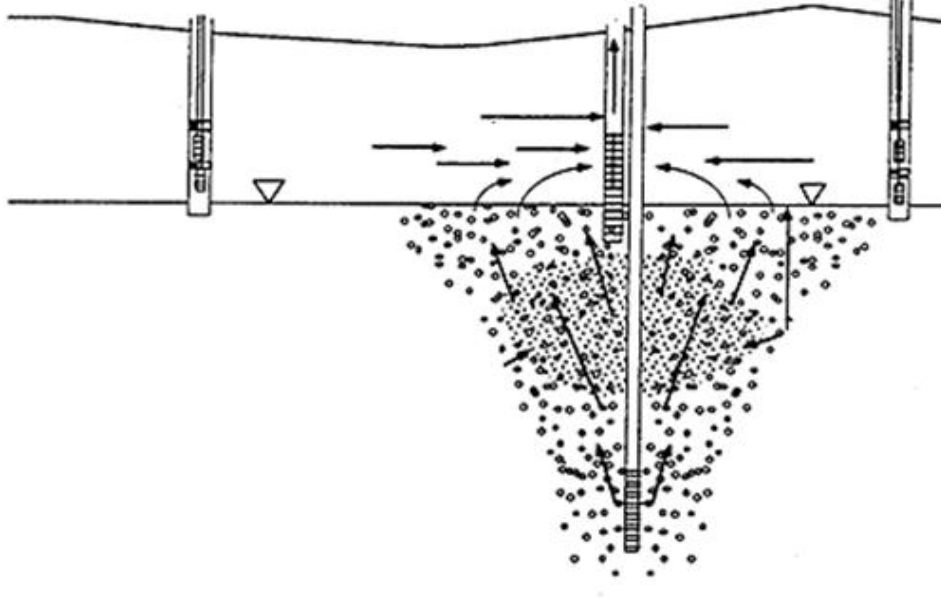
Η αντλούμενη παροχή του επιπλέοντος ρύπου απαιτεί προσεκτική ρύθμιση για μια συγκεκριμένη ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα. Η απόδοση της μεθόδου μειώνεται όταν η αντλούμενη παροχή του ρύπου είναι πολύ μικρή. Στην περίπτωση που η αντλούμενη παροχή του ρύπου είναι πολύ μεγάλη, τότε η ανώτερη αντλία θα αρχίσει να παράγει μίγμα πετρελαίου με νερό, τα οποία θα πρέπει να διαχωριστούν αυξάνοντας το κόστος λειτουργίας της μεθόδου.

4.2.2.4. Απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction)

Η μέθοδος απορρύπανσης με εφαρμογή υποπίεσης είναι ανάλογη της μεθόδου για την απορρύπανση της μερικώς κορεσμένης ζώνης των εδαφών από πτητικούς ρύπους. Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται ως εξής, αρχικά ο αέρας υπό πίεση διοχετεύεται σε σύστημα γεωτρήσεων εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης και στην συνέχεια εφαρμόζεται με αναρρόφηση υποπίεση, με αποτέλεσμα να εξατμιστούν οι πτητικοί υδρογονάνθρακες.

Στην περίπτωση των ταμιευτήρων νερού η εφαρμογή της δεν μπορεί να γίνει κάτω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα αλλά μόνο εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης, με

συνέπεια να επηρεάζεται μόνο η επιφάνεια του υδροφορέα. αυτός είναι και ο λόγος που η μέθοδος εφαρμόζεται για απορρύπανση από επιπλέοντες πτητικούς ρυπαντές.



Σχήμα 4.7.: Τυπική διάταξη εφαρμογής απορρύπανσης με υποπίεσης

Η μέθοδος απορρύπανσης με εφαρμογή υποπίεσης πλεονεκτεί διότι έχει την δυνατότητα να κάνει ταυτόχρονη απορρύπανση της μερικά κορεσμένης ζώνης και των επιπλέοντων ρυπαντών. Ωστόσο, το βασικό της μειονέκτημα της είναι η απομόνωση της μερικώς κορεσμένης ζώνης του εδάφους από τον ατμοσφαιρικό αέρα, η οποία καθίσταται αναγκαία προκειμένου να είναι αρκετά αποδοτική η εφαρμογή της υποπίεσης. Όπως προαναφέραμε πρέπει να γίνει προσωρινή κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με συνθετική μεμβράνη, αν δεν είναι ήδη καλυμμένη επιφανειακά με ασφαλτοτάπητα ή κτίρια.

4.2.2.5. Απορρύπανση από βαρέα μέταλλα

Για απορρύπανση από βαρέα μέταλλα εφαρμόζονται μέθοδοι φυσικής απορρύπανσης. Η απορρύπανση των ταμιευτήρων πραγματοποιείται μέσω των μεθόδων φυσικής εξασθένησης, με την προσρόφηση των ιόντων των βαρέων μετάλλων στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών και την ακινητοποίησή τους. Για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων εφαρμόζεται επίσης τάση μέσω ηλεκτροδίων όπου τα ιόντα των μετάλλων οδηγούνται στην άνοδο και εκεί συλλέγονται. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική και κυρίως έχει μικρό κόστος.

Όπως έχουμε προαναφέρει τα βαρέα μέταλλα είναι μια ειδική κατηγορία τοξικών μετάλλων με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται πειραματικές μελέτες για την ρύπανση που

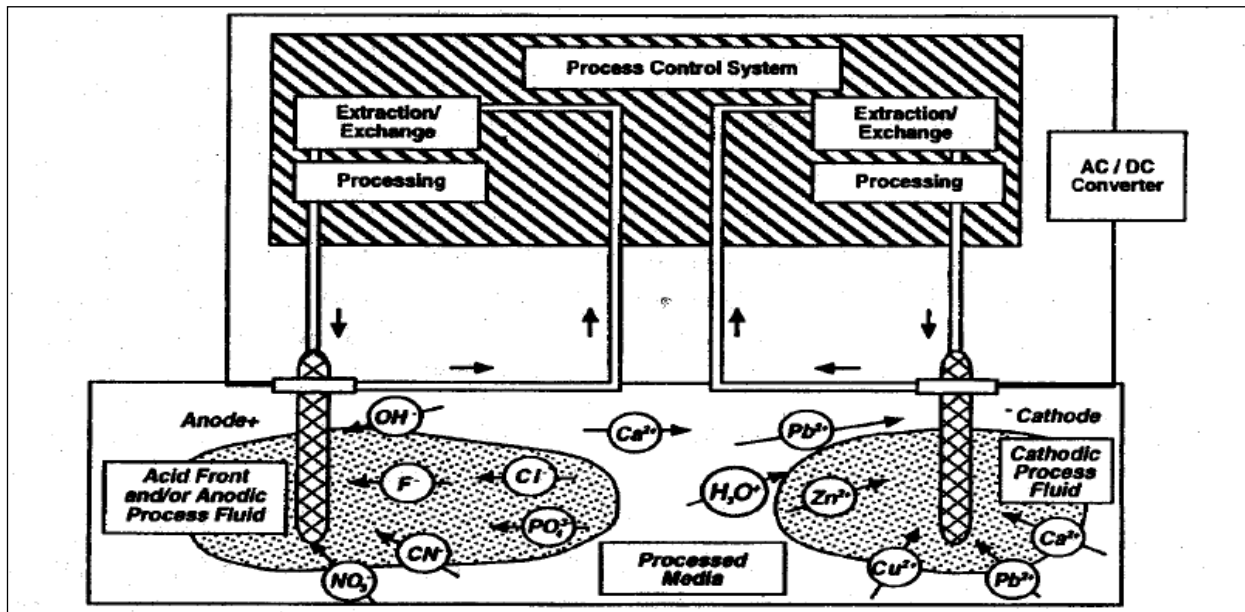
δημιουργούν. Τα βαρέα είναι όλα τα μέταλλα με μοριακό βάρος (M.B) μεγαλύτερο του σιδήρου (Fe) «Fe → M.B 56» και τα πιο επικίνδυνα είναι τα εξής:

- | | |
|-----------------|--------------------|
| ✓ As → αρσενικό | ✓ Pb → μόλυβδος |
| ✓ Cd → κάδμιο | ✓ Ni → νικέλιο |
| ✓ Cr → χρώμιο | ✓ Hg → υδραργυρος |
| ✓ Cu → χαλκός | ✓ Zn → ψευδάργυρος |

Ακολουθεί πίνακας με στοιχεία που περιέχουν βαρέα μέταλλα και ρυπαίνουν του ταμειυτήρες υπόγειων υδάτων.

Στοιχείο	Cd	Ni	Pd	Zn
Γαλβανισμός	+	+		
Χρώματα	+		+	+
Σταθεροποιητές πλαστικών	+			
Μπαταρίες	+	+	+	
Κέρματα		+		
Σωλήνες νερού			+	
Καύσιμα			+	
Αντισκωριακή προστασία		+		+
Στεγανοποίηση			+	
Απορροφητής ακτινών X			+	
Εξόρυξη μεταλλείων	+	+	+	+
	(ως παραπροιον)			
Κάλλυμα καλωδίων			+	

Πίνακας 4.1.: Στοιχεία ρύπανσης των εδαφών και των υπόγειων υδάτων.
Είναι έμμονοι ρύποι και συμμετέχουν σε υδρολογικούς κύκλους



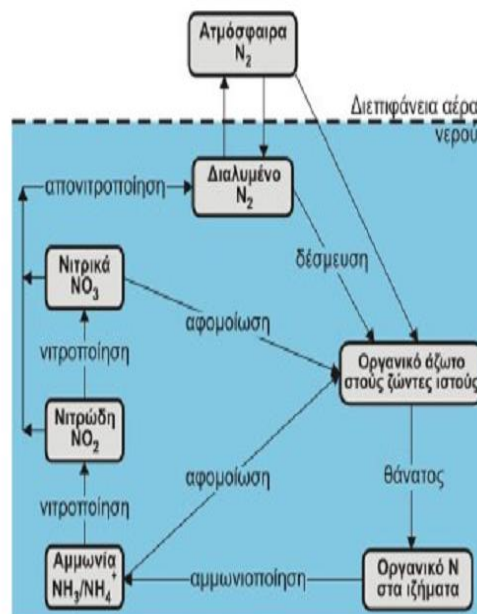
Σχήμα 4.8.: Μέθοδος απορρύπανσης από βαρέα μέταλλα.

4.2.2.6. Απονίτρωση υπόγειων υδάτων

Το άζωτο βρίσκεται στο υδάτινο περιβάλλον σε διαφορές μορφές, οι οποίες είναι:

- Αμμωνία
- Νιτρικά
- Νιτρώδη
- Οργανικά σύμπλοκα του αζώτου αέριο άζωτο.

Η πιο οξειδωμένη μορφή του αζώτου στα υδατικά διαλύματα είναι τα νιτρικά και είναι χημικά ανενεργά.



Σχήμα 4.9.: Ο κύκλος του αζώτου στο νερό.

Οι τιμές στις οποίες κυμαίνονται οι συγκεντρώσεις των νιτρικών σε μη ρυπασμένα επιφανειακά νερά είναι μικρότερες του 1 mg/L. Στην περίπτωση που οι συγκεντρώσεις των νιτρικών είναι άνω του 1 mg/L αποδεικνύεται ότι έχει παρέμβει ο ανθρώπινος παράγοντας. Δύο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα αστικά λύματα και η απορροή από αστικές και γεωργικές εκτάσεις. Η νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης προκαλεί σε μεγάλο βαθμό

την υποβάθμιση των υπόγειων νερών. Επίσης, οι συγκεντρώσεις αζώτου είναι μικρότερες όταν παρεμβάλλεται αργιλικό στρώμα στην ακόρεστη ζώνη και μειώνονται με το βάθος κάτω από τη στάθμη του νερού.

4.3. Μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης του εδάφους και των υδροφόρων

α/α	Τεχνική	Στόχος
1	Έλεγχος της πηγής ρύπανσης με μείωση του όγκου του ρυπαντή με φυσική και χημική εξουδετέρωση του.	- Ελαχιστοποίηση ή πρόληψη της ρύπανσης των ταμιευτήρων. - Μείωση του όγκου του ρυπαντή και εξουδετέρωση του χημικού χαρακτήρα.
2	Συστήματα υδρογεωτρήσεων : <ul style="list-style-type: none"> • Συστοιχίες ρηχών γεωτρήσεων • Βαθιές γεωτρήσεις • Συστήματα αφαίρεσης μη αντιδρώντων ρυπαντών. 	-Έλεγχος της υδραυλικής κλίσης και μέσω αυτής της υπόγειας ροής με άντληση ή έκχυση νερού. -Απόληψη του μολυσμένου νερού και του επιπλέοντος ρυπαντή.
3	Συστήματα σύλληψης : <ul style="list-style-type: none"> • Στραγγιστήρια – συλλεκτήρια συστήματα στραγγιδιών • Τάφρος συλλογής με άντληση ή βαρυντική ροή. 	- Πραγματοποίηση εκσκαφών στην κορεσμένη ζώνη με εξοπλισμό σωλήνα. Η εκσκαφή μπορεί να είναι ανοιχτή και να προσομοιώνεται με συστοιχίες γεωτρήσεων άντλησης, δημιουργώντας ένα κώνο κατάπτωσης στο μήκος της εκσκαφής
4	Έλεγχος των επιφανειακών νερών <ul style="list-style-type: none"> • Φυσική εξουδετέρωση, αποχέτευση, επένδυση και συνδυασμός. 	Ελαχιστοποίηση των αφίξεων επιφανειακών νερών και της κατείσδυσης μέσω αποχέτευσης.
5	Επιτόπια επεξεργασία <ul style="list-style-type: none"> • Χημική • Βιολογική 	Εισαγωγή υλικών στο υπέδαφος προκαλώντας ή ενισχύοντας τις χημικές αντιδράσεις καθώς επίσης προκαλούν την απομάκρυνση του ρυπαντή.
6	Επεξεργασία του υπόγειου νερού στην επιφάνεια ή στο υπέδαφος.	Βιοαπορρύπανση, προσρόφηση από ενεργό άνθρακα, αεροδιαχωρισμός οργανικών ρυπαντών και χημική καθίζηση για την αφαίρεση των μετάλλων και των ανόργανων ρυπαντών.

Πίνακας 4.2.: Κυριότερες μέθοδοι και τεχνικές απορρύπανσης των ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων.

Κεφάλαιο 5: Μέθοδοι περιορισμού επέκτασης της ρύπανσης

5.1. Γενικά

Οι τεχνολογίες προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων συμβάλλουν στην πρόληψη των δυσμενών επιπτώσεων από την επέκταση της ρύπανσης. Το κόστος των συστημάτων προστασίας είναι αρκετά μικρότερο, τουλάχιστον κατά μια τάξη μεγέθους, από το κόστος της αντίστοιχης απορρύπανσης. Ωστόσο, πριν αναλύσουμε τις μεθόδους περιορισμού επέκτασης της ρύπανσης θα αναφερθούμε στους λόγους που επιβάλλουν την λήψη μέτρων απορρύπανσης και τον περιορισμό επέκτασης ρύπανσης, καθώς και την προστασία των ταμιευτήρων υπόγειων υδάτων. Οι λόγοι είναι οι εξής:

- Το ποσοστό ρύπανσης να κυμαίνεται σε επίπεδα που είναι επικίνδυνα για την δημόσια υγεία.
- Το ποσοστό ρύπανσης να δημιουργεί υποβάθμιση του περιβάλλοντος
- Η βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος σε μια περιοχή ακόμη και στην περίπτωση που ο βαθμός ρύπανσης δεν προκαλεί σημαντικά προβλήματα δημόσιας υγείας.
- Η ανάπτυξη μιας περιοχής σε συνδυασμό με την έλλειψη “καθαρών χώρων” για τη δημιουργία βιομηχανιών, οικισμών κ.ά.

Οι μέθοδοι που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4 για την απορρύπανση των εδαφών και υπόγειων υδάτων (κατ’ επέκταση των ταμιευτήρων νερού) μπορούν να εφαρμοστούν μόνο στις περιπτώσεις που το έδαφος έχει ήδη ρυπανθεί. Υπάρχει μια απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή μέθοδος περιβαλλοντικής αποκατάστασης, η λεγόμενη «μηδενική λύση». Στην συγκεκριμένη μέθοδο δεν λαμβάνονται ειδικά μέτρα απορρύπανσης αλλά περιορίζεται στη εξασθένιση του ρυπαντικού φορτίου και επαφίεται στους φυσικούς μηχανισμούς υποβάθμισης, όπως η βιολογική αποδόμηση των ρύπων, η προσρόφησή τους στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών, η μείωση της συγκέντρωσης των ρύπων μέσω αραίωσης ή εξάτμισης.

Παρόλα αυτά ένα επιπρόσθετο μέτρο για την αντιμετώπισή ή τον περιορισμό της ρύπανσης είναι η επιβολή των περιορισμών στην πρόσβαση και χρήση της περιοχής που έχει ρυπανθεί μέσω περιφράξης και προειδοποιητικών πινακίδων. Όμως, η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον ως προσωρινό μέτρο και δεν αποτελεί οριστική λύση του προβλήματος.

5.2. Μέθοδοι προστασίας επέκτασης ρύπανσης υπόγειων ταμιευτήρων

Οι μέθοδοι προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης των υπόγειων ταμιευτήρων είναι οι εξής:

- Μέθοδοι εγκιβωτισμού (διαφράγματα)
- Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού
- Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soilstabilization, solidification)

Στην συνέχεια θα αναπτυχθεί ξεχωριστά κάθε μια μέθοδος προστασίας και επέκτασης της ρύπανσης των υπόγειων ταμιευτήρων νερού.

5.2.1. Μέθοδοι εγκιβωτισμού

Η μέθοδος εγκιβωτισμού χρησιμοποιεί συστήματα κάλυψης της επιφάνειας η οποία έχει ρυπανθεί με σκοπό τον εγκιβωτισμό – περιορισμό των ρύπων, με συνέπεια την μη διασπορά τους στο περιβάλλον με την μορφή σκόνης και περιορίζοντας την κατείσδυση των επιφανειακών υδάτων. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή ως την μέθοδο «κουκουλώματος» και θεωρείται απλούστερη και οικονομικότερη μέθοδος για την περιβαλλοντική αποκατάσταση των περιοχών που έχουν ρυπανθεί.

Η κάλυψη της επιφάνειας εδαφών που έχουν ρυπανθεί αποτελεί προσωρινό μέτρο κάλυψης του προβλήματος και όχι τρόπο αποτελεσματικής αντιμετώπισης. Η περιοχή καλύπτεται είτε με ασφαλτικά υλικά, είτε με σκυρόδεμα ακόμα και καθαρό έδαφος. Κάτω από τις στρώσεις αυτές τοποθετείται συνθετική γεωμεμβράνη για τον περιορισμό κατείσδυσης επιφανειακών υδάτων. Η σφραγιστική στρώση πρέπει να έχει συγκεκριμένο πάχος ώστε, να μην υπάρχει δυνατότητα οι ρίζες των δέντρων να διαπεράσουν το έδαφος που έχει ρυπανθεί. Στόχος της στρώσης είναι η αποφυγή του κινδύνου να αποκαλυφθεί το έδαφος που έχει ρυπανθεί σε περίπτωση εκσκαφών.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων κάλυψης πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη με συγκεκριμένες παραμέτρους. Η πιθανή ανύψωση του υπόγειου ορίζοντα που έχει σαν συνέπεια την μεταφορά των ρύπων μέσω του υπόγειου νερού, επίσης, το ύψος της τριχοειδούς ανύψωσης του υπόγειου νερού και οι πιθανές υποχωρήσεις της επιφάνειας λόγω πλημμελούς συμπύκνωσης του υποκείμενου εδάφους δημιουργούν παραμέτρους που πρέπει να μελετηθούν πριν την εφαρμογή της μεθόδου του εγκιβωτισμού με σκοπό την αποφυγή της επέκτασης της ρύπανσης.

5.2.2. Διαφράγματα

Μια από της πιο διαδεδομένες μεθόδους περιορισμού της επέκτασης ρύπανσης είναι τα διαφράγματα, τα οποία κατασκευάζονται από υλικά στεγανοποίησης όπως το τσιμέντο καθώς και από σιδερένιους πασσάλους ή από γεωμεμβράνες. Η χρήση των διαφραγμάτων γίνεται συνήθως είτε υπόγεια είτε επιφανειακά για να εμποδίσουν τη διήθηση της βροχής. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι πριν την τοποθέτηση του διαφράγματος θεωρείται απαραίτητη η οριοθέτηση της ρυπασμένης περιοχής, επίσης για την σωστή διεκπεραίωση της μελέτης καθίστανται αναγκαίες γεωτρήσεις δειγματοληψίας σε διαφορετικά βάθη.

Τα διαφράγματα διαχωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα
- Οριζόντια διαφράγματα βάσης.
- Διαπερατά φράγματα

Στην συνέχεια θα αναπτυχθεί κάθε μια κατηγορία με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα διαφράγματα.

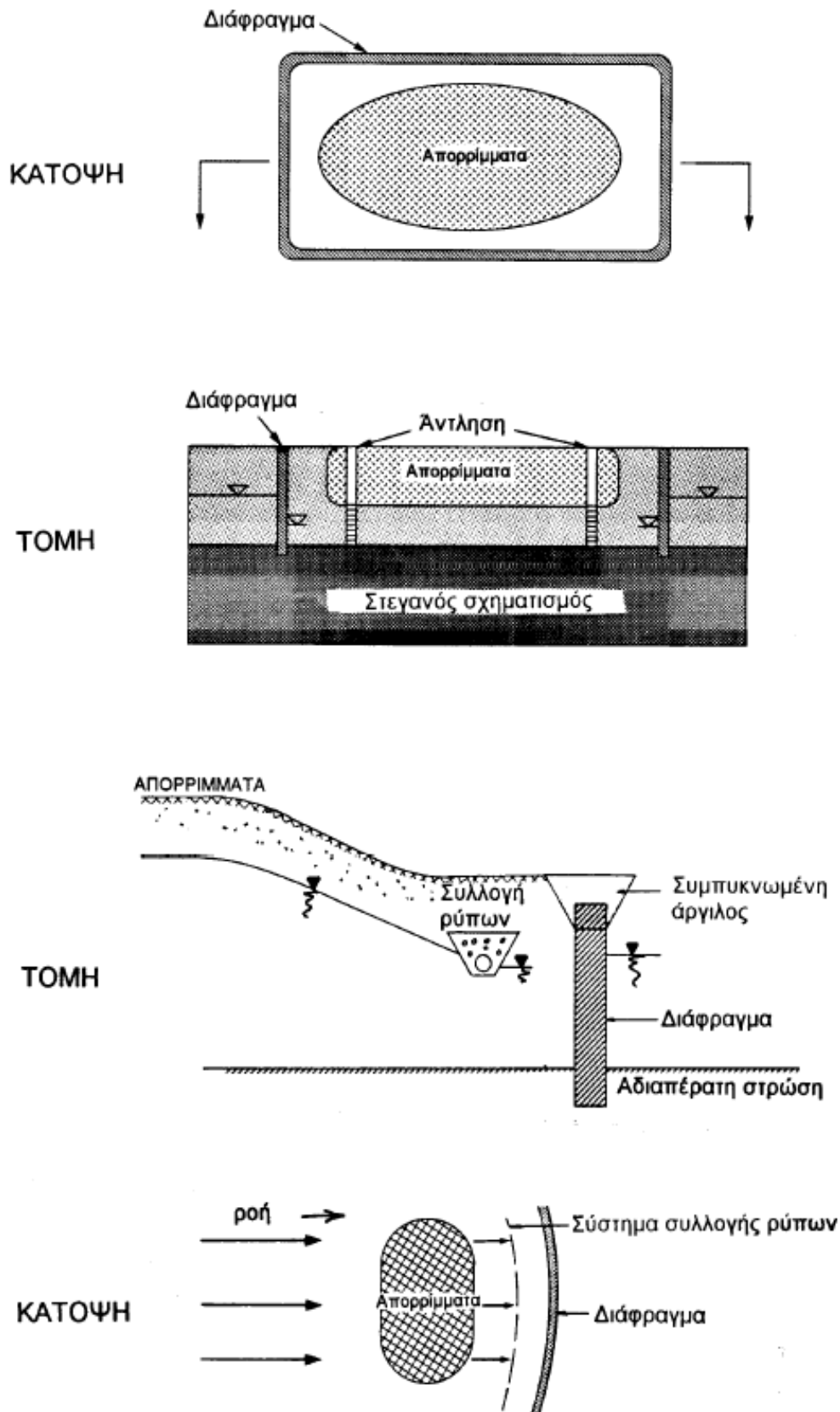
5.2.2.1. Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα

Η ρύπανση του υπογείου νερού μπορεί να προκληθεί στην περίπτωση διαφυγής επικίνδυνων ή τοξικών ρύπων είτε από κάποιο χώρο χρήσης τους είτε από τον χώρο αποθήκευσής τους. Η ρύπανση αυτή μπορεί να μεταφερθεί στα κατάντη με συνέπεια την επέκτασης της ρύπανσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου τύπου ρύπανσης ήταν η διαφυγή ραδιενεργών ουσιών στο υπέδαφος στο γνωστό πυρηνικό ατύχημα του Chernobyl το Μάιο 1986.

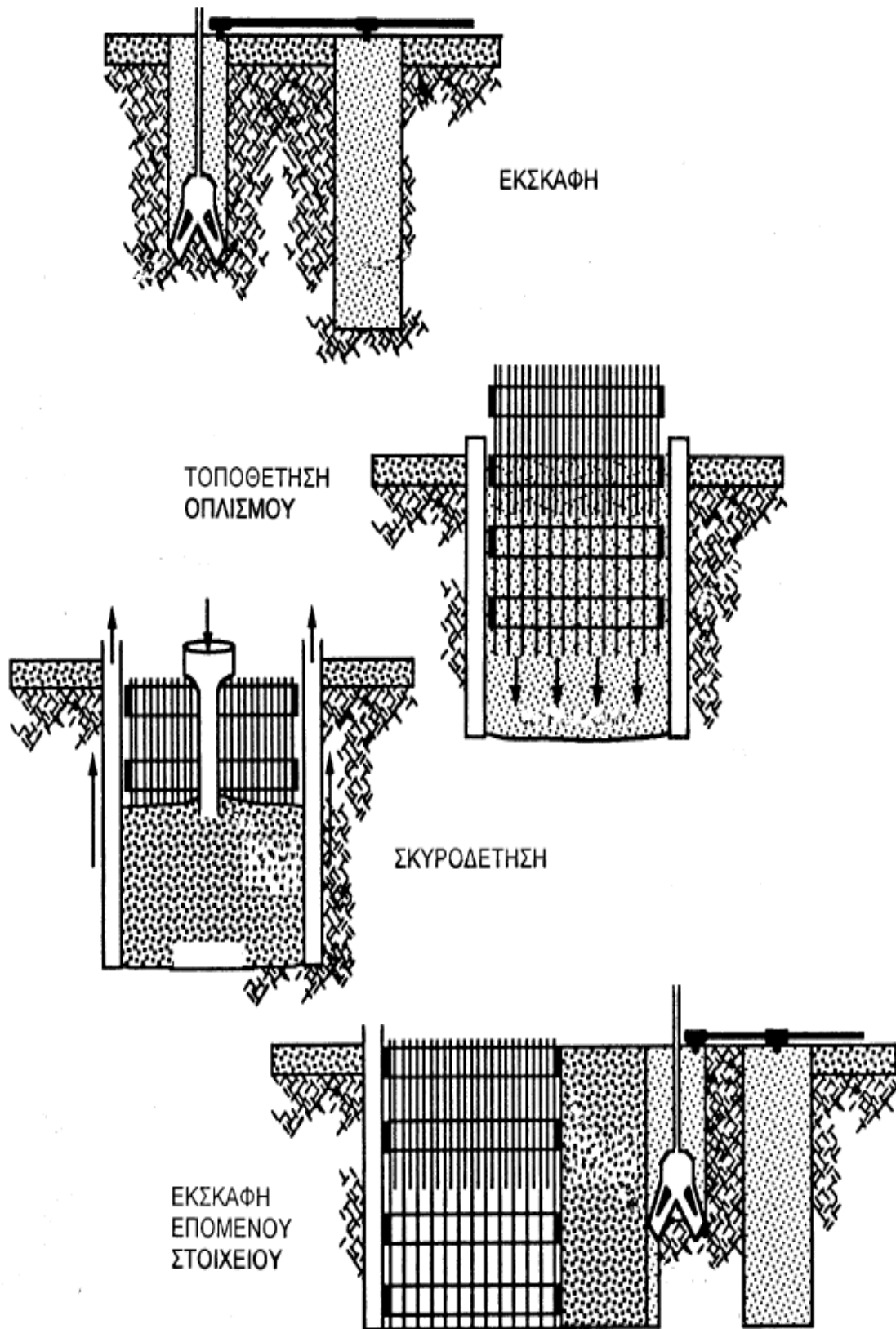
Αυτές είναι και οι δυσμενέστερες περιπτώσεις λόγω της μεγάλης εμβέλειας της ρύπανσης και αντιμετωπίζονται με την κατασκευή περιμετρικών διαφραγμάτων με σκοπό την απομόνωση του εδάφους κάτω από τη θέση της διαρροής. Τα διαφράγματα τοποθετούνται σε μεγάλο βάθος ώστε να φθάσουν σε αδιαπέρατο υπόστρωμα.

Συνήθως τέτοιου είδους διαφράγματα κατασκευάζονται με τους ακόλουθους τρόπους:

- Συμβατά διαφράγματα
- Σύστημα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων
- Διάφραγμα από προκατασκευασμένες πασσαλοσανίδες
- Διάφραγμα από τσιμεντενέσεις



Σχήμα 5.1.(α): Τυπική διάταξη περιμετρικών διαφραγμάτων για την απομόνωση του εδάφους που έχει ρυπανθεί από επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα.

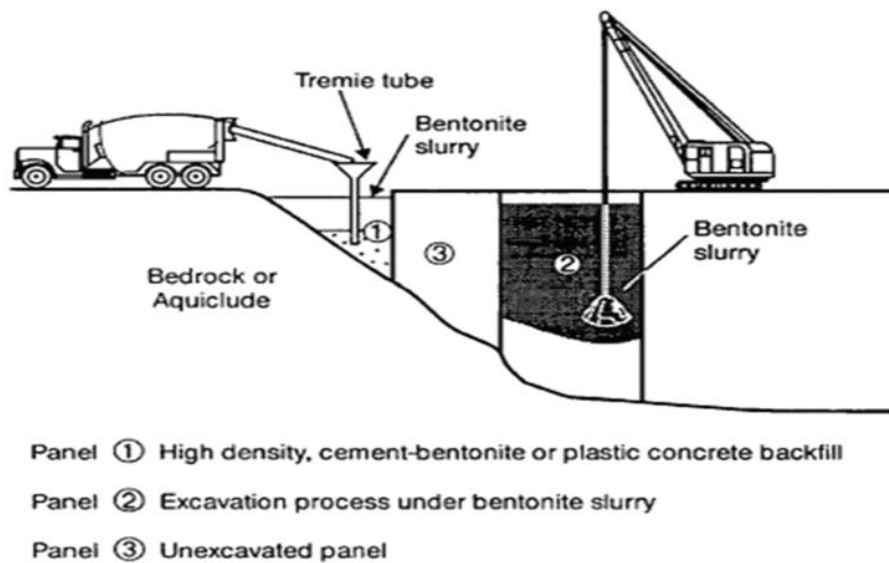


Σχήμα 5.1(b): Διαδοχικά στάδια κατασκευής περιμετρικού διαφράγματος.

➤ Συμβατά διαφράγματα

Τα συμβατικά διαφράγματα κατασκευάζονται τμηματικά, το πάχος τους κυμαίνεται από 60 έως 100 cm. Για την τοποθέτηση τους χρειάζεται εκσκαφή του εδαφικού υλικού και αφαίρεσή του. Για να αποφευχθούν οι κατάπτωσεις των πρανών του εδάφους στερεώνονται τα τοιχώματα της εκσκαφής με υδατικό αιώρημα μπετονίτη. Το υλικό έχει ειδικό βάρος $\gamma = 11.3 \text{ kN/m}^3$, σε αντίθεση με το νερό το οποίο έχει μικρότερο ειδικό βάρος $\gamma_v = 10 \text{ kN/m}^3$.

Με την τοποθέτηση του μπετονίτη επιταχύνεται η συγκράτηση των τοιχωμάτων της εκσκαφής, όπου δημιουργεί υδροστατικές πιέσεις αυξάνει την ελάχιστη και την μέγιστη τάση που αντιστοιχεί στην αστοχία. Το πλεονέκτημα του είναι ότι η στρώση του είναι αδιαπέραστη, επομένως διακόπτει την υδραυλική επικοινωνία μεταξύ του αιωρήματος εντός της εκσκαφής και του υπογείου νερού στο έδαφος εκτός της εκσκαφής. Με την εφαρμογή αυτή επιταχύνεται η διατήρηση χαμηλών υδραυλικών πιέσεων των πόρων εκτός της εκσκαφής, ενώ η στάθμη του αιωρήματος εντός της εκσκαφής διατηρείται πάντα σε υψηλότερο επίπεδο της στάθμης του νερού, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του υλικού.

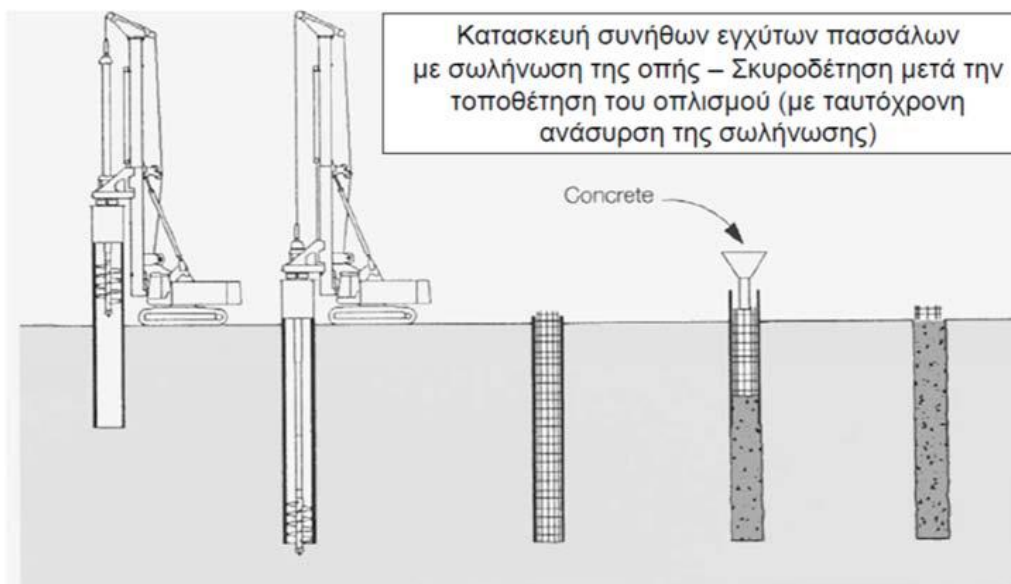


Σχήμα 5.2. : Διαδοχικά στάδια κατασκευής διαφράγματος με μπετονίτη.

Με την ολοκλήρωση της εκσκαφής, η σπή γεμίζει με μίγμα μπετονίτη-τσιμέντου. Η αναλογία κυμαίνεται 20 - 60 kg μπετονίτη, 100 - 400 kg τσιμέντου και 1000 kg νερού. Υπάρχουν περιπτώσεις που το τσιμέντο αντικαθίσταται σε ποσοστό 10 - 20 % με ιπτάμενη τέφρα, η οποία παράγεται στους σταθμούς της ΔΕΗ κατά την καύση του λιγνίτη. Επίσης, σε περίπτωση συγκεντρώσεων θεικών ιόντων το έδαφος πρέπει να αντιμετωπιστεί διαφορετικά, για την περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ειδική κατηγορία τσιμέντου η οποία είναι ανθεκτική στην επίδραση των θεικών ιόντων.

➤ **Σύστημα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων**

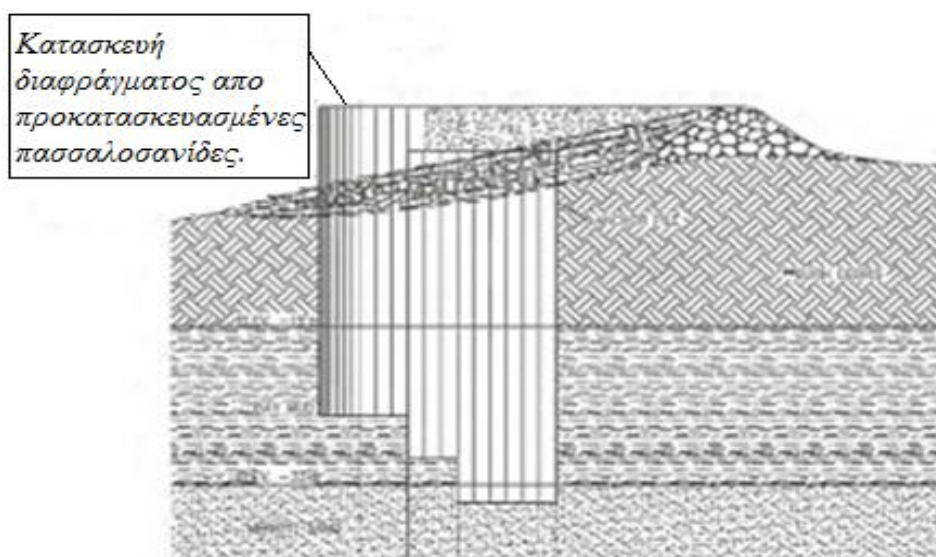
Το σύστημα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων αποτελείται από έγχυτους φρεατοπασσάλους που εφάπτονται μεταξύ τους.



Σχήμα 5.3. : Διάφραγμα αλληλοτεμνόμενων πασσάλων.

➤ **Διάφραγμα από προκατασκευασμένες πασσαλοσανίδες**

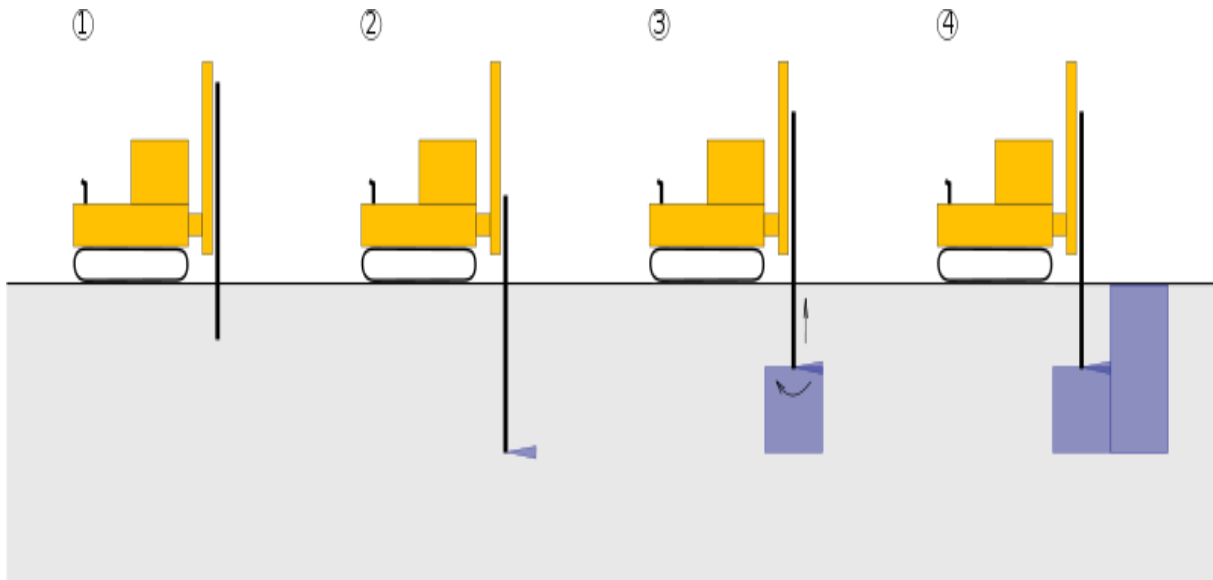
Το διάφραγμα από προκατασκευασμένες πασσαλοσανίδες παρουσιάζει βελτιωμένη στεγανότητα την συστοιχία τσιμεντέσεων ακριβώς ανάντη του διαφράγματος.



Σχήμα 5.4. : Διάφραγμα από προκατασκευασμένες πασσαλοσανίδες.

➤ Διάφραγμα από τσιμεντενέσεις

Διάφραγμα από τσιμεντενέσεις με εισπίεση ενέματος υπό υψηλή πίεση (high pressure jet grouting) ή με ανάμιξη του εδαφικού υλικού με τσιμεντένεμα (deep mixing method).



Σχήμα 5.5. : Διάφραγμα από τσιμεντενέσεις.

Οι τσιμενοενέσεις αποτελούνται από ένεμα τα οποία είναι μεγάλης ρευστότητας αναμίγματα συνδετικής κονιάς και νερού με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού όπως πούδρας ή λεπτής άμμου ή παιπάλης, τα οποία εισάγονται με πίεση μέσα στις ρωγμές με κατάλληλο σύστημα, έχει την δυνατότητα να εφαρμοστεί σε μεγάλα βάθη δηλαδή επισκευάζονται σχετικά μεγάλου εύρους ρωγμές φραγμάτων βαρύτητας ή άλλων μεγάλου πάχους τοίχων από σκυρόδεμα. Δεν χρησιμοποιείται επιφανειακά.

✚ Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα υπόγειων διαφραγμάτων

Στην συνέχεια της ανάλυσης των διαφραγμάτων παρουσιάζεται συγκεντρωτικός πίνακας των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε τύπου διαφράγματος υπόγειων νερών. Υπάρχουν και επιπλέον τύποι διαφραγμάτων, ωστόσο αναλύσαμε τους συνηθέστερους.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο τύπος διαφράγματος επιλέγεται έπειτα από μελέτη και καταγραφή του προβλήματος, συνυπολογίζοντας όχι μόνο τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αλλά και το κόστος κατασκευής.

Τύπος διαφράγματος	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Συμβατικά διαφράγματα	<ul style="list-style-type: none"> • αρκετά γνώριμη η τεχνική κατασκευής 	<ul style="list-style-type: none"> • όχι κάποιο ιδιαίτερο μειονέκτημα
	<ul style="list-style-type: none"> • εύκολα προσαρμόσιμη κατασκευή εξαιτίας των πολλών παραλλαγών της 	
	<ul style="list-style-type: none"> • δύναται να εφαρμοστεί σε κάθε τύπο εδάφους ακόμα και σε βράχο 	
Διαφράγματα πασσαλοσανίδων με εκτόπιση εδάφους	<ul style="list-style-type: none"> • δεν απαιτεί εκσκαφή 	<ul style="list-style-type: none"> • δεν μπορεί να εφαρμοστεί παρουσία βράχου • το βάθος τοποθέτησης εξαρτάται από τον εδαφικό τύπο
	<ul style="list-style-type: none"> • γνώριμη τεχνική 	<ul style="list-style-type: none"> • δεν αποτελεί διαχρονική κατασκευή
Διαφράγματα ανάμιξης in-situ	<ul style="list-style-type: none"> • δεν προϋποθέτει εκσκαφή 	<ul style="list-style-type: none"> • η απόδοση του διαφράγματος εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους
	<ul style="list-style-type: none"> • μπορεί να εφαρμοστεί σχεδόν σε όλους τους τύπους εδάφους 	
	<ul style="list-style-type: none"> • τεχνική γρήγορης αποπεράτωσης κατασκευής 	
Διαφράγματα εισπίεσης	<ul style="list-style-type: none"> • δεν προϋποθέτει εκσκαφή 	<ul style="list-style-type: none"> • η απόδοση του διαφράγματος εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον τύπο του εδάφους
	<ul style="list-style-type: none"> • αρκετά γνώριμη τεχνική 	<ul style="list-style-type: none"> • πιθανά η απαιτούμενη περατότητα να μην επιτευχθεί

Πίνακας 5. 1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των κύριων τύπων υπογείων διαφραγμάτων

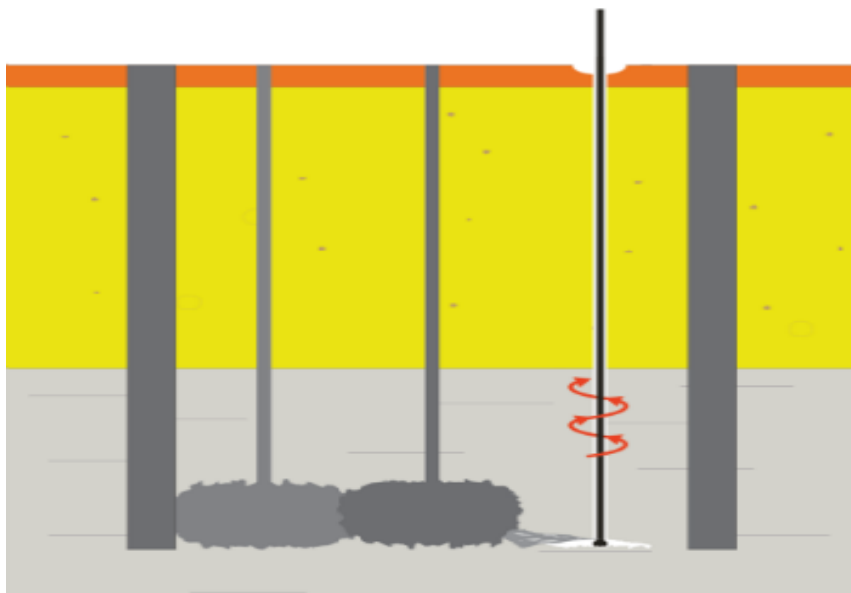
5.2.2.2. Οριζόντια διαφράγματα βάσης

Η κατασκευή κατακόρυφων περιμετρικών διαφραγμάτων πραγματοποιείται για το περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης στην οριζόντιο διεύθυνση. Τις περισσότερες φορές τοποθετείται για να σταματήσει την επέκταση της ρύπανσης στα κατώτερα εδάφη αλλά και να προστατέψει τα υπόγεια νερά.

Τα οριζόντια διαφράγματα βάσης τοποθετούνται σε μικρό βάθος κάποια οριζόντιας εδαφικής στρώσης με μικρή διαπερατότητα, με συνέπεια την εξασφάλιση της στεγανότητας του συστήματος έναντι επέκτασης της ρύπανσης με κίνηση των ρύπων στην κατακόρυφη διεύθυνση. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποια πρακτικώς αδιαπέρατη εδαφική στρώση πραγματοποιείτε στεγάνωση της βάσης με τεχνικά μέσα. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα επιτυχές διότι ο βαθμός αδιαπερατότητας πρέπει να κυμαίνεται σε χαμηλά ποσοστά.

Χαρακτηριστικό στοιχείο των μεθόδων της κατασκευής οριζόντιων στεγανωτικών διαφραγμάτων που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της ρύπανσης είναι ότι δεν χρειάζεται αφαίρεση των υπερκείμενων εδαφικών υλικών. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τις περισσότερες φορές η στεγάνωση που προσφέρουν δεν είναι αξιόπιστη και το κόστος κατασκευής τους είναι υψηλό, με αποτέλεσμα να είναι μία μέθοδος που δεν προτιμάται για περιοχές που έχουν έντονο πρόβλημα ρύπανσης.

Η συνηθέστερη μέθοδος αυτού του τύπου εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που η κατασκευή ενός διαφράγματος γίνεται από οριζόντιες τσιμεντενέσεις με εισπίεση ενέματος υπό υψηλή πίεση (high pressure jet grouting).



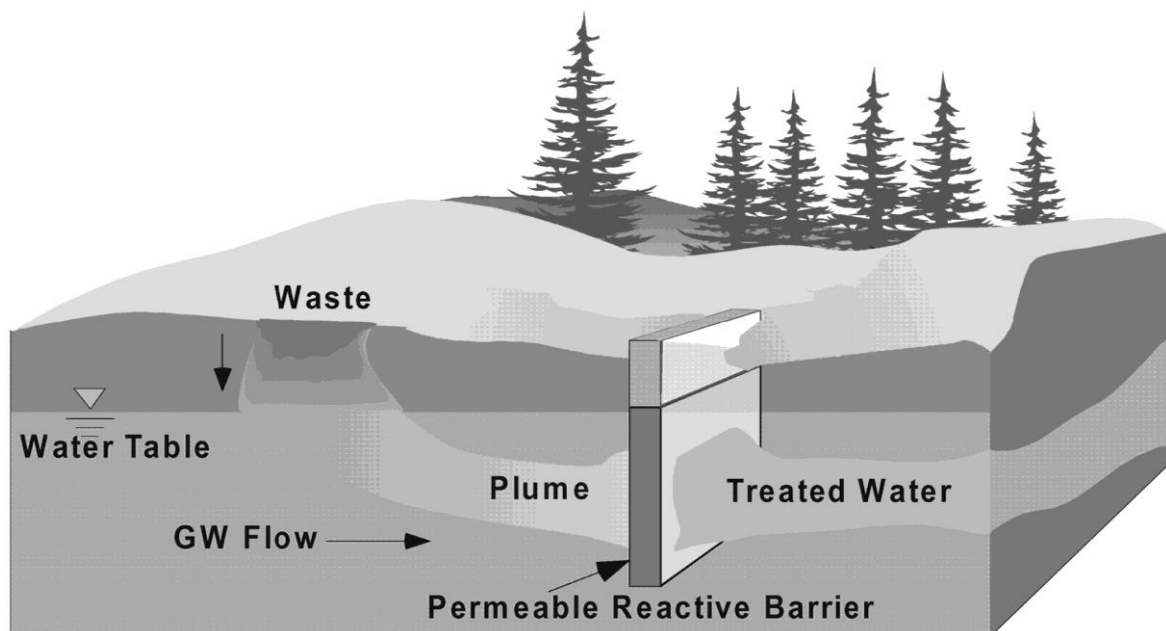
Σχήμα 5.6.: Οριζόντιες τσιμεντενέσεις με εισπίεση ενέματος υπό υψηλή πίεση για κατασκευή διαφραγμάτων οριζόντιας βάσης.

5.2.2.3. Διαπερατά φράγματα

Τα διαπερατά φράγματα είναι μία από τις πιο καινούργιες και καινοτόμες μεθόδους που χρησιμοποιούνται. Η μέθοδος του διαπερατού φράγματος χρησιμοποιείται για παθητική επιτόπου απορρύπανση των νερών του εδάφους. Η τεχνική βασίζεται στην απορρόφηση και καθίζηση των βαρέων μετάλλων και στην απορρόφηση και αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων. Ο τρόπος απορρύπανσης των μολυσμένων περιοχών μπορεί να γίνει με την βοήθεια του διαπερατού φράγματος.

Η κατασκευή του διαπερατού φράγματος γίνεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους σε κάθετη διεύθυνση στη ροή των υπόγειων υδάτων. Οι μολυσματικές ουσίες απομακρύνονται από της πηγές μέσω γεωχημικών διαδικασιών. Το σύστημα αποτελείται από αντιδραστήρες, όπου σε συνδυασμό με την εγκατάσταση και την συντήρηση αποτελούν το βασικό κόστος μιας τέτοιας λύσης. Ωστόσο το κόστος της μεθόδου έχει εκτιμηθεί ότι είναι μικρότερο κατά 50% σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Η χρήση του διαπερατού φράγματος απαιτεί συνεχόμενο έλεγχο των τιμών της δειγματοληψίας αλλά και συχνές πειραματικές μελέτες για να μπορούν να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι πιθανοί παράμετροι. Όπως προαναφέραμε είναι μια νέα μέθοδος που βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο, αφού η ρύπανση επεκτείνεται με την πάροδο του χρόνου.



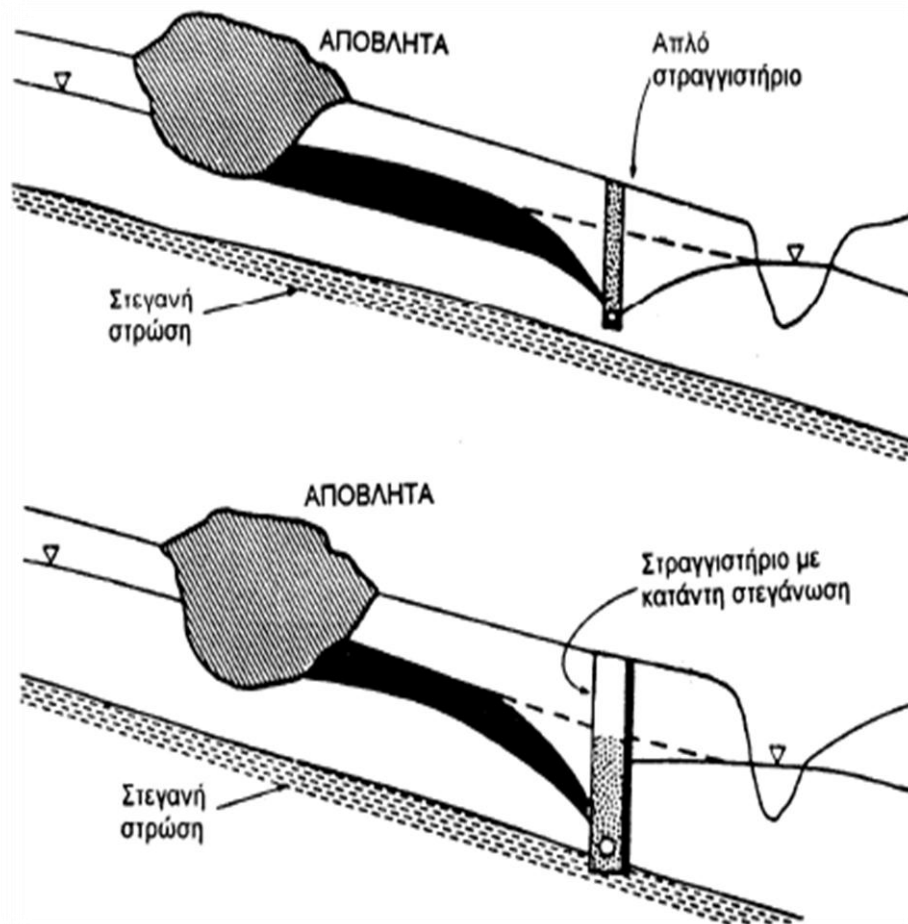
Σχήμα 5.7.: Περαιτά δραστικά ενεργά διαφράγματα.

5.2.3. Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού

Η μέθοδος της αντίστροφης κίνησης του υπογείου νερού βασίζεται στην ρύθμιση της στάθμης νερού, ώστε να αποφευχθεί είτε η εκφόρτιση των ρυπασμένων νερών σε υδάτινους αποδέκτες είτε η αραιώση των ρύπων. Οι υδραυλικοί φραγμοί δημιουργούνται με το συνδυασμό γεωτρήσεων άντλησης και εμπλουτισμού.

Στη πηγή της ρύπανσης και στο σημείο εκμετάλλευσης του υπογείου νερού τοποθετούνται επιμήκη στραγγιστήρια. Στο σημείο αυτό συγκεντρώνεται το ρυπασμένο υπόγειο νερό. Η μέθοδος αυτή εξαρτάται από την αντίστροφη κίνηση του υπόγειου νερού.

Στο Σχήμα 4.6 παρατηρείται ότι πριν από την κατασκευή του στραγγιστηρίου, η κατεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού μεταξύ της θέσης του στραγγιστηρίου και της λίμνης ήταν από αριστερά προς τα δεξιά και ευνοούσε την επέκταση της ρύπανσης προς τη λίμνη, ενώ μετά την κατασκευή του στραγγιστηρίου η κατεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού αναστράφηκε, με αποτέλεσμα τον περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης προς τη λίμνη.



Σχήμα 4.6.: Σύστημα προστασίας από τη ρύπανση με αντιστροφή της κίνησης του υπόγειου νερού.

Επίσης, σημαντικός παράγοντας για την απόδοση της τεχνικής είναι η κατασκευή και η σωστή τοποθέτηση του στραγγιστηριού, ώστε να αναστραφεί η κίνηση του νερού και να αποφευχθεί η ρύπανση στο υγιές τμήμα των νερών.

5.2.4. Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification)

Η μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification) χρησιμοποιείται ευρέως για τον περιορισμό επέκτασης της ρύπανσης. Η μέθοδος βασίζεται στην ανάμιξη του ρυπασμένου εδάφους με κάποιο υλικό, με στόχο την σταθεροποίηση του εδάφους αφού το μίγμα του δημιουργείται έχει υψηλή μηχανική αντοχή.

Σκοπός της σταθεροποίησης του εδάφους είναι ο «εγκλωβισμός» του ρυπαντικού φορτίου μέσα στην σταθεροποιημένη εδαφική μάζα. Το έδαφος που δημιουργείται έχει μικρή υδροπερατότητα προκαλώντας την ακινητοποίηση των υπόγειων νερών και κατά συνέπεια μη επέκταση της ρύπανσης.

Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση εδαφών που έχουν ρυπανθεί είναι:

❖ Το τσιμέντο:

Η ανάμιξη του εδαφικού υλικού με τσιμέντο δημιουργεί ένα υλικό του οποίου η αντοχή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

❖ Η άσβεστος, CaO:

Η ανάμιξη των εδαφικών υλικών με τα ανωτέρω δημιουργεί υδραυλικά κονιάματα που αποκτούν αυξημένη μηχανική αντοχή.

❖ Διάφορα ασφαλτικά υλικά και συνθετικές ουσίες (πολυμερή):

Όταν η σταθεροποίηση του εδάφους δεν είναι πλήρης, το σταθεροποιημένο υλικό εγκιβωτίζει τυχόν μη σταθεροποιημένες εδαφικές μάζες και περιορίζει την επέκταση της ρύπανσης.

Κεφάλαιο 6: Περιβαλλοντική μελέτη και επιπτώσεις ρύπανσης

6.1. Περιβαλλοντική μελέτη

Η περιβαλλοντική μελέτη των περιοχών που έχουν ρυπανθεί κρίνεται αναγκαία για την επιλογή της μεθόδου απορρύπανσης αλλά και για τις τεχνολογίες προστασίας για την επέκτασή της. Η μελέτη πρέπει να συνυπολογίσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχει η ρύπανση στο έδαφος και στα ύδατα καθώς και το κόστος των συστημάτων προστασίας. Τα βήματα που πρέπει να επακολουθήσει μια περιβαλλοντική μελέτη είναι τα εξής:

Βήμα 1: Ανακάλυψη και Προσδιορισμός της Πηγής Ρύπανσης

- Ρύποι που διαρρέουν τον υδροφόρο ορίζοντα
- Χρονικό διάστημα ζωής του ρύπου στον υδροφορέα
- Έκταση ρύπανσης από την πηγή της
- Φυσικές ιδιότητες των ρυπαντών όπως πυκνότητα και ιξώδες
- Χημικές ιδιότητες των ρύπων
- Υπολογισμός συγκέντρωσης των ρύπων στα διάφορα στρώματα.
- Τοξικολογία, δηλαδή η επίδραση των τοξικών ρύπων στα φυτά, τα ζώα, τον άνθρωπο ή το οικοσύστημα.

Βήμα 2: Απομάκρυνση της πηγής ρύπανσης

Μόλις μια πηγή ρύπανσης ανακαλυφθεί, το πιο σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση αποκατάστασης είναι η εξάλειψη της πηγής, αν αυτό είναι εφικτό.

Βήμα 3: Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του υδροφορέα

- Γεωλογικές και υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα στον οποίο οι ρυπαντές διέρρευσαν
- Έκταση και βάθος του υδροφορέα
- Φυσικές και χημικές ιδιότητες του υδροφορέα:
 - ✓ Μέγεθος των πόρων
 - ✓ Τύπος πετρώματος εντός του υδροφορέα
 - ✓ Τύπος ιζημάτων εντός του υδροφορέα
 - ✓ Υδραυλική διαχυτικότητα
 - ✓ Ταχύτητα ροής του νερού στον υδροφορέα
- Αέρια που είναι διαλυμένα στον υδροφορέα.

Βήμα 4: Αξιολόγηση των επιπτώσεων

- Εξάπλωση των ρύπων
- Αλλαγή χημικής σύνθεσης των ρύπων λόγω της φυσικής αποκατάστασης
- Χαρτογράφηση του υπεδάφους με την βοήθεια γεωτρήσεων:
 - ✓ Έκταση της κηλίδας των ρυπαντών
 - ✓ Ρυθμό με τον οποίο κινούνται μέσω του υδροφορέα ορίζοντα.

Βήμα 5: Μοντελοποίηση -Προσομοίωση

Δεν είναι δυνατόν να ελέγξουμε πλήρως τις συνθήκες και τις μελλοντικές αλλαγές στο εσωτερικό των υπόγειων ταμιευτήρων. Ωστόσο, μπορεί να πραγματοποιηθούν πειραματικές μελέτες που θα οδηγήσουν σε προσομοιώσεις για πιθανά σενάρια ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και εδαφών.

Βήμα 6: Αποκατάσταση -Εξυγίανση

Η επιλογή μεθόδου για την αποκατάσταση/εξυγίανση του υδροφορέα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι οι εξής:

- Υδρογεωλογικές συνθήκες
- Χαρακτηριστικά των ρυπαντών
- Φυσικές ιδιότητες (κατακαθεται ή επιπλέει)
- Χημικές ιδιότητες (διαλυτότητα, ρόφηση)
- Πρόσβαση στο υπέδαφος, χρήση γης
- Κίνδυνος Τοξικότητας
- Κόστος.

6.1.1. Επιλογή μεθόδου προστασίας επέκτασης ρύπανσης

Η επέκταση της ρύπανσης αρκετές φορές είναι ραγδαία, με συνέπεια την ανάγκη της άμεσης παρεμπόδισης της για την προστασία των εδαφών και υπόγειων υδάτων. Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν οι μέθοδοι προστασίας της επέκτασης της ρύπανσης εδαφών και υδροφορέων που συνοπτικά περιλαμβάνουν τα εξής:

- ✓ Συστήματα κάλυψης της επιφάνειας περιοχών που έχουν ρυπανθεί με σκοπό τον εγκιβωτισμό των ρύπων, είτε τον περιορισμό της κατείδυσης των επιφανειακών υδάτων είτε την αποφυγή της διασποράς.
- ✓ Κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα με σκοπό τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης μέσω της κυκλοφορίας των υπόγειων υδάτων στην οριζόντια διεύθυνση.
- ✓ Οριζόντια διαφράγματα βάσης, με σκοπό τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης μέσω της κίνησης των ρύπων στην κατακόρυφη διεύθυνση.
- ✓ Συστήματα σταθεροποίησης και στερεοποίησης του ρυπασμένου εδάφους με ανάμειξή του με υδραυλικά κονιάματα όπως τσιμέντο, άσβεστο, πολυμερή, ασφαλτικά υλικά.
- ✓ Υδραυλικά συστήματα, που δημιουργούν αναστροφή της διεύθυνσης κίνησης των υπόγειων υδάτων κυρίως μέσω εκτεταμένων αντλήσεων, με σκοπό να αποφευχθεί η επέκταση της ρύπανσης σε υγιείς περιοχές.

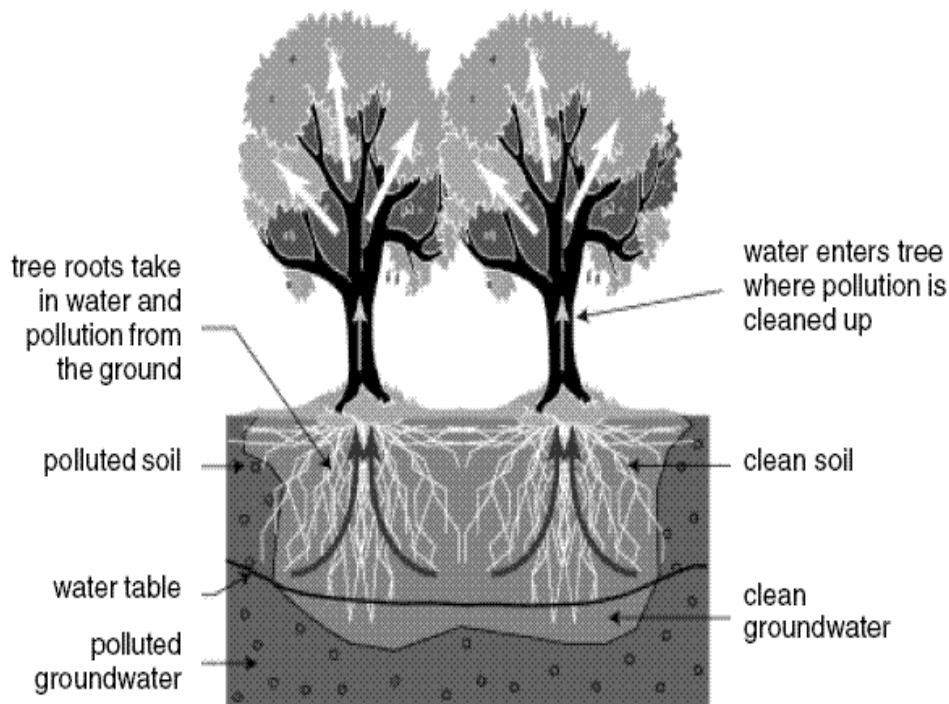
Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της ρύπανσης σε επιφάνεια συγκεκριμένων τετραγωνικών, χωρίς να την απομακρύνουν ή να την αντιμετωπίζουν. Στην ουσία δεν είναι συστήματα τελικής κάλυψης, αλλά λύσης για την καθυστέρηση της αντιμετώπισης της ρύπανσης. Με την περιβαλλοντική μελέτη καθορίζεται το ενδεχόμενο πραγματοποίησης απορρύπανσης ή περιορισμού της ρύπανσης.

Συνήθως στην περίπτωση που μπορεί να πραγματοποιηθεί κάποιος περιορισμός της ρύπανσης προτιμάται η επιφανειακή κάλυψη των εδαφών που έχουν ρυπανθεί με κάποιο υλικό, διότι είναι η απλούστερη και φθηνότερη μέθοδος περιβαλλοντικής αποκατάστασης περιοχών που έχουν ρυπανθεί. Αποτελεί προσωρινό μέτρο κάλυψης του προβλήματος και σε καμία περίπτωση δεν είναι αποτελεσματικό και μόνιμο.

Όπως αναφέρθηκε η περιοχή που καλύπτεται με κάποιο υλικό έχει σκοπό τον διαχωρισμό του ρυπασμένου με το υγιές έδαφος, κάτω από τις στρώσεις τοποθετείται συνθετική γεω-μεμβράνη για τον περιορισμό της κατείδυσης επιφανειακών υδάτων και της ανάβλυσης αερίων από το έδαφος. Το είδος και το πάχος της σφραγιστικής στρώσης κάλυψης προσδιορίζεται από την μελέτη διότι θα πρέπει να είναι τόσο ώστε οι ρίζες των δένδρων να μην εισέρχονται στο έδαφος που έχει ρυπανθεί και να μην υπάρχει κίνδυνος να αποκαλυφθεί το ρυπασμένο έδαφος.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων κάλυψης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του παράγοντες όπως την πιθανή ανύψωση του υπόγειου ορίζοντα, η οποία θα οδηγήσει στη μεταφορά ρύπων μέσω των υπόγειων υδάτων. Επιπλέον, το ύψος της τριχοειδούς ανύψωσης του υπόγειου νερού και οι πιθανές υποχωρήσεις της επιφάνειας λόγω πλημμελούς συμπύκνωσης του υποκείμενου εδάφους είναι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται με

ιδιαίτερη προσοχή αφού εκτιμάται ότι μπορεί να ρυπανθεί η βλάστηση της περιοχής με συνέπεια να εισέλθει στην διατροφική αλυσίδα του ανθρώπου.



Σχήμα 6.1.: Απεικόνιση επέκτασης ρύπανσης από τα κατώτερα στρώματα του εδάφους έως την διατροφική αλυσίδα του ανθρώπου.

Επιπλέον, για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας πρέπει να υπολογιστούν και οι κλιματολογικές αλλαγές που προκαλούνται από την ρύπανση του περιβάλλοντος. Για την άμβλυνση των κλιματικών αλλαγών οι παρεμβάσεις επικεντρώνονται στη βελτίωση του ισοζυγίου των αερίων θερμοκηπίου κυρίως μέσω της μείωσης των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και της αύξησης της φυτικής μάζας για την μείωση του CO₂ της ατμόσφαιρας.

Στόχος όλων των παραπάνω είναι να συμβάλλουν στο σύνολο των παρεμβάσεων για την προστασία του εδάφους και των υδάτων με συνέπεια την βελτίωση της οικολογικής σταθερότητας των διαφόρων οικοσυστημάτων, και την ενδυνάμωση της προώθησης της καλλιέργειας ενεργειακών φυτών.

Οι πιο σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι οι εξής:

- ✓ Αλλαγές στα μικρά και μεγάλα οικοσυστήματα
- ✓ Εξάπλωση των ασθενειών που σχετίζονται με το νερό
- ✓ Απότομες αυξομειώσεις της ροής των ποταμών

- ✓ Αλλαγές στην ποιότητα του νερού και των ιζημάτων
- ✓ Κίνδυνοι πλημμυρών
- ✓ Υποχρεωτική μεταφορά του πληθυσμού
- ✓ Σεισμική δραστηριότητα
- ✓ Αλλαγές συνθηκών για ψάρεμα, καλλιέργεια, μεταφορά και άλλες οικονομικές δραστηριότητες
- ✓ Παρεμπόδιση στις μετακινήσεις των πληθυσμών των ψαριών και άλλων οργανισμών.

Η επέμβαση του ανθρώπου στα ρυπασμένα ύδατα είναι πιο επιλεκτική, διότι οι παρεμβάσεις επικεντρώνονται σε περιοχές που έχουν χαρακτηριστεί ευπρόσβλητες στα νιτρικά και στα υδροτοπικά συστήματα και πραγματοποιείται με την εφαρμογή καλλιεργητικών πρακτικών που μπορούν να συμβάλλουν στην μείωση των εισροών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων.

Μέτρο	Υπομέτρο	Δράση
Γεωργοπεριβαλλοντικές ενισχύσεις	Γεωργοπεριβαλλοντικές δράσεις για την προστασία των υδάτινων πόρων	Προστασία των ευαίσθητων στα νιτρικά περιοχών
		Προστασία υδροτοπικών συστημάτων
		Ολοκληρωμένη Διαχείριση στην παραγωγή προϊόντων που δεν προορίζονται για τη διατροφή του ανθρώπου

Πινάκας 6.1.: Προστασία των υδατικών πόρων.

Η περιβαλλοντική μελέτη αρχικά επικεντρώνεται στην ρύπανση των εδαφών και στην συνέχεια στην διαπίστωση της ρύπανσης ή μη των υπόγειων υδάτων. Οι παρεμβάσεις για την προστασία των υδατικών πόρων ενδυναμώνονται από τις αντίστοιχες παρεμβάσεις για την προστασία του εδάφους. Για παράδειγμα η βιολογική γεωργία συμβάλλει στη μείωση της χημικής ρύπανσης των νερών, η δάσωση συμβάλλει στον εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα. Επιπλέον, ο εκσυγχρονισμός αρδευτικών δικτύων, ταμειυτήρων κ.ά. αποτρέπουν ένα σημαντικό μέρος της ρύπανσης

6.2. Επιλογή τεχνικών απορρύπανσης μολυσμένων περιέχων.

Σκοπός της περιβαλλοντικής μελέτης είναι η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης των ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων. Η σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία.

Συγκεκριμένα για την επιλογή της θα πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά κάποιοι παράγοντες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- ✓ Οι αρχές και οι αιτίες εφαρμογής καθώς και οι στόχοι της μεθόδου απορρύπανσης.
- ✓ Η εκτίμηση της επικινδυνότητας της ρύπανσης.
- ✓ Οι απόψεις των ανθρώπων που επηρεάζονται από την εφαρμογή της μεθόδου απορρύπανσης.
- ✓ Το κόστος της εφαρμογής.
- ✓ Η τεχνική αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Οι λόγοι εφαρμογής μιας μεθόδου απορρύπανσης ήτοι:

- ✓ Να προστατευτεί η ανθρωπινή υγεία και το περιβάλλον. Η νομοθεσία επιβάλλει την άμεση απορρύπανση των περιοχών που παρουσιάζουν κίνδυνο για την ανθρωπινή υγεία ή απειλούν άλλους αποδέκτες της περιοχής.
- ✓ Η ανάπτυξη των ήδη κατεστραμμένων περιοχών. Πραγματοποιείται κυρίως για οικονομικούς λόγους.
- ✓ Να αυξηθεί η αξία μιας ρυπασμένης περιοχής μέσω της καθαρότητας του εδάφους.

Κύριος στόχος δεν είναι μόνο η απορρύπανση των μολυσμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων αλλά η πρόσληψη και η αποφυγή της επέκτασης της ρύπανσης.

6.3. Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων απορρύπανσης και περιορισμού επέκτασης ρύπανσης

Βήματα για την Εξυγίανση/Αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών/υδάτων

- Ανακάλυψη και Προσδιορισμός της Πηγής Ρύπανσης
- Απομάκρυνση της πηγής ρύπανσης
- Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του υδροφορέα
- Αξιολόγηση των επιπτώσεων
- Μοντελοποίηση - Προσομοίωση
- Αποκατάσταση - Εξυγίανση

Κυριότερες μέθοδοι απορρύπανσης

- Φυσική εξασθένηση της ρύπανσης
- Υπέργεια Επεξεργασία
- Επιτόπια επεξεργασία (In situ)
 - Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - Εκσκαφή του εδάφους
 - Έπλυση του εδάφους
 - Εφαρμογή υπό πίεση αέρα
 - Χημική επεξεργασία
 - Θερμική επεξεργασία του εδάφους
 - Μέθοδοι βιολογικής απορρύπανσης

Για την απορρύπανση της ακόρεστης ζώνης του εδάφους εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές:

- Μέθοδος σταθεροποίησης του εδάφους (soil stabilization, solidification)
- Υδραυλικές μέθοδοι αναστροφής της κίνησης του υπόγειου νερού
- Μέθοδοι εγκιβωτισμού (διαφράγματα)

Για τον περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης χρησιμοποιούνται:

- Φυσική εξασθένηση της ρύπανσης
- Φυτοθεραπεία
- Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος
- Η μέθοδος άντλησης επιπλεόντων ρυπαντών
- Η βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation)
- Διαπερατά ανιδραστικά διαφράγματα
- Αεροδιασπορά (air sparging)
- Αεροδιαχωρισμός (air stripping)
- Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat)

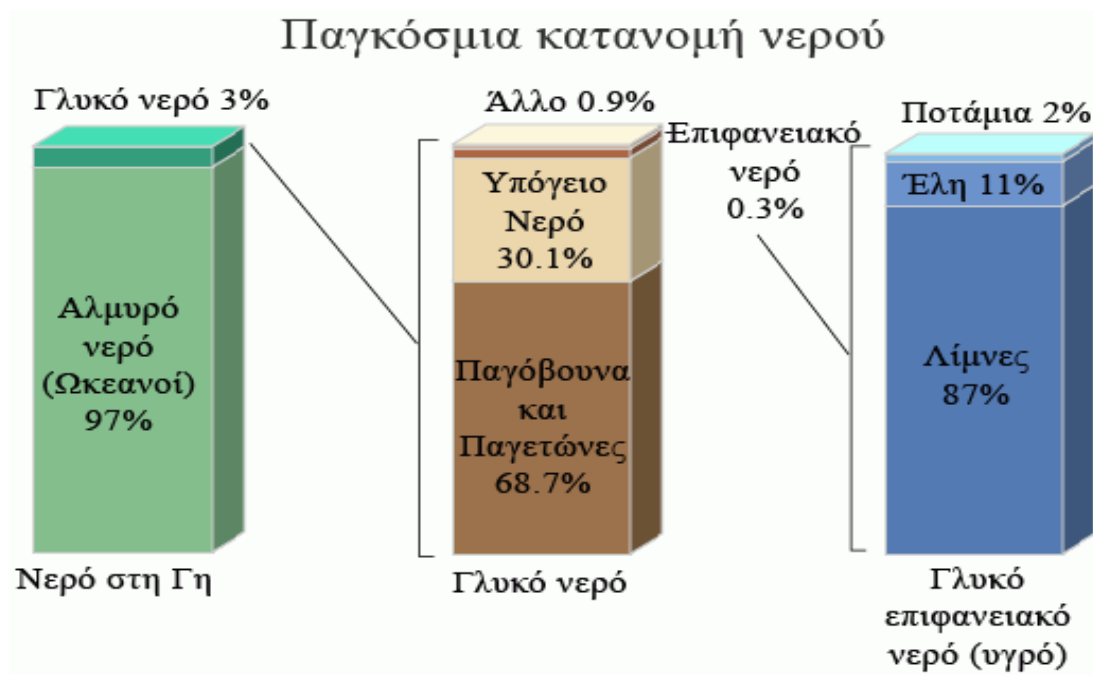
Πίνακας 6.2.: Συγκεντρωτικός πίνακας μεθόδων απορρύπανσης και περιορισμού επέκτασης ρύπανσης.

Κεφάλαιο 7: Έλεγχος Υδάτινων Πόρων

7.1. Κατανομή νερού παγκοσμίως

Το νερό όπως έχουμε προαναφέρει είναι απαραίτητο για την ζωή πάνω στον πλανήτη και βρίσκεται σε αφθονία πάνω του σε διαφορετικές μορφές. Στο παρακάτω γράφημα μπορούμε να παρατηρήσουμε μια λεπτομερή καταγραφή του νερού της γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Η γη περιλαμβάνει περίπου 1386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα νερού, όπου το 97% είναι αλμυρό. Μεγάλο ποσοστό του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο ή βρίσκεται κάτω από την γη. Το γλυκό νερό που είναι διαθέσιμο είναι μόλις το 1% του συνολικού νερού πάνω στην γη. Παρόλα αυτά τα ποτάμια, οι λίμνες και οι υπόγειοι ταμειυτήρες πρέπει να καλύψουν όλες τις ανάγκες του πλανήτη σε γλυκό νερό.



Γράφημα 7.1. : κατανομή νερού στον πλανήτη

Ορίζοντας τον υδάτινο πόρο καταλήγουμε ότι είναι κάθε υδάτινος χώρος ο οποίος περιέχει επαρκή ποσότητα νερού, κατάλληλη ποιότητα, ικανοποιώντας και καλύπτοντας τις ανθρώπινες ανάγκες. Ένας υδατικός πόρος, είναι δυνατόν είτε να χρησιμοποιείται είτε να αποτελεί αποθηκευτικό δυναμικό στρατηγικής για το μέλλον. Επίσης, μπορεί να μην είναι επιφανειακός και άμεσα διαθέσιμος.

Ωστόσο, για την διαφύλαξη των υδάτινων πόρων και την αξιοπιστία τους για την τρέχουσα και μελλοντική χρήση τους ευθύνεται ο άνθρωπος και η συμπεριφορά του απέναντι στο περιβάλλον, δηλαδή τις δραστηριότητες που αναπτύσσει σε μία περιοχή και τον τρόπο διαφύλαξης και προστασίας του περιβάλλοντος από αυτή.

Στους επιφανειακούς υδατικούς πόρους ανήκουν τα ποτάμια, οι χείμαρροι, οι λίμνες, οι βάλτοι, οι λιμνοθάλασσες, οι λιμνοδεξαμενές και οι ταμιευτήρες, ενώ στους υπόγειους υδατικούς πόρους περιλαμβάνονται τα νερά των γεωτρήσεων, των πηγαδιών, των πηγών και των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων με τα οποία ασχοληθήκαμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

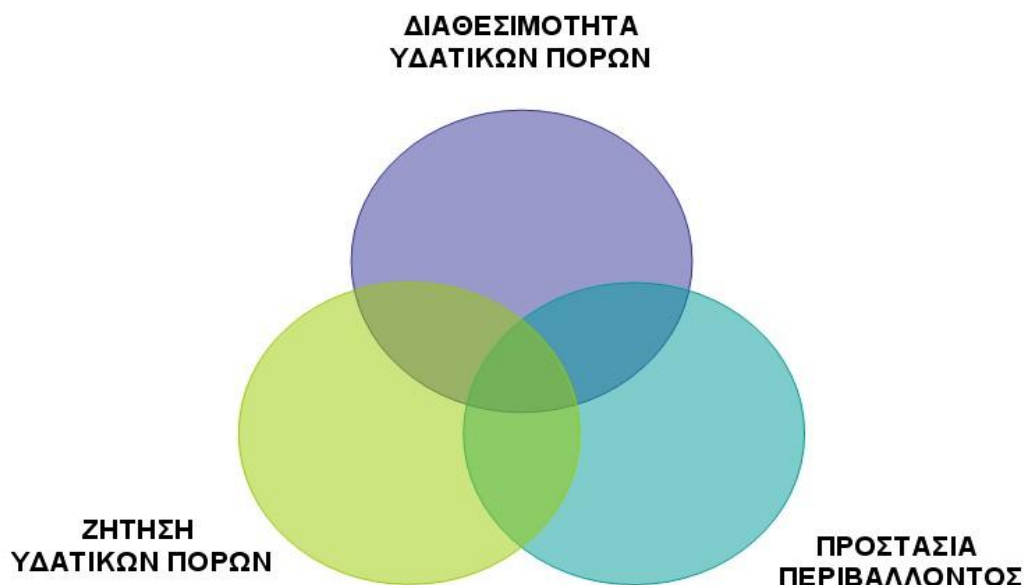


Σχήμα 7.1: Η διαφύλαξη υπόγειων υδάτινων πόρων εξαρτάται από την δράση του ανθρώπου στην φύση και κατ' επέκταση στο περιβάλλον.

Ο άνθρωπος επεμβαίνει αρκετές φορές στα φυσικά χαρακτηριστικά του πλανήτη με σκοπό την αξιοποίηση και την χρήση τους. Οι ταμιευτήρες υπόγειοι και μη, οι λιμνοδεξαμενές και φράγματα αποτελούν μερικά συστήματα αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Η σωστή διαχείριση των υδατικών πόρων είναι μια δύσκολη υπόθεση, διότι πρέπει να λαμβάνει υπόψη πολλές κοινωνικές, οικονομικές και τεχνικές παραμέτρους.

Η διαχείριση των υδάτινων πόρων γίνεται κυρίως σε τρία επίπεδα:

- ✓ Επίπεδο Χώρας-Γενικό Επίπεδο
- ✓ Επίπεδο Υδατικού Διαμερίσματος
- ✓ Επίπεδο Υδρολογικής Λεκάνης



Εικόνα 7.1.: Η διαθεσιμότητα των υδάτινων πόρων, η ζήτηση τους και η προστασία του περιβάλλοντος είναι ενότητες αλληλοεπηρεαζόμενες μεταξύ τους.

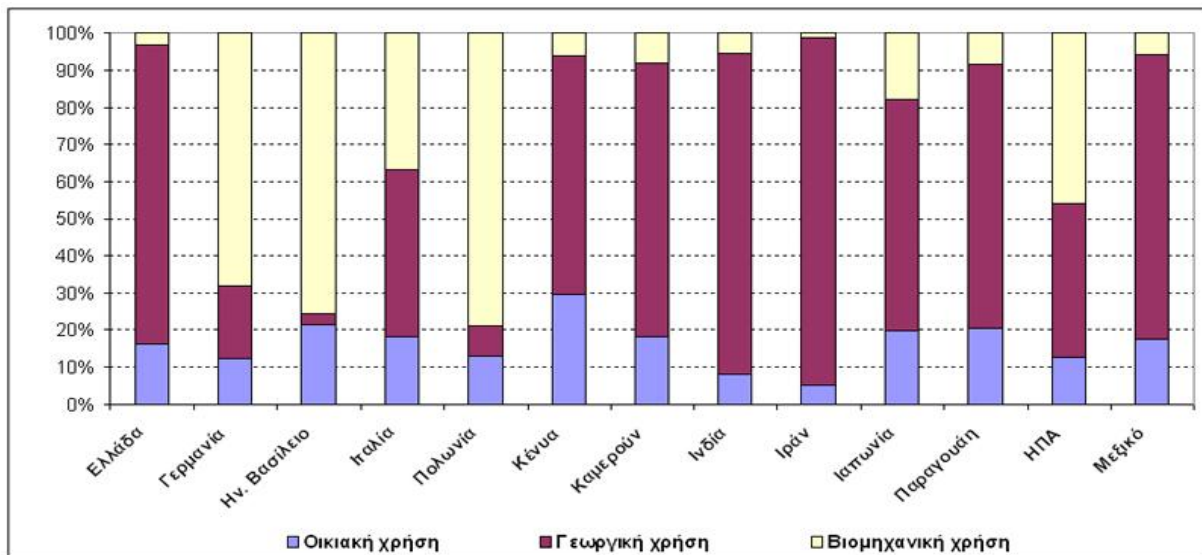
Οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την προστασία των υδάτινων πόρων είναι οι εξής:

- ✓ Την προμήθεια νερού επαρκούς ποσότητας και κατάλληλης ποιότητας
- ✓ Την προστασία των υδατικών πόρων από τη ρύπανση
- ✓ Την προστασία από τα ακραία υδρολογικά φαινόμενα
- ✓ Τις μελλοντικές προβλέψεις, σενάρια χρήσης και ρύπανσης
- ✓ Την αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση του νερού.

7.2. Σημασία υδατικών πόρων

Η Γη ονομάζεται γαλάζιος πλανήτης, διότι το νερό καλύπτει το 71% της επιφάνειας της. Ωστόσο, το 97,5% του νερού έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, με συνέπεια να μην είναι κατάλληλο για χρήση από τον άνθρωπο. Το 2,5% διαχωρίζεται ως εξής περίπου το 90% σχηματίζει τα παγόβουνα της Αργεντινής και τις Γροιλανδίας, τα οποία είναι απαραίτητα για τη διατήρηση του κλίματος της Γης και το υπόλοιπο 10% βρίσκεται σε επιφανειακά και υπόγεια ύδατα όπως λίμνες, ποτάμια, ταμιευτήρες υπόγειους και μη.

Το νερό που καταναλώνει ο άνθρωπος παγκοσμίως χρησιμοποιείται ως εξής, το 65% στη γεωργία, το 25% στη βιομηχανία και το 10% στην οικιακή κατανάλωση. Το 10% την οικιακής κατανάλωσης του νερού διαχωρίζεται με το 30% να χρησιμοποιείται για προσωπική υγιεινή, το 30% για πλυντήρια ρούχων και πιάτων, το 35% στο καζανάκι της τουαλέτας και μόνο το 5% για πόση και μαγείρεμα. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ένα γράφημα για τον τρόπο καταναλώσεις του νερού σε διαφορεές χώρες.



Γράφημα 7.1.: Ο καταμερισμός του νερού στη γεωργία, τη βιομηχανία και την οικιακή χρήση ανά τον κόσμο.

Το νερό θεωρείτο ένα αγαθό το οποίο βρισκόταν σε αφθονία, οι αυξανόμενες όμως ανάγκες του ανθρώπου οδήγησε στην αλόγιστη χρήση. Η έλλειψη νερού στις μέρες μας αποτελεί ένα εμπόδιο για την ανάπτυξη κάποιων περιοχών. Υπάρχουν εκατομμύρια άνθρωποι στις μέρες μας που δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό νερό. Ενώ παράλληλα αυξάνονται οι αρδευόμενες εκτάσεις και η παραγωγικότητα της γης μειώνεται.

Στα επόμενα χρόνια εκτιμάται σταδιακή αύξηση της χρήσης νερού φτάνοντας το 40% επιπλέον του σημερινού ποσοστού. Πολλές χώρες υποφέρουν από την έλλειψη νερού. Για να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η ποσότητα του νερού πρέπει να αναπτυχθούν μέθοδοι προστασίας τους. Ακόμα και οι πολίτες φέρουν ευθύνη σε αυτό, πρέπει να υπάρχει μια σωστή διαχείριση, προστατεύοντας τους φυσικούς πόρους.

Στο νερό δεν υπάρχουν σύνορα, είναι ένας φυσικός πόρος όπου η διαχείριση του απαιτεί συνεργασία μεταξύ των χωρών. Αρκεί να ρίξουμε μια μάτια στον γεωγραφικό χάρτη, δέκα χώρες τουλάχιστον της Ευρώπης δέχονται το μεγαλύτερο μέρος του νερού τους από τις γειτονικές. Αυτό συνεπάγεται απαραίτητη συνεργασία στην διοίκηση γιατί η προσπάθεια της μία χώρας μπορεί να ακυρώνεται από την αδράνεια της άλλης.

Η Ελλάδα βρίσκεται σε μια ευαίσθητη περιβαλλοντική περιοχή, σαν χώρα έχει πολλές περιοχές και κυρίως νησιά που έχουν πρόβλημα με την έλλειψη νερού. Οι βασικοί τομείς κατανάλωσης του είναι η γεωργία και ο τουρισμός. Η πολιτεία οφείλει να σεβαστεί τις ανάγκες του περιβάλλοντος και να πάρει δραστικά μέτρα αντιμετώπισης.

7.3. Στάδια επεξεργασίας ύδατος.

Το νερό που περιέχουν οι υπόγειοι ταμιευτήρες είναι ακατέργαστο, μπορεί να περιέχει μικρόβια και μικροοργανισμούς που δεν είναι ορατοί με γυμνό μάτι. Με συνέπεια το νερό να υποβάλλεται σε διαφορά στάδια επεξεργασίας όπως κροκίδωση, καθίζηση, δύλιση, απολύμανση για να απαλλαχτεί από τα παραπάνω στοιχεία.

Ακολουθείται η παρακάτω αλληλουχία σταδίων στην επεξεργασία του νερού:

1^ο Στάδιο:

Προσθήκη χλωρίου και απολύμανση. Η προχλωρίωση θανατώνει τα μικρόβια και κάποιους μικροοργανισμούς διευκολύνοντας την μετέπειτα επεξεργασία του

2^ο Στάδιο:

Προσθήκη θεικού αργιλίου και διαύγαση. Το διάλυμα του θεικού αργιλίου βοηθάει στην συσσωμάτωση των στερεών σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στο νερό, αποκτούν μεγαλύτερο βάρος, (κροκίδες) και κατακαθίζουν. Η όλη διαδικασία ονομάζεται κροκίδωση. Η ανάμειξη του νερού προκαλείται με μηχανικά μέσα και με υδραυλικά μέσα σε ειδικές δεξαμενές που λέγονται διαυγασίες με τα κροκιδωτικά .

3^ο Στάδιο:

Διεργασία καθίζησης. Πραγματοποιείται σε δεξαμενή, στην οποία το νερό ηρεμεί και τα συσσωματωμένα στερεά (κροκίδες) καθιζάνουν στον πυθμένα της δεξαμενής, το νερό καθαρίζεται σε ποσοστό 80%.

4^ο Στάδιο:

Φίλτρα καθαρισμού (αμμόφιλτρα). Τα πολύ ελαφρά σωματίδια και τα κολλοειδή (20%) που δεν υπάρχει η δυνατότητα να καθιζάνουν, κατακρατούνται σε ειδικά αμμόφιλτρα από τα οποία το νερό βγαίνει πια καθαρό για να δοθεί στην κατανάλωση.

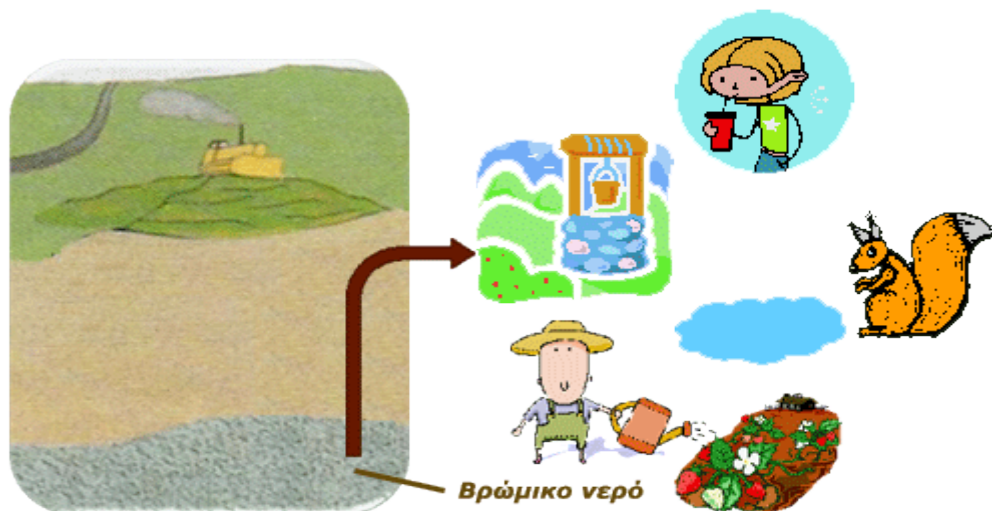
Στην περίπτωση που η προχλωρίωση δεν δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα, γίνεται συμπλήρωση χλωρίου κατά την έξοδο του νερού από τις κλειστές δεξαμενές αποθήκευσης και στην συνέχεια οδηγείται στην είσοδό του στο δίκτυο ύδρευσης. Ωστόσο, τα προβλήματα που

αντιμετωπίζουν οι ταμειυτήρες νερού είναι κοινά μεταξύ τους και σχετίζονται με τα εξής θέματα:

- ✓ Η ποσότητα που διαθέτουν - υπάρχει πολύ λίγο ή πάρα πολύ νερό
- ✓ Η ποιότητα - το νερό είναι πολύ υποβαθμισμένο λόγω της ρύπανση με συνέπεια να μην παρέχεται ως πόσιμο νερό και χρησιμοποιείται είτε για άρδευση γεωργικών είτε βιομηχανικών σκοπών.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν και εντείνουν τα προβλήματα των ταμειυτήρων σε σχέση με την ποσότητα νερού που είναι διαθέσιμη είναι οι περιορισμένες βροχοπτώσεις η υπερβολική και ακαταλόγιστη χρήση νερού με συνέπεια την μειωμένη ποσότητα του. Επιπλέον, οι πλημμύρες και οι έντονες βροχοπτώσεις αποτελούν αυξημένη ποσότητα νερού δημιουργώντας προβλήματα στην αποθήκευση και την επεξεργασία του. Υπάρχουν περιπτώσεις που το νερό εξέρχεται στην πιο κοντινή περιοχή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού στους ταμειυτήρες είναι αρχικά η ρύπανση που έχει προκληθεί στην περιοχή. Οι σημαντικότεροι ρύποι που περιλαμβάνουν τα ύδατα είναι όπως αναφέραμε οι οργανικές και ανόργανες χημικές ουσίες, όπως βαρέα μέταλλα και βιομηχανικές ενώσεις. Οι ρύποι αυτοί έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία ή να παρεμποδίσουν τη βιομηχανική ή γεωργική χρήση του νερού.



Εικόνα 7.2.: Αποδέκτες ρυπασμένων υπόγειων υδάτων.

Με την ρύπανση των υδάτων υποβαθμίζεται η ποιότητα του νερού έχοντας συνέπειες στην ζωή του ανθρώπου αλλά και του οικοσυστήματος. Σημαντικό είναι να παρατηρήσουμε ότι η υποβάθμιση του έχει πολλά αρνητικά γιατί γίνεται ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση είτε στη γεωργία, είτε στη βιομηχανία, γενικότερα στην καθημερινή κατανάλωση. Όσον αφορά την άνοδος της θερμοκρασίας από την θερμική ρύπανση έχει τραγικές

συνέπειες για τους υδρόβιους οργανισμούς, οι οποίοι έχουν μικρές ανοχές στις αλλαγές της θερμοκρασίας.

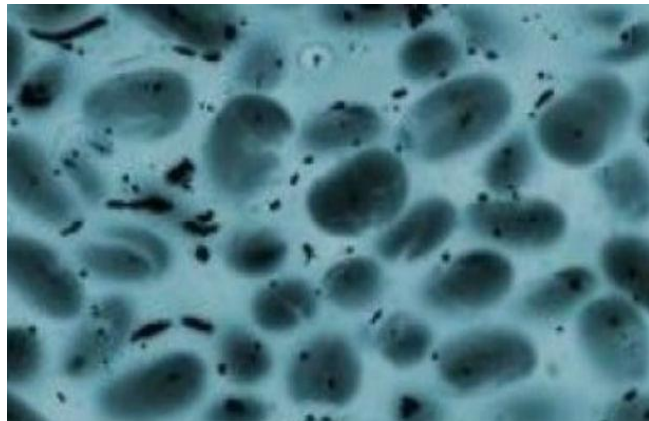
Αποτέλεσμα όλων αυτών είναι η λήψη μέτρων για την προστασία των υπόγειων εδαφών και υδάτων. Σε περίπτωση που το νερό υποβληθεί σε χημική επεξεργασία και το επίπεδο του ρύπου υπερβαίνει το αποδεκτό επίπεδο το νερό δεν θεωρείται ασφαλές και είναι υποβαθμισμένο, με συνέπεια την άμεση απορρύπανση του και περιορισμό της επέκτασης της ρύπανσης με τις μεθόδους και τεχνολογίες που αναλύθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

7.4. Καθαρισμός πόσιμου νερού

Ένα νερό χαρακτηρίζεται πόσιμο όταν η περιεκτικότητά του σε ξένες ουσίες είναι κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Τα όρια δημιουργούνται από τις εκάστοτε ισχύουσες υγειονομικές διατάξεις. Οι ανάγκες των ανθρώπων για πόσιμο νερό αυξάνονται διαρκώς σύμφωνα με την αύξηση του βιοτικού επιπέδου. Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται από τα επιφανειακά νερά δηλαδή τα ποτάμια και τις λίμνες καθώς επίσης και από ένα μικρό ποσοστό των υπόγειων υδάτων.

Τα νερά κατατάσσονται σε διαφορές κατηγορίες ανάλογα με την επεξεργασία που απαιτείται ώστε να είναι κατάλληλα για την ανθρώπινη υγεία. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- ✓ Νερά για ύδρευση μετά από συνήθη φυσική επεξεργασία και απολύμανση.
- ✓ Νερά για ύδρευση μετά από συνήθη φυσική και χημική επεξεργασία και απολύμανση.
- ✓ Νερά για ύδρευση μετά από προχωρημένη φυσική και χημική επεξεργασία καθώς και απολύμανση.



Εικόνα 7.3.: Ρυπασμένο πόσιμο νερό, μικροοργανισμοί μου δεν εντοπίζονται με γυμνό μάτι.

Συνοπτικά οι κυριότερες διεργασίες καθαρισμού του πόσιμου νερού είναι οι εξής:

- Αερισμός πραγματοποιείται με σκοπό την απομάκρυνση πτητικών ουσιών και οσμών, γίνεται είτε φυσικά με πρόκληση τυρβώδους ροής είτε τεχνητά με την διαβίβαση φυσαλίδων στις δεξαμενές.
- Διήθηση πραγματοποιείται με διέλευση του νερού από αμμόφιλτρα που αποτελούνται από διαδοχικά στρώματα λεπτού χαλικιού, χονδρής και λεπτής άμμου, με σκοπό την συγκράτηση των αιωρούμενων σωματιδίων και την βιολογική αποικοδόμηση οργανικών ενώσεων.
- Κατακάθιση πραγματοποιείται με σκοπό την καθίζηση ιόντων μετάλλων, σωματίδια με λεπτό διαμερισμό και την εν μέρει απομάκρυνση των μικροοργανισμών. Η διεργασία γίνεται σε μεγάλες δεξαμενές με την προσθήκη είτε θεικού αργιλίου είτε χλωριούχου σιδήρου. Επίσης, υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του pH αν παραμείνουν στο νερό συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Οζονίωση, πραγματοποιείτε επιτυχώς η απομάκρυνση των δυσάρεστων οσμών και γεύσης, με σκοπό την απολύμανση και την οξείδωση τοξικών οργανικών μορίων από το νερό. Η οζονίωση γίνεται σε πύργους οι όποιοι γεμίζουν με αδρανές υλικό πλήρωσης.
- Προσρόφηση σε άνθρακα είναι η διέλευση από φίλτρα ενεργού άνθρακα μετά την οζονίωση και με σκοπό την πλήρη απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων από το νερό. Τα φίλτρα του ενεργού άνθρακα έχουν ευρέα εφαρμογή στις περιπτώσεις που το φορτίο έχει μεγάλη τοξικότητα όπως τα φυτοφάρμακα και οι φαινόλες. Η διεργασία γίνεται σε πύργους οι όποιοι γεμίζουν με ενεργό άνθρακα σαν υλικό πλήρωσης.
- Η χλωρίωση πραγματοποιείται για την αποστείρωση του νερού, διότι καταστρέφονται οι μικροοργανισμοί. Επίσης, χρησιμοποιείται σαν οξειδωτικό σε νερά πλούσια σε υδρόθειο, νιτρώδη άλατα, δισθενών ιόντων μαγγανίου και σιδήρου. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί δυσοσμία λόγο σχηματισμού χλωραμινών, αυτός είναι και ο λόγος που συνδικάζεται προσρόφηση στον άνθρακα.
- Ακτινοβολία χρησιμοποιείται όπως και η χλωρίωση για αποστείρωση, έχει όμως το πλεονέκτημα ότι δεν δημιουργεί τοξικές ενέσεις και δυσοσμία, αφού δεν αφήνει υπολείμματα.

7.5. Έλεγχος ποιότητας νερού.

Το νερό όταν απομακρύνεται από τα διωλιστήρια για την διανομή στην κατανάλωση είναι νερό ασφαλές που πληρή όλες τις απαραίτητες προϋποθέσεις και όρους των σχετικών υγειονομικών διατάξεων, με συνέπεια να είναι κατάλληλο για πόση. Το νερό της Ελλάδας είναι αρίστης ποιότητας και θεωρείται ένα από τα καλύτερα της Ευρώπης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην Ευρώπη το μεγαλύτερο ποσοστό χρησιμοποιεί εμφιαλωμένο νερό για πόση και μαγείρεμα.

Κατά τον ποιοτικό έλεγχο του νερού ερευνώνται βασικά τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Οσμή – Γεύση – Χρώμα
- Θολότητα
- Θερμοκρασία
- Αλκαλικότητα - Οξύτητα – pH
- Μικρόβια
- Σκληρότητα
- Ερευνώνται εκτάκτως επίσης διάφορες ενώσεις χημικές, χλωριούχες, θεικές κτλ.

Το πόσιμο νερό χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη φυσική, χημική, βιολογική και μικροβιολογική σύσταση, με σκοπό την ασφαλή κατανάλωση από τους ανθρώπους. Το πόσιμο νερό πρέπει να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως να είναι άχρωμο, άοσμο, δροσερό και με ευχάριστη γεύση. Επίσης, δεν πρέπει να έχει μεγάλη σκληρότητα γιατί προκαλεί δυσκολίες στην καθημερινή αλλά και τη βιομηχανική του χρήση. Ακόμα δεν πρέπει να περιέχει μεγάλη ποσότητα οργανικών ουσιών, βαρέων μετάλλων ούτε και παθογόνα παράσιτα ή μικρόβια. Η θερμοκρασία του νερού πρέπει να είναι σταθερή και να κυμαίνεται από τους 10 έως 15 °C

Ωστόσο, κατά την διάρκεια του ποιοτικού ελέγχου του νερού έχουν σημειωθεί διαρθρωτικές ελλείψεις σε δεξαμενές οι οποίες οδηγούν στην άμεση μόλυνση του νερού με παθογόνους μικροοργανισμούς. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να σχηματιστούν ιζήματα λόγω χαμηλών ταχυτήτων ροής στις δεξαμενές τα οποία είναι επικίνδυνα για την υγεία του ανθρώπου με συνέπεια να κρίνεται απαραίτητος ο επανέλεγχος και απορρύπανσης του νερού.

Σημαντική παράμετρος για την προστασία του νερού από τα ιζήματα είναι η στάθμη του νερού, διότι όταν υπάρχει μεγάλη μείωση συσσωρεύονται τα ιζήματα και δύσκολο να αφαιρεθούν. Επίσης, έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο υπολειμματικό απολυμαντικό και μικροβιακή δραστηριότητα σε σχέση με τη δεξαμενή. Το νερό μπορεί να υποστεί μόλυνση ακόμα και από πετρώματα τα οποία μπορεί να βρίσκονται εκεί καθώς και από την κακή διαχείριση του συστήματος.

Η διαχείριση του νερού, η ζήτηση και η εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης νερού μπορούν να παρέχουν ταχεία και μακράς διάρκειας λύσεις. Ωστόσο, αυτά τα μέτρα μπορεί να είναι και ανεπαρκής, με αποτέλεσμα να συνιστάται είτε ενίσχυση της υποδομής και των τεχνικών μέσων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τα ύδατα είτε κάποια επιπλέον κατασκευή για την πρόληψη διαρροών και της σπατάλης στο σύστημα διανομής.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τήρηση της νομοθεσίας από όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η «σωστή» συμπεριφορά του ανθρώπου απέναντι στο περιβάλλον μπορούν να εξασφαλίσουν την καλύτερη ποιότητα ζωής καθώς επίσης και την προστασία του πλανήτη.



Εικόνα 7.4.: Η ποιότητα του νερού εξαρτάται από την συμπεριφορά του ανθρώπου στο περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

1. Αντωνόπουλος, Β., 2001, *Ποιότητα και Ρύπανση Υπόγειων Νερών*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
2. Δρίβελας Α., 2009, *Διερεύνηση του αλλουβιακού υδροφορέα του Μυρτούς Λασιθίου για την δημιουργία υπόγειου ταμιευτήρα με διαφραγματικό τοίχο*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
3. Χριστόπουλος Ι., 2012, *Τεχνολογίες έλεγχου και αποκατάστασης ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων ταμιευτήρων νερού*, Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
4. Χρυσικού Ε., 2010, *Τεχνητός εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων με επεξεργασμένα λύματα – Περίπτωση εφαρμογής στο Θριάσιο πεδίο*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
5. Αντζουλάτου Α. και Πετρίδη Α., 2011, *Εκτίμηση επικινδυνότητας ρύπανσης*, Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα.
6. Αϊνατζή Ο. και Πατεράκη Α., 2010, *Μέθοδοι διαχείρισης ρύπανσης εδαφών και υπόγειων υδάτων*, Εκδόσεις ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
7. Αντωνόπουλος, Β., 1999. *Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους*, Θεσσαλονίκη.
8. Τσιούρης Σ., 2001, *Θέματα Προστασίας Περιβάλλοντος*, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
9. Μ. Καββαδάς και Μ. Πανταζίδου, 2007, *Στοιχεία Περιβαλλοντικής*, Εκδόσεις Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Αθήνα.
10. Καρβούνη Β., 2012, *Μόλυνση υπόγειων νερών στις περιοχές απόθεσης απορριμμάτων – Ισχύουσα σχετική Νομοθεσία – Η περίπτωση της Αττικής*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
11. Νταρλαδήμας Ι., 2007, *Η ρύπανση του εδάφους και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στο Νομό Λάρισας. Διερεύνηση των δυνατοτήτων απορρύπανσης και τν προοπτικών βι΄ψιμης ανάπτυξης στο νόμο*, Εκδόσεις Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
12. Λούκας Α., 2007, *Ποιότητα του νερού στους ταμιευτήρες*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

13. Χριστούλας Δ., 1991, *Ρύπανση των υδάτων και αντιρρυπαντική τεχνολογία*, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα.
14. Λατινόπουλος Π., 2007, *Εκμετάλλευση των υπόγειων υδάτινων πόρων*, Θεσσαλονίκη.
15. Γκερεδάκη Ε., 2008, *Προσομοίωση υπόγειας ροής και μεταφορά νιτρικών στην περιοχή Τυμπακίου, Ηράκλειο Κρήτης*, Εκδόσεις Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανία.
16. Freeze R.A. and J.A. Cherry, 1979, *Groundwater*, Prentice Hall.
17. Hughes G.M., Landon R.A. and Farvolden R.N., 1971, *Hydrogeology of solid waste disposal sites in northeastern Illinois*, USEPA Solid Waste Management Series.
18. Morris D.A. and Johnson A.I., 1967, *Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials*, as analysed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey, 1948-1960, USGS Water Supply paper 1839-D.
19. Quinlan J.F and Ewers R.O., 1985, *Groundwater flow in limestone terrains: strategy rationale and procedure for reliable, efficient monitoring of groundwater in karst areas*, Proc. 5th National Symp and Exp. on Aquifer Restoration and Groundwater Monitoring, National Water Well Association, pp 197-234.
20. http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_9.pdf
21. http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg887e/PDF/XYTA_5.pdf
22. <http://alamedapointenvironmentalreport.wordpress.com>
23. http://www.suk.gr/index.php?option=com_content&view=article1
24. <http://www.agronomist.gr>
25. <http://4.bp.blogspot.com/phges.jpg>
26. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>
27. <http://dim-rizou.pel.sch.gr>
28. <http://dspace.lib.ntua.gr>
29. <http://www.watersave.gr/index.php>
30. <http://ilampos.wordpress.com>
31. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php>
32. <http://8gym-perist.att.sch.gr/Programes/water/water6.htm>

33. <http://kireas.org/smf/index.php?topic=685.0>
34. <http://www.skanska.co.uk/services/cementation-piling-and-foundations/sub>
35. <http://www.piedmontgeologic.com>
36. <http://www.epem.gr/projecttrash11.html>
37. <http://new.ims.forth.gr/water/sites/new.ims.forth.gr.water/files/documents/papers.pdf>
38. <http://el.wikipedia.org/wiki>.
39. <http://www.env-edu.gr>
40. <http://ebooks.edu.gr>
41. <http://kpe-kastor.kas.sch.gr>