

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΤΕΦ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ : ΚΟΛΛΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2012



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	7
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	8
<b>1. ΠΗΓΕΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ</b> .....	8
1.1.Ρύπανση και μόλυνση .....	8
1.2.Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων.....	8
1.3.Πηγές ρύπανσης.....	10
1.4.Επιπτώσεις–Ανίχνευση της ρύπανσης.....	17
1.5.Ρύπανση των υδροφόρων από μικροοργανισμούς .....	18
1.6.Αλληλεπίδραση ρυπαντών και εδάφους-φυσική απορρύπανση .....	19
1.7.Διάδοση της ρύπανσης στους υδροφόρους .....	25
1.7.1.Μεταφορά-Διασπορά-Διάχυση .....	26
1.7.2.Διάδοση δραστικών ρύπων.....	31
1.8.Διάδοση μη αναμειξιμων ρύπων.....	33
1.9.Εξασθένηση της ρύπανσης.....	33
1.10.Μαθηματικά μοντέλα.....	40

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	42
<b>2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΜΟΛΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΛΛΑΦΩΝ</b> .....	42
2.1. Εισαγωγή.....	42
2.2. Γενικά.....	42
2.3. Έδαφος.....	46
2.3.1. Σύσταση και ιδιότητες του εδάφους. ....	47
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	51
<b>3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΛΛΑΦΩΝ</b> .....	51
3.1. Γενικά.....	51
3.2. Μέθοδος βιολογικής αποκατάστασης .....	55
3.2.1 Μικροοργανισμοί και οργανικές ενώσεις .....	56
3.3. Μέθοδος της φυτοεξυγίανσης .....	61
3.3.1. Τεχνικές της φυτοεξυγίανσης.....	63
3.3.2. Στοιχεία φυσιολογίας των φυτών με μέθοδο της φυτοεξυγίανσης...66	
3.3.3. Σχεδιασμός συστημάτων φυτοεξυγίανσης.....	69
3.3.4. Συμπεράσματα και Αξιολόγηση φυτοεξυγίανσης.....	72
3.4. Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat).....	72
3.5. Αεροδιαχωρισμός (air striping).....	74
3.6. Αεροδιασπορά (air sparging).....	74
3.7. Μέθοδος άντλησης επιπλεόντων ρυπαντών.....	75
3.8. Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος.....	75
3.9. Εφαρμογή υπο πίεση αέρα (Vacuum extraction).....	75
3.10. Έκσκαφή του εδάφους.....	76

3.11.Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	76
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>77</b>
<b>4.ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.....</b>	<b>77</b>
4.1.Γενικά.....	77
4.2.Μέθοδος θέρμανσης δι' ατμού αέρα.....	80
4.2.1.Πλεονεκτήματα της μεθόδου.....	82
4.2.2.Μειονεκτήματα της μεθόδου.....	83
4.3.Μέθοδος εξυγίανσης με συγκλίνοντα φράγματα και διοδούς .....	84
4.3.1Περιγραφή συγκλινόντων φραγμάτων και διοδίων.....	85
4.3.2.Εύρεση βέλτιστης διάταξη των συγκλινόντων φραγμάτων και διοδίων.....	86
4.3.3.Εκτίμηση του κόστους του συστήματος.....	89
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ.....</b>	<b>90</b>
5.1.Διάβρωση και ερημοποίηση εδαφών.....	90
5.2.1 Αυστρία.....	92
5.2.2. Βέλγιο .....	96
5.2.3. Ολλανδία.....	102
5.2.4. Δανία .....	109
5.2.5. Γαλλία.....	112
5.2.6.1. Πολιτικό πλαίσιο.....	113

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

5.2.6. Ελλάδα.....	116
5.2.7. Ισπανία.....	117
5.2.8. Ηνωμένο Βασίλειο.....	118
5.3. Συμπεράσματα.....	121
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.ΟΔΗΓΙΕΣ-ΝΟΜΟΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΔΑΦΟΥΣ...</b>	<b>123</b>
6.1.Νόμοι περι ελέγχους της ρύπανσης των υδάτων και του εδάφους.....	123
6.2.Περιβαλλοντικές αποφάσεις.....	126
6.3. Οδηγία 2006/118/ΕΚ .....	139
6.4.Βιβλιογραφία.....	146

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακής μας εργασίας, της σχολής Μηχανολογίας στο ΑΤΕΙ Πατρών. Θέμα της είναι «ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ». Στα πλαίσια της εργασίας αυτής καλούμαστε να μελετήσουμε τη ρύπανση του περιβάλλοντος και πιο συγκεκριμένα τη ρύπανση των εδαφών και των υπόγειων υδάτων.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια η ρύπανση του περιβάλλοντος εξαιτίας της μεγάλης τεχνολογικής προόδου και της ραγδαίας βιομηχανικής ανάπτυξης έχει πάρει επικίνδυνες και σε πολλές περιπτώσεις, καταστροφικές διαστάσεις για τον πλανήτη μας. Η ρύπανση του περιβάλλοντος είναι ένα θέμα που απασχόλησε και συνεχίζει να απασχολεί όλο και περισσότερο κόσμο στις μέρες μας. Για το λόγο αυτό η ενασχόληση μας με το θέμα αυτό ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια συνοπτική αναφορά για το πρόβλημα της ρύπανσης. Συγκεκριμένα γίνεται διάκριση της ρύπανσης, σε **ρύπανση ατμόσφαιρας, νερού και εδάφους**.

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 τα οποία είναι πολύ ευαίσθητα στη ρύπανση και έχουν περιορισμένη 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. Για τους παραπάνω λόγους πρέπει να γίνουν γνώστες σε όλους μέθοδοι απορρύπανσης και προστασίας των ρυπασμένων εδαφών και υδάτων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τέτοιες τεχνολογίες απορρύπανσης και προστασίας των ρυπασμένων εδαφών όπως η μέθοδος της Βιολογικής Αποκατάστασης και η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθενται νέες μέθοδοι προστασίας των υπόγειων υδάτων. Κάποιες από αυτές είναι η τεχνολογία Air sparging και η μέθοδος εξυγίανσης με Συγκλίνοντα Φράγματα και Διόδους.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση της βέλτιστης και αποτελεσματικότερης λύσης του προβλήματος της ρύπανσης καθώς επίσης και η ευαισθητοποίηση των πολιτών σε ότι αφορά το περιβάλλον και την προσδοκώμενη καλύτερη ποιότητα ζωής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

#### 1.1 Ρύπανση και Μόλυνση

Ρύπανση (pollution) 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.

Η μόλυνση (contamination) περιορίζεται στη ρύπανση εκείνη που αποτελεί κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου. Η μόλυνση έχει μικροβιακό χαρακτήρα και συνδέεται με την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. 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.ά.)

Τοξικά στοιχεία και ενώσεις (As, Se, CN- κ.ά.)

Ανόργανες ενώσεις (NO<sub>3</sub>-, PO<sub>4</sub>-, NO<sub>2</sub>- κ.ά.)

Οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, απορρυπαντικά, παρασιτοκτόνα, χρώματα βαφής, προϊόντα πετρελαίου κ.ά.).

Ραδιενεργές ουσίες

Παθογόνοι μικροοργανισμοί (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.

#### 1.2. Φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων

Οι κυριότερες φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων είναι:

Η Διαλυτότητα

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Είναι η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαλυθεί σε ορισμένη ποσότητα διαλύτη, σε ορισμένες συνθήκες. Τα ευδιάλυτα υλικά μεταφέρονται πιο εύκολα από τα επιφανειακά νερά.

### Πητικότητα

Είναι η ικανότητα που έχουν τα μόρια κάποιων ενώσεων να διαφεύγουν από την επιφάνεια του 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 φάσεων, 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 (P<sub>μ</sub>) μιας πητικής ουσίας σε ισορροπία πάνω από διάλυμα, με τη συγκέντρωσή της (C) στο διάλυμα: P<sub>μ</sub>=H·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 μηχανισμούς.

### 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 (Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>), τοξικά ανιόντα (CN<sup>-</sup>), οξέα και αλκάλια.

Οι ρύποι εισάγονται στον οργανισμό μέσω της 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.



Η καθαρότητα των φυσικών νερών έχει ιδιαίτερη σημασία για το περιβάλλον, μιας και το νερό αποτελεί βασικό παράγοντα για τη διατήρηση της ζωής. Η χρήση του νερού και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες υποβαθμίζουν ποιοτικά το νερό.

Η ποιότητα των υπόγειων νερών, καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, κυριότεροι εκ των οποίων είναι:

Η αποσάθρωση και διάλυση των πετρωμάτων

Η απόθεση ορυκτών

Η οργανική ύλη (έκλυση CO<sub>2</sub>, αναγωγή οξειδίων Fe, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, μεθανογένεση)

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).

Ευτροφισμός είναι η συνθήκη που επικρατεί σε εμπλουτισμένα με θρεπτικά συστατικά επιφανειακά υδροσυστήματα, στα οποία παρατηρείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα, ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου και αύξηση των φυκών και αλγών του νερού. Τα θρεπτικά συστατικά είναι κυρίως ενώσεις του P και N, που προέρχονται από τα απόβλητα αστικής, γεωργο-κτηνοτροφικής και βιομηχανικής προέλευσης. Η ανάπτυξη των αλγών (φύκη, φυτοπλαγκτόν, κ.ά.) μπορεί να γίνει ραγδαία με αποτέλεσμα την πλήρη καταστροφή του υδάτινου οικοσυστήματος.

Η εμφάνιση των νερών είναι θολή, φαιοπράσινη και δίνουν την εικόνα του βρώμικου. Η απότομη αύξηση φυτικών οργανισμών σε μια λίμνη, λόγω μεγάλης προσφοράς θρεπτικών συστατικών ονομάζεται και άνθηση του νερού (water bloom). Ο ευτροφισμός μπορεί να μετατρέψει μια λίμνη σε έλος και στη συνέχεια σε στεριά.

### 1.3 Πηγές ρύπανσης

Οι πηγές ρύπανσης ταξινομούνται σε: (α) Σημειακές (ΧΥΤΑ, χωματερές, βόθροι, υπόγειες δεξαμενές) (β) γραμμικές (δρόμοι, αύλακες) (γ) διάχυτες (νιτρορρύπανση, όξινη βροχή).

Οι περισσότερες πηγές ρύπανσης του γεωπεριβάλλοντος δηλ. του εδάφους και των υπόγειων νερών, προέρχονται από τις κάτωθι δραστηριότητες:

Απόρριψη υγρών και στερεών αποβλήτων (λύματα, σκουπίδια κ.ά.)

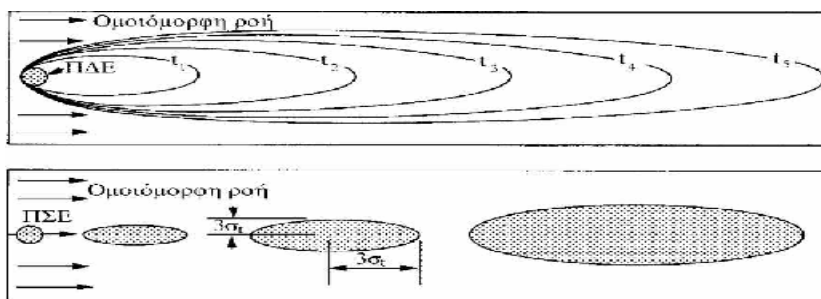
Χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων, εντομοκτόνων

Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων

Προϊόντα μεταλλευτικής δραστηριότητας

Διάθεση πυρηνικών αποβλήτων

Στις περιπτώσεις που η ρύπανση των υπόγειων νερών οφείλεται σε φυσικά αίτια, αυτό αποδίδεται: στην επίδραση ευδιάλυτων πετρωμάτων (γύψος, ορυκτό αλάτι κ.ά), στην έντονη εξάτμιση, που προκαλεί ανύψωση του υπόγειου νερού και απόθεση αλάτων, στην οξείδωση των πετρωμάτων και στη διείσδυση της θάλασσας.



Σχ 1.1 Πλούμιο ρύπανσης σε ισότροπο υδροφόρο από σημειακή πηγή συνεχούς (επάνω) και στιγμιαίας (κάτω) εκπομπής ρυπαντή

Το γεωμετρικό σχήμα της ρύπανσης ονομάζεται πλούμιο ή θύσανος (plume). Στο Σχ. 1.1 φαίνεται το πλούμιο από μια σημειακή πηγή ρύπανσης.

Αναλυτικά οι κυριότερες πηγές ρύπανσης περιγράφονται παρακάτω.

1). Οικιακά λύματα (domestic sewage) ονομάζονται γενικά τα υγρά απόβλητα των κατοικιών, ιδρυμάτων ή άλλων εγκαταστάσεων μιας περιοχής, που είναι συνδεδεμένες με τις λειτουργίες της πόλης (ζαχαροπλαστεία, μαγειρεία, πλυντήρια). Αποτελούνται κατά μεγάλο ποσοστό από νερό, που περιέχει οργανικά και ανόργανα προϊόντα. Η δυσάρεστη οσμή τους οφείλεται στο οργανικό υλικό που υφίσταται αναερόβια βακτηριακή δράση. Το χρώμα των αποβλήτων είναι ενδεικτικό της ηλικίας και της προέλευσής τους. Τα οργανικά υλικά στα λύματα είναι συνήθως: χαρτιά, ούρα, κόπρανα, σαπούνια, απορρυπαντικά, υπολείμματα τροφών, έλαια, λίπη. Τα ανόργανα συστατικά είναι: αμμωνία, άλατα του αμμωνίου, άργιλος κ.ά. Η ποσότητα των παραγόμενων λυμάτων ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και από χώρα σε χώρα. Η μέση ημερήσια παραγόμενη ποσότητα κυμαίνεται από 150-500 L/άτομο.

Η διάθεση λυμάτων στους αποδέκτες δημιουργεί έντονα προβλήματα ρύπανσης, όπως: ευτροφισμό, ρύπανση υπόγειων υδροφορέων, ελάττωση της ικανότητας αυτοκαθαρισμού των νερών, καταστροφή των βιοκοινωνιών τους κ.ά. Επειδή στη σύγχρονη κοινωνία η κατανάλωση νερού έχει αυξηθεί κατά πολύ οι μικροοργανισμοί που ζουν στη θάλασσα (αποδομητές) δεν προλαβαίνουν να διασπάσουν τις μεγάλες ποσότητες οικιακών λυμάτων που καταλήγουν εκεί. Μερικές φορές μάλιστα δεν μπορούν να διασπάσουν κάποιες ενώσεις, όπως π. χ. χρώματα, απορρυπαντικά, κ.λπ.

Σε μικρούς οικισμούς οι σηπτικές δεξαμενές και οι απορροφητικοί βόθροι είναι οι πιο κοινά τρόποι διάθεσης των οικιακών λυμάτων. Η συλλογική συγκέντρωση των λυμάτων και η μεταφορά τους σε εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού έχει σαν σκοπό την κατάλληλη επεξεργασία-καθαρισμό των λυμάτων για να επαναχρησιμοποιηθούν ή να διατεθούν ακίνδυνα σ' ένα υδατικό αποδέκτη ή στο έδαφος απαλλαγμένα από τα βλαβερά συστατικά. Ως "βλαβερά" συστατικά των λυμάτων θεωρούνται: α) τα αιωρούμενα στερεά β) τα οργανικά συστατικά

γ) οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φωσφόρος)

Ο βαθμός καθαρισμού μιας εγκατάστασης καθορίζεται από το ποια από τα προαναφερθέντα "βλαβερά" συστατικά απομακρύνει. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα

αιωρούμενα συστατικά απομακρύνονται σχεδόν πάντα, οπότε ο καθαρισμός χαρακτηρίζεται πρωτοβάθμιος.

2). Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός (βιολογικός) αποσκοπεί στην απομάκρυνση του οργανικού φορτίου και των παθογόνων μικροοργανισμών. Τα αστικά λύματα επιβαρύνουν τους υδατικούς πόρους με βιοαποικοδομήσιμα υλικά και με θρεπτικά συστατικά που προκαλούν ευτροφίες. Πολλές λίμνες και κλειστοί κόλποι παρουσιάζουν προβλήματα ευτροφισμού με σημαντικές μεταβολές στο οικοσύστημά τους. Ο τριτοβάθμιος καθαρισμός αποσκοπεί στην απομάκρυνση με χημικούς τρόπους και των θρεπτικών στοιχείων (P, N), τα οποία είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του ευτροφισμού.

3). Βιομηχανικά απόβλητα ονομάζονται τα υγρά απόβλητα διαφόρων βιομηχανιών, που δεν περιέχουν απόβλητα από χώρους εξυπηρέτησης του προσωπικού. Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι αποτέλεσμα της χρήσης νερού στη βιομηχανία, που έχει εμπλουτισθεί με διάφορα συστατικά σε μικρές ή μεγάλες συγκεντρώσεις και διακρίνονται σε βιολογικά και μη βιολογικά. Τα βιολογικά περιλαμβάνουν τα απόβλητα των εργοστασίων παραγωγής τροφίμων, παραγωγής χαρτιού και επεξεργασίας υφαντικών ινών. Τα μη βιολογικά είναι απόβλητα χημικών βιομηχανιών και περιέχουν ρυπαντές όπως: οξέα, βάσεις, χλώριο, κυανιούχα, μέταλλα, άλατα, υδρογονάνθρακες, φωσφορικά. Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα σε σύγκριση με τα αστικά λύματα παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά: Περιέχουν τοξικά στοιχεία, εμφανίζουν δυσκολία επεξεργασίας και μεγάλες διαφορές μεταξύ των αποβλήτων διαφόρων βιομηχανιών. Ένα μέρος των βιομηχανικών αποβλήτων χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα (hazardous) και απαιτούνται αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί για τη διάθεσή τους στο γεωπεριβάλλον. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και άλλα απόβλητα, όπως τα νοσοκομειακά. Ο όρος τοξικά (toxic) χρησιμοποιείται για απόβλητα που περιέχουν ουσίες που προκαλούν σοβαρές βλάβες ή και θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Γενικά, τα επικίνδυνα απόβλητα κατατάσσονται στις κάτωθι τέσσερις κατηγορίες :  
Ανόργανα απόβλητα σε διάλυση ή αιώρηση που περιέχουν βαρέα μέταλλα (μόλυβδος, υδράργυρος), αρσενικό, κάδμιο και κυανίδια.

Οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα (Aqueous Phase Liquids-APLs)

Ανήκουν τα απόβλητα της φαρμακευτικής βιομηχανίας, της βιομηχανίας γεωργικών φαρμάκων, διαλύτες, χρώματα.

Οργανικά μη υδατοδιαλυτά απόβλητα (Non-Aqueous Phase Liquids-NAPLs)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα λιπαντικά, ελαιοχρώματα, ελαιώδεις διαλύτες, προϊόντα πετρελαίου. Τα μη αναμείξιμα εξ' αυτών με πυκνότητα μικρότερη του νερού LNAPLs (βενζίνη, πετρέλαιο κ.ά) επιπλέον στο νερό και συγκεντρώνονται στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα, διαχεόμενα μόνον οριζόντια. Οι υδρογονάνθρακες έχουν τη δυνατότητα να παραμένουν επί πολύ χρόνο στην επιφάνεια των υπόγειων νερών, προσδίνοντας δυσάρεστη οσμή.

Τα βαρύτερα DNAPLs (χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη και κορεσμένη ζώνη και εγκαθίστανται πάνω στο αδιαπέρατο υπόβαθρο, ρυπαίνοντας έτσι τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες σε βάθος.

#### 4. Απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών, ιλύος και στερεών

Στην κατηγορία αυτή υπάγονται απόβλητα διυλιστηρίων και απόβλητα καθαρισμού των δεξαμενών πλοίων μεταφοράς πετρελαιοειδών. Τα βιομηχανικά απόβλητα υποβάλλονται σε επεξεργασία για να απαλλαγούν από τους ρυπαντές και να διατεθούν εν συνεχεία στο περιβάλλον ή να επαναχρησιμοποιηθούν. Αστικά απορρίμματα (municipal waste) αποτελούνται από τρόφιμα, χαρτί, γυαλί, πλαστικά, φυτικές ύλες, υφάσματα, ξύλο, ελαστικά κ.ά. Πιθανόν πολλές φορές να περιέχουν και μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων, όπως: χρώματα, ορυκτέλαια, απορρυπαντικά κ.λπ. Σε πολλές χώρες, λόγω εφαρμογής προγραμμάτων ανακύκλωσης σε χαρτί, μέταλλα, γυαλί τα απορρίμματα περιέχουν μικρές ποσότητες των υλικών αυτών. Τα απορρίμματα περιέχουν και ποσότητα νερού, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 25-60%. Τα στραγγίσματα ή διασταλάζοντα (leachates) από χώρους διάθεσης ή ταφής στερεών αποβλήτων είναι πλούσια σε ενώσεις του αζώτου, χλωρίοντα, μόλυβδο, σίδηρο κ.ά. και μπορεί να αποτελέσουν σημαντική αιτία ρύπανσης και μόλυνσης των υπόγειων νερών.

Τα απόβλητα μεταλλευτικής δραστηριότητας (mining waste) παράγονται κατά την εξόρυξη ορυκτών πόρων σε ανθρακορυχεία, μεταλλεία και αποτελούνται από ένα ετερογενές μίγμα νερού και κονιορτοποιημένου ορυκτού και πιθανά περιέχουν και βαρέα μέταλλα, ως παραπροϊόντα.

Με τις διαδικασίες αποκάλυψης των μεταλλευμάτων αφαιρείται ο προστατευτικός εδαφικός μανδύας και έτσι οι πιθανοί ρύποι οδηγούνται κατευθείαν στους υδροφόρους ορίζοντες. Συχνά οι μεταλλευτικές εργασίες επεκτείνονται κάτω από την επιφάνεια του υπόγειου νερού και απαιτείται στράγγιση. Το νερό αυτό είναι πλούσιο σε μέταλλα, γνωστό ως όξινο νερό μεταλλείου. Οι εκσκαφές μετά το πέρας της εκμετάλλευσης χρησιμοποιούνται συνήθως σαν χώροι απόθεσης απορριμμάτων με πιθανή ρύπανση των υπόγειων νερών. Οι αποθέσεις τους, λόγω της μικρής διατμητικής αντοχής είναι ασταθείς και παρουσιάζουν μεγάλες καθιζήσεις.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα εντοπίζεται στην παραγόμενη τέφρα των λιγνιτορυχείων (Μεγαλόπολη, Πτολεμαΐδα). Σε περιπτώσεις που τα παραγόμενα απόβλητα των ορυχείων ή διάφορα παραπροϊόντα (εξόρυξη λατομικών ορυκτών) δεν είναι επικίνδυνα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά για επιχωματώσεις κ.λπ.

#### 5. Απόβλητα γεωργο-κτηνοτροφικής δραστηριότητας

Το νερό που επιστρέφει από τις αρδεύσεις διηθείται παρασέρνοντας διαλυμένες ουσίες στα υπόγεια νερά. Έτσι στοιχεία που περιέχονται στα λιπάσματα οδηγούνται στο υπόγειο νερό, ειδικά σε περιπτώσεις διαπερατών εδαφικών σχηματισμών. Οι πλέον επικίνδυνοι ρύποι είναι τα νιτρικά ιόντα, τα οποία έχουν μεγάλη ευκινησία και μετακινούνται εύκολα από την ακόρεστη ζώνη στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Στην ακόρεστη ζώνη οι διαλυμένες ουσίες κινούνται κατακόρυφα προς την υπόγεια στάθμη και στην κορεσμένη ζώνη η υδραυλική κλίση προκαλεί την οριζόντια κίνηση του υπόγειου νερού και των ρύπων που περιέχονται σε αυτό.

Η αλόγιστη χρήση λιπασμάτων με αποτέλεσμα την αύξηση των νιτρικών ιόντων έχει οδηγήσει σε πλήρη υποβάθμιση πολλούς υδροφόρους ορίζοντες, κυρίως φρεάτιους σε πολλές περιοχές της χώρας μας.

Σημαντικές ποσότητες νερού από αυτές που χρησιμοποιούνται για άρδευση (περίπου το 10%) επιστρέφουν και τροφοδοτούν τον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα (irrigation return flow). Το νερό αυτό είναι εμπλουτισμένο σε άλατα, τα οποία προστίθενται με τη διαδικασία της διάλυσης κατά την άρδευση ή στα άλατα των λιπασμάτων. Επικρατούντα ιόντα στην επιστρεφόμενη αρδευτική ροή είναι  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$ . Το νερό αυτό αποτελεί σημαντική πηγή ρύπανσης των υπόγειων νερών, ειδικά στις περιοχές, όπου εφαρμόζεται εντατική άρδευση.

Τα φυτοφάρμακα (εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, παρασιτοκτόνα) που χρησιμοποιούνται εντατικά στη γεωργία τις τελευταίες δεκαετίες αποτελούν σημαντικούς ρύπους για τα υπόγεια νερά. Τα στερεά απόβλητα κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων (κοπριές) είναι πλούσια σε νιτρικά και διαλυμένα άλατα και αποτελούν πιθανές πηγές ρύπανσης των υπόγειων υδροφόρων οριζόντων.

Άλλες πιθανές αιτίες ρύπανσης του υπόγειου νερού είναι: τα ρευστά από τα νεκροταφεία, ο εμπλουτισμός από ρυπασμένα επιφανειακά νερά, η ρίψη  $NaCl$  για την αποπαγοποίηση των δρόμων (2-10 tn ανά km), η διείσδυση της θάλασσας, τα διασταλάζοντα υγρά από τις χωματερές κ. ά.

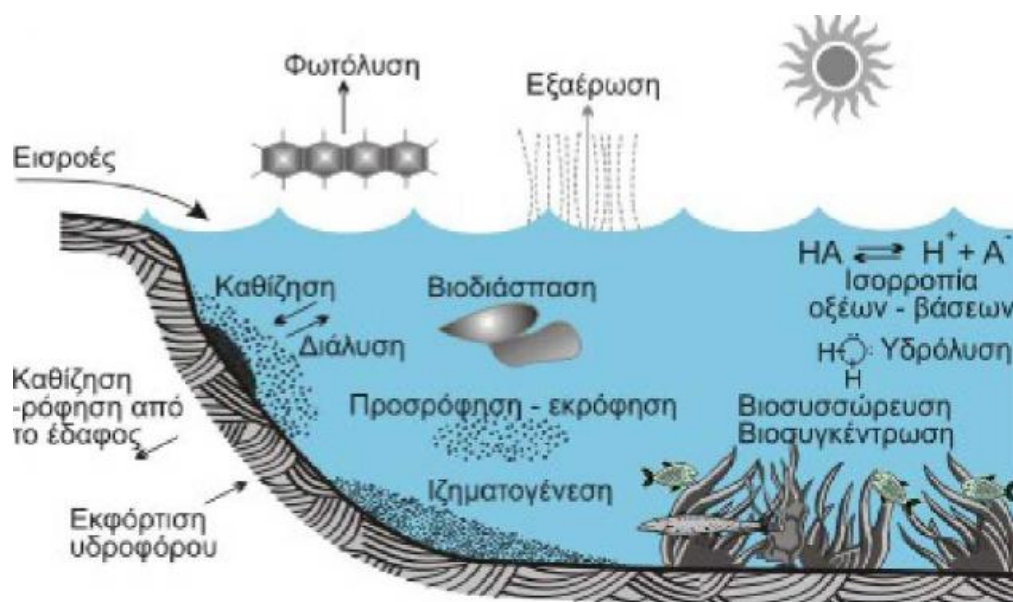
Η αποσύνθεση των πτωμάτων στα νεκροταφεία γίνεται προοδευτικά και δημιουργεί ρευστά με υψηλό ρυπαντικό φορτίο, που αν αναμειχθούν με τα νερά της βροχής και κατεισδύσουν στους υδροφόρους ορίζοντες προκαλούν επικίνδυνες μολύνσεις.

Η ποιοτική σύσταση των ρύπων από τα νεκροταφεία χαρακτηρίζεται από αυξημένες συγκεντρώσεις χλωριόντων, θειϊκών, ενώσεων αζώτου ( $NO_3$ ,  $NH_4$ ,  $NO_2$ ), COD και παθογόνων μικροοργανισμών. Η ποσότητα των υγρών στραγγισμάτων από νεκροταφεία ανέρχεται σε 400 L/έτος/τάφο.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

**Πίνακας 1:** Πηγές ρύπανσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Πηγή	Είδος ρύπου	Επίδραση
Χημικές βιομηχανίες Μεταλλουργεία	Cu, Pb, Zn, Cd, Hg Co, Cr, Ag, As, CN	Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Χημικές βιομηχανίες τροφίμων Φαρμακευτικές βιομηχανίες Χαρτοποιεία	Φαινόλες, Αμμωνία Απορρυπαντικά, Ίνες χαρτιού	Ελαττώνουν το οξυγόνο Φαινόμενα ευτροφισμού Τοξικά προϊόντα (αμμωνία, φαινόλες) Ελάττωση της οικολογικής ποικιλότητας
Χώροι Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) Αγροτικές δραστηριότητες	Βαρέα μέταλλα, Αέρια Οργανικές ενώσεις, Ανόργανες ενώσεις Λιπάσματα, Εντομοκτόνα Παρασιτοκτόνα	Ρύπανση υπόγειων υδροφόρων
Κτηνοτροφικές δραστηριότητες Σφαγεία	Άζωτο, Φωσφόρος Βακτήρια, Μύκητες	Αύξηση νιτρικών ιόντων Καρκινογένεσις
Όξινη βροχή Πυρηνικοί σταθμοί	Οξείδια S και N Ραδιενέργεια στο νερό	Καταστροφή καλλιεργιών, δασών κ.λπ. Γενετικές αλλοιώσεις Συσσώρευση στις τροφικές αλυσίδες
Διυλιστήρια Διαρροές υδρογονανθράκων	Υδρογονάνθρακες Πετρέλαιο, Άσφαλτος	Καταστροφή πανίδας και χλωρίδας Εμποδίζουν την οξυγόνωση του νερού
Μεταλλευτικές Δραστηριότητες	Αιωρούμενα στερεά, Ορυκτές ενώσεις Οξίνα απόβλητα	Ρύπανση αέρα και υπόγειων νερών Καθιζήσεις εδάφους
Ενεργειακοί σταθμοί Βιομηχανίες	Θερμό νερό	Θανάτωση των αυγών των ψαριών Ελάττωση του O <sub>2</sub> , αύξηση του ρυθμού μεταβολισμού των οργανισμών
Διείσδυση της θάλασσας	Άλατα	Καταστροφή παράκτιων υδροφόρων οριζόντιων



**Σχήμα 1.2:** Μεταφορά ρυπαντών στο υδατικό περιβάλλον

#### 1.4. Ανίχνευση-Επιπτώσεις της ρύπανσης

Γενικά η ρύπανση του επιφανειακού και υπόγειου νερού έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και ανιχνεύεται με έναν ή συνδυασμό περισσότερων τρόπων, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:

- Μέτρηση της περιεκτικότητας σε διαλυμένα άλατα.

Μεγάλες συγκεντρώσεις αλάτων δημιουργούν προβλήματα στους χρήστες (αλλοίωση της γεύσης, αύξηση της διαβρωτικότητας, δυσμενείς επιπτώσεις στην καλλιέργεια κ.ά.).

- Μέτρηση πληθυσμού παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα απόβλητα κυρίως αστικής και κτηνοτροφικής προέλευσης είναι φορείς παθογόνων μικροοργανισμών, που είναι υπεύθυνοι για τη διάδοση επικίνδυνων λοιμώξεων σε ανθρώπινους οργανισμούς.

- Μέτρηση αιωρούμενων στερεών.

Τα αιωρούμενα και κολλοειδή στερεά υλικά μειώνουν τη διέλευση του ηλιακού φωτός, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία επιβίωσης της υδρόβιας πανίδας και χλωρίδας. Τα αιωρούμενα στερεά υλικά προκαλούν επίσης σημαντικά προβλήματα στα δίκτυα μεταφοράς του νερού και στις δεξαμενές.

- Μέτρηση περιεκτικότητας σε διαλυμένο οξυγόνο.

Μικρές τιμές του διαλυμένου οξυγόνου φανερώνουν ρυπασμένα νερά με οργανικές ουσίες.

- Μέτρηση περιεκτικότητας σε τοξικά μέταλλα και ενώσεις.

Η παρουσία τοξικών στοιχείων στα νερά σχετίζεται με ανθρώπινες δραστηριότητες (απόβλητα). Περιεκτικότητες των στοιχείων αυτών άνω των επιτρεπτών ορίων έχει ως αποτέλεσμα τον θάνατο της υδρόβιας ζωής ή τη συσσωρευτική συγκέντρωση στους υδρόβιους οργανισμούς και διαμέσου της τροφικής αλυσίδας την άμεση επίδραση στον άνθρωπο.

- Εκτίμηση θερμικής αλλοίωσης

Μεγάλες ποσότητες φυσικών νερών χρησιμοποιούνται σαν ψυκτικό μέσο στη βιομηχανία (θερμοηλεκτρικά και πυρηνικά εργοστάσια) και αποβάλλονται μετά τη χρήση τους στους ποταμούς ή τη θάλασσα θερμότερα. Αυτό προκαλεί αρνητικές επιδράσεις όπως: μείωση διαλυμένου οξυγόνου, αύξηση της ταχύτητας των χημικών αντιδράσεων, υπέρμετρο πολλαπλασιασμό των βακτηριδίων, μείωση της ικανότητας αντίστασης των υδροχαρών οργανισμών κ.λπ.



- Μέτρηση περιεκτικότητας σε ραδιενεργές ουσίες.

Οι πυρηνικές δοκιμές, οι εναέριες δοκιμές και χρήσεις ατομικών όπλων, οι πυρηνικές εφαρμογές στη βιομηχανία και την ιατρική αποτελούν τις σημαντικότερες πηγές απελευθέρωσης ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον.

- Μέτρηση Ιοντικής Ισχύος των υπογείων νερών.

Οι παράκτιοι υδροφόροι ορίζοντες, κάτω από φυσικές συνθήκες, αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις στις παράκτιες περιοχές ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα με συνέπεια τη διείδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Η ιοντική ισχύς είναι παράμετρος με την οποία ανιχνεύεται η θαλάσσια διείδυση.

### 1.5 Μόλυνση των υδροφόρων από μικροοργανισμούς

Οι πιο σημαντικοί μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και τα παράσιτα. Κυριότερη πηγή μικροβιακής μόλυνσης είναι τα λύματα, λόγω των εντερικών περιτωμάτων. Οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι οι ασθένειες τύφος, γαστρεντερίτιδα, διάρροια, χολέρα, ηπατίτιδα κ.ά. Κατά την επεξεργασία των λυμάτων απομακρύνεται σημαντικός αριθμός παθογόνων μικροοργανισμών (97-100% με δευτεροβάθμια επεξεργασία).

Οι μικροοργανισμοί ανάλογα με το περιβάλλον που διαβιούν, διακρίνονται σε: θερμοφίλους (45-250 °C), ψυχρόφίλους (-36 έως -15 °C), οξινόφιλους (pH<5), αλκαλιόφιλους (8,5<pH<11,5), αερόβιους (παρουσία O<sub>2</sub>), αναερόβιους (απουσία O<sub>2</sub>), αλόφιλους (NaCl 2,8-6,2 M).

Η επιβίωση των βακτηρίων στο υπόγειο νερό επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, τη θερμοκρασία, την υγρασία, το pH, την πίεση και τη συγκέντρωση θρεπτικών. Επιπλέον το πάχος και η φύση της ακόρεστης ζώνης ελέγχουν καθοριστικά την ανάπτυξη μικροβίων. Η ταχύτητα ροής του υπόγειου νερού καθορίζει τον χρόνο παραμονής αυτών στον υδροφόρο. Στην ακόρεστη ζώνη επικρατούν αερόβιες συνθήκες, ενώ στην κορεσμένη αναερόβιες συνθήκες.

Στα επιφανειακά στρώματα αφθονεί η οργανική ύλη από την οποία εξασφαλίζουν τροφή τα μικρόβια, ενώ στα βαθύτερα στρώματα απουσιάζει η οργανική ύλη. Αυτό έχει ως συνέπεια τη μη επιβίωση αυτότροφων μικροβίων στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Οι σπουδαιότερες μικροβιολογικές παράμετροι για την ανθρώπινη υγεία είναι: α) Οργανισμοί-δείκτες (κολοβακτήρια, στρεπτόκοκκοι) β) Παθογόνοι μικροοργανισμοί (σαλμονέλα, εντερομύκητες)

Η μεταφορά αυτών επηρεάζεται από την ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού, τις ιδιότητες και το φορτίο του πορώδους μέσου. Η μεταφορά βακτηρίων στους υδροφορείς γίνεται με ελεύθερη μετακίνηση στα διάκενα, με διακοπτόμενη μετακίνηση κατά την οποία προσκολλώνται, αποκολλώνται και μετακινούνται εναλλάξ και τέλος με χημειοτακτισμό (chemotactic), κατά τον οποίο τα μικρόβια κινούνται εκλεκτικά από θέσεις με υψηλή συγκέντρωση σε κάποια χημική ουσία σε θέσεις με χαμηλή συγκέντρωση.

### 1.6. Αλληλεπίδραση ρυπαντών και εδάφους - Φυσική απορρύπανση

Οι ρυπαντικές ουσίες ρυπαίνουν τα υπόγεια νερά με διάφορους τρόπους όπως: Με απευθείας κατείδυση στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες από ρυπαντές που αποτίθενται επιφανειακά ή ενταφιάζονται σε μικρό βάθος.

Με διήθηση στο υπέδαφος από ρυπαντές που απορρίπτονται στα επιφανειακά νερά (ποτάμια, χείμαρροι).

Οι ρυπαντές μεταφέρονται στο σύστημα ροής των υπόγειων νερών με την επίδραση της υδραυλικής κλίσης και την υδροδυναμική διασπορά. Η διάδοση των ρύπων επηρεάζεται

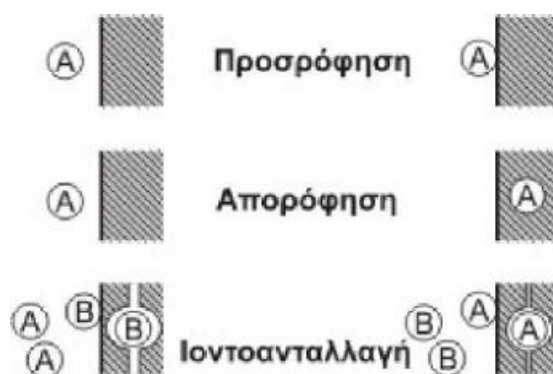
από τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες (πυκνότητα, ιξώδες, θερμοκρασία κ.λπ.), που καθορίζουν την κινητικότητα και τη διάχυσή τους.

Οι ρυπαντές κινούμενοι στην ακόρεστη ζώνη, υφίστανται τη διαδικασία του φυσικού αυτοκαθαρισμού με αποτέλεσμα τη μείωση ή και εξουδετέρωση του ρυπαντικού τους φορτίου. Η φυσική αυτή διαδικασία απορρύπανσης είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των ρυπαντών με το έδαφος και περιλαμβάνει τους εξής μηχανισμούς:

Προσρόφηση (adsorption) είναι η διαδικασία κατά την οποία μια χημική ουσία προσκολλάται (δεσμεύεται) στην επιφάνεια των στερεών σωμάτων (αργιλικά ορυκτά).

Απορρόφηση (absorption) είναι η διαδικασία εκείνη κατά την οποία η χημική ουσία περνάει στο εσωτερικό των στερεών σωμάτων. Η προσρόφηση και η απορρόφηση είναι δύο μορφές της ρόφησης (sorbtion), (Σχ. 1.3).

Με την προσρόφηση μπορούν να δεσμευθούν βαρέα μέταλλα (Pb, Hg, Ag), ιχνοστοιχεία (As, Se), μέταλλα (Cr, Cu), χημικές ενώσεις (οργανικοί διαλύτες, κυανίδια), ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ). Η προσρόφηση των μετάλλων και των ιόντων γίνεται με την επίδραση ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των κατιόντων και των αρνητικά φορτισμένων αργιλικών στρώσεων. Μπορεί επίσης να επιτευχθεί προσρόφηση με καθίζηση του ιόντος μετάλλου ή των κυανιδίων με μορφή αλάτων π.χ. το Cr μπορεί να προσροφηθεί από υδροξείδιο του σιδήρου και να καθιζήσει ως αδιάλυτη ένωση.



Σχήμα 1.3: Σχηματική παράσταση διαδικασιών ρόφησης.

Ιοντοανταλλαγή (ion exchange) είναι η διαδικασία κατά την οποία ανταλλάσσονται ιόντα μεταξύ των ρυπαντών και του εδαφικού υλικού. Έτσι ιχνοστοιχεία όπως π.χ. το As μπορεί να δεσμευθεί στην επιφάνεια του ιλλίτη ή του μοντμοριλονίτη, αντικαθιστώντας ιόντα  $\text{Ca}^{2+}$ . Οι βάσεις ως πρωτονιοδέκτες ( $\text{H}^+$ ) μπορούν να μετατραπούν σε θετικά φορτισμένα ιόντα ( $\text{NH}_4^+$ ) και να αντικαταστήσουν άλλα ιόντα στην επιφάνεια των αργιλικών φύλλων. Τα οξέα μπορεί να ανταλλάξουν πρωτόνια ( $\text{H}^+$ ) με τα κατιόντα της επιφάνειας των διπλών στρώσεων ή το  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και  $\text{Si}^{4+}$  του αργιλικού πλέγματος και να αδρανοποιηθούν.

Η ικανότητα των αργιλικών ορυκτών να δεσμεύουν κατιόντα ονομάζεται ικανότητα κατιοντικής ανταλλαγής (Cation Exchange Capacity, CEC) και ισούται:

$$a) \text{ CEC (meq/100 g)} = 0,7 (\% \text{ \textit{αργίλος}}) + 3,5 (\% \text{ \textit{C}}) \text{ Όπου: C= η περιεκτικότητα (\% ) σε οργανικό άνθρακα.}$$

Η ικανότητα εκφράζεται με τον αριθμό των χιλιοστοϊσοδυνάμων (meq) των κατιόντων που μπορούν να ανταλλαγούν σε δείγμα ξηρής μάζας 100 g και προσδιορίζεται εργαστηριακά.

Μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες συγκέντρωσης (meq/L νερού πόρων) χρησιμοποιώντας την κάτωθι εξίσωση:

$$b) \text{ CEC (meq/L)} = \text{CEC (mg/100g)} \times 10 \times \text{Ws/n}$$

Όπου ws είναι το ειδικό βάρος και n το πορώδες του ιζήματος. Σχετικά με τις ανωτέρω διαδικασίες πρέπει να σημειωθούν οι εξής παρατηρήσεις:

Οι μηχανισμοί της προσρόφησης και της ιοντοανταλλαγής δεν είναι ευδιάκριτοι και πολλές φορές συμβαίνουν ταυτόχρονα. Γενικά στους εδαφικούς ορίζοντες λαμβάνει χώρα η ιοντοανταλλαγή, ενώ στα βαθύτερα γεωλογικά στρώματα υπερισχύει η προσρόφηση.

Η προσρόφηση γίνεται λόγω της ύπαρξης μεταβλητών επιφανειακών φορτίων, ενώ η ιοντοανταλλαγή λόγω της ύπαρξης μόνιμων επιφανειακών φορτίων.

Κατά την προσρόφηση προκαλείται μείωση των συνολικών διαλυμένων στερεών (T.D.S.), ενώ αυτό δεν συμβαίνει κατά την ιοντοανταλλαγή.

Οι ανωτέρω μηχανισμοί επηρεάζονται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, pH, πίεση, παρουσία καταλυτών κ.ά), την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους και τη χημική σύσταση των ρυπαντών (βλ. επόμενη παράγραφο).

Σε χαμηλό pH επικρατούν θετικά ηλεκτρισμένες επιφάνειες στις στρώσεις των αργιλικών ορυκτών, ενώ σε υψηλό pH επικρατούν οι αρνητικά φορτισμένες επιφάνειες. Σε ενδιάμεσες τιμές pH δημιουργούνται συνθήκες γνωστές ως "σημείο μηδενικού ηλεκτρικού φορτίου" (zero point of charge). Δεν έχουν απεριόριστες δυνατότητες μείωσης του ρυπαντικού φορτίου, γιατί υπόκεινται

σε κορεσμό με συνέπεια την εξασθένηση της δράσης τους. Παράλληλα με τους ανωτέρω δύο μηχανισμούς φυσικής απορρύπανσης λαμβάνουν χώρα, ανεξάρτητα της παρουσίας εδαφικών κόκκων και άλλες βιολογικές και χημικές διεργασίες

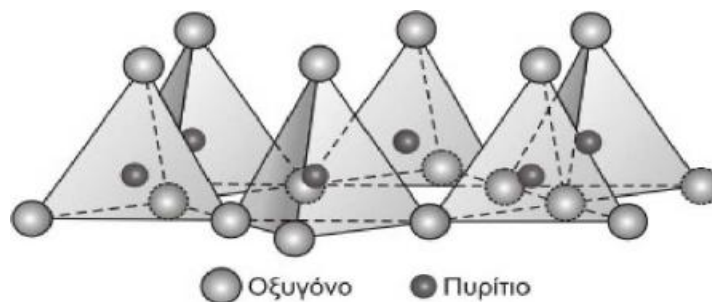
(υδρόλυση, νιτροποίηση, βιοχημική οξειδωση κ.ά.) με αποτέλεσμα τη μείωση του ρυπαντικού φορτίου. Οι διεργασίες αυτές πραγματοποιούνται και στα επιφανειακά νερά. Τα αργιλικά ορυκτά είναι μια ομάδα αργιλοπυριτικών ενώσεων με φυλλοπυριτική δομή. Άργιλοι είναι τα κλαστικά ιζήματα με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0,004 mm και μεγάλη περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά και μικρή περιεκτικότητα χαλαζία, αστρίων, οξειδίων του σιδήρου, ανθρακικών ορυκτών, οργανικής ύλης κ.ά. Όταν διαβραχούν με νερό σχηματίζουν μια πλαστική μάζα κολλώδη και αδιαπέρατη και όταν θερμανθούν στερεοποιούνται και σκληραίνουν.

Η σύνδεση των αργιλικών ορυκτών γίνεται με πρωτεύοντες δεσμούς (ετεροπολικούς και ομοιοπολικούς) μεταξύ των ατόμων και με δευτερεύοντες (δεσμοί υδρογόνου, δυνάμεις Van der Waals και δεσμοί ισόμορφης αντικατάστασης) μεταξύ των αργιλικών φύλλων ή ενός αργιλικού φύλλου και μορίων νερού. Οι δεσμοί υδρογόνου είναι ισχυροί και οι δεσμοί Van der Waals ασθενέστεροι. Κατά την ισόμορφη αντικατάσταση γίνεται αντικατάσταση ατόμων στο αργιλικό φύλλο με άτομα διαφορετικού σθένους (π.χ.  $\text{Al}^3$  με  $\text{Mg}^2$  ή  $\text{Si}^4$  με  $\text{Al}^3$ ) και έχει ως αποτέλεσμα το πλεόνασμα αρνητικού φορτίου, το οποίο εξισορροπείται με τη δέσμευση ελεύθερων κατιόντων.

Η δέσμευση των ανιόντων γίνεται με την ίδια διαδικασία σε θετικά φορτισμένες περιοχές των οξειδίων του σιδήρου και του αργιλίου, καθώς και στις θραυσμένες ακραίες επιφάνειες των αργλικών ορυκτών.

Τα αργλικά ορυκτά σχηματίζονται από δύο βασικές δομές: το τετράεδρο του πυριτίου (Σχ. 1.4) και το οκτάεδρο του αργιλίου (γυψίτης) ή μαγνησίου (βρουσίτης). Η συνένωση των δομών αυτών γίνεται στις δύο διαστάσεις με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός επιπέδου πλέγματος (αργλικού φύλλου) με μικρό πάχος και μεγάλη έκταση.

**Σχήμα 1.4** δεσμοί υδρογόνου, δυνάμεις Van der Waals και δεσμοί ισόμορφης αντικατάστασης



Διακρίνονται τέσσερις κατηγορίες αργλικών ορυκτών με βάση τους μηχανισμούς συγκράτησης των στοιβάδων τους: η ομάδα του καολινίτη, η ομάδα του μοντμοριλλονίτη, η ομάδα του ιλλίτη και η ομάδα των χλωριτών (Σχήμα 1.5).

Η κρυσταλλική δομή του καολινίτη αποτελείται από ένα τετραεδρικό φύλλο πυριτίου και ένα οκταεδρικό γυψίτη που συγχωνεύονται σε μια στιβάδα. Ο αποχωρισμός των στιβάδων δεν είναι εύκολος και εμφανίζει μικρή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Το πλέγμα είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και δεν διογκώνεται κατά την ύγρανση. Η ειδική επιφάνεια, που είναι μέτρο των επιφανειακών δυνάμεων σε σχέση με τις δυνάμεις βαρύτητας είναι μικρή (5-20 m<sup>2</sup>/g). Η μεγάλη ειδική επιφάνεια σχετίζεται με μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης ρυπαντών στην επιφάνεια των αργλικών κόκκων, μέσω ανταλλαγής κατιόντων, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα φυσικής απορρύπανσης.

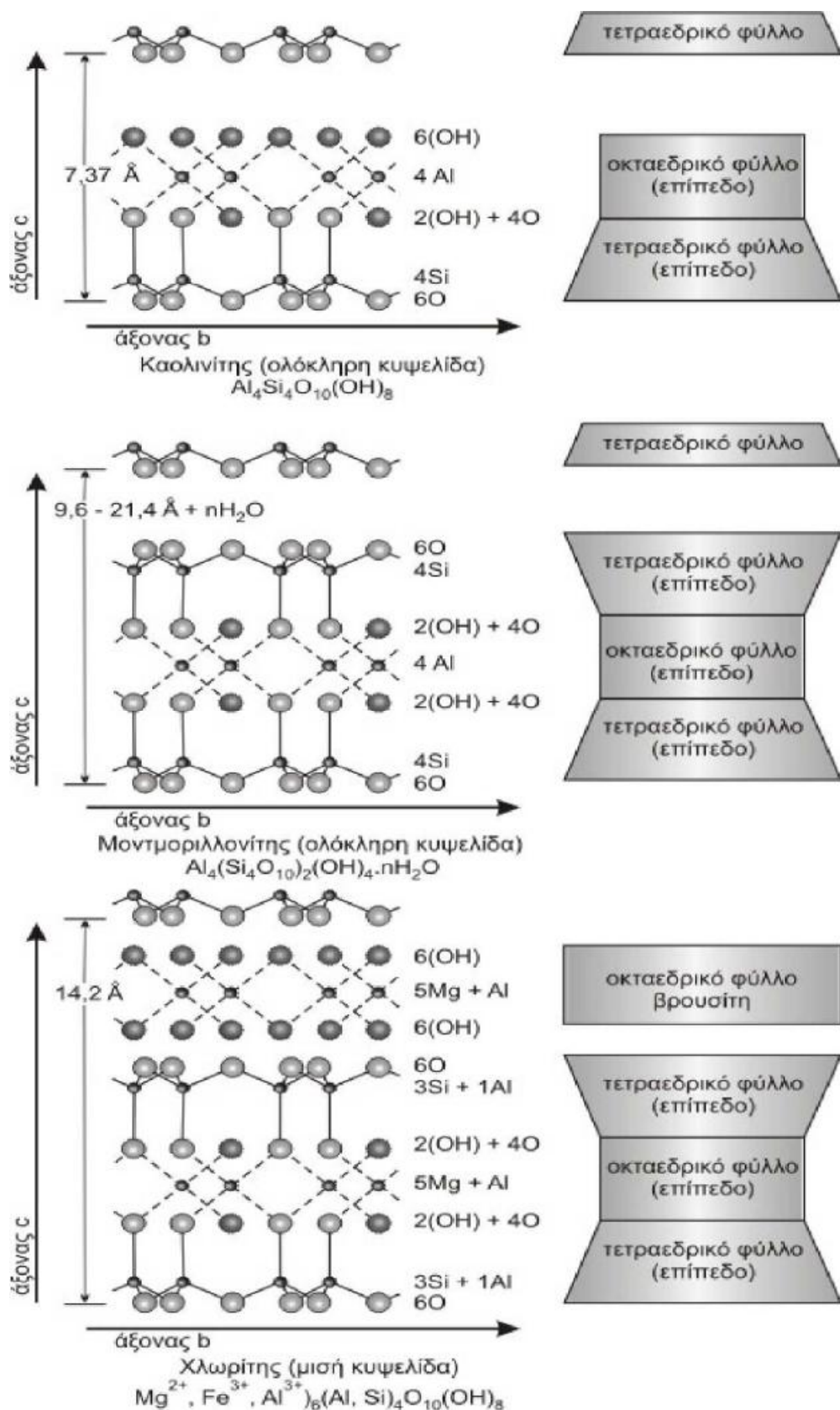
Η κρυσταλλική δομή του μοντμοριλλονίτη αποτελείται από δύο τετραεδρικά φύλλα πυριτίου και ένα οκταεδρικό φύλλο γυψίτη στο εσωτερικό τους. Εμφανίζει μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (Πίν. 2), λόγω σημαντικού βαθμού ισόμορφης αντικατάστασης, καθώς και συγκράτησης μορίων νερού. Η ειδική επιφάνεια είναι μεγάλη (600-1000 m<sup>2</sup>/g) και μπορεί να δεσμεύει κατιόντα Cr, As, κ.ά, μειώνοντας το ρυπαντικό φορτίο.

Η κρυσταλλική δομή του ιλλίτη αποτελείται από ένα οκταεδρικό φύλλο γυψίτη μεταξύ δύο τετραεδρικών φύλλων πυριτίου. Λόγω αντικατάστασης κατιόντων  $Al^3$  του γυψίτη με κατιόντα μικρότερου σθένους ( $Ca^2$ ,  $Mg^2$ ) παρουσιάζεται πλεόνασμα αρνητικών φορτίων και ως εκ τούτου δέσμευση ελεύθερων κατιόντων (σχετικά μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων). Η ειδική επιφάνεια κυμαίνεται από 50-100  $m^2/g$ .

Η κρυσταλλική δομή της ομάδας των χλωριτών αποτελείται από ένα οκταεδρικό φύλλο γυψίτη ανάμεσα σε δύο τετραεδρικά φύλλα πυριτίου. Οι χλωρίτες περιέχουν αργίλιο στις τετραεδρικές θέσεις και στις οκταεδρικές θέσεις περιέχουν αργίλιο, μαγνήσιο, δισθενή και τρισθενή σίδηρο. Είναι ένυδρες πυριτικές ενώσεις και εμφανίζουν ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων που κυμαίνεται από 10-40 meq/100 g (Πίν. 2).

Η διαδικασία της ιοντοανταλλαγής χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση από το νερό ανόργανων φορτισμένων ιόντων και αλάτων  $Ca^2$  και  $Mg^2$  (αποσκλήρυνση). Σαν ιοντοανταλλάκτες χρησιμοποιούνται φυσικές ή συνθετικές ρητίνες και ζεόλιθος. Ο φυσικός ζεόλιθος εμφανίζει υψηλή ιοντο-ανταλλακτική ικανότητα 226 meq/100 g, διευκολύνοντας τη δέσμευση μετάλλων, οργανικών οργανομεταλλικών ουσιών και αέριων φάσεων από τα υδατικά τους διαλύματα.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ



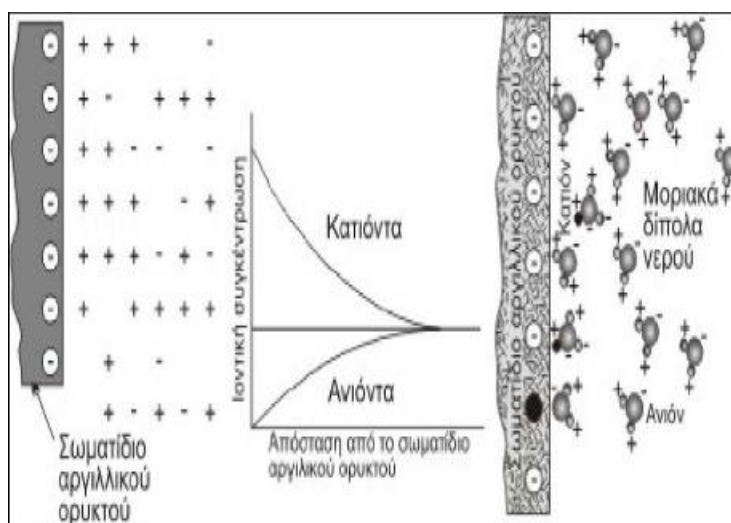
Σχήμα 1.5: Δομές αργιλικών ορυκτών.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των διαλυμένων οργανικών ρύπων από το νερό. Ο ενεργός άνθρακας είναι πολύ πορώδης με μεγάλη ειδική επιφάνεια (500-1400 m<sup>2</sup>/g) και ως εκ τούτου με μεγάλη προσροφητική ικανότητα.

Πίνακας 2: Ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων CEC σε meq/100g διαφόρων υλικών

Υλικό	CEC	Υλικό	CEC
<i>Μοντοριλονίτης</i>	80-120	<i>Ιλλίτης</i>	20-50
<i>Βερμικουλίτης</i>	100-200	<i>Χλωρίτης</i>	10-40
<i>Καολινίτης</i>	3-15	<i>Αλλοφανής</i>	<100
<i>Αλλοϊσίτης</i>	5-10	<i>Γκαϊτίτης</i>	<100
<i>Γλαυκοφανίτης</i>	5-40	<i>Οργανικός άνθρακας</i>	150-400 (pH=8)



Σχήμα 1.6: Δημιουργία διπλής στρώσης στα αργιλικά ορυκτά.

Η συμπεριφορά των αργίλων επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε νερό, καθώς και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του (συγκέντρωση κατιόντων, pH). Πολλά μόρια νερού, λόγω της πολικότητας που εμφανίζουν, αντικαθιστούν κατιόντα από την επιφάνεια των αργιλικών φύλλων και προσροφώνται σε αυτή (Σχ. 1.6). Το φαινόμενο αυτό αποτελεί τη διπλή στρώση ή στοιβάδα (double layer), επειδή αναπτύσσεται στις δύο πλευρές του αργιλικού φύλλου.

Το πάχος της διπλής στρώσης είναι συνάρτηση του διαθέσιμου νερού, της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων των αργιλικών ορυκτών, της συγκέντρωσης των κατιόντων στους ρυπαντές, του σθένους, της θερμοκρασίας, του pH του διαλύματος κ.λπ. Η ανάπτυξη διπλής στρώσης παρεμποδίζεται από την παρουσία οργανικών μορίων στο νερό, λόγω μη πολικότητας, καθώς και από την παρουσία κατιόντων γιατί εξουδετερώνουν

την περίσσεια των αρνητικών φορτίων. Το πάχος της διπλής στρώσης αυξάνει με τη μείωση της ιοντικής ισχύος, π.χ. αν αντικατασταθεί το ιόν  $\text{Ca}^{2+}$  από το ιόν του  $\text{Na}^+$ . Αφαίρεση νερού από τις αργίλους (ξηράνση) έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του πάχους των διπλών στρώσεων και την αύξηση των δυνάμεων Van der Waals μεταξύ των αργιλικών φύλλων, λόγω μείωσης της απόστασης των αργιλικών φύλλων. Με τον τρόπο αυτό προκαλείται κροκίδωση της αργίλου (flocculated μορφή) και αυξάνεται η διατμητική αντοχή του εδαφικού σχηματισμού. Αντίθετα όταν το υπόγειο νερό δεν περιέχει ρυπαντές και η συγκέντρωση των ιόντων είναι μικρή, αυξάνεται το πάχος της διπλής στρώσης και μειώνονται οι δυνάμεις Van der Waals (dispersed δομή). Οι άργιλοι στην περίπτωση αυτή εμφανίζουν μικρότερη διατμητική αντοχή, μεγαλύτερη συμπιεστότητα και μικρότερη διαπερατότητα. Η παρουσία διαλυμένων αλάτων ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  κ.ά.), ανόργανων οξέων ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  κ.ά) και οργανικών ουσιών προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας των αργίλων κατά 10-1000 φορές. Αντίθετα η παρουσία βαρέων μετάλλων, βαρέων κλασμάτων υδρογονανθράκων ή αιωρούμενων ουσιών στο υπόγειο νερό προκαλεί μείωση της διαπερατότητας των αργίλων, λόγω απόφραξης των πόρων. Η χρήση αργιλικών στρώσεων στον πυθμένα χώρων απόθεσης αποβλήτων για την παρεμπόδιση της επέκτασης της ρύπανσης πρέπει να γίνεται μετά από κατάλληλες δοκιμές ελέγχου της συμπεριφοράς του εδαφικού σχηματισμού με το συγκεκριμένο διάλυμα του ρυπαντή.

### 1.7 Διάδοση της ρύπανσης στους υδροφορείς

Γενικά διακρίνονται δύο μεγάλες κατηγορίες διαλυμένων ουσιών-ρύπων:

Συντηρητικές ή Αδρανείς (conservative) και ενεργές ή δραστικές (reactive).

Συντηρητικές είναι αυτές που δεν αντιδρούν με το έδαφος και/ή με το γειτονικό υπόγειο νερό ή δεν υφίστανται βιολογικές ή ραδιενεργές διασπάσεις. Περιλαμβάνουν τους υδρόφοβους ρύπους (NAPL). Το ιόν του χλωρίου είναι αντιπροσωπευτικό παράδειγμα συντηρητικού ιόντος. Στην περίπτωση συντηρητικού ρυπαντή, αυτός ακολουθεί την κίνηση του υπόγειου νερού και μεταφέρεται κατάντη επεκτείνοντας τη ρύπανση.

Οι βασικές διαδικασίες για τη διάδοση των αδρανών ρύπων στο χώρο είναι: Μεταφορά, Διασπορά και μοριακή Διάχυση.

Μεταφορά (ή ρεύματα μεταφοράς) είναι η διαδικασία κατά την οποία το κινούμενο νερό μεταφέρει τους διαλυμένους ρύπους. Ο όρος διάχυση χρησιμοποιείται για την εξάπλωση του ρύπου σε στάσιμα νερά, ενώ ο όρος διασπορά χρησιμοποιείται για ρέοντα νερά.

Στην περίπτωση των δραστικών ουσιών, υπάρχουν φυσικές και χημικές διαδικασίες (προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή, χημικές αντιδράσεις κ.ά.), που προκαλούν μια επιβράδυνση (retardation) της κίνησης του ρύπου, έτσι ώστε δεν μετακινείται όπως προβλέπει ο ρυθμός μεταφοράς του.

Οι ανωτέρω διαδικασίες μπορεί να συμβαίνουν ταυτόχρονα στο πορώδες έδαφος.



### 1.7.1 Μεταφορά-Διασπορά-Διάχυση

Κατά τη μεταφορά (advection) ο ρυπαντής ακολουθεί την κίνηση του υπόγειου νερού στις ίδιες τροχιές, η οποία ως γνωστόν υπακούει στο νόμο του Darcy δηλ. κίνηση από θέσεις υψηλού σε θέσεις χαμηλού υδραυλικού φορτίου:

$$1) \quad vX = ki/Sy$$

όπου:  $vX$ =μέση γραμμική ταχύτητα,  $k$ =υδραυλική αγωγιμότητα,  $i$ =υδραυλική κλίση και  $Sy$ =ενεργό πορώδες.

Σε περιπτώσεις ρυπαντών μεγάλου ειδικού βάρους, τότε παρατηρείται απόκλιση στη ροή του υπόγειου νερού σε σχέση με εκείνη του ρυπαντή. Αρνητικά φορτισμένα ιόντα μπορούν να κινούνται ταχύτερα από το νερό, στο οποίο βρίσκονται διαλυμένα.

Η μάζα του ρύπου ( $m$ ) που μεταφέρεται από μια επιφάνεια κάθετα στη διεύθυνση ροής με διατομή  $A$ , δίνεται από τη σχέση:

$$2) \quad m = vX A C Sy$$

όπου  $C$ = η συγκέντρωση του ρύπου,  $vX$ = η μέση γραμμική ταχύτητα και  $Sy$ = το ενεργό πορώδες.

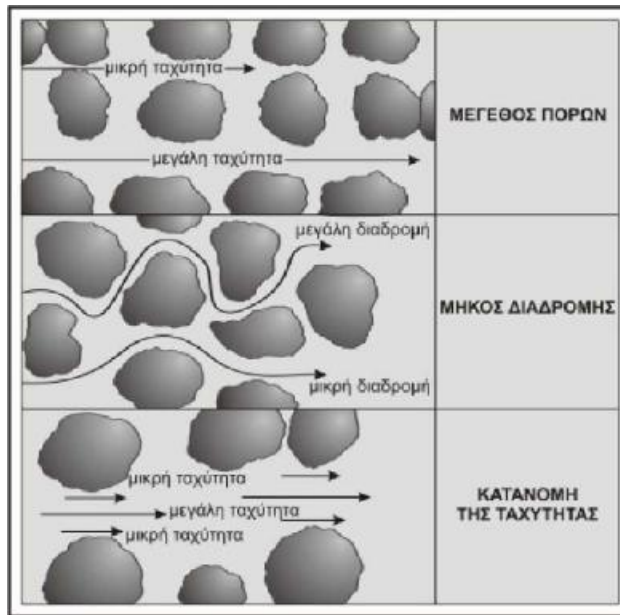
Κατά τη μεταφορά η συγκέντρωση του ρυπαντή μένει σταθερή σε ένα συγκεκριμένο όγκο νερού, λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας. Κατά τη διασπορά (dispersion) οι ταχύτητες του νερού, κατά την κίνησή του στους πόρους του εδαφικού σχηματισμού, ποικίλλουν αποκλίνοντας σημαντικά από τη μέση μακροσκοπική ταχύτητα. Η διασπορά διακρίνεται σε μηχανική και υδροδυναμική.

Η επιμήκης μηχανική διασπορά (mechanical dispersion) οφείλεται:

α) στο ότι η ταχύτητα ροής είναι μεγαλύτερη στο κέντρο του πορώδους εδάφους, όπως συμβαίνει στο κινούμενο νερό των ποταμών,

β) στο ότι οι πόροι δεν έχουν όλοι την ίδια διάμετρο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων και

γ) κάποια ποσότητα του κινούμενου υγρού κάνει μεγαλύτερες αποστάσεις. Έτσι οι ρύποι διασπείρονται τόσο κατά μήκος της κίνησης του υπόγειου νερού, όσο και εγκάρσια προς αυτήν (Σχ. 1.7).



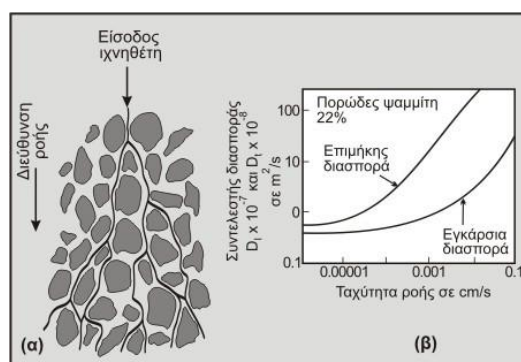
Σχήμα 1.7: Παράγοντες που προκαλούν τη διαμήκη μηχανική διασπορά .

Η εγκάρσια (πλευρική) μηχανική διασπορά προκαλείται από το γεγονός ότι, καθώς κινείται το υγρό σε ένα πορώδες μέσο, η ροή του διακόπτεται από την παρουσία των κόκκων και διακλαδίζεται, επεκτεινόμενη πλευρικά (Σχ. 1.8).

Η μηχανική διασπορά ( $D'$ ) είναι ίση με το γινόμενο της μέσης γραμμικής ταχύτητας ροής ( $v$ ) επί έναν παράγοντα που καλείται δυναμική ικανότητα διασποράς ( $\alpha$ ) και έχει διαστάσεις μήκους (dynamic dispersivity),  $\alpha$ :

$$3). D' = v \cdot \alpha.$$

Ο Neuman (1990) μελετώντας τη συσχέτιση μεταξύ της φαινομενικής επιμήκους δυναμικής διασπορικότητας ( $\alpha^L$ ) και του μήκους του δρόμου ροής ( $L$ ), διατύπωσε την κάτωθι σχέση, που ισχύει για αποστάσεις μικρότερες των 3.500 m:  $\alpha^L = 0,0175 L^{1,46}$



**Σχήμα 1.8:** Διασπορά ρύπου σε υδροφόρο: (α) πλευρική διασπορά από ένα σημείο έκχυσης, (β) συντελεστής επιμήκους και εγκάρσιας διασποράς σε ψαμίτιες για διάφορες ταχύτητες ροής.

Η μοριακή διάχυση (molecular diffusion) συμβαίνει στη μικροκλίμακα των πόρων και οφείλεται στη διαφορά συγκέντρωσης του ρύπου από θέση σε θέση (χημική διαφορά δυναμικού). Η διάχυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ιοντικά ή μοριακά συστατικά διαλυμένα στο νερό κινούνται από περιοχές υψηλής συγκέντρωσης σε περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης.

Η διάχυση μιας διαλυμένης ουσίας (ρύπου) περιγράφεται από τον πρώτο νόμο του Fick. Ο νόμος αυτός περιγράφει τη ροή μάζας ( $F$ ) λόγω διάχυσης δηλ. την ποσότητα του ρύπου που περνά από τη μοναδιαία διατομή ενός πορώδους μέσου, στη μονάδα του χρόνου:

$$4) . F = -D * (dC/dx)$$

όπου:  $F$  ποσότητα του ρύπου ( $kg$ ) ανά μονάδα επιφανείας στη μονάδα του χρόνου  $o$  συντελεστής διάχυσης (επιφάνεια /χρόνος)  $C$  η συγκέντρωση των ρύπων (μάζα /όγκος)  $dC/dx$  βαθμίδα συγκέντρωσης δηλ. η μεταβολή της συγκέντρωσης ( $dC$ ) δια της αντίστοιχης μεταβολής της απόστασης ( $dx$ ). Ο συντελεστής διάχυσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία, το ιξώδες του υγρού και τη μέση ακτίνα των μορίων που διαχέονται. Με εξαίρεση το ιόν  $H^+$  ( $D=93,1 \times 10^{-6} cm^2/s$ ) και το ανιόν  $OH^-$  ( $D=52,7 \times 10^{-6} cm^2/s$ ), ο συντελεστής  $D$  για τα υπόλοιπα ιόντα στο νερό κυμαίνεται από  $5 \times 10^{-6}$  έως  $20 \times 10^{-6} cm^2/s$ . Οι τιμές αυτές ισχύουν για διαλύματα σε ανοικτούς αγωγούς. Στην περίπτωση πορωδών μέσων, όπου οι ουσίες διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις οι συντελεστές χρειάζονται διόρθωση και για το λόγο αυτόν πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή  $\lambda$ , ο οποίος παίρνει τιμές μεταξύ 0,5 και 0,01

$D^*$  είναι η ενεργή μοριακή διάχυση (effective diffusion coefficient) και είναι συνάρτηση του συντελεστή μοριακής διάχυσης  $D^k = \lambda * D$

$\lambda$  είναι ένας εμπειρικός συντελεστής, που καθορίζεται με εργαστηριακές μετρήσεις.

Ο Berner (1971) υπολόγισε μια μη εμπειρική σχέση που συνδέει το  $D^*$  και το  $D$ , που δείχνει ότι το  $D^*$  είναι ίσο με  $D$  φορές το πορώδες ( $n$ ) διαιρεμένο με το τετράγωνο της πολυπλοκότητας (tortuosity) της ροής:

$$5) (D^* = Dn/\tau^2)$$

Η πολυπλοκότητα ( $\tau$ ) είναι το πραγματικό μήκος της ροής, που είναι ελικοειδής στη μορφή, διαιρεμένο με την ευθεία απόσταση μεταξύ των άκρων της ροής.

Ο συντελεστής  $DL$  παίρνει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ  $10^{-9}$ - $10^{-8} m^2/s$  στα λεπτόκοκκα υλικά και μεταξύ  $10^{-8}$ - $10^{-6} m^2/s$  στα χονδρόκοκκα υλικά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ανωτέρω μηχανισμοί δρουν ταυτόχρονα και είναι δύσκολο να γίνει διαχωρισμός τους. Η υδροδυναμική διασπορά και η μεταφορά είναι οι κυρίαρχες διαδικασίες διάδοσης των ρύπων στα πορώδη μέσα, όπως οι υδροφόροι. Σε συνηθισμένες συνθήκες ροής καθορίζουν το σχήμα και την εξάπλωση του πλούμιου (θυσάνου) ρύπανσης.

Η επίδραση της υδροδυναμικής διασποράς γίνεται μελετώντας τη συμπεριφορά του Cl<sup>-</sup>, που είναι συντηρητικό (αδρανές) ιόν. Στην περίπτωση πολύ μικρών ταχυτήτων ροής (λεπτόκοκκους προσχωματικούς υδροφορείς) η υδροδυναμική διασπορά είναι πρακτικά ίση με τη μοριακή διάχυση. Σε συνθήκες πλήρους ακινησίας του υπόγειου νερού επικρατεί η μοριακή διάχυση. Αντίθετα, σε αδρομερείς προσχωματικούς υδροφορείς, όπου επικρατούν μεγάλες ταχύτητες ροής, η μηχανική διασπορά είναι σημαντική.

Η μονοδιάστατη εξίσωση για υδροδυναμική διασπορά σε ισότροπο πορώδες μέσο από πηγή ρύπανσης σταθερής συγκέντρωσης, δίνεται από την κάτωθι σχέση:

$$6) \quad dC/dt = DL * (d^2C/dx^2) - Vx * dC/dx$$

Από την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει ότι, η συγκέντρωση C (mg/L) σε απόσταση L (m) από την πηγή ρύπανσης με αρχική συγκέντρωση C<sub>0</sub> (mg/L) μετά χρόνο t (s), δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$7) \quad C = C_0/2 * [erfc((L-Vxt)/(2\sqrt{DLt})) + exp*(VxL/DL) * erfc((L+Vxt)/(2\sqrt{DLt}))]$$

όπου V<sub>χ</sub> είναι η μέση γραμμική ταχύτητα του υπόγειου νερού (m/s), DL είναι ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς (m<sup>2</sup>/s) και erfc είναι η συμπληρωματική συνάρτηση σφάλματος (complementary error function). Η ανωτέρω εξίσωση ισχύει στην περίπτωση μεταφοράς συντηρητικών ρύπων (δεν αντιδρούν με το νερό, NAPL) από μια πηγή με σταθερή συγκέντρωση σε ισότροπα πορώδη μέσα και είναι γνωστή σαν λύση Ogata-Banks. Η τιμή της συνάρτησης σφάλματος erf(x) για τις διάφορες τιμές του χ προκύπτει από τον Πίνακα 4. Στο Σχήμα 1.9 παρουσιάζεται το διάγραμμα μεταβολής των συναρτήσεων erf) και erfc).

Σε μεγάλη απόσταση από την πηγή ρύπανσης ο δεύτερος όρος της αγκύλης στην εξίσωση μεταφοράς των ρύπων των Ogata-Banks είναι πρακτικά μηδέν και παραλείπεται. Έτσι η εξίσωση παίρνει την παρακάτω απλούστερη μορφή:

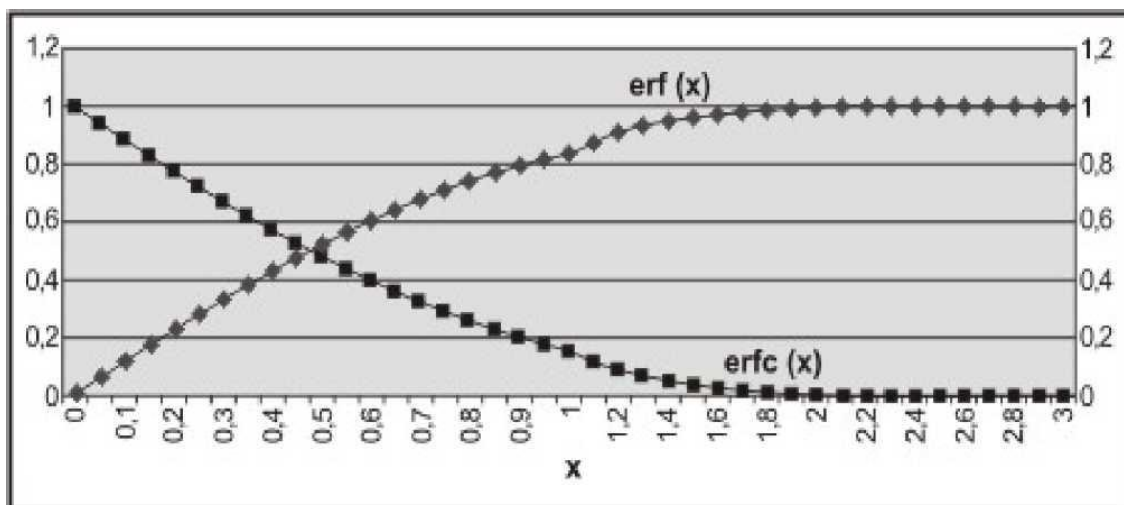
$$8) \quad C = C_0/2 [erfc((L-Vxt)/(2\sqrt{DLt}))]$$

Στην περίπτωση πηγής ρύπανσης με μεταβαλλόμενη συγκέντρωση η αναλυτική επίλυση γίνεται από πιο πολύπλοκες εξισώσεις. Να σημειωθεί ότι η επίλυση των ανωτέρω εξισώσεων γίνεται από ειδικά προγράμματα σε H/Y, όπως το PHREEQM.

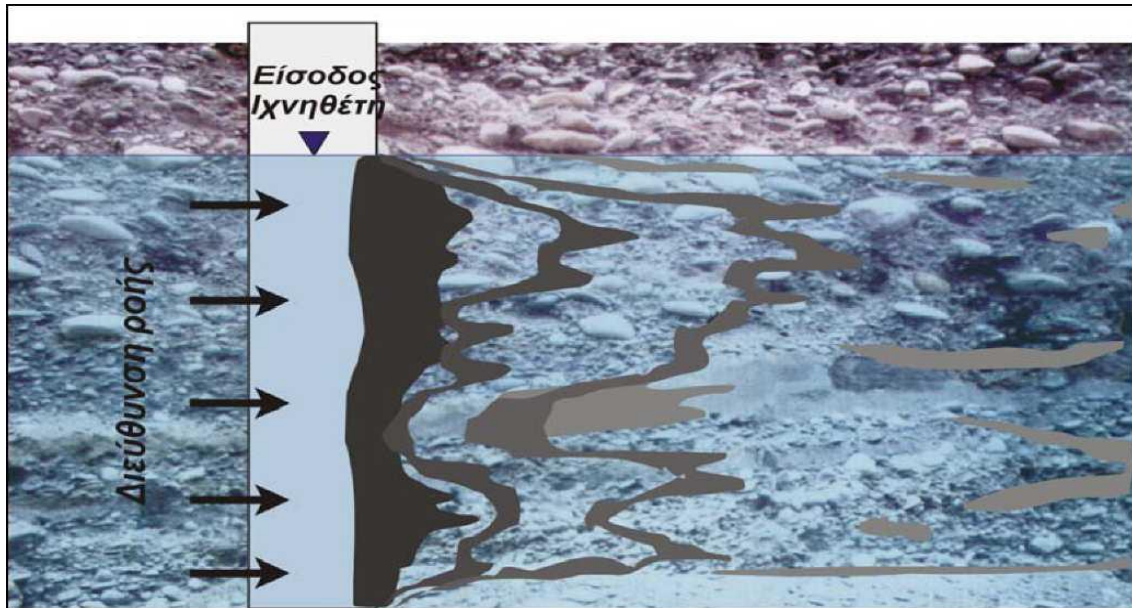
Στο Σχήμα 1.10 φαίνονται τα διαδοχικά στιγμιότυπα διασποράς ενός ρύπου σε ένα ετερογενές πορώδες μέσο.

Πίνακας 4. Τιμές της συνάρτησης σφάλματος (error function) erf (x)

X	Erf(x)	x	Erf(x)	x	Erf(x)	x	Erf(x)
0	0,0	0,55	0,563323	1,1	0,880205	2,1	0,997021
0,05	0,056372	0,6	0,603856	1,2	0,910314	2,2	0,998137
0,1	0,112463	0,65	0,642029	1,3	0,934008	2,3	0,998857
0,15	0,167996	0,7	0,677801	1,4	0,952285	2,4	0,999311
0,2	0,222703	0,75	0,711156	1,5	0,966105	2,5	0,999593
0,25	0,276326	0,8	0,742101	1,6	0,976348	2,6	0,999764
0,3	0,328627	0,85	0,770668	1,7	0,983790	2,7	0,999866
0,35	0,379382	0,9	0,796908	1,8	0,989091	2,8	0,999925
0,4	0,428392	0,95	0,820891	1,9	0,992790	2,9	0,999959
0,45	0,475482	1,0	0,842701	2,0	0,995322	3,0	0,999978
0,5	0,520500					∞	1,00000



Σχήμα 1.9 Διάγραμμα μεταβολής των συναρτήσεων erf(x) και erfc(x) ως προς χ



Σχήμα 1.10. Διαδοχικά στιγμιότυπα διασποράς ρύπου σε ένα ετερογενές μέσο .

### 1.7.2 Διάδοση δραστικών ρύπων

Όταν ο ρυπαντής είναι ενεργός (μη συντηρητικός) αντιδρά με το υπόγειο νερό με αποτέλεσμα τη μείωση της μάζας του και η ταχύτητά του είναι μικρότερη από την ταχύτητα του υπόγειου νερού, προκαλώντας επιβράδυνση της ρύπανσης.

Όπως έχει προαναφερθεί, η επιφάνεια κυρίως των αργιλικών ορυκτών έχει ηλεκτρικά φορτία που οφείλεται στην ισόμορφη αντικατάσταση. Για την εξισορρόπηση του φορτίου προσροφώνται φορτισμένα άτομα (π.χ. φωσφορικά ιόντα). Η προσρόφηση μπορεί να είναι σχετικά ασθενής αν προκαλείται από δυνάμεις van der Waals ή ισχυρή αν αναπτυχθούν χημικοί δεσμοί μεταξύ της επιφάνειας του κόκκου και του ιόντος.

Τα αργιλικά ορυκτά είναι ισχυροί προσροφητές αν έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και σημαντικά ηλεκτρικά φορτία. Επειδή δε τα περισσότερα αργιλικά ορυκτά έχουν πλεόνασμα αρνητικού φορτίου στην επιφάνειά τους, ευνοείται η προσρόφηση κατιόντων.

Τα δισθενή κατιόντα προσροφώνται πιο εύκολα από ότι τα μονοσθενή ιόντα. Η προσρόφηση των ιόντων μετάλλων (Se, CrIV) ευνοείται σε χαμηλές τιμές pH. Μερικά γνωστά ανιόντα όπως  $\text{HCO}_3^{-1}$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^{-1}$  είναι πολύ μεγάλα για να προσροφηθούν.

Η ποσότητα της προσροφημένης ουσίας από το έδαφος είναι ευθέως ανάλογη της χημικής δραστηριότητας αυτής. Η προσρόφηση μεταξύ των ρυπαντών και των αργιλικών ορυκτών των κόκκων του υδροφορέα γίνεται μέχρι ενός σημείου κορεσμού και όχι απεριόριστα.

Θεωρώντας:  $C$  = η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στην υγρή φάση μετά την επίτευξη ισορροπίας (g/L)  $C^*$  = η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας που είναι προσροφημένη στη στερεά φάση, ανά μονάδα μάζας ξηρού εδάφους (g/g). Ο λόγος  $C^*/C$  ονομάζεται συντελεστής κατανομής  $K$  (distribution coefficient) και καθορίζει την κατανομή ενός ρυπαντή μεταξύ στερεάς (εδάφους) και υγρής φάσης. Εξαρτάται από το pH και την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων.

Αν  $K=0$  ο ρυπαντής δεν αντιδρά με το υπόγειο νερό, κινείται με την ταχύτητα του υπόγειου νερού και δεν παρατηρείται επιβράδυνση της μετανάστευσης της ρύπανσης.

Όταν δεν γίνεται προσρόφηση π.χ. τα ιόντα  $Cl^-$ , τότε  $K=0$ . Θεωρητικά μια χημική ουσία μπορεί να προσροφηθεί από τους κόκκους των ιζημάτων και  $K>0$ . Ακόμα και τα ιόντα  $Cl^-$  προσροφώνται σε ειδικές συνθήκες, κυρίως σε χαμηλό pH. Οι ρύποι που προσροφώνται εύκολα είναι τα βαρέα μέταλλα και οι οργανικές ουσίες.

Η γραφική παράσταση της συνάρτησης  $C^*=f(C)$  ονομάζεται ισόθερμη προσρόφησης.

Η πλέον απλή και ευρύτατα χρησιμοποιούμενη είναι η γραμμική ισόθερμη ισορροπίας του Freundlich. Αν η συσχέτιση προσρόφησης παρασταθεί σε ένα λογαριθμικό χαρτί τότε προκύπτει ευθεία γραμμή, η κλίση της οποίας δίνει τον συντελεστή κατανομής.

Μια δεύτερη ισόθερμη μπορεί να προκύψει αν γίνει το διάγραμμα  $C/C^*$  έναντι των  $C$  σε αριθμητικό χαρτί και ονομάζεται ισόθερμη του Langmuir, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κατιόντα και για ανιόντα.

Η τιμή του συντελεστή κατανομής  $K_d$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του παράγοντα επιβράδυνσης  $R_f$  (retardation factor) με βάση τις κάτωθι σχέσεις:

ή  $R_f = 1 + [(1-n) / n] \rho$ ,  $K_d$  όπου:  $\rho$ , είναι η πυκνότητα του ξηρού εδάφους (1,6-2,2 g/cm<sup>3</sup>) και  $n$  το πορώδες

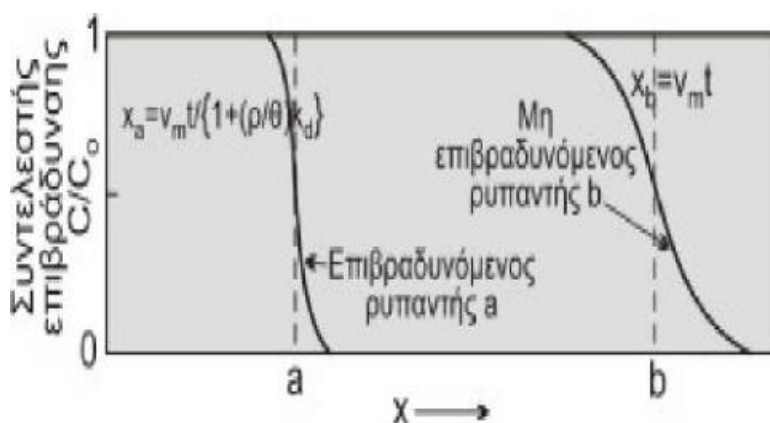
$$9). R_f = (1 + \rho \cdot K_d) / n$$

Ο παράγοντας ή συντελεστής επιβράδυνσης ( $R_f > 1$ ) εκφράζει το λόγο της ολικής συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας (ρυπαντής) που έχει προσροφηθεί στη στερεά φάση (έδαφος) προς τη συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στην κινούμενη υγρή φάση (Σχ. 1.11).

Στην περίπτωση μεταφοράς μάζας με προσρόφηση η εξίσωση των Ogata-Banks έχει την κάτωθι μορφή:

$$10). \frac{dC}{dt} = DL \cdot \left( \frac{d^2C}{dx^2} \right) - V_x \cdot \left( \frac{dC}{dx} \right)$$

όπου  $R_f$  είναι ο παράγοντας επιβράδυνσης και οι άλλοι όροι έχουν αναλυθεί νωρίτερα.



Σχήμα 1.11 Επιβράδυνση μετανάστευσης ρύπου, λόγω προσρόφησης



Όταν λαμβάνουν χώρα χημικές αντιδράσεις κατά τη μετανάστευση του ρύπου, η μονοδιάσταση εξίσωση διάδοσης σε ισότροπο μέσο παίρνει την κάτωθι μορφή:

$$11). \frac{dC}{dt} = DL \left( \frac{d^2C}{dx^2} \right) - V_x \left( \frac{dC}{Dx} \right) \pm \frac{m}{Sy}$$

όπου  $m$  = η μάζα που παράγεται ή καταναλώνεται στη μονάδα του όγκου και του χρόνου,  $S_y$  = το ενεργό πορώδες, ενώ τα υπόλοιπα σύμβολα έχουν καθορισθεί προηγουμένα. Η εξίσωση της επιβράδυνσης προβλέπει τη θέση του μετώπου ενός ρυπαντή και ο λόγος  $V_c/V_w$  εκφράζει πόσες φορές κινείται το υπόγειο νερό σχετικά με τον προσροφούμενο ρυπαντή, το αντίστροφο δηλ. του παράγοντα επιβράδυνσης, εκφράζει την ταχύτητα μετανάστευσης του μετώπου της ρύπανσης.

Οι διάφορες ουσίες παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό προσρόφησης από τα εδαφικά υλικά. Ο ρυπαντής που δεν αντιδρά με το νερό κινείται με την ταχύτητα ροής και προηγείται των ρυπαντών που προσροφώνται.

Η επιβράδυνση του μετώπου ρύπανσης εξαρτάται από την ταχύτητα του υπόγειου νερού, το πορώδες, την πυκνότητα και τον συντελεστή κατανομής  $K$ . Η επιβράδυνση της ρύπανσης για χαμηλές συγκεντρώσεις είναι μεγαλύτερη από υψηλές συγκεντρώσεις. Με άλλα λόγια οι χαμηλές συγκεντρώσεις κινούνται αργότερα από τις υψηλές συγκεντρώσεις.

### 1.8. Διάδοση μη αναμειζιμων ρύπων

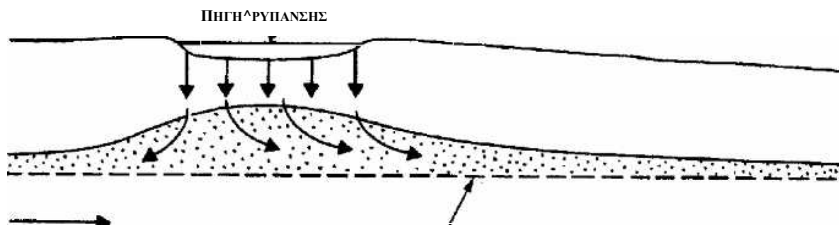
Οι μη αναμειζιμοί ρύποι με το νερό διακρίνονται στους:

DNAPLs, που έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από αυτό και στους

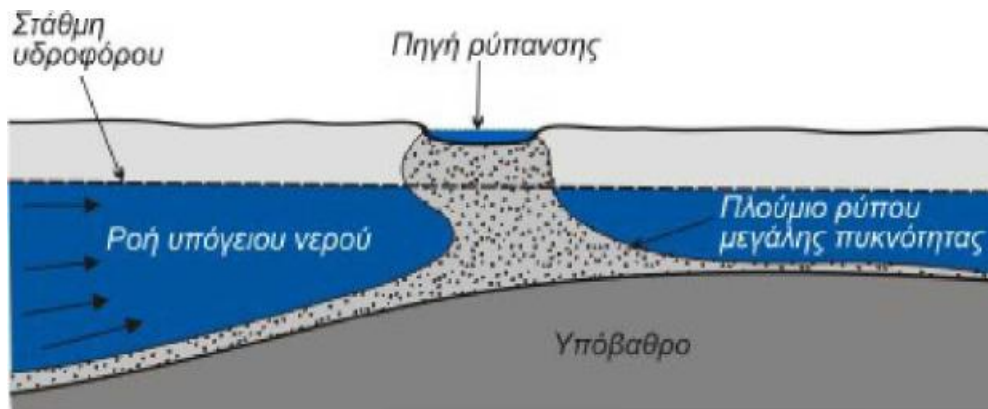
LNAPLs που έχουν μικρότερη πυκνότητα από το νερό (υγρά καύσιμα: πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη).

Στην ακόρεστη ζώνη επικρατεί η κατακόρυφη κίνηση και ο ρύπος μεταφέρεται από το κατεισδύον νερό στο υπέδαφος. Οι ρύποι με μεγαλύτερη πυκνότητα από το νερό (DNAPL) κινούνται κατακόρυφα και στην κορεσμένη ζώνη μέχρι το στεγανό υπόβαθρο. Στη συνέχεια επεκτείνονται πλευρικά με μοριακή διάχυση, ακολουθώντας την κλίση του υποβάθρου (Σχ. 1.12).





ΣΧΗΜΑ 1.12. ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΥΓΡΟΣ ΡΥΠΑΝΤΗΣ ΑΠΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΠΗΓΗ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΔΕΝ ΑΝΑΜΙΓΝΥΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ



Σχήμα 1.13: Πλούμιο ρύπου μεγάλης πυκνότητας.

Αντίθετα οι ρύποι με μικρότερη πυκνότητα από το νερό (LNAPL) κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη και θα εισέλθουν στην κορεσμένη ζώνη, μόνο όταν το βάρος τους υπερβεί την τριχοειδή πίεση.

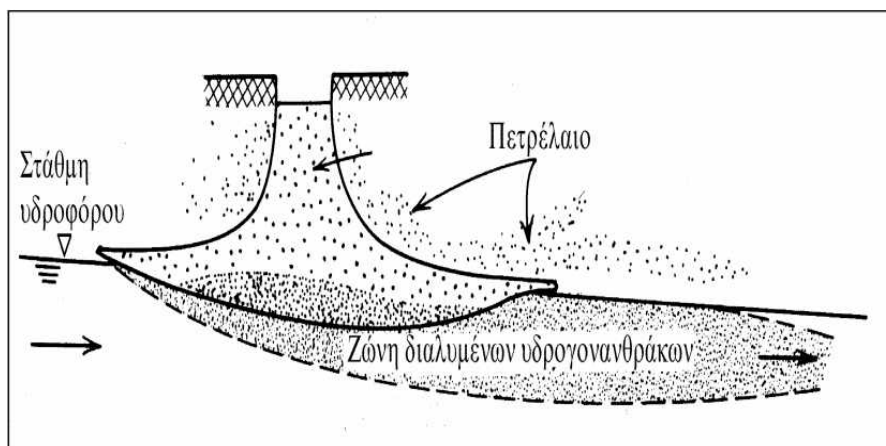
Στην περίπτωση μη αναμειξιμων υγρών π. χ. πετρέλαιο, η μετανάστευση από επιφανειακή πηγή ρύπανσης γίνεται κατακόρυφα, εξ' ολοκλήρου στην ακόρεστη ζώνη, ακολουθώντας το μοντέλο της μηδενικής ανάμειξης (Σχ. 1.14). Στη στάθμη του υπόγειου νερού σταματά η καθοδική κίνηση.

Η πλευρική εξάπλωση λαμβάνει χώρα μέχρι ότου κάποιο τμήμα της ακόρεστης ζώνης κορεσθεί και αποκατασταθεί ισορροπία.

Ο εδαφικός όγκος ( $V$ ) που απαιτείται για την ακινητοποίηση κάποιου όγκου πετρελαίου ( $V_p$ ) ισούται με:

$$12). V = V_p / nS_o$$

όπου:  $\eta$ =το πορώδες και  $S_o$ = ο υπολειμματικός κορεσμός που εκφράζει τον κορεσμό κάτω από τον οποίο το πετρέλαιο δεν μπορεί να κινηθεί στο πορώδες του πετρώματος.



Σχήμα 1.14 : Πλούμιο ρύπου με μικρή πυκνότητα

### 1.9. Εξασθένηση της ρύπανσης

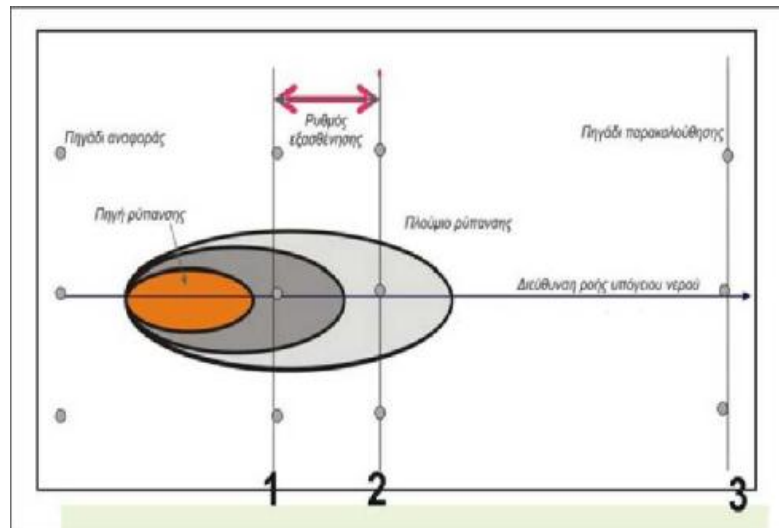
Λόγω της μεγάλης ικανότητας αυτοκαθαρισμού του εδάφους και λόγω μιας σειράς διαδικασιών στην ακόρεστη ζώνη παρατηρείται μείωση του ρυπαντικού φορτίου και αναγέννηση του ρυπασμένου νερού. Το σύνολο των διαδικασιών αυτών συνιστά την ικανότητα εξασθένησης του ρυπαντικού φορτίου. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει περίσσεια οργανικής ύλης και οξυγόνου και παρατηρούνται κυρίως αερόβιες αντιδράσεις με αποτέλεσμα τη μείωση του BOD, τη μετατροπή του αζώτου και της αμμωνίας σε νιτρικά ιόντα με τη δράση βακτηρίων. Η ακόρεστη ζώνη φιλτράρει επίσης το νερό, λόγω της βραδείας κίνησης που έχει στη ζώνη αυτή και απομακρύνει τα βακτήρια και τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Τα μικρά σε μέγεθος βακτήρια προσροφώνται σε αργιλικά ορυκτά, σε οργανικές ουσίες και σε ιόντα του εδάφους. Ο χρόνος επιβίωσης των βακτηρίων στο έδαφος κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες έως μερικούς μήνες, ενώ οι ιοί του εντέρου ζουν από 1-6 μήνες. Το έδαφος που αποτελεί το ανώτερο στρώμα της ακόρεστης ζώνης εμφανίζει αυξημένη βιολογική δραστηριότητα που συμβάλλει στη μείωση της ρύπανσης.

Ο ρυθμός εξασθένησης της ρύπανσης κατά τη μετανάστευση αυτής στην κορεσμένη ζώνη εκφράζει τη μεταβολή της συγκέντρωσης του ρύπου στη μονάδα του χρόνου (Σχ. 1.15) και εξαρτάται από το είδος του ρύπου και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

Τα νιτρικά όταν φθάσουν στην κορεσμένη ζώνη κινούνται με το υπόγειο νερό, χωρίς να υφίστανται εξασθένηση.

Τα κυανίδια μπορεί να αποδομηθούν υπό αερόβιες συνθήκες σε αμμωνία, άζωτο ή νιτρικά άλατα.

Τα φωσφορικά προσροφώνται και κατακρημνίζονται κατά την κίνησή τους στην ακόρεστη ζώνη μαζί με ιόντα Ca, Fe, Al.

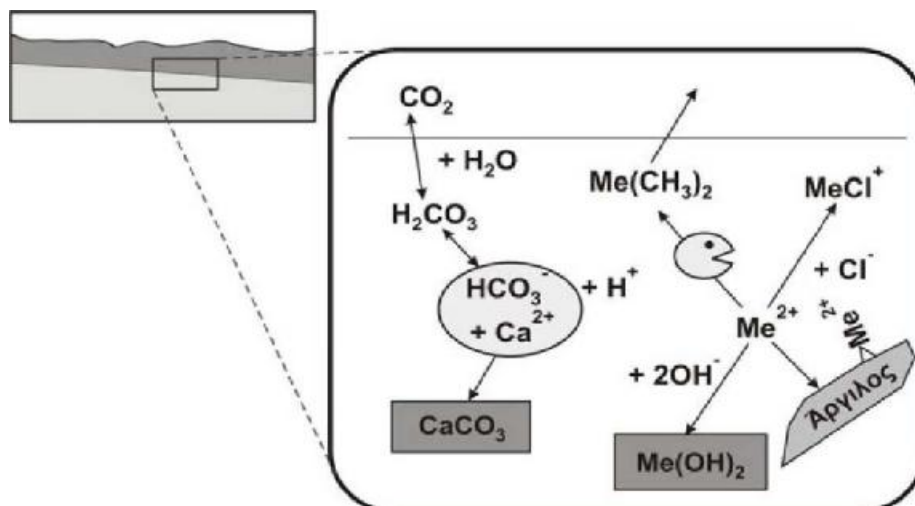


Σχήμα 1.15: Επέκταση του πλούμιου ρύπανσης στην κορεσμένη ζώνη.

Τα μεταλλικά ιόντα δεσμεύονται στα αργιλικά ορυκτά, τα υδροξείδια και το οργανικό υλικό (Σχ. 1.16). Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι μηχανισμοί εξασθένησης των κυριότερων ρυπαντών στο φυσικό περιβάλλον.

Αποδόμηση των οργανικών ουσιών γίνεται σε αερόβιες συνθήκες στα όρια των πλουμίων ρύπανσης. Επίσης οι μικροβιακοί οργανισμοί των υπόγειων νερών έχουν τη δυνατότητα δέσμευσης ανόργανων στοιχείων (N, C, P, S) και ορισμένων ιχνοστοιχείων για τη σύνθεση των κυττάρων τους.

Η ύπαρξη ακόρεστης ζώνης, πάχους μερικών μέτρων, αποτελούμενη από λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα υλικά προστατεύει ικανοποιητικά τους υδροφόρους από τη μόλυνση.



Σχήμα 1.16: Αντιδράσεις μετάλλων στο έδαφος.

Συνοψίζοντας τα ανωτέρω οι κυριότεροι μηχανισμοί εξασθένησης της ρύπανσης είναι:

- Η προσρόφηση

Κατά την προσρόφηση ο ρύπος ενσωματώνεται πάνω στην επιφάνεια του εδαφικού κόκκου της ακόρεστης ζώνης. Η χημική ρόφηση συμβαίνει όταν ο ρύπος ενσωματώνεται στα αργιλικά ορυκτά ή σε ίζημα με χημική αντίδραση. Η προσρόφηση αποτελεί τον σημαντικότερο μηχανισμό εξασθένησης του ρυπαντικού φορτίου. Όλοι οι ρύποι έχουν την ικανότητα να προσροφώνται, εκτός των ιόντων  $Cl^-$  και σε μικρότερο βαθμό των  $NO_3^-$  και  $SO_4^{2-}$ .

Η αραίωση

Οι ρύποι κινούμενοι στο πορώδες μέσο, λόγω της υδροδυναμικής διασποράς, αραιώνονται με συνέπεια τη μείωση της συγκέντρωσής τους με βάση την απόσταση που διανύει ο ρύπος.

- Η διήθηση

Παίζει σημαντικό ρόλο στην ακόρεστη ζώνη απ' όπου περνούν οι ρύποι προς τους υποκείμενους υδροφόρους ορίζοντες, απομακρύνοντας τα αιωρούμενα υλικά.

- Βιολογικές αντιδράσεις

Περιλαμβάνουν μικροβιακές διασπάσεις με αποτέλεσμα την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, κυτταρικές συνθέσεις, οργανικές αποικοδομήσεις κ.λπ. Η μικροβιολογική δράση είναι πιο ενεργή στην εδαφική ζώνη και στο επίπεδο της στάθμης του υπόγειου νερού (Σχ. 1.14). Η μείωση του BOD γίνεται πιο γρήγορα σε αερόβιες συνθήκες. Οι οργανικοί ρυπαντές κατά την κίνηση στο υπέδαφος υφίστανται βραδεία ή ταχεία αποδόμηση με αποτέλεσμα την εξασθένηση της ρύπανσης.

Πίνακας 5. Μηχανισμοί εξασθένησης των ρυπαντών στο έδαφος.

a/a	Ρυπαντής	Κύριοι μηχανισμοί εξασθένησης της ρύπανσης
1	Al	pH>7 Καθίζηση με τη μορφή οξειδίων, υδροξειδίων και πορφυτικών αλάτων pH<7 είναι ευδιάλυτο. Χαμηλής γενικής κινητικότητας στις αργίλους.
2	NH <sub>4</sub>	Κατιοντική ανταλλαγή, νιτροποίηση σε νιτρικά ή/και οργανικό άζωτο σε pH=8,5 και αντίστροφα απονιτροποίηση. Μέτρια κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη.
3	As	Καθίζηση-προσρόφηση. Σε αερόβιο περιβάλλον αντιδρά με Fe, Ca, Al και δημιουργεί δυσδιάλυτες αρσενικούχες ενώσεις. Σε συνθήκες κορεσμού, η αναγμένη μορφή του είναι πιο ευδιάλυτη και ευκίνητη από τις αρσενικούχες ενώσεις. Η αφαίρεση από το στράγγισμα μεγιστοποιείται σε pH=4-6 με την προσθήκη ασβέστου, ενώ σε pH=7 η αφαίρεση (προσρόφηση) της αναγμένης μορφής είναι ευθέως ανάλογη με την προστιθέμενη ποσότητα της ασβέστου. Σε pH=7: Προσρόφηση ανηγμένου As ανάλογη της χρησιμοποιούμενης ποσότητας ασβέστου. Σε pH=4-6: Μέγιστη απομάκρυνση οξειδωμένου As. Απομάκρυνση As αυξάνει από pH=3 σε pH=3-9. Προσρόφηση από μοντμοριλονίτη διπλάσια εκείνης από каолинίτη.
4	Ba	Προσρόφηση, ιοντανταλλαγή, καθίζηση. Με παρουσία ασβέστου καθιζάνει ως BaTO <sup>+</sup> Χαμηλή κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη.
5	Be	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή ιδιαίτερα με μοντμοριλονίτες και ιλλίτες. Λόγω υδρόλυσης είναι πολύ ευκίνητο σε υψηλό και χαμηλό pH. Χαμηλή κινητικότητα στις αργίλους.
6	B	Προσρόφηση-καθίζηση ανάλογα με την παρουσία Al και Fe <sup>3+</sup> . Μεγάλη κινητικότητα στις αργίλους.

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

7	Cd	Καθίζηση-προσρόφηση. Συνήθως οι ενώσεις του (όπως και των Hg, Pb) υδρολύονται στο σύνθετες pH του εδάφους. Η ακινητοποίησή του αυξάνει από pH=6 σε pH=8. Η δημιουργία «φραγμού» από CaCO <sub>3</sub> ανάμεσα στην υπόβαση της χωματερής και το έδαφος αυξάνει την ακινητοποίηση του Cd. Μέτρια κινητικότητα στα αργιλικά εδάφη.
8	Ca	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή. Απελευθερώνεται από τα αργιλικά εδάφη λόγω ιοντοα-νταλλαγής. Υψηλή κινητικότητα στα αργιλικά εδάφη.
9	COD	Βιολογικός μετασχηματισμός σε μεθάνιο και SO <sub>2</sub> . Σχετικά ευκίνητο σε αργιλικό έδαφος. Στους ΧΥΤΑ η αποσύνθεσή του γίνεται αναερόβια. Έντονη μικροβιακή δραστηριότητα σε περιβάλλον με pH~7, επάρκεια θρεπτικών και διαλυμένου οξυγόνου, απορρόφηση και ιοντοανταλλαγή ευνοούν την εξασθένηση.
10	Cl	Αραίωση μόνον. Υψηλή κινητικότητα σε όλα τα εδάφη και υπό όλες τις συνθήκες.
11	Cr	Καθίζηση, ιοντοανταλλαγή και προσρόφηση. Το Cr <sup>3+</sup> (κατιοντικό) εξασθενεί σημαντικά στο έδαφος. Σε pH<4 προσρόφηση από καολινίτη και μοντμοριλονίτη. Σε pH>6 καθιζάνει ως οξείδιο, CrS ή Cr <sub>2</sub> (OO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> . Η εξασθένηση Cr <sup>6+</sup> (ανιοντικό) συνδέεται με την παρουσία οξειδίων του Fe, Mn και αργίλου. Ο μοντμοριλονίτης προσροφά περισσότερο το Cr <sup>6+</sup> από τον ιλλίτη. Στα αργιλικά εδάφη το Cr <sup>3+</sup> ακινητοποιείται, ενώ το Cr <sup>6+</sup> είναι πολύ ευκίνητο.
12	Cu	Προσρόφηση, ιοντοανταλλαγή και χημική καθίζηση, ελεγχόμενες τιμές pH του εδάφους. Η εξασθένηση είναι συνάρτηση του τύπου του εδάφους. Είναι μεγαλύτερη στο μοντμοριλονίτη από όσο στον καολινίτη. Επιτυγχάνεται ακινητοποίηση με κολλοειδή υλικά, άββεστο, ένυδρα οξείδια του Fe και υψηλή περιεκτικότητα αργίλου σε ουδέτερο και οργανικών.
13	Κυανιούχα	Μόνον η προσρόφηση ανάλογα με το pH. Είναι πολύ ευκίνητα στα αργιλικά εδάφη.
14	F	Ανιοντική ανταλλαγή. Υψηλή κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη. Η διαλυτότητα του αυξάνει τόσο στα όξινα όσο και στα αλκαλικά εδάφη.
15	Fe	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή, προσρόφηση, βιολογική δέσμευση. Σε ουδέτερο pH η διαλυτότητα Fe <sup>2+</sup> 100-πλασιάζεται για κάθε μονάδα μείωσης του pH. Οι ενώσεις του Fe <sup>2+</sup> (αναερόβια περιβάλλοντα) είναι πιο ευκίνητες σε αντίθεση με εκείνες του Fe <sup>3+</sup> (οξειδωτικό περιβάλλον). Συχνά το πλούσιο αποτελείται κυρίως από μια ζώνη όπου η διαλυτότητα του Fe <sup>2+</sup> ξεπερνά τα όρια ποσιμότητας, έχει ουδέτερο pH και ελαφρά αναγωγικές συνθήκες. Η υψηλή συγκέντρωση Fe στο υπόγειο νερό κοντά στις χωματερές οφείλεται στη μετανάστευση κυρίως της αναγωγικής ζώνης και όχι ιόντων Fe από τη χωματερή.
16	Mg	Κατιοντική ανταλλαγή-καθίζηση. Μέτρια απομάκρυνση στα αργιλικά εδάφη. Σχηματίζει MgCO <sub>3</sub> (ίζημα) σε pH<7.
17	Pb	Προσρόφηση, κατιοντική ανταλλαγή, καθίζηση. Η εξασθένησή του στα αργιλικά εδάφη

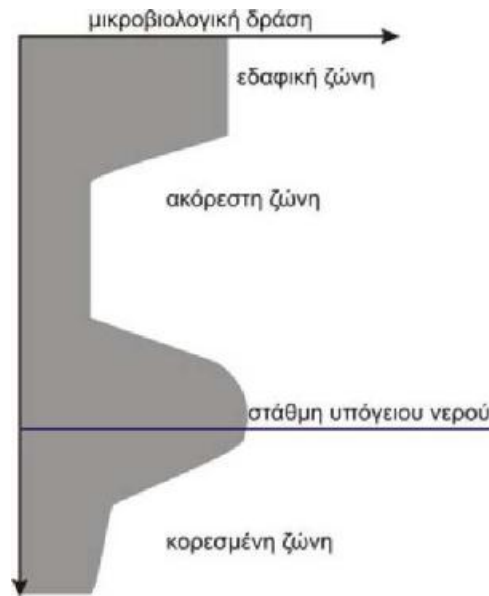
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

18	Mn	αυξάνει καθώς το pH ξεπερνά το 5. Η απομάκρυνσή του από τον μοντμοριλονίτη ξεπερνά εκείνη από τον καολινίτη. Η καθίζηση που αποτελεί τον κύριο μηχανισμό απομάκρυνσης του Pb εξαρτάται από τη σχέση pH-Eh στο έδαφος. Οργανικά, άργιλοι και άσβεστος διευκολύνουν την απομάκρυνσή του ιδιαίτερα σε pH>5-6. Μικρή κινητικότητα σε αργιλικά εδάφη.
		Καθίζηση-κατιοντική ανταλλαγή. Σε συνθήκες εναλλαγής, διαβροχής και ξήρανσης η α-πορρόφησή του είναι υψηλή από τον μοντμοριλονίτη, μέτρια από τον ιλλίτη και χαμηλή από τον καολινίτη. Η κινητικότητα του στα αργιλικά εδάφη είναι υψηλή, η οποία μειώνεται σε αλκαλικό pH, και με την παρουσία ανιόντων όπως τα σουλφίδια και τα ανθρακικά, τα οργανικά μεταλλικά υδροξείδια και άσβεστος.
19	Hg	Προσρόφηση, καθίζηση, οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις που οδηγούν σε εξαέρωση. Στο στράγγισμα συνήθως απαντά ως HgCl <sub>2</sub> . Η προσρόφηση του Hg διευκολύνεται από την παρουσία οργανικών, αργίλων και οξειδίων του Fe. Ο μέγιστος βαθμός απομάκρυνσής του γίνεται σε αλκαλικό περιβάλλον. Γενικά πάντως είναι πολύ κινητικός στο έδαφος.
20	Ni	Ρόφηση, καθίζηση. Απομακρύνεται πιο εύκολα σε αλκαλικό περιβάλλον, με την παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων υδροξειδίων των μετάλλων και άσβεστος. Η κινητικότητά του είναι μέτρια στα αργιλικά εδάφη.
21	NO <sub>3</sub>	Βιολογικός μετασχηματισμός (απονίτρωση) σε αναγωγικό περιβάλλον και με παρουσία άνθρακα. Η απονίτρωση αρχίζει σε pH=7 και Eh=+225mV. Πολύ ευκίνητο στο έδαφος.
22	PCBS	Προσρόφηση και βιοδιάσπαση. Η προσρόφηση μεγαλώνει όσο μικραίνει η κοκκομετρία. Η κινητικότητά τους στα αργιλικά εδάφη είναι από μέτρια έως υψηλή.
23	K	Καθίζηση, κατιοντική ανταλλαγή. Εξουδετερώνεται εύκολα στα αργιλικά εδάφη, ιδιαίτερα όταν επικρατεί ο ιλλίτης και σε περιβάλλον ουδέτερο ή αλκαλικό. Μέτρια κινητικότητα στα αργιλικά εδάφη.
24	Se	Προσρόφηση, ανιοντική ανταλλαγή. Η προσρόφηση από το μοντμοριλονίτη είναι διπλάσια έως τριπλάσια από εκείνη από τον καολινίτη. Η απομάκρυνσή του βελτιώνεται όταν το pH πέσει στο 2-4, αλλά όχι <4. Μέτρια κινητικότητα στα αργιλικά εδάφη.
25	Na	Κατιοντική ανταλλαγή. Μικρές συγκεντρώσεις ιόντων, μετακινούνται στο έδαφος χωρίς να απομακρύνονται.
26		Ανιοντική ανταλλαγή. Έχει αναφερθεί και προσρόφηση από αργίλους, οργανικά και από υδροξείδια του Al και Fe. Υψηλή κινητικότητα στο έδαφος. Σε pH=7 η αναγωγή τους λαβαίνει χώρα σε Eh=150 mV. Με απουσία Fe δημιουργείται H <sub>2</sub> S.
27	Ιοί	Μικρή κινητικότητα στο έδαφος. Η απομάκρυνσή τους γίνεται κυρίως στα πρώτα μέτρα της ακόρεστης ζώνης, ιδιαίτερα όταν το έδαφος είναι αργιλικό, το pH είναι μικρό, και με παρουσία κατιόντων.
28	Πτητικές οργανικές ενώσεις	Βιολογική δέσμευση και αραίωση πάντως σε μικρή έκταση.
30	Zn	Προσρόφηση-κατιοντική ανταλλαγή ελεγχόμενες από το pH. Υψηλή απομάκρυνση σε pH=6-8, αν το έδαφος είναι αργιλικό, πλούσια σε οργανικά ή μεταλλικά υδροξείδια. Γενικώς η κινητικότητά του είναι μικρή σε αργιλικό περιβάλλον.

### Χημικές αντιδράσεις

Λαμβάνουν χώρα και στην ακόρεστη και στην κορεσμένη ζώνη και περιλαμβάνουν αντιδράσεις οξειδοαναγωγής, εξουδετερώσεις, ιοντοανταλλαγή, οργανικές αντιδράσεις, διάλυση αερίων, καθίζηση. Οι αντιδράσεις οξειδοαναγωγής περιλαμβάνουν οξειδώσεις σιδήρου, μαγγανίου, σουλφιδίων, νίτρωση και απονίτρωση, αναγωγή Fe<sup>3+</sup>, θείου, μεθανογένεση κ.ά και ελέγχονται από το pH και το δυναμικό οξειδοαναγωγής (Eh). Κατά την κατιοανταλλαγή όπως αναφέραμε τα κατιόντα δεσμεύονται από την αρνητικά φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών με ηλεκτροστατικές δυνάμεις. Τα ανιόντα είναι δυνατόν να δεσμευτούν με την ίδια διαδικασία, αλλά σε θετικά φορτισμένες περιοχές των οξειδίων Fe και Al, καθώς και στις ακραίες επιφάνειες των αργιλικών ορυκτών.

Στον Πίνακα 5. παραπάνω παρουσιάζονται συνοπτικά οι κυριότερες χημικές αντιδράσεις που γίνονται στην ακόρεστη και την κορεσμένη ζώνη.



Σχήμα 1.17: Μικροβιολογική δράση σε σχέση με το βάθος .

### 1.10 Μαθηματικά Μοντέλα

Η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων για την επίλυση προβλημάτων ρύπανσης των υπόγειων νερών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Προσδιορισμός του σκοπού και των έργων μελέτης

Ανάλυση και πρόβλεψη της τάσης ρύπανσης του νερού που προμηθεύει οικισμούς, εκτίμηση των επιπτώσεων από εκροές λυμάτων, μελέτη της υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ επιφανειακών και υπόγειων νερών, καθώς και επικοινωνία με γειτονικούς υδροφορείς, εκτίμηση της ρύπανσης από γεωργοκτηνοτροφικές δραστηριότητες, διερεύνηση της πιθανής διείσδυσης θαλασσινού νερού, διερεύνηση της επίδρασης του τεχνητού εμπλουτισμού στην ποιότητα των υπόγειων νερών, προσδιορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης παροχής άντλησης για την αποφυγή της υποβάθμισης της ποιότητας, καθορισμός των ρυπασμένων περιοχών.

- Συλλογή στοιχείων υπαίθρου

Συγκέντρωση στοιχείων που αφορούν τη γεωλογία, την υδρογεωλογία, τη γεωμετρία των υδροφορέων, τις παροχές αντλήσεων ή εμπλουτισμού, τη σχέση επιφανειακών και υπόγειων νερών, τις οριακές και αρχικές συνθήκες, τις πηγές ρύπανσης, την πιεζομετρία, τις υδραυλικές παραμέτρους κ.λπ. Επίσης γίνεται δειγματοληψία για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας διαφόρων στοιχείων στο υπόγειο νερό.

- Επιλογή του μοντέλου

Επιλογή του μοντέλου και των παραμέτρων ποιότητας που θα εξετασθούν ανάλογα με τις μετρήσεις υπαίθρου και τον επιθυμητό βαθμό πολυπλοκότητας.

- Ρύθμιση του μοντέλου

Η ταυτόχρονη ρύθμιση του υδραυλικού μοντέλου και του μοντέλου ποιότητας δίνει καλύτερα αποτελέσματα.

Με τη διαδικασία δοκιμής-λάθους (trial and error) τροποποιούνται οι παράμετροι, ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική σύγκλιση.

- Πρόβλεψη και έλεγχος

Με το κατάλληλο μοντέλο γίνεται πρόβλεψη για την τάση ρύπανσης και να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ διαφορετικών σεναρίων αποκατάστασης και ελέγχου.

Παράδειγμα:

Το πακέτο MT3D της εταιρείας Papadopoulos & Associates, Inc. χρησιμοποιείται ευρύτατα για την προσομοίωση της διασποράς ρύπων. Στηρίζεται στην αριθμητική επίλυση της μερικής διαφορικής εξίσωσης, που περιγράφει τη διασπορά ρύπων στα υπόγεια νερά, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους πιθανούς μηχανισμούς (διασπορά, διάχυση, χημικές διαδικασίες **απορρόφησης κ.λπ.**).

Ο MT3D χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα του υδραυλικού μοντέλου, ως στοιχεία εισόδου για την επίλυση του μοντέλου διασποράς ρύπων. Είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, πεπερασμένων διαφορών με επίλυση των εξισώσεων στο κέντρο των κυψελίδων (block centered). Τα προγράμματα MT3D και MODFLOW συντονίζονται από το κεντρικό πρόγραμμα κάθε πακέτου.

Το MT3D έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης ενός ιόντος κάθε φορά. Συνήθως χρησιμοποιείται το ιόν του χλωρίου (Cl<sup>-</sup>). Το ιόν του χλωρίου είναι συντηρητικό ιόν και για το λόγο αυτό η ταχύτητα κίνησής του ταυτίζεται με την ταχύτητα κίνησης του υπόγειου νερού. Επιπλέον το ιόν του χλωρίου δεν αντιδρά με τα υλικά του υδροφορέα και αυτό περιορίζει τις απαιτούμενες παραμέτρους του μοντέλου. Αυτό διευκολύνει την προσομοίωση γιατί ελαττώνεται ο χρόνος που απαιτεί ο υπολογιστής και περιορίζει το επίπεδο αβεβαιότητας από την εισαγωγή πολλών παραμέτρων. Για την επίλυση του μοντέλου απαιτείται ο καθορισμός των εξής υδροχημικών παραμέτρων:

- Ο συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς
- Ο συντελεστής διάχυσης
- Η τιμή του λόγου οριζόντιας και κατακόρυφης ανισοτροπίας

Για την κατανομή των ρυπαντικών φορτίων στην προσομοιούμενη περιοχή το πρόγραμμα MT3D δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής με δύο τρόπους:

1. Σημειακές πηγές (point sources), στις οποίες εντάσσονται τα πηγάδια-γεωτρήσεις
2. Διάχυτες πηγές (recharge sources), στις οποίες εντάσσονται οι εισαγωγές ρύπων από την κατείδυση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

#### 2.1. Έδαφος

Το έδαφος προήλθε από την αποσάθρωση (διάβρωση) των πετρωμάτων της γήινης επιφάνειας. Η αποσάθρωση αυτή οφείλεται σε πολλές αιτίες: Στη θάλασσα, τη βροχή, τον ήλιο, το κρύο, τον αέρα, τα φυτά, τα ζώα. Το έδαφος όταν δεν καλλιεργείται πλουτίζεται ακατάπαυστα. Τα αυτοφυή φυτά (θάμνοι, δέντρα) με τις ρίζες τους αποσθρώνουν κάθε μέρα και το πλουτίζουν με τροφές που παίρνουν απ' τον αέρα (έχοντας άζωτο κλπ) και με τα φύλλα τους και τους κορμούς τους που όταν σαπίζουν μεταβάλλονται σε τροφές για τα νέα φυτά.

#### 2.2. Σύσταση και Ιδιότητες του Εδάφους

Το επιφανειακό έδαφος είναι ένα σύμπλοκο μίγμα ανόργανων υλικών, οργανικής ύλης που αποσυντίθεται ή σχηματίζει σύμπλοκα χουμικά οξέα, νερού, αέρα και ζωντανών μικροοργανισμών. Τα εδάφη είναι ένα ανοικτό περιβαλλοντικό τμήμα που βρίσκεται σε συνεχή ανταλλαγή με την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη βιόσφαιρα.

Τα εδάφη διαμορφώνονται σε στιβάδες που καλούνται ορίζοντες (horizons), και οι οποίοι έχουν διαφορετική υφή και σύσταση.

**(α) 0-ορίζοντας:** ανώτατο στρώμα εδάφους με φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.

**(β) Α-ορίζοντας:** τα πρώτα 30-50 εκατοστά του μέτρου εδάφους (topsoil) με χουμικά οξέα, μερικά ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς, οργανική ύλη, με τη μεγαλύτερη βιολογική δραστηριότητα από όλες τις άλλες στιβάδες.

**(γ) Ε-ορίζοντας:** η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος. Η διαλυμένη ή αιωρούμενη ύλη κινείται προς τη στιβάδα αυτή και γι' αυτό καλείται η ζώνη αποπλυμάτων (leaching zone).

**(δ) Β-ορίζοντας:** το υπέδαφος είναι ορίζοντας εμπλουτισμού όπου συγκεντρώνονται τα χουμικά οξέα, ο άργιλος (πηλός), σίδηρος και αργίλιο μετά το στράγγισμα από τις επάνω ζώνες.

**(ε) C-ορίζοντας:** ελαφρά διαβρωμένο βραχώδες έδαφος που περιέχει τα ορυκτά συστατικά του κύριου εδάφους.

**(ζ) R-ορίζοντας:** βραχώδες έδαφος (bedrock) που δεν επηρεάζεται από διάβρωση.

Η σύσταση των εδαφών είναι αποτέλεσμα του μίγματος των ανόργανων και οργανικών υλικών, του μεγέθους των σωματιδίων, της οργανικής ύλης που ενσωματώθηκε με τη βιοαποικοδόμηση, του αέρα και του νερού που έχει εγκλωβισθεί στο έδαφος. Τα εδάφη συνήθως αποτελούνται από μίγματα αργίλου, λάσπης (ιλύς) και άμμου και η υφή τους χαρακτηρίζεται από τα μεγέθη των σωματιδίων των τριών αυτών υλικών. Ένα από τα πλέον παραγωγικά εδάφη είναι το παχύ άμμο-αργιλώδες χώμα (κοπρογή, loam) που αποτελείται από 40% λάσπη, 40% άμμο και 20% άργιλο. Τα κυριότερα στοιχεία στο επιφανειακό έδαφος είναι τα στοιχεία: οξυγόνο (υπό μορφή οξειδίων), πυρίτιο, αργίλιο, σίδηρος, ασβέστιο, νάτριο, κάλιο και μαγνήσιο. Μερικά από τα κλασικά οξείδια του εδάφους είναι:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{F}_2\text{O}_3$ , και τα ορυκτά  $\text{KA}_1\text{Si}_3\text{O}_8$ ,  $\text{NaA}_1\text{Si}_3\text{O}_8$ ,  $\text{CaO} \cdot 3(\text{AlFe})2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ .

Τα εδάφη εκτός από τη σύσταση χαρακτηρίζονται από την υφή, το πορώδες, την υγροσκοπικότητα, την ειδική θερμότητα (ποσότητα ενέργειας για την ανύψωση της θερμοκρασίας κατά  $1^\circ\text{C}$ , συντελεστής ανάπτυξης φυτών), τη θερμική αγωγιμότητα, την απορροφητική ικανότητα, την οξύτητα και τις βιολογικές τους ιδιότητες. Η γένεση των εδαφών συντελείται με τριών ειδών διεργασίες, όπως την αποσύνθεση βράχων, την αύξηση της οργανικής ύλης με την αποσυνθετική δράση βακτηρίων και τη μετανάστευση ανόργανων αλάτων στα διάφορα τμήματα με την δράση του νερού. Τα εδάφη διαχωρίζονται κατά τους γεωλόγους σε ανεξέλικτα (παρθένα), ανόργανα, ολίγον εξελιγμένα (ορεθινά), ασβεστόμορφα (ασβεστολιθικά), εδάφη εξελιγμένα με αλκαλικό χούμο (φαιά), εδάφη εξελιγμένα με όξινο χούμο (ποτζόλ), σιδηρούχα εδάφη θερμού κλίματος, εδάφη λατερικά, εδάφη αλόμορφα (επίδραση άλατος), εδάφη υδρόμορφα (κορεσμός νερού), και τύρφαι (όριο εδάφους- φυτικού σχηματισμού).

Το νερό παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των εδαφών και στη μεταφορά θρεπτικών υλικών που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Τα εδάφη με μεγαλύτερο ποσοστό οργανικής ύλης συγκρατούν περισσότερο νερό. Όταν όμως το νερό εγκλωβισθεί και ξεπεράσει ορισμένα επίπεδα οι μικροοργανισμοί διάσπασης της οργανικής ύλης ενεργοποιούνται, το οξυγόνο χρησιμοποιείται ταχύτατα για την αναπνοή τους και η συνεκτικότητα των κολλοειδών σωματιδίων που συγκρατεί το έδαφος μειώνεται. Το έδαφος διασπάται, το οξυγόνο που απαιτούν οι ρίζες των φυτών μειώνεται και αρχίζει η αποσύνθεση της φυτικής ύλης. Η περίσσεια νερού στο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα τη μετακίνηση διαλυτών αλάτων σιδήρου και μαγγανίου που σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι τοξικά στα φυτά.

Η ανταλλαγή κατιόντων είναι μία από τις σημαντικές χημικές δράσεις των εδαφών και ιζημάτων. Η δράση αυτή των ιζημάτων ή εδαφών εκφράζεται με τον όρο **ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων** (CEC, cation-exchange capacity), που εκφράζεται με την ποσότητα μονοσθενών κατιόντων που μπορούν να ανταλλάξουν ανά 100 γραμμάρια εδάφους και εξαρτάται από το pH και το pE οξειδοαναγωγικό δυναμικό.

Τα ορυκτά και η οργανική ύλη των εδαφών ανταλλάσσουν κατιόντα. Τα αργιλικά ορυκτά και η οργανική ύλη, όπως τα χουμικά οξέα, έχουν μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η ανταλλαγή αυτή στα εδάφη διευκολύνει την παραλαβή από τα φυτά του νατρίου, καλίου, μαγνησίου και ασβεστίου με αντίστοιχη εκπομπή κατιόντων υδρογόνου, που καθιστά τα εδάφη όξινα. Συγχρόνως, το έδαφος λειτουργεί

ως ρυθμιστικός παράγοντας που δεν επιτρέπει μεταβολές στο pH. Οι όξινες κατακρημνίσεις παίζουν κάποιο ρόλο ρυθμιστή στα αλκαλικά εδάφη, αλλά η υπερβολική όξυνση σε γρανιτώδη εδάφη καταστρέφει το εδαφικό οικοσύστημα.

Το έδαφος είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες στους γεωχημικούς κύκλους του άνθρακα, του αζώτου, του φωσφόρου, του θείου και του νερού. Συγχρόνως όλα τα μακροθρεπτικά συστατικά (macronutrients) και ορισμένα μέταλλα αποτελούν ακρογωνιαίο λίθο στην ανάπτυξη της χλωρίδας και των χερσαίων ζώων. Τα μικροθρεπτικά συστατικά (micronutrients), όπως τα μέταλλα: ο σίδηρος, το βόριο, ο χαλκός, το μολυβδαίνιο, το μαγγάνιο, ο ψευδάργυρος, το νάτριο και το βανάδιο, είναι απαραίτητα σε πολύ μικρές ποσότητες για τη φωτοσύνθεση και σε ενζυμικές λειτουργίες βιολογικών οργανισμών. Υψηλότερες συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών είναι τοξικές για τα έμβια όντα που ζουν στο έδαφος.

Γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα ρυπαίνουν καλλιεργημένες εκτάσεις. Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου, απόβλητα ορυχείων και λατομείων είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Το έδαφος γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς ανάλογα με τις συνθήκες και τη γεωμορφολογία των περιοχών. οργανικών και ανόργανων ρύπων στο νερό, απορροφούνται από το έδαφος και μεταφέρονται στα διάφορα εδαφικά περιβαλλοντικά διαμερίσματα με τη βροχή και στα υπόγεια νερά.

Οι συντελεστές κατανομής ρύπων μεταξύ εδαφών και νερού, εδάφους και ατμόσφαιρας, εδάφους και οργανικών συστατικών, παίζουν σημαντικό ρόλο για τον τελικό διασκορπισμό, μεταφορά, επανεξάτμιση και συσσώρευση ρύπων στα εδάφη. Οι συντελεστές κατανομής προκαθορίζουν και την τοξικότητα ρύπων στα φυτά και τα χερσαία ζώα, τη διάσπαση από φυσικές διεργασίες μέσα στο έδαφος και την βιοαποικοδόμηση τους μέσω των εδαφικών μικροοργανισμών. Αυτά είναι τα βασικά προβλήματα της περιβαλλοντικής τοξικολογίας σε σχέση με τους τοξικούς και επικίνδυνους χημικούς ρύπους στα εδάφη. Μελέτες για τις συγκεντρώσεις τους και τους μηχανισμούς τοξικότητας χρησιμεύουν για την εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον των ζωντανών οργανισμών και την υγεία του ανθρώπου.

#### Ορισμένες από τις βασικές αιτίες ρύπανσης των εδαφών είναι:

- τα λιπάσματα και φυτοφάρμακα των γεωργικών εκμεταλλεύσεων
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων
- τα υγρά και στερεά απόβλητα των χημικών βιομηχανιών
- τα αστικά και νοσοκομειακά απόβλητα που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες
- η ρύπανση από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, λιπαντικών υλών και ελαστικών τροχοφόρων
- η ρύπανση από απόβλητα μεταλλευτικών και λατομικών επιχειρήσεων
- Η ρύπανση από βαρέα μέταλλα που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες, καύση στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων και άλλες διεργασίες εμπλουτισμού ή καθαρισμού μεταλλευμάτων.

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος ή διασκορπίζονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά) ή εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα.

Στην περίπτωση των λιπασμάτων (νιτρικό και θειικό αμμώνιο, ουρία, φωσφορικά άλατα, άλατα καλίου) το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, αλλά δεν προσθέτουν τίποτα στην περίπτωση των χουμικών και των απαραίτητων εδαφικών ιχνοστοιχείων. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της οργανικής ύλης, η πορώδης υφή του εδάφους αλλοιώνεται και η συγκράτηση του νερού στο έδαφος μειώνεται. Με τη μείωση του νερού αυξάνεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών και μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους. Η προσπάθεια των γεωργών να αυξήσουν την απόδοση (χωρίς τη σωστή διαχείριση του προβλήματος) οδηγεί στην αύξηση της τοξικότητας των νιτρικών και άλλων λιπασμάτων στο έδαφος και στα νερά.

Παρόμοια προβλήματα ρύπανσης δημιουργούν ορισμένα από τα φυτοφάρμακα και οι μεταβολίτες τους στο έδαφος. Η συσσώρευση των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων σε γεωργικές εκτάσεις έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση τοξικών φαινομένων στους χερσαίους οργανισμούς, στους γαιοσκώληκες, τους νηματώδεις και τους μικροοργανισμούς, οι οποίοι με το χρόνο υποβαθμίζουν την υφή και την ποιότητα των εδαφών.

Ιδιαίτερα προβλήματα προκαλούν τα φυτοφάρμακα που βιοαποικοδομούνται με αργούς ρυθμούς (μη βιοδιασπάσιμα) ή κατά τη διάσπασή τους παράγουν τοξικούς μεταβολίτες.

Τα βαρέα μέταλλα είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας ρύπανσης των εδαφών. Αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις μετάλλων μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις έχουν αρνητικές επιδράσεις στην ενζυμική λειτουργία σε χερσαία ζώα και τους γαιοσκώληκες, νηματώδεις και μικροοργανισμούς των εδαφών.

Οι γαιοσκώληκες αποτελούν ιδανικά πειραματόζωα και χρησιμοποιούνται σε πειράματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας και οικοτοξικολογίας ως ευαίσθητοι βιοδείκτες για βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και άλλους τοξικούς ρύπους. Για τις τοξικολογικές αυτές δοκιμασίες έχουν δημιουργηθεί ειδικά πρωτόκολλα πειραματικών τεχνικών.

Τα τοξικά απόβλητα από βιομηχανικές εγκαταστάσεις, λόγω των τοξικών και επικίνδυνων ουσιών που περιέχουν (αλογονομένες ουσίες, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, τοξικοί διαλύτες, βαρέα μέταλλα, κλπ) προκαλούν διάφορα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα βιολογικά συστήματα.

Τα υγρά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλοξυγόνου δράσης. Παρόμοια γονοτοξική δράση παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργασθεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες. Τα απόβλητα και η διαχείριση τους αποτελεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές αναπτυγμένες χώρες,

ιδιαίτερα για την ποιότητα των εδαφών και τις τοξικές δράσεις σε ζωντανούς οργανισμούς.

Σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης εδαφών αποτελούν το πετρέλαιο τα προϊόντα διύλισης, τα λιπαντικά και οι διάφοροι διαλύτες που είναι προϊόντα της χημικής βιομηχανίας πετρελαίου. Η ρύπανση από πετρέλαιο και τα προϊόντα του προκύπτει κατά τις χερσαίες μεταφορές, τις διαρροές από εργοστάσια, τις βιοτεχνίες και τις αποθήκες τους, τις παλαιές εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων και τα διάφορα ατυχήματα σε εγκαταστάσεις άντλησης πετρελαίου. Η τοξικότητα του πετρελαίου λόγω της ύπαρξης αδιάλυτων υδρογονανθράκων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (ΠΑΥ) και πτητικών αρωματικών ενώσεων καθιστά τη ρύπανση επικίνδυνη για τους χερσαίους οργανισμούς, τη χλωρίδα και τους μικροοργανισμούς του εδάφους.

Σε πολλές χώρες υπάρχουν αυστηρές προδιαγραφές για τις εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου και προγράμματα καθαρισμού εδαφών που έχουν ρυπανθεί από παλαιές εγκαταστάσεις. Τα σοβαρά προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης και οι επιπτώσεις σε ευαίσθητα οικοσυστήματα που προκαλεί το πετρέλαιο αποτελούν θέματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας και στον τομέα αυτό έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες. Λόγω των προβλημάτων ρύπανσης, ο καθαρισμός των ρυπασμένων εδαφών από πετρέλαιο με διάφορες τεχνικές έχουν αποτελέσει ειδικό κλάδο της περιβαλλοντικής επιστήμης και διαχείρισης αποβλήτων.

### 2.3 Ρύπανση υδάτων

**Το νερό** είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τη ζωή , είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες αποσάθρωσης πετρωμάτων και σχηματισμού ιζημάτων.

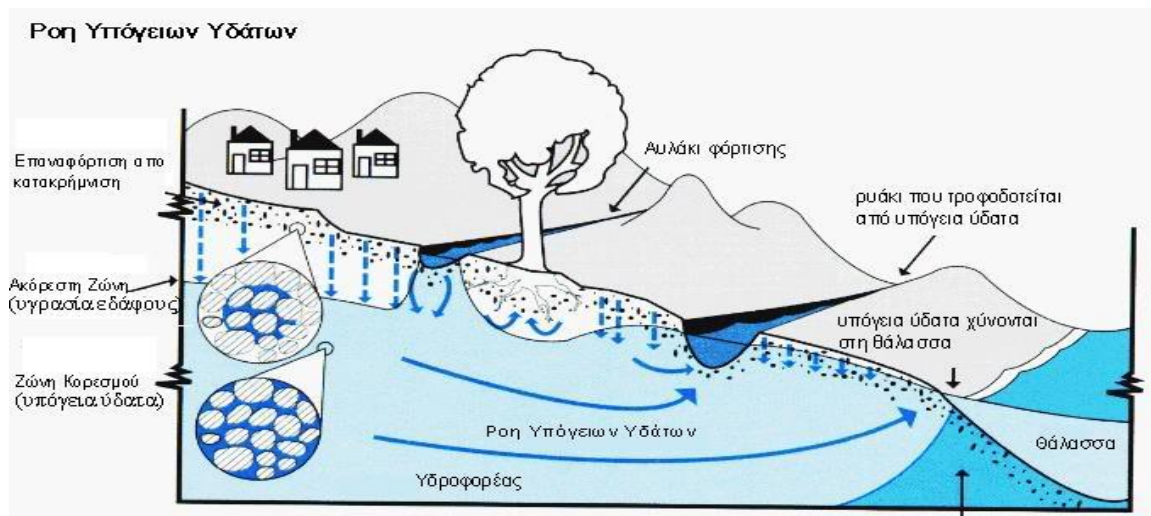
Βράζει στους 100°C και πήζει στους 0°C εφόσον είναι χημικώς καθαρό. Στη φύση βρίσκεται σε τρεις μορφές , υγρή ,στερεά , και αέρια , ενώ στην υγρή φάση το νερό έχει μεγάλο ιξώδες. Οι οργανισμοί προκειμένου να προσαρμοσθούν στο αυξημένο ιξώδες έχουν όλοι ατρακτοειδές σχήμα και μπορούν και κινούνται εύκολα μέσα στο νερό, και φυσικά δεν χρειάζονται όργανα στήριξης όπως τα χερσαία ζώα.

**Η πυκνότητα** του νερού μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και η μεγαλύτερη πυκνότητα είναι στη θερμοκρασία των 3,94 βαθμών Κελσίου. Αυτό έχει μεγάλη σημασία , δηλαδή ότι ο ίδιος όγκος νερού έχει το μεγαλύτερο βάρος στους 3,94 βαθμούς γιατί έχει σαν αποτέλεσμα να επιπλέουν οι πάγοι πάνω στο νερό και έτσι μπορούν και λιώνουν.

Επίσης **οι χημικές ιδιότητες του νερού** και ιδιαίτερα οι διαλυτικές είναι πολύ σημαντικές για το οικοσύστημα. Το νερό έχει την ικανότητα να διαλύει μεγάλη ποικιλία ουσιών. Πολλά χημικά στοιχεία και χημικές ενώσεις διαλύονται στο νερό και ορισμένες από αυτές μεταφέρονται με την επίγεια και υπόγεια κίνηση του νερού σε διάφορα σημεία της επιφάνειας της γης. Με παρόμοιο τρόπο οι θρεπτικές ουσίες διαλυμένες μέσα στο νερό διέρχονται τις ρίζες και διαχέονται σε ολόκληρο τον ιστό του φυτού. Δυστυχώς όμως με τη διάλυση αυτή μεταφέρονται και βλαβερές ουσίες.

**Ο κύκλος του νερού.** Το νερό ακολουθεί έναν ορισμένο κύκλο στη φύση, εισρέει με τα κατακρημνίσματα στο έδαφος και από εκεί ένα μέρος εξατμίζεται, ένα χρησιμοποιείται από τα φυτά, ένα τμήμα συγκρατείται ως υγρασία στο έδαφος. Μέρος από το νερό των κατακρημνισμάτων ρέει επιφανειακά χωρίς να εισχωρήσει στο έδαφος με κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Τα νερά που διηθούνται στο έδαφος είτε εμπλουτίζουν τα υπόγεια στρώματα είτε ξαναβγαίνουν στην επιφάνεια με τη μορφή πηγών και τροφοδοτούν με νερό τα ρέματα.

Κάθε ουσία που εμποδίζει την κανονική χρήση του ύδατος θεωρείται ότι το ρυπαίνει. Εδώ παρατηρούνται αντιφάσεις διότι μια ουσία που το εμποδίζει από μια χρήση μπορεί να είναι απαραίτητη από μια άλλη χρήση. Σαν παράδειγμα αναφέρεται το χλωριούχο νάτριο. Το νερό υπάρχει παντού γύρω μας στη θάλασσα, στην ατμόσφαιρα υπό μορφή υδρατμών στο έδαφος στις λίμνες στα ποτάμια.



### 2.3.1 Κύκλος υπόγειων υδάτων

#### Πηγές ρύπανσης υπόγειων υδάτων

Η διαμόρφωση της ποιότητας του νερού στο έδαφος και τους υπόγειους υδροφορείς εξαρτάται από τη μεταφορά μάζας των διαφόρων ουσιών και στοιχείων που την καθορίζουν. Η ποιότητα του υπόγειου και εδαφικού νερού αναφέρεται στη χημική του σύνθεση, με τα διαλυμένα και αιωρούμενα υλικά, στην ενεργειακή του κατάσταση και στους μικροοργανισμούς.

Η διαμόρφωση της σύστασης του νερού είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών, βιολογικών διαδικασιών και ανθρώπινης επέμβασης, είτε με την απευθείας εισαγωγή χημικών και βιολογικών ουσιών στα υπόγεια νερά, είτε έμμεσα επεμβαίνοντας στις φυσικές διαδικασίες που επηρεάζουν το σύστημα των υπόγειων νερών (π.χ. η εισροή θαλασσινού νερού).

Η χημική σύσταση του φυσικού υπόγειου νερού εξαρτάται μόνο από τις φυσικές διαδικασίες και είναι αποτέλεσμα της υδρογεωλογικής και γεωχημικής ιστορίας του. Η ανθρώπινη επέμβαση προσδιορίζεται σε περιοχές με σημαντική χρήση της γης, όπως στις αστικοποιημένες περιοχές, μεταλλεία και αγροτικές περιοχές.

Το νερό, είτε προέρχεται από τις βροχοπτώσεις ή από τα υγρά απόβλητα που εφαρμόζονται στο έδαφος είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς ουσιών μέσα στο έδαφος. Το επιφανειακό νερό διηθείται στο έδαφος και διαμέσου της ακόρεστης ζώνης κινείται προς τους υπόγειους υδροφορείς, όπου διακλαδίζεται προς διάφορες διευθύνσεις ανάλογα με τις συνθήκες ροής που επικρατούν στον υδροφορέα. Το ρυπασμένο νερό ακολουθεί τις καθορισμένες διαδικασίες κίνησης του υπόγειου νερού. Με την παρέλευση του χρόνου η ένταση της ρύπανσης του νερού είτε μειώνεται μέσα στο υδροφορέα ή το ρυπασμένο νερό οδηγείται προς ένα φρεάτιο ή ευκαιριακά εξέρχεται στα επιφανειακά υδάτινα συστήματα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα).

Η ταφή των στερεών αποβλήτων (χωματερές από σκουπίδια οικισμών και στερεών αποβλήτων βιομηχανιών) μπορεί να αποτελέσει αιτία υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων νερών λόγω της έκπλυσης που προκαλεί το νερό που διέρχεται από τη μάζα των αποβλήτων. Τα εκπλύματα αποτελούνται από το νερό που κατά την κίνησή του δια μέσου της μάζας των στερεών αποβλήτων εμπλουτίζεται με ρύπους και τα παράγωγα της αποικοδόμησης των αποβλήτων με τις χημικές και βιοχημικές αντιδράσεις.

Η άρδευση σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και εναπόθεση των ανόργανων ενώσεων και αλάτων στην ακόρεστη ζώνη. Λόγω της εξατμισοδιαπνοής, αυξάνει η συγκέντρωση των αλάτων στο εδαφικό νερό με αποτέλεσμα το νερό που διηθείται βαθιά να περιέχει διαλυμένα άλατα σε συγκεντρώσεις δύο και τρεις φορές μεγαλύτερες από αυτές του εφαρμοζόμενου νερού. Στα διαπερατά εδάφη, η περίσσεια νερού που περνά τη ζώνη παρασέρνει τα διαλυμένα υλικά (ιδιαίτερα τα ιόντα χλωρίου, θεικών, νιτρικών και νατρίου) στα υπόγεια νερά. Η επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση του νερού για άρδευση είναι μία σοβαρή διαδικασία συσσώρευσης των αλάτων στα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά. Με την εφαρμογή των λιπασμάτων στο έδαφος, που συνήθως περιέχουν ανόργανα στοιχεία, προκαλείται αύξηση των λιπασματικών στοιχείων στο εδαφικό διάλυμα.

Ποιοτικά οι πιο επιβλαβείς ρύποι για την υγεία του ανθρώπου, από τη γεωργία, υδροφορείς. Η άρδευση και η εφαρμογή των λιπασμάτων ανόργανου αζώτου είναι τα

*νιτρικά ιόντα*, τα οποία με μεγάλη ευκολία μεταφέρονται με το νερό που διηθείται βαθιά δια μέσου της ακόρεστης ζώνης του εδάφους και της υπόγειας ροής στους υπόγειους φαίνεται ότι συντελούν στην ταχύτερη αύξηση των νιτρικών σε πολλές αγροτικές περιοχές. Αλλά η αύξησή τους μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη αρδευόμενες περιοχές με οργανικά εδάφη. Σε αυτή την περίπτωση τα νιτρικά απελευθερώνονται κατά την ανοργανοποίηση των φυτικών υπολειμμάτων και των ζωικών αποβλήτων που ενσωματώνονται στο έδαφος. Τα στερεά απόβλητα (κοπριές) των ζώων είναι επίσης σημαντικές πηγές νιτρικών και διαλυμένων αλάτων.

Τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στη γεωργία για την προστασία των καλλιεργειών από τα έντομα (εντομοκτόνα), μύκητες (μυκητοκτόνα) και βακτήρια (βακτηριοκτόνα) και την καταπολέμηση των ζιζανίων (ζιζανιοκτόνα) αποτελούν σημαντικό κίνδυνο ρύπανσης των υπογείων νερών. Παρ' ότι οι οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται σαν φυτοφάρμακα είναι ταχείας αποικοδόμησης, σημαντικές ποσότητες αυτών και των προϊόντων της διάσπασής τους έχουν καταγραφεί στα υπόγεια νερά. Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροτοχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος.

Οι πιο σπουδαίοι μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και διάφορα άλλα παράσιτα. Τα σοβαρότερα προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς του υπόγειου νερού είναι ο τύφος, η χολέρα και η ηπατίτιδα. Οι πηγές των μικροοργανισμών είναι τα ανθρώπινα και ζωικά λύματα και απόβλητα. Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλύσεις από τους σκουπιδότοπους, και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές, όπως η διάθεση στο έδαφος της ζωικής κόπρου για οργανική λίπανση.

Τα μη αναμίξιμα με το νερό υγρά (non-aqueous phase liquids NAPLs), είναι ρύποι, που η παρουσία τους στην ακόρεστη ζώνη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Τα υγρά αυτά εμφανίζουν μία χωριστή υγρή φάση στο υδάτινο περιβάλλον. Γενικά τα NAPLs είναι υγρά τα οποία έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη ή μικρότερη από του νερού. Διακρίνονται σε LNAPLs που είναι τα μη αναμίξιμα με το



νερό υγρά με πυκνότητα μικρότερη από το νερό και σε DNAPLs που έχουν πυκνότητα μεγαλύτερη από το νερό. Παράδειγμα ελαφρότερων από το νερό είναι τα υγρά καύσιμα των υδρογονανθράκων, όπως η βενζίνη, το πετρέλαιο θέρμανσης, η κηροζίνη. Στα DNAPLs περιλαμβάνονται οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες όπως οι τετραχλωράνθρακες, το τριχλωροαιθάνιο, οι χλωροφαινόλες, τα χλωροβενζόλια, τα τετραχλωροαιθυλένια και τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs).

Η σημασία των NAPLs στα υπόγεια νερά οφείλεται στην εμμόνη τους κάτω από το έδαφος και την ικανότητα που έχουν να ρυπαίνουν μεγάλους όγκους νερού λόγω της μικρής δυνατότητας απομάκρυνσής του. Η μετακίνηση των ουσιών αυτών στο έδαφος εξαρτάται από την ποσότητα που ελευθερώνεται στο έδαφος, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και τη δομή του εδάφους διαμέσου του οποίου μετακινούνται.

Η μεταβολή της υδραυλικής ισορροπίας λόγω της άντλησης και υπεράντλησης των υπόγειων νερών είναι η αιτία για την εισροή νερών χαμηλής ποιότητας, υφάλμυρων ή εμπλουτισμένων με ιχνοστοιχεία και βαριά μέταλλα από διπλανούς, επάλληλους υδροφορείς και από τη θάλασσα. Είναι η αιτία της υφαλμύρωσης των παραθαλάσσιων υδροφορέων.

Η εκτίμηση της ρύπανσης των υπόγειων νερών και της επικινδυνότητας γίνεται με την χρησιμοποίηση μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν τη μεταφορά μάζας, στους μετασχηματισμούς και τις αλληλοεπιδράσεις με τα στερεά του εδάφους στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη. Λόγω της πληθώρας δεδομένων που απαιτούνται για την εφαρμογή των μοντέλων αυτών, την τελευταία δεκαετία, αναπτύσσονται απλοποιημένες διαδικασίες εκτίμησης της πιθανότητας ρύπανσης των υπόγειων νερών που μπορούν να εφαρμοστούν σε μεγάλη χωρική κλίμακα και για διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Απλά μοντέλα-δείκτες που χρησιμοποιούνται την τελευταία δεκαετία για τον προσδιορισμό των ευπρόσβλητων περιοχών των υπόγειων νερών είναι ο DRASTIC, οι παράγοντες εξασθένισης και επιβράδυνσης (AF, RF) και ο δείκτης έκπλυσης. Με τους δείκτες αυτούς μπορούν να παραχθούν χάρτες προσβλητικότητας των υπόγειων νερών που αποτελούν τη βάση για τη διαχείριση χρήσεων γης και εκμετάλλευσης των υδατικών πόρων ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι επέκτασης της υποβάθμισης των υπόγειων νερών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΩΝ**

#### **3.1 Γενικά**

Η απορρύπανση εδαφών αλλά και η προστασία τους από τη ρύπανση αποτελούν αντικείμενα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον από γεωτεχνική άποψη. Τα θέματα απορρύπανσης αφορούν την ανάληψη ενεργειών για την περιβαλλοντική αποκατάσταση εδαφών που έχουν ήδη ρυπανθεί, ενώ τα θέματα προστασίας αφορούν τη λήψη μέτρων για να αποφευχθεί η περαιτέρω επέκταση της ρύπανσης από περιοχές που έχουν ρυπανθεί προς άλλες περιοχές .

Ενδεικτικά αναφέρονται ορισμένες κατηγορίες θεμάτων απορρύπανσης και προστασίας εδαφών από την ρύπανση :

- > Καθαρισμός εδαφών που έχουν ρυπανθεί από την ανεξέλεγκτη ταφή χημικών αποβλήτων, όπως παραπροϊόντων της διύλισης πετρελαιοειδών (νάφθα, φαινόλες, χλωριωμένοι διαλύτες, κρεόζοτο, ΒΤΕΧ1 κλπ), τοξικών αποβλήτων (διοξίνη, τετραχλωράνθρακας, PCB2), γεωργικών φαρμάκων (π.χ. DDT, Aldrin, μαλάθειο, PCP3), βαρέων μετάλλων (υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο) κλπ.

- > Καθαρισμός εδαφών που έχουν ρυπανθεί από τυχαίες διαρροές υδρογονανθράκων (π.χ. σε διυλιστήρια πετρελαιοειδών, δεξαμενές καυσίμων βιομηχανιών αλλά και κατοικιών), τυχαίες διαρροές επικίνδυνων και τοξικών ουσιών από τους ταμιευτήρες αποθήκευσής τους ή σε ατυχήματα κατά τη μεταφορά τους κλπ.
  
- > Καθαρισμός εδαφών που έχουν ρυπανθεί από την απόθεση αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων σε παλαιότερες εποχές χωρίς να ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας έναντι διαρροής του υγρού στραγγίσματος στο υπέδαφος.
  
- > Προστασία από τη ρύπανση υδροφόρων που γειτνιάζουν με περιοχές που έχουν ρυπανθεί μέσω κάποιας από τις παραπάνω αιτίες.
  
- > Προστασία υδροφόρων από την υφαλμύρυνση (δηλαδή την αύξηση της περιεκτικότητας σε άλατα) λόγω υπερεκμετάλλευσης, ανάμειξης με το θαλάσσιο νερό, έντονης εξάτμισης, κλπ.

Οι λόγοι που συνήθως επιβάλλουν τη λήψη μέτρων απορρύπανσης και προστασίας εδαφών είναι:

- > Η διαπίστωση ότι ο βαθμός ρύπανσης είναι τέτοιος που προκαλεί σημαντικούς κινδύνους στη δημόσια υγεία ή γενικότερα "μη- αποδεκτή υποβάθμιση του περιβάλλοντος". Τα τελευταία χρόνια, τα μέγιστα όρια της αποδεκτής υποβάθμισης του περιβάλλοντος έχουν μειωθεί σημαντικά (κυρίως λόγω της ευαισθητοποίησης των κοινωνικών φορέων) με συνέπεια τη μεγάλη αύξηση των περιοχών στις οποίες υπάρχει ανάγκη απορρύπανσης ή/και προστασίας.

- > Η ανάγκη βελτίωσης της ποιότητας του περιβάλλοντος σε μια περιοχή, έστω και εάν ο βαθμός ρύπανσης δεν προκαλεί σημαντικά προβλήματα δημόσιας υγείας.
  
- > Η ανάγκη αύξησης της εμπορικής αξίας των ακινήτων σε μια περιοχή.
  
- > Η ανάγκη ανάπτυξης μιας περιοχής σε συνδυασμό με την έλλειψη "καθαρών" χώρων για τη δημιουργία βιομηχανιών, οικισμών κλπ. Στην κατηγορία αυτή υπάγονται και περιπτώσεις όπου διατίθενται μεν "καθαροί" χώροι για ανάπτυξη αλλά το κόστος τους υπερβαίνει το μικτό κόστος ανάπτυξης (αγορά συν απορρύπανση) άλλων χώρων στους οποίους επιβάλλεται απορρύπανση.

Η απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή μέθοδος περιβαλλοντικής αποκατάστασης είναι η λεγόμενη "μηδενική λύση", κατά την οποία δεν λαμβάνονται ειδικά μέτρα απορρύπανσης, αλλά η εξασθένηση του ρυπαντικού φορτίου 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 κλπ. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, παρουσία ουσιών που είναι τοξικές για τους μικρό-οργανισμούς κλπ) και συνεπώς η αποτελεσματική λειτουργία τους δεν είναι πάντοτε αξιόπιστη. Επιπλέον, η δράση των μηχανισμών φυσικής εξασθένησης είναι πολύ βραδεία. Για τους λόγους αυτούς, στις περισσότερες περιπτώσεις έντονης ρύπανσης δεν συνιστάται η εφαρμογή της "μηδενικής λύσης".

Μια *δεύτερη* μέθοδος αντιμετώπισης της ρύπανσης είναι η επιβολή περιορισμών στην πρόσβαση και χρήση της περιοχής που έχει ρυπανθεί μέσω περίφραξης, προειδοποιητικών πινακίδων κλπ. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνον ως προσωρινό μέτρο και δεν αποτελεί οριστική λύση του προβλήματος.

Μια τρίτη μέθοδος αντιμετώπισης είναι η αφαίρεση (με εκσκαφή) του εδάφους που έχει ρυπανθεί και η μεταφορά και απόρριψή του σε ελεγχόμενους αποδέκτες με σύγχρονα συστήματα προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης.

Αν και η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε ορισμένες περιπτώσεις (κυρίως σε περιπτώσεις εντοπισμένης ρύπανσης) παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα όπως:

α) Πιθανή διαφυγή ρύπων κατά την εκσκαφή και μεταφορά των εδαφικών υλικών προς τους χώρους απόρριψης (κυρίως με τη μορφή σκόνης και υγρού στραγγίσματος).

β) Νομικοί περιορισμοί ως προς τη δυνατότητα μεταφοράς επικίνδυνων φορτίων από ορισμένους δρόμους.

γ) Πολύ μεγάλο κόστος, ιδίως στις περιπτώσεις που οι ποσότητες των εδαφικών υλικών που πρέπει να αφαιρεθούν είναι μεγάλες.

δ) Δεν αποτελεί λύση του προβλήματος, αλλά απλή μεταφορά του σε άλλη θέση.

ε) Η έλλειψη κατάλληλων χώρων επαρκούς χωρητικότητας για την απόρριψη των ρυπανθέντων υλικών αλλά και το υψηλό κόστος κατασκευής των μέτρων προστασίας από την επέκταση της ρύπανσης στους χώρους αυτούς. Για τους ανωτέρω λόγους η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιείται παρά μόνον σε περιπτώσεις ρύπανσης με πολύ περιορισμένη έκταση. Εκτός από τις ανωτέρω μεθόδους υπάρχουν και οι λεγόμενες **μέθοδοι ενεργητικής απορρύπανσης** που περιλαμβάνουν είναι:

- Η βιολογική αποκατάσταση (bio-remediation) μέσω της αποδόμησης των οργανικών ρύπων, είτε επιτόπου είτε μετά από εκσκαφή και αναμόχλευση.

- Η έκπλυση του εδάφους με χημικές ουσίες (soil washing, chemical extraction, leaching).

- Η θερμική επεξεργασία είτε επιτόπου είτε μετά από μεταφορά σε ειδικούς κλιβάνους όπου επιβάλλεται απλή θέρμανση (heating), καύση (incineration) ή επεξεργασία με ατμό (steam stripping).

- Η απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης (vacuum extraction) ή απλού αερισμού (soil venting).

- Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat).

- Ο Αεροδιαχωρισμός (air stripping).

- Η Αεροδιασπορά (air sparging).

- Η μέθοδος άντλησης επιπλεόντων ρυπαντών.

- Η Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος.

- Η Χημική επεξεργασία . Χρησιμοποιείται νερό με πίεση που περιέχει απορρυπαντικά, οξέα ή βάσεις.

- Η Εφαρμογή αέρα υπο πίεση.

- Η Εκσκαφή του εδάφους.
- Η Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

### 3.2 Μέθοδος βιολογικής αποκατάστασης

Η μέθοδος της βιολογικής αποκατάστασης (bio-remediation) αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους απορρύπανσης των εδαφών και βασίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών και την τελική μετατροπή τους σε αβλαβείς ουσίες μέσω της δράσης μικρό-οργανισμών.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται επί αρκετές δεκαετίες κατά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων με συστήματα βιολογικής επεξεργασίας, ενώ η εφαρμογή της στην ελεγχόμενη αποδόμηση των οργανικών ρύπων του εδάφους και των υπόγειων υδάτων είναι πολύ πρόσφατη.

Κατά την τελευταία δεκαπενταετία, η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση εδαφών από πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (poly-aromatic hydrocarbons, PAH), πτητικές οργανικές ουσίες (όπως το γνωστό ΒΤΕΧ5) χλωριούχους οργανικούς ρύπους (όπως ο τετραχλωράνθρακας, οι πενταχλωροφαινόλες-PCP και τα επίσης γνωστά PCBs6) και άλλες οργανικές ενώσεις.

Η βιολογική αποδόμηση των οργανικών ενώσεων γίνεται μέσω της δράσης μικρό-οργανισμών (βακτηριδίων, μυκήτων, κλπ) οι οποίοι αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας τον άνθρακα ή/και την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τον μεταβολισμό (αποσύνθεση) των οργανικών ουσιών.

Οι μικρό - οργανισμοί αποσυνθέτουν τις οργανικές ενώσεις χρησιμοποιώντας ως καταλύτες κατάλληλα ένζυμα (πρωτεΐνες) τα οποία παράγουν οι ίδιοι. Το τελικό προϊόν της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών μέσω των μικρό-οργανισμών είναι ανόργανες ουσίες (διοξείδιο του άνθρακα και νερό) που συνήθως θεωρούνται λιγότερο επιβλαβείς από τις αρχικές ενώσεις, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ατελούς αποσύνθεσης παράγονται και άλλες απλές ενώσεις όπως μεθάνιο, υδροθείο, νιτρικά και θειικά άλατα.

Για να συντελεσθεί η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών μέσω μικρό-οργανισμών απαιτούνται οι εξής προϋποθέσεις:

1. Η παρουσία κατάλληλων μικρό-οργανισμών, δηλαδή μικρό-οργανισμών που παράγουν ένζυμα κατάλληλα για τον μεταβολισμό της συγκεκριμένης οργανικής ουσίας.
2. Η παρουσία οργανικών ουσιών οι οποίες με την αποσύνθεσή τους θα παράσχουν την απαιτούμενη ενέργεια στους μικρό-οργανισμούς για να αναπτυχθούν.
3. Η παρουσία θρεπτικών ουσιών (nutrients), όπως το άζωτο, ο φωσφόρος, το κάλιο, το θείο κλπ. που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των μικρό-οργανισμών.
4. Η παρουσία δεκτών ηλεκτρονίων (electron acceptors), δηλαδή ατόμων ή

ρίζων τα οποία δέχονται τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν κατά την οξείδωση των οργανικών ουσιών.

5. Η παρουσία κατάλληλων συνθηκών για την ανάπτυξη των μικρό-οργανισμών και συγκεκριμένα: κατάλληλη υγρασία, θερμοκρασία και pH και η απουσία ορισμένων χημικών ουσιών σε συγκεντρώσεις που είναι τοξικές για τους μικρό-οργανισμούς (και τους καταστρέφουν).

Συνεπώς, οι τεχνολογίες βιολογικής αποκατάστασης έχουν σκοπό να εξασφαλίσουν και να ενισχύσουν με ελεγχόμενο τρόπο τις ανωτέρω απαιτήσεις ώστε να συντελεσθεί η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών που αποτελούν το ρυπαντικό φορτίο του εδάφους ή του υπόγειου νερού.

Ως εκ τούτου είναι απαραίτητη αφενός μεν η κατανόηση της λειτουργίας των μηχανισμών βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών, αφετέρου δε η ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας ώστε με τεχνικές επεμβάσεις να διατηρούνται οι βέλτιστες συνθήκες δράσης των μικρό-οργανισμών.

### 3.2.1. Μικροοργανισμοί και οργανικές ενώσεις

Εφόσον πληρούνται οι προϋποθέσεις που περιγράφηκαν παραπάνω, αναπτύσσονται μικρό-οργανισμοί οι οποίοι μπορούν να διασπάσουν τις περισσότερες οργανικές ενώσεις που υπάρχουν στη φύση ή κατασκευάζονται από τον άνθρωπο. Η διάσπαση των οργανικών ουσιών από τους μικρό-οργανισμούς γίνεται με βάση τις εξής αρχές:

(α) Σε περίπτωση παρουσίας πολλών οργανικών ενώσεων, αρχικώς διασπώνται οι απλούστερες ενώσεις επειδή είναι ευχερέστερη η ανάπτυξη μικρό-οργανισμών που παράγουν ένζυμα για τη διάσπαση των απλών ενώσεων.

(β) Για τη διάσπαση των σύνθετων οργανικών ουσιών που κατασκευάζονται από τον άνθρωπο, απλώς απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ώστε αφενός μεν να διασπασθούν προηγουμένως οι απλούστερες ενώσεις, αφετέρου δε να συμβεί προσαρμογή (acclimation) των μικρό-οργανισμών, δηλαδή να παραγάγουν τα κατάλληλα ένζυμα που διασπούν τις πλέον σύνθετες ενώσεις.

(γ) Η αποσύνθεση των οργανικών ουσιών γίνεται σε διαδοχικές φάσεις με τη δράση διάφορων μικρό-οργανισμών. Έτσι, μια ομάδα μικρό-οργανισμών διασπά την αρχική οργανική ένωση σε κάποια απλούστερη, η οποία στη συνέχεια διασπάται εκ νέου από άλλους μικρό-οργανισμούς και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται έως ότου τελικώς παραχθούν πολύ απλές ενώσεις (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> κλπ).

Ο ρυθμός της βιολογικής διάσπασης των οργανικών ουσιών εξαρτάται από το είδος των βακτηριδίων που προκαλούν την αποδόμηση και τις συνθήκες του περιβάλλοντος (π.χ. θερμοκρασία, pH) που συχνά αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για την δράση των μικρό-οργανισμών. Αρκετές συνήθεις βιολογικές διασπάσεις ακολουθούν τον γνωστό εκθετικό νόμο των πυρηνικών διασπάσεων (κινητική πρώτης τάξεως - Monod kinetics), κατά τον οποίο ο ρυθμός της διάσπασης είναι ανάλογος του διαθέσιμου για διάσπαση αριθμού μορίων. Κατά τον νόμο αυτό, η συγκέντρωση ( $c$ ) της οργανικής ουσίας τη χρονική στιγμή ( $t$ ) είναι:

$$1) C = C_0 * e^{-Kt}$$

όπου ( $c_0$ ) είναι η αρχική συγκέντρωση (για  $t = 0$ ) και ( $k$ ) είναι η σταθερά της διάσπασης που δίνεται από τη σχέση:

$$2) k = t$$

### 1. Θρεπτικές ουσίες (nutrients)

Η ανάπτυξη των μικρό-οργανισμών απαιτεί την παρουσία θρεπτικών ουσιών (τροφών) οι οποίες αποτελούν συστατικά του κυττάρου των, όπως το άζωτο (N), ο φωσφόρος (P), το κάλιο (K) το θείο (S) και διάφορα ιχνοστοιχεία. Τα στοιχεία αυτά συνήθως υπάρχουν στα εδαφικά υλικά. Σε περίπτωση έλλειψης, θα πρέπει να προστίθενται κατάλληλες ουσίες ώστε να μη διακόπτεται η ανάπτυξη των μικρό-οργανισμών. Μια ικανοποιητική αναλογία άνθρακα : άζωτο : φωσφόρο (C/N/P) στο έδαφος για την ανάπτυξη μικρό-οργανισμών είναι 100:10:1. Σε περίπτωση έλλειψης (π.χ. αζώτου) θα πρέπει να προστίθενται κατάλληλα χημικά λιπάσματα (π.χ. θειική αμμωνία).

### 2. Δέκτες ηλεκτρονίων

Κατά τον βιολογικό μεταβολισμό, οι διασπώμενες οργανικές ενώσεις χάνουν ηλεκτρόνια τα οποία μεταφέρονται σε κάποιον δέκτη ηλεκτρονίων. Κατά την αερόβια διάσπαση, ο τελικός αποδέκτης των ηλεκτρονίων είναι το οξυγόνο. Έτσι, π.χ. η αερόβια αποσύνθεση (οξειδωση) του βενζολίου παρουσιάζεται από τη σχέση:  $C_6H_6 + 7.5 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 3 H_2O$  Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο (δηλαδή υπό αναερόβιες συνθήκες), η νιτρική ρίζα ιόντα σιδήρου ( $Fe^{+3}$ ), ιόντα μαγγανίου ( $Mn^{+2}$ ) και η θειική ρίζα ( $SO_4^{-2}$ ) μπορούν να δράσουν ως δέκτες ηλεκτρονίων, εάν βεβαίως στο σύστημα έχουν αναπτυχθεί μικρό-οργανισμοί που δύνανται να παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα. Όπως φαίνεται από την ανωτέρω χημική αντίδραση, η αερόβια οξείδωση των οργανικών ενώσεων αφαιρεί οξυγόνο από το σύστημα. Εάν το οξυγόνο δεν αναπληρωθεί (π.χ. με μηχανική ανάμειξη και αερισμό των υλικών, τεχνητή κυκλοφορία αέρα κλπ), τελικώς το σύστημα θα μετατραπεί σε αναερόβιο, θα αναπτυχθούν αναερόβιοι μικρό-οργανισμοί και η αποσύνθεση θα δώσει και μεθάνιο ( $CH_4$ ) αντί του διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ). Η αερόβια οξείδωση δίνει τα πλέον αβλαβή προϊόντα και συνεπώς είναι προτιμητέα. Έτσι, στα συστήματα απορρύπανσης μέσω της βιολογικής αποσύνθεσης θα πρέπει να γίνεται κατάλληλος μηχανικός αερισμός (με αναμόχλευση, ανάδευση κλπ), ώστε η συγκέντρωση του οξυγόνου να διατηρείται σε ικανοποιητικό επίπεδο.



### 3. Υγρασία

Η παρουσία υγρασίας είναι απαραίτητη για τη δράση των μικρό-οργανισμών. Το ιδανικό ποσοστό υγρασίας στο έδαφος είναι 15-30%. Εάν η υγρασία μειωθεί κάτω από το 15%, η δράση των μικρό-οργανισμών αναστέλλεται. Επίσης, αν η υγρασία αυξηθεί πάνω από το 30% (όπου ο βαθμός κορεσμού του εδάφους είναι σχεδόν 100%) δεν γίνεται ικανοποιητικός αερισμός του εδάφους και το διαθέσιμο οξυγόνο μειώνεται. Κατά συνέπεια, για τη βέλτιστη δράση των μικρό-οργανισμών, η υγρασία του εδάφους θα πρέπει να ρυθμίζεται στα ανωτέρω όρια.

Είναι προφανές από τα παραπάνω ότι δεν είναι ευχερής 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 (π.χ. εισπίαση αέρα μέσω γεωτρήσεων). Κατά συνέπεια, η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ρύπων στο υπόγειο νερό γίνεται συνήθως υπό αναερόβιες συνθήκες και καταλήγει στην παραγωγή μεθανίου, υδρόθειου (το οποίο δίνει άσχημη οσμή στο νερό), κλπ.

### 4. Θερμοκρασία

Ο ρυθμός ανάπτυξης και δράσης των μικρό-οργανισμών επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Σε χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω των 5-10° C) οι μικρόοργανισμοί αδρανοποιούνται (χωρίς όμως να καταστρέφονται), ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 60° C) οι μικρό-οργανισμοί καταστρέφονται.

### 5. pH

Οι βέλτιστες τιμές του pH για τη δράση των μικρό-οργανισμών είναι 5.5-8.5 (περί το ουδέτερο pH). Συνεπώς, η ρύθμιση του pH του εδάφους είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της βιολογικής αποσύνθεσης των οργανικών ρύπων.

## 6. Τοξικότητα

Ορισμένες χημικές ενώσεις σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικές για τους μικρό-οργανισμούς, δηλαδή τους καταστρέφουν. Παρά ταύτα, η αντίληψη που συνήθως υπάρχει ότι δηλαδή οι ουσίες που είναι επικίνδυνες ή τοξικές για τον άνθρωπο είναι τοξικές και για τους μικρό-οργανισμούς είναι εσφαλμένη.

Αντίθετα, πολλές επικίνδυνες ή τοξικές ουσίες (για τον άνθρωπο) διασπώνται από μικρό-οργανισμούς. Στην περίπτωση που πρόκειται να εφαρμοσθεί η μέθοδος της βιολογικής απορρύπανσης σε ένα συγκεκριμένα έδαφος, θα πρέπει να ελέγχεται η τοξικότητα των χημικών ουσιών που περιέχονται στο έδαφος για διάφορους τύπους μικρό-οργανισμών. Τούτο γίνεται με ειδικές δοκιμές (toxicity assays), κατά τις οποίες ένα πρότυπο σύστημα μικρο-οργανισμών εκτίθεται σε δείγμα του εδάφους και παρακολουθούνται οι πληθυσμοί των μικρο-οργανισμών για ενδείξεις τοξικότητας. Στις περιπτώσεις αυξημένης τοξικότητας μπορεί να γίνει ανάμειξη του εδάφους με άλλα "καθαρά" εδαφικά υλικά ή να γίνει έκπλυση του εδάφους, ώστε να μειωθούν οι συγκεντρώσεις των τοξικών για τους μικρο-οργανισμούς ουσιών.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η βιολογική απορρύπανση των εδαφών είναι μια πολύ αποτελεσματική μέθοδος για την εξουδετέρωση των οργανικών ρύπων. Βεβαίως, τονίζεται και πάλι ότι η δράση των μικρο-οργανισμών που διασπούν τους

οργανικούς ρύπους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων αναφέρθηκαν παραπάνω. Αν και η βιολογική αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων υπό αναερόβιες συνθήκες είναι δυνατή, θα πρέπει να προτιμάται η αερόβια αποσύνθεση επειδή καταλήγει σε περισσότερο αβλαβή προϊόντα (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα αντί μεθανίου).

Συνεπώς, ο καλός αερισμός του εδάφους (soil venting) με έντονη μηχανική αναμόχλευση ή με τεχνητή κυκλοφορία αέρα είναι απαραίτητος ώστε να δημιουργηθούν κατάλληλες συνθήκες για την ανάπτυξη αερόβιων βακτηριδίων. Η βιολογική απορρύπανση εδαφών έχει εφαρμοσθεί με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην αποσύνθεση πολύ-αρωματικών υδρογονανθράκων, πετρελαιοειδών και άλλων οργανικών ενώσεων. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική για την απορρύπανση εδαφών πάνω από τη στάθμη του υπόγειου ορίζοντα (δηλαδή στη μερικώς κορεσμένη ζώνη), επειδή στα κορεσμένα εδάφη δεν είναι ευχερής ο αερισμός και συνεπώς ευνοούνται συνθήκες αναερόβιας αποσύνθεσης που γενικώς δεν είναι επιθυμητή. Επίσης, η μέθοδος είναι αποτελεσματική σε σχετικά *χονδρόκοκκα* εδάφη επειδή και πάλι σε αυτά είναι ευχερής ο αερισμός (συνήθως χρησιμοποιείται σε εδάφη με διαπερατότητα  $k > 10^{-3}$  cm/sec).

#### **Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:**

- Η βιολογική απορρύπανση απαιτεί γενικώς μακροχρόνια επεξεργασία που μπορεί να φθάσει σε ορισμένες περιπτώσεις σταθερών ρύπων και τα 15-20 έτη. Επιπλέον, υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα ως προς τον απαιτούμενο χρόνο λόγω της εξάρτησης της δράσης των μικρο-οργανισμών από πολλούς παράγοντες.
- Όταν το έδαφος περιέχει πολλούς οργανικούς ρύπους, είναι πιθανόν οι πλέον τοξικοί για τον άνθρωπο να διασπώνται δυσκολότερα, και συνεπώς η απορρύπανση του εδάφους από τους ρύπους αυτούς να καθυστερήσει, λόγω ευχερέστερης διάσπασης των άλλων οργανικών ουσιών (οι οποίες όμως έχουν μικρότερο ενδιαφέρον από πλευράς ρυπαντικού φορτίου).
- Η μέθοδος είναι ευαίσθητη σε πολλούς παράγοντες (παρουσία δεκτών ηλεκτρονίων, θρεπτικών ουσιών, υγρασία, θερμοκρασία, pH κλπ), οι οποίοι θα πρέπει να ελέγχονται και να ρυθμίζονται διαρκώς ώστε να επιτυγχάνονται βέλτιστοι ρυθμοί δράσης των μικρο-οργανισμών και συνεπώς βέλτιστη απόδοση της βιολογικής αποδόμησης των ρύπων.
- Η μέθοδος είναι πρόσφορη για την αποδόμηση οργανικών κυρίως ρύπων, αν και ενίοτε χρησιμοποιείται και για την διάσπαση ανόργανων ουσιών (π.χ. την μετατροπή θειικών ριζών σε θειούχες με την επίδραση μικρο-οργανισμών).(36)

### 3.3 Μέθοδος της φυτοεξυγίανσης

Η εξυγίανση εδαφών και υπόγειων υδάτων, που έχουν ρυπανθεί με οργανικές και ανόργανες χημικές ουσίες πραγματοποιείται με διάφορες τεχνολογίες. Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες εξυγίανσης, παρουσιάζουν όμως σημαντικούς περιορισμούς, όπως το υψηλό κόστος λειτουργίας καθώς και η περιορισμένη αποτελεσματικότητα στην επεξεργασία μείγματος ρυπαντών, όπως συνήθως απαιτώνται στη φύση. Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης, παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, ως εναλλακτική μέθοδος εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών.

Η φυτοεξυγίανσης βασίζεται στη διαπίστωση ότι τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν και να διασπούν τοξικές οργανικές ουσίες, τόσο από το έδαφος όσο και από την ατμόσφαιρα και επομένως μπορούν, υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης.

Η υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (E.P.A.), κατατάσσει τη φυτοεξυγίανση στις λεγόμενες καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας (Innovative treatment technologies). Πρόκειται για τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων και άλλων μολυσματικών παραγόντων, χωρίς όμως να υπάρχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με το κόστος και την απόδοση που έχουν υπό διαφορετικές συνθήκες επεξεργασίας. Ο όρος Φυτοεξυγίανση, αναφέρεται σε κάθε σύστημα ή διαδικασία στην οποία χρησιμοποιούνται φυτά, για την *in situ* ή *ex situ* εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών, υλικών καθιζήσεως (sediments) και υδάτων (επιφανειακών ή υπόγειων), μέσω της απομάκρυνσης, διάσπασης και σταθεροποίησης των ρυπαντών.

Παρά το γεγονός ότι ο όρος Φυτοεξυγίανση είναι σχετικά πρόσφατος, η ιδέα της εφαρμογής της μεθόδου φαίνεται να είχε γίνει αντιληπτή πριν από αρκετούς αιώνες. Το πρώτο σύστημα επεξεργασίας αστικών λυμάτων βασιζόμενο στη χρήση φυτών, λειτούργησε στη Γερμανία στις αρχές του 17ου αιώνα. Από τότε μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί σημαντική ανάπτυξη στην εφαρμογή διαφόρων τεχνικών ακόμα και σε επίπεδο εμπορικής κλίμακας, για την δευτερογενή επεξεργασία αστικών υδατικών αποβλήτων, με τη χρήση φυτών.

Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση υδρόβιων και υδροχαρών φυτών για τη δημιουργία τεχνητών υγροβιότοπων (Constructed Wetlands), δεξαμενών σταθεροποίησης (Stabilization Ponds) και γενικότερα φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Οι ανωτέρω τεχνικές συνδυάζουν την οικονομική λειτουργία με την ικανοποιητική απόδοση στην απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (SS), και θρεπτικών στοιχείων (πχ. άζωτο, φώσφορος, υδράργυρος).

Τα τελευταία χρόνια η έννοια των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας έχει επεκταθεί πέρα από τη χρησιμοποίησή τους στην επεξεργασία υδατικών αποβλήτων. Τέτοιες προσπάθειες περιλαμβάνουν τη χρήση φυτών για την εξυγίανση αβαθών υδροφορέων και έχουν σαν στόχο την ρύπανση που προκαλούν κυρίως εντομοκτόνα και ανόργανα στοιχεία όπως άζωτο και φώσφορος. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά ως βιο-φίλτρα (Bio-filters) ή ριζο-φίλτρα (Rhizo-filters).

Σημαντική ερευνητική δραστηριότητα παρουσιάζει και η δυνατότητα εξυγίανσης της ατμόσφαιρας με τη χρήση φυτών. Τα φύλλα των φυτών καλύπτονται με κηρώδεις ουσίες, στόχος των οποίων είναι η υδατική οικονομία εντός του φυτικού

σώματος. Οι ουσίες αυτές ευνοούν την προσρόφηση λιποφιλικών πτητικών οργανικών ουσιών, όπως για παράδειγμα οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά συμβάλουν στον περιορισμό της συγκέντρωσης αυτών των ουσιών στην ατμόσφαιρα.

Η εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών, χωρίς τη μεσολάβηση της υδατικής βάσης, με τη χρήση φυτών δεν έχει επαρκώς μελετηθεί τόσο σε εργαστηριακά πειράματα όσο και σε πειράματα πεδίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους :

- 1) Εάν έχουν θεσπιστεί κρίσιμες συγκεντρώσεις τοξικότητας των διαφόρων ρυπαντών για το έδαφος από τους περιβαλλοντικούς οργανισμούς, σε αντίθεση με το νερό.
- 2) Εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζει το εδαφικό σύστημα και των εξαιρετικά δύσκολων αναλυτικών τεχνικών που απαιτούνται.

Η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης έχει αποδειχθεί, κυρίως μέσω εργαστηριακών πειραμάτων ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση τόσο οργανικών (Υδρογονάνθρακες πετρελαίου, διαλύτες, εντομοκτόνα), όσο και ανόργανων ρυπαντών (Βαρέα μέταλλα) .Τα περισσότερα από τα πειράματα πεδίου εξακολουθούν να βρίσκονται σε εξέλιξη, με αποτέλεσμα να μην είναι πλήρως τεκμηριωμένη η εφαρμογή της Φυτοεξυγίανσης σε πραγματικές συνθήκες.

Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα φάση η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης δεν εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα, οι ερευνητές θεωρούν ότι πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία εξυγίανσης με σημαντική δυναμική εξέλιξη.

Λόγοι που ευνοούν την εφαρμογή της Φυτοεξυγίανσης είναι μεταξύ άλλων:

- Η επέκταση της επιστημονικής γνώσης σχετικά με το μεταβολισμό επικίνδυνων ρυπαντών και ιδιαίτερα των οργανικών ενώσεων.
- Η εύρεση νέων φυτικών ειδών που έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε διάφορους ρυπαντές.
- Η χρησιμοποίηση της γενετικής μηχανικής στη δημιουργία νέων μεταβολικών δυνατοτήτων για τα είδη χρησιμοποιούμενα φυτά.

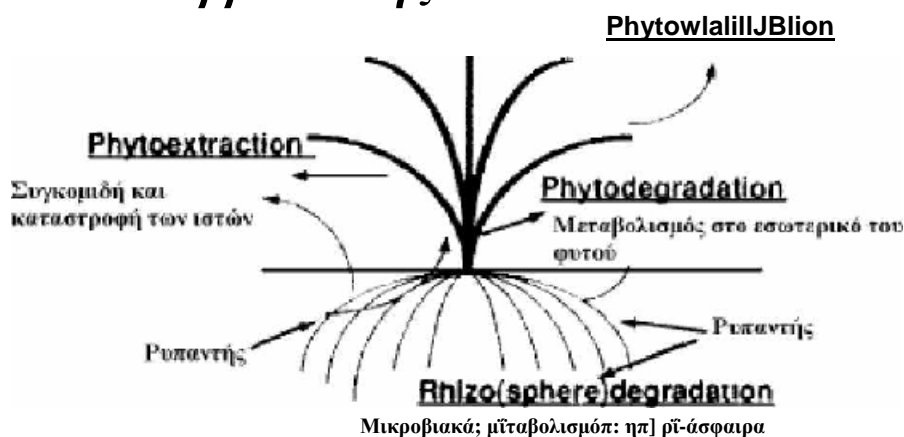
### 3.3.1 Τεχνικές της φυτοεξυγίανσης

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης γενικά μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Φυτοαπορρύπανση (Phytodecontamination)
- Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization)

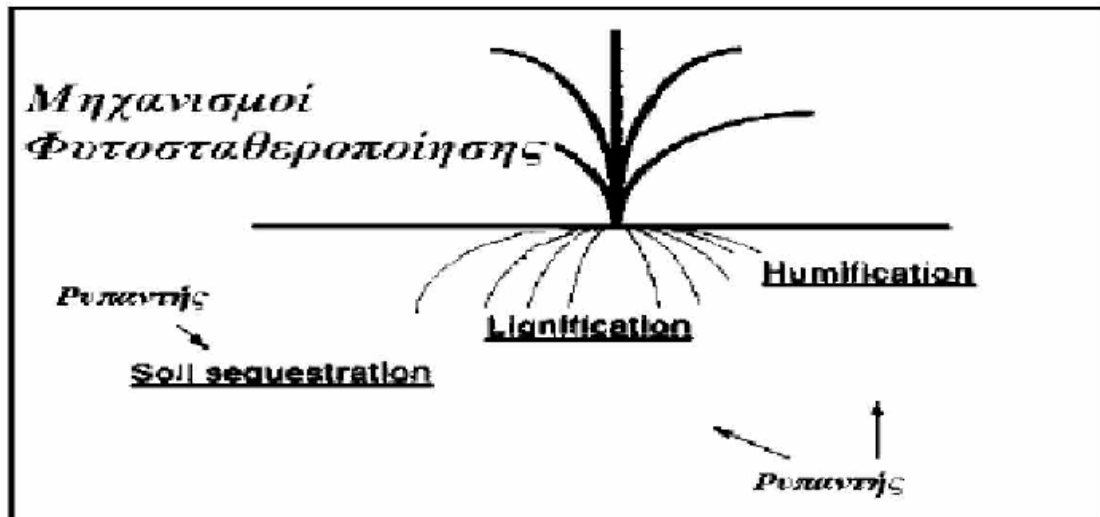
Η Φυτοαπορρύπανση, περιλαμβάνει μηχανισμούς, με τη βοήθεια των οποίων, η συγκέντρωση του ρυπαντή στο έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα μειώνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζονται οι μηχανισμοί που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν κατά τη διαδικασία της Φυτοαπορρύπανσης.

## Μηχανισμοί Φυτοαπορρύπανσης



**Σχήμα 3.1.** Μηχανισμοί που εμπλέκονται στην διαδικασία της φυτοαπορρύπανσης.

Η Φυτοσταθεροποίηση, ( Σχήμα 3.2), περιλαμβάνει μηχανισμούς οι οποίοι έχουν ως στόχο την αδρανοποίηση και απομόνωση του ρυπαντή ώστε να παρεμποδιστεί η μετανάστευση του (migration) από το έδαφος στο υπόγειο νερό ή στην ατμόσφαιρα. Η Φυτοσταθεροποίηση βασίζεται στην ικανότητα των φυτών να εκκρίνουν ουσίες , μέσω των ριζών τους, οι οποίες ευνοούν μηχανισμούς όπως η χουμοποίηση (humification) - δέσμευση του ρυπαντή στα χουμικά συστατικά του εδάφους, η λιγνιτοποίηση (lignification )-δέσμευση στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών και δέσμευση στα εδαφικά σωματίδια (soil sequestration).



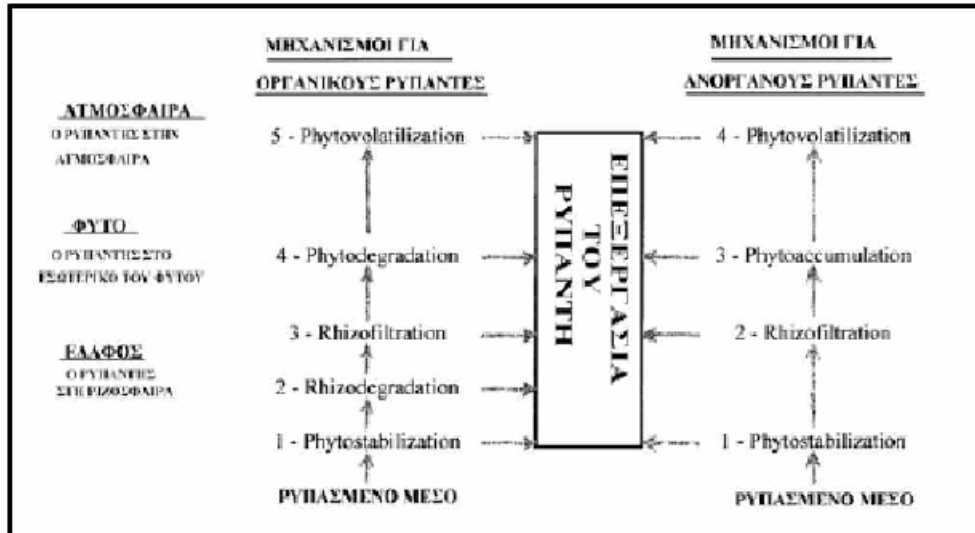
Σχήμα 3.2. Μηχανισμοί που εμπλέκονται στην διαδικασία της

Μια άλλη κατάταξη της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης πραγματοποιείται ανάλογα με τους ρυπαντές στόχους:

- § Φυτοεξυγίανσης Οργανικών ρυπαντών
- § Φυτοεξυγίανσης Ανόργανων ρυπαντών

Στο Σχήμα 3.3, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί εξυγίανσης για οργανικούς και ανόργανους ρυπαντές στο σύστημα έδαφος - φυτό - ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των Η.Π.Α, οι ορισμοί για τους διάφορους μηχανισμούς της Φυτοεξυγίανσης έχουν ως εξής :

## Φυτοεξαγωγή - Phytoextraction



Σχήμα 3.3. Μηχανισμοί εξυγίανσης στο σύστημα έδαφος- φυτό- ατμόσφαιρα.

Η φυτοεξαγωγή (φυτοσυσσώρευση – phytoaccumulation), αναφέρεται στην πρόσληψη μετάλλων και τη μεταφορά τους στα υπέργεια τμήματα του φυτού. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις ρυπασμένων εδαφών με βαρέα μέταλλα. Στηρίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών τα οποία έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στη βιομάζα τους, ως και 100 φορές περισσότερο σε σχέση με άλλα φυτά.

## Φυτοδιάσπαση -Phytodegradation

Η φυτοδιάσπαση (ή φυτομετασχηματισμός - phytotransformation), περιλαμβάνει διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στη διάσπαση / αποδόμηση του ρυπαντή. Η διάσπαση του ρυπαντή είναι δυνατόν να πραγματοποιείται είτε εντός του φυτού, μέσω μεταβολικών διεργασιών είτε εξωτερικά στην περιοχή της ρίζας μέσω της παραγωγής ενζύμων. Μετά την διάσπαση του ρυπαντή, πραγματοποιείται η ενσωμάτωση του στους φυτικούς ιστούς.

Σε μερικές περιπτώσεις τα τελικά προϊόντα της διάσπασης, ελευθερώνονται στο περιβάλλον, γεγονός που εξαρτάται από το είδος του φυτού και τον ρυπαντή (βλεπ. Φυτοεξαέρωση). Ο μηχανισμός της φυτοδιάσπασης χρησιμοποιείται σε ρυπασμένα εδάφη, επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Στην περίπτωση των υπόγειων υδάτων, θα πρέπει το ριζικό σύστημα του φυτού να βρίσκεται σε επαφή με τον υδροφορέα, διαφορετικά είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί άντληση και τοποθέτηση του νερού σε δεξαμενές στις οποίες υπάρχουν κατάλληλα φυτικά είδη.



### **Φυτοεξαέρωση –Phytovolatilization**

Κατά τη φυτοεξαέρωση, μέταλλα και οργανικές ουσίες, οι οποίες προσλαμβάνονται από τα φυτά, μετατρέπονται σε πτητικές μορφές και ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Μέσω αυτού του μηχανισμού επιτυγχάνεται η εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων χωρίς να είναι απαραίτητη η συγκομιδή του φυτικού υλικού.

### **Ριζοδιάσπαση – Rhizodegradation**

Η ριζοδιάσπαση (ή φυτοδιέγερση-phytostimulation, ή βιοεξυγίανση μέσω της ριζόσφαιρας- rhizosphere biodegradation), αναφέρεται στην διάσπαση οργανικών ρυπαντών στο έδαφος, μέσω μικροβιακών πληθυσμών που αναπτύσσονται στην περιοχή του ριζικού συστήματος (ριζόσφαιρα). Οι μικροοργανισμοί (μύκητες, βακτήρια), διασπούν ή μετασχηματίζουν οργανικές ουσίες και τις χρησιμοποιούν ως θρεπτικό υπόστρωμα για την ανάπτυξη τους. Η παρουσία των φυτών ευνοεί τη διαδικασία της εξυγίανσης δεδομένου ότι μέσω των ριζών εκκρίνονται ουσίες και μεταφέρεται οξυγόνο και νερό, στοιχεία απαραίτητα για τη μικροβιακή ανάπτυξη.

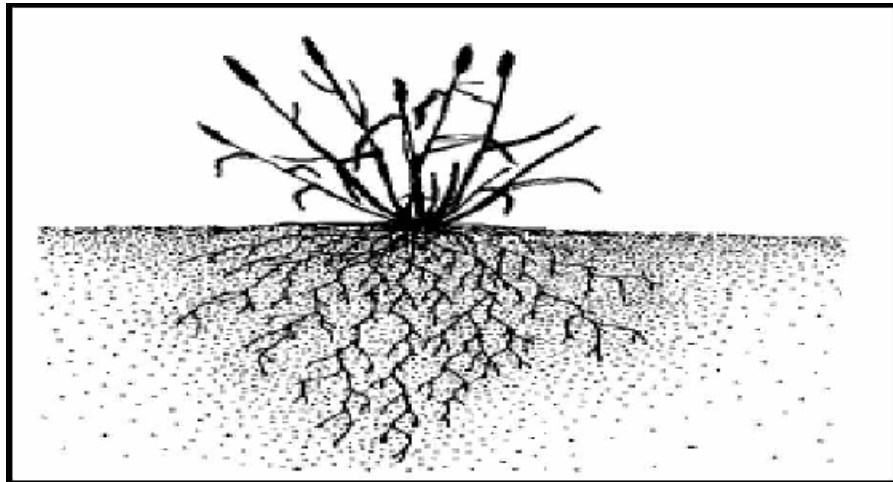
### **Ριζοδιήθηση – Rhizofiltration**

Η ριζοδιήθηση περιλαμβάνει τη ρόφηση στις φυτικές ρίζες ρυπαντών οι οποίοι βρίσκονται σε υδατικά διαλύματα. Τα φυτά αναπτύσσονται σε θερμοκήπια με τη μέθοδο της υδροπονίας, δηλαδή οι ρίζες τους βρίσκονται εντός υδατικού διαλύματος αντί του εδάφους.

### **3.3.2 Στοιχεία φυσιολογίας των φυτών για την τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης**

#### **Ο ρόλος της ριζόσφαιρας**

Η ριζόσφαιρα (Σχήμα 3.4), αποτελεί την περιοχή γύρω από το ριζικό σύστημα των φυτών, στην οποία παρατηρείται έντονη μικροβιακή δραστηριότητα. Εκτός από τους μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες), στην περιοχή της ριζόσφαιρας υπάρχουν πρωτόζωα, νηματώδεις, και έντομα τα οποία συμβάλουν μέσω της μεταβολικής τους δραστηριότητας στις διαδικασίες αποδόμησης που συντελούνται στα οικοσυστήματα.



**Σχήμα 3.4.** Η ριζόσφαιρα των φυτών αποτελεί περιοχή έντονης μικροβιακής δραστηριότητας

Γενικά, η ανάπτυξη των μικροοργανισμών στη περιοχή της ριζόσφαιρας οφείλεται στο γεγονός ότι οι φυτικές ρίζες εκκρίνουν διάφορες ουσίες στο έδαφος. Μεταξύ των ουσιών αυτών συγκαταλέγονται σάκχαρα, αμινοξέα, οργανικά οξέα, τα οποία χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς για την ανάπτυξη τους. Επίσης, εφήμερα κύτταρα των ριζών, όπως ριζικά τριχίδια ή συνεχώς αποβαλλόμενα κύτταρα από την αυξανόμενη ρίζα, αποτελούν υποστρώματα για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Ο μικροβιακός πληθυσμός της ριζόσφαιρας διαφέρει από τον αντίστοιχο πληθυσμό που αναπτύσσεται μακριά από αυτήν. Οι διαφορές είναι τόσο ποιοτικές (είδος μικροοργανισμού), όσο και ποσοτικές (πυκνότητα του πληθυσμού). Έχει βρεθεί ότι η πυκνότητα και η ποιοτική σύνθεση του μικροβιακού πληθυσμού της ριζόσφαιρας ποικίλει ανάλογα με το είδος του φυτού και τις εδαφικές συνθήκες.

Η πυκνότητα του μικροβιακού πληθυσμού στη ριζόσφαιρα εκφράζεται με το λόγο των μικροοργανισμών ανά γραμμάριο εδάφους της ριζόσφαιρας, (R), προς τον αντίστοιχο αριθμό ανά γραμμάριο εδάφους μακριά από τις ρίζες (S). Ο λόγος αυτός που αναφέρεται ως R/S (Rhizosphere/Soil), έχει τιμές που κυμαίνονται μεταξύ 10 -70 αλλά έχουν παρατηρηθεί και τιμές γύρω στα 150 - 200. Η αυξημένη μικροβιακή δραστηριότητα στην ριζόσφαιρα είναι ευνοϊκή, στις περισσότερες περιπτώσεις, για την ανόργανη θρέψη του φυτού καθώς και στην προστασία από παρασιτικές ασθένειες, λόγω έντονων ανταγωνιστικών σχέσεων μεταξύ των μικροοργανισμών.

#### **Διάσπαση ξενοβιοτικών ουσιών στη ριζόσφαιρα των φυτών.**

Η χρησιμοποίηση του συστήματος φυτού - μικροοργανισμών της ριζόσφαιρας στην τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης, παρουσιάζει έντονο πρακτικό και ερευνητικό ενδιαφέρον, για την *in situ* επεξεργασία ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων.

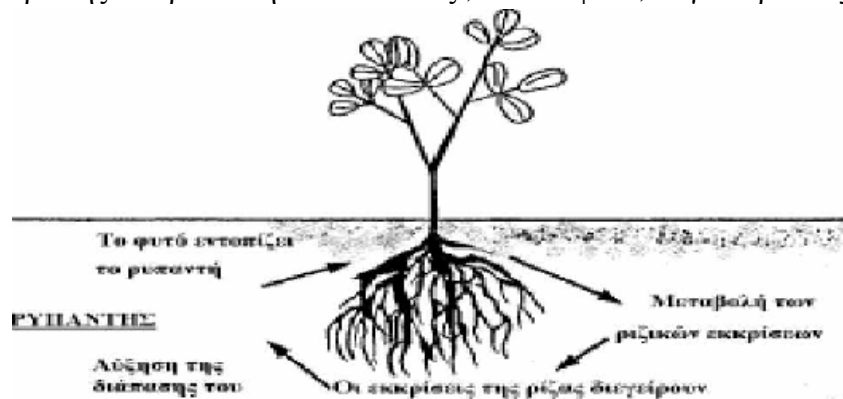
Από τις αρχές της δεκαετίας του '70, διάφορες αναφορές παρουσιάζουν την ικανότητα που έχουν τα φυτά να εντείνουν τη διάσπαση οργανικών ουσιών στην περιοχή της ριζόσφαιρας (23). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια, στην περιοχή της ριζόσφαιρας.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Achiramobacter	Υβρογονάνθρακας, { BTXE )
Acineiohacler	Υβρατλνάνβραιοβς
Akaliienes	A ρομιά Lcοι ΥδρογονκίνθρίκΓς
Azrrtobacter	
Nitrosiinonaj	A ρομιά Lrroi υ(τρογ>μάνθρ*Γ ιπς
Nocardia	A ρομιά Lrroi υ(τρογ>κίνθρ<κλ:ς
Pseudnmorias	Υβρογονάνβρίϊϊοβς
Xarithnhacter	Αλιφατικός ιΑτίετΑίς

**Πίνακας 1.** Οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια στη περιοχή της ριζόσφαιρας.

Οι γνώσεις μας για τους μηχανισμούς με τους οποίους τα φυτά εντείνουν τη δράση των μικροοργανισμών της ριζόσφαιρας για τη διάσπαση ξενοβιοτικών ουσιών, είναι πολύ περιορισμένες. Στο (Σχήμα 3.5) παρουσιάζεται υποθετικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ο μικροβιακός πληθυσμός της ριζόσφαιρας επηρεάζεται από το φυτό. Σύμφωνα με το μηχανισμό, αυτό, η ξενοβιοτική ουσία στο έδαφος εντοπίζεται από το φυτό το οποίο αντιδρά μεταβάλλοντας την ποσότητα και την ποιότητα των εκκρίσεων μέσω του ριζικού συστήματος. Αυτή η τροποποίηση του εδαφικού περιβάλλοντος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των μικροβιακών κυττάρων και μάλιστα εκείνου του είδους το οποίο έχει την ικανότητα να διασπά τον ρυπαντή. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την μείωση της συγκέντρωσης του ρυπαντή σε αποδεκτές , από το φυτό, συγκεντρώσεις.



**Σχήμα 3.5** Υποθετικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο, η παρουσία του φυτού επηρεάζει την μικροβιακή δραστηριότητα.

### Τα φυτά ως υπερσυσσωρευτές βαρέων μετάλλων

Η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης ανόργανων ρυπαντών εστιάζεται κυρίως στην επεξεργασία βαρέων μετάλλων και ραδιονουκλιδίων. Η Φυτοεξυγίανσης βαρέων μετάλλων στηρίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών τα οποία έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στη βιομάζα τους ως και 100 φορές περισσότερο σε σχέση με άλλα φυτά (24). Τα φυτά αυτά ονομάζονται υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators). Στον (πίνακα 2) παρουσιάζεται ο αριθμός των γνωστών μέχρι σήμερα υπερσυσσωρευτών για 8 βαρέα μέταλλα καθώς και η φυτικές οικογένειες στις οποίες ανήκουν.

Β(ή>εα μέταλλα	No.	Οικογένεια
Κάδμιο (Cd)	1	Brassicaceae
Κοβάλτιο (Co)	∶1	Latin aceat. Seroph ulanaceae
Χαλκός(Cu)	∶1	Cyι^raceae, Lamniaceae, Poaceae, Scriphulariaceae
Μαγγάνιο (Mn)	1	Apocynaceaa, Cunomaceae, Prateactae
Νικέλιο (Ni)	290	Brassicaceae, Violaceae, ruitioniaceae, Proleaceae
T, ' / . γ - ni t!	"	Fabaceae
θάλλιο(Τl)	1	

Η έρευνα σχετικά με την επεξεργασία ραδιενεργών ουσιών παρουσιάζει ενθαρρυντικά αποτελέσματα παρά το γεγονός ότι δεν έχουν αναφερθεί φυτά τα οποία έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις ραδιονουκλεοτιδίων στη βιομάζα τους. Ιδιαίτερη προσοχή έχει δοθεί στην επεξεργασία ραδιενεργού <sup>137</sup>Cs και <sup>90</sup>Sr τα οποία παρουσιάζουν παρόμοια ατομική δομή με το K και το Ca αντίστοιχα, στοιχεία τα οποία προσλαμβάνονται σε μεγάλες ποσότητες από τα φυτά. Σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με το φυτό *Helianthus annuus* διαπιστώθηκε ότι η παρουσία του φυτού μείωσε σημαντικά τη συγκέντρωση ραδιενεργού ουρανίου σε υδατικό διάλυμα.

### 3.3.3 Σχεδιασμός συστημάτων φυτοεξυγίανσης

Ο σχεδιασμός των συστημάτων της Φυτοεξυγίανσης ποικίλει ανάλογα με το είδος του ρυπαντή και το επιθυμητό επίπεδο μείωσης της συγκέντρωσης του, τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και από τα φυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Για την εφαρμογή της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης αποτελεί κοινή πρακτική η πραγματοποίηση προκαταρκτικών εργαστηριακών ερευνών. Στόχος των ερευνών αυτών είναι να αποφασιστεί ή όχι η χρήση των βιολογικών διαδικασιών της Φυτοεξυγίανσης απατώντας σε ερωτήσεις σχετικά με την βιοαποικοδόμηση των ρυπαντών, το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας τους στο έδαφος και το υπόγειο νερό και τέλος τον καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών. Γενικά, οι παράμετροι σχεδιασμού διαφέρουν ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται. Παρ' όλα αυτά είναι δυνατόν να προσδιοριστούν ορισμένοι παράμετροι σχεδιασμού, οι οποίοι είναι κοινοί σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν:

### **1. Προσδιορισμό του επιπέδου της ρύπανσης**

Κατά το σχεδιασμό του συστήματος Φυτοεξυγίανσης, πρέπει να προσδιοριστεί το είδος και η συγκέντρωση των ρυπαντών καθώς και το βάθος στο οποίο εκτείνεται η ρύπανση. Στην περίπτωση οργανικών ρυπαντών θα πρέπει να υπάρχουν στοιχεία για τη δομή τους, τη λιποφιλικότητα τους (log KOW) καθώς και για τις ιδιότητες προσρόφησης τους.

### **2. Επιλογή του φυτικού υλικού**

Τα φυτά τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επιλέγονται με βάση τον επιθυμητό μηχανισμό Φυτοεξυγίανσης και το είδος του ρυπαντή. Στην περίπτωση του φυτο-μετασχηματισμού οργανικών ρυπαντών και της φυτοεξαγωγής βαρέων μετάλλων τα φυτά πρέπει να παρουσιάζουν γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης, υψηλούς ρυθμούς εξατμισοδιαπνοής αρκετά βαθύ ριζικό σύστημα για την περίπτωση υπογείων υδάτων και να μετατρέπουν το ρυπαντή σε μη τοξικά παράγωγα.

### **3. Έλεγχος της δυνατότητας χρησιμοποίησης των επιλεγμένων φυτών**

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται έλεγχος της τοξικότητας των ρυπαντών καθώς και προϊόντων που προκύπτουν από την εφαρμογή της Φυτοεξυγίανσης. Σε εργαστηριακά πειράματα εφαρμόζονται διαφορετικές συγκεντρώσεις του ρυπαντή στα προτεινόμενα φυτικά είδη και μελετώνται τα παραγόμενα προϊόντα του μεταβολισμού.

### **4. Συντήρηση του συστήματος της Φυτοεξυγίανσης**

Η συντήρηση του συστήματος της Φυτοεξυγίανσης περιλαμβάνει την άρδευση των φυτών, προσθήκη κατάλληλων λιπασμάτων για τη γρήγορη ανάπτυξη τους και σε ορισμένες περιπτώσεις την αντιμετώπιση βιολογικών εχθρών των φυτών.

### **5. Συγκομιδή του φυτικού υλικού**

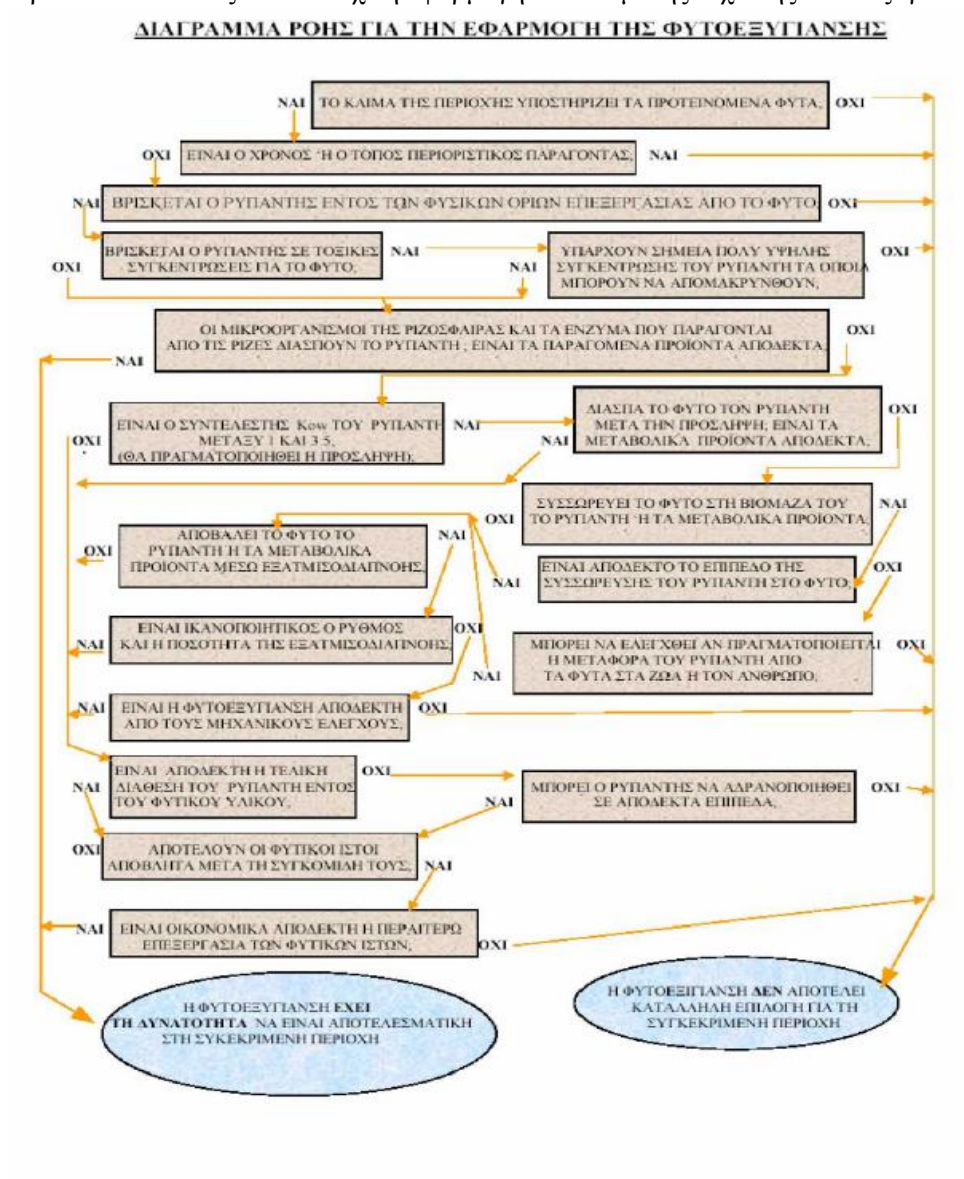
Όταν τα φυτά συσσωρεύσουν τον ρυπαντή πρέπει να πραγματοποιηθεί η συγκομιδή και η απομάκρυνση τους από την περιοχή. Η περαιτέρω επεξεργασία του φυτικού υλικού εξαρτάται από τη φύση των παραγόμενων προϊόντων μεταβολισμού καθώς και από την συγκέντρωσή τους στα φυτικά κύτταρα. Στην περίπτωση οργανικών ρυπαντών που διασπώνται σε μη τοξικές ουσίες δεν είναι απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία του φυτικού υλικού. Στην περίπτωση που πραγματοποιείται σημαντική συσσώρευση στην περιοχή της ρίζας, τότε είναι απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία των φυτικών ιστών. Η πιο συνηθισμένη διαδικασία επεξεργασίας του φυτικού υλικού είναι η ελεγχόμενη καύση (controlled incineration). Άλλες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η κομποστοποίηση (composting) καθώς και διάθεση σε χωματερές.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

### Διαγράμματα ελέγχου για την εφαρμογή της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης

Παρακάτω παρουσιάζεται διάγραμμα ροής για την εφαρμογή της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης σε ρυπασμένα εδάφη και υπόγεια νερά. Από το διάγραμμα αυτό γίνεται αντιληπτό, ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης πραγματοποιείται υπό προϋποθέσεις, οι οποίες καθορίζονται με τη βοήθεια εργαστηριακών και πιλοτικών πειραμάτων στη ρυπασμένη περιοχή. Το κόστος των ερευνών αυτών σε χρόνο και σε χρήμα εμπεριέχονται στο ολικό κόστος της τεχνολογίας της Φυτοεξυγίανσης. Σίγουρα όμως είναι μικρότερο από το κόστος που θα είχε η εφαρμογή λανθασμένης τεχνικής Φυτοεξυγίανσης.

#### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΦΥΤΟΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ



Διάγραμμα ροής για την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης

### 3.3.4 Συμπέρασμα - Αξιολόγηση της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης

Η Φυτοεξυγίανση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία συνδυάζει το χαμηλό κόστος οργάνωσης και λειτουργίας με τη δυνατότητα επεξεργασίας των ρυπαντών. Όσον αφορά το κόστος της Φυτοεξυγίανσης είναι πολύ λίγες οι δημοσιευμένες μελέτες, από πανεπιστημιακά ιδρύματα ή κυβερνητικούς οργανισμούς, οι οποίες πραγματοποιούν συγκρίσεις με συμβατικές φυσικοχημικές διεργασίες επεξεργασίας. Τα περισσότερα στοιχεία είναι διαθέσιμα από ιδιωτικές εταιρείες.

Η Φυτοεξυγίανσης για παράδειγμα, ρυπασμένων εδαφών με οργανικές ουσίες παρουσιάζει κόστος της τάξεως των 100 - 200 \$ ανά κυβικό μέτρο εδάφους ενώ για τις συμβατικές τεχνολογίες ( κυρίως καύση και απόθεση σε χωματερές ) το αντίστοιχο κόστος κυμαίνεται από (350 - 1000\$ ανά κυβικό μέτρο). Αντίστοιχες διαφορές παρουσιάζονται και στην περίπτωση της εξυγίανσης ρυπασμένων υδροφορέων με οργανικές ουσίες. Συμβατικές τεχνολογίες όπως η άντληση και επεξεργασία (pump and treat), η εφαρμογή φραγμάτων σιδήρου (iron reactive barrier) , παρουσιάζουν κόστος της τάξεως των 10 - 15\$ ανά 1000 γαλόνια επεξεργασμένου νερού, ενώ το αντίστοιχο κόστος της Φυτοεξυγίανσης κυμαίνεται από 1 - 3\$ ανά 1000 γαλόνια.

Σημαντική είναι η συμβολή της Φυτοεξυγίανσης και στην επεξεργασία βαρέων μετάλλων, όπου τα στοιχεία τα οποία υπάρχουν είναι πολύ ενθαρρυντικά. Η αδυναμία ακριβούς καθορισμού του κόστους της Φυτοεξυγίανσης αντικατοπτρίζει τη μοναδική περίπτωση που αποτελεί η κάθε ρυπασμένη περιοχή, με βάση τις φυσικοχημικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν.

**Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της Φυτοεξυγίανσης** είναι ότι έχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνει την επεξεργασία των ρυπαντών σε απλούστερες και λιγότερο τοξικές ενώσεις. Οι περισσότερες από τις συμβατικές τεχνολογίες, όπως προσρόφιση σε ενεργό άνθρακα, απόθεση σε χωματερές, καθίζηση, απλά μεταφέρουν τους ρυπαντές σε άλλη περιοχή ή άλλη φάση. Αλλά πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα in situ επεξεργασίας χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντικές διαταραχές με αποτέλεσμα να μην παρεμποδίζει τη λειτουργία εμπορικών ή βιομηχανικών δραστηριοτήτων, η αποδοχή της από την κοινή γνώμη και η δυνατότητα ανάκτησης των συσσωρευόμενων στη φυτική βιομάζα, βαρέων μετάλλων, διαδικασία γνωστή ως Phytomining.

**Στα μειονεκτήματα της Φυτοεξυγίανσης** συγκαταλέγονται η δυσκολία πρόβλεψης της απόδοσης της, η εφαρμογή της σε σχετικά περιορισμένο βάθος ρύπανσης, η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση της, η εξάρτηση της από τις φυσικοχημικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και τέλος η αρκετά συχνά μη επιτυχής μετάβαση από τις εργαστηριακές έρευνες στις επικρατούσες συνθήκες στην περιοχή της ρύπανσης.

### 3.4 Η μέθοδος άντλησης και απορρύπανσης διαλυμένων ρυπαντών (pump and treat).

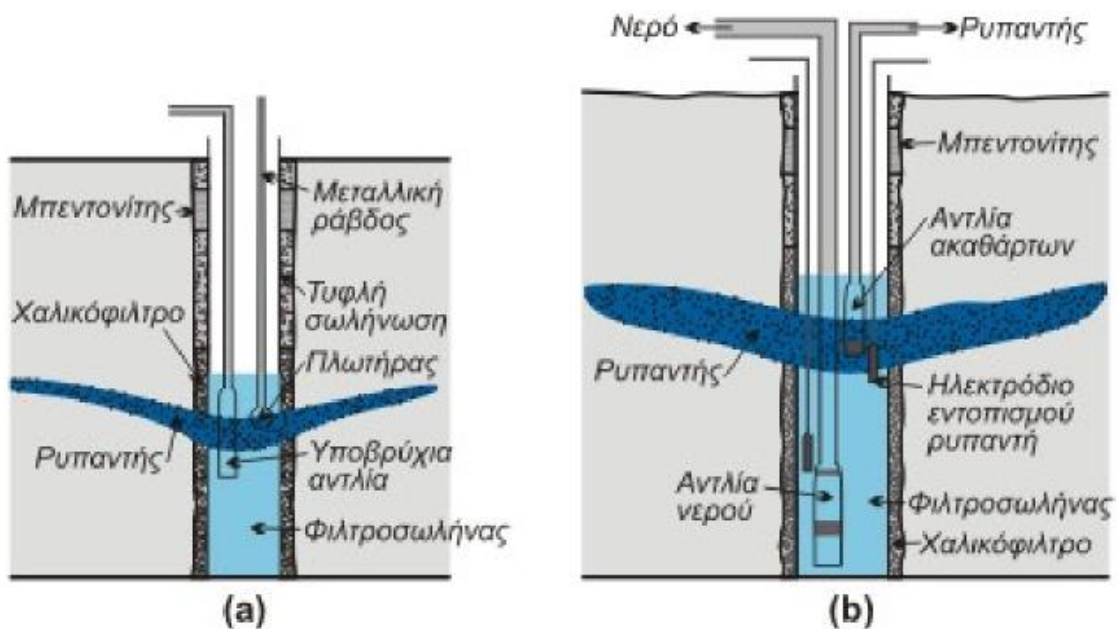
Κατά την εφαρμογή της μεθόδου στην περίπτωση διαλυμένων ρυπαντών που αναμειγνύονται με το υπόγειο νερό, γίνεται άντληση του υπόγειου νερού με σύστημα γεωτρήσεων και στη συνέχεια οδηγείται σε μονάδα επεξεργασίας. Μετά την επεξεργασία είναι

δυνατή η επανεισαγωγή του επεξεργασμένου νερού στον υδροφόρο, ή η διάθεση στο έδαφος, ή τέλος η διοχέτευσή του σε γειτονικό υδρόρευμα.

Η βέλτιστη απόσταση των γεωτρήσεων απορρύπανσης είναι συνάρτηση της ταχύτητας ροής του υπόγειου νερού, του πάχους του υδροφόρου, της μεταβιβαστικότητας, του συνολικού αριθμού γεωτρήσεων και της παροχής άντλησης καθεμιάς εξ' αυτών.

Ο συνδυασμός γεωτρήσεων άντλησης-έκχυσης (εμπλουτισμού) δίνει καλύτερα αποτελέσματα, ιδιαίτερα όταν διατάσσονται κατάλληλα (Σχ. 3.6). Η πλέον αποτελεσματική διάταξη είναι αυτή στην οποία υπάρχουν δύο γεωτρήσεις άντλησης και μία γεώτρηση έκχυσης στο μέσο των δύο πρώτων, όλες σε ευθεία γραμμή (κεντροαξονική διάταξη).

Η επεξεργασία του αντλούμενου ρυπασμένου νερού μπορεί να γίνει με προσφόρηση από ενεργό άνθρακα.

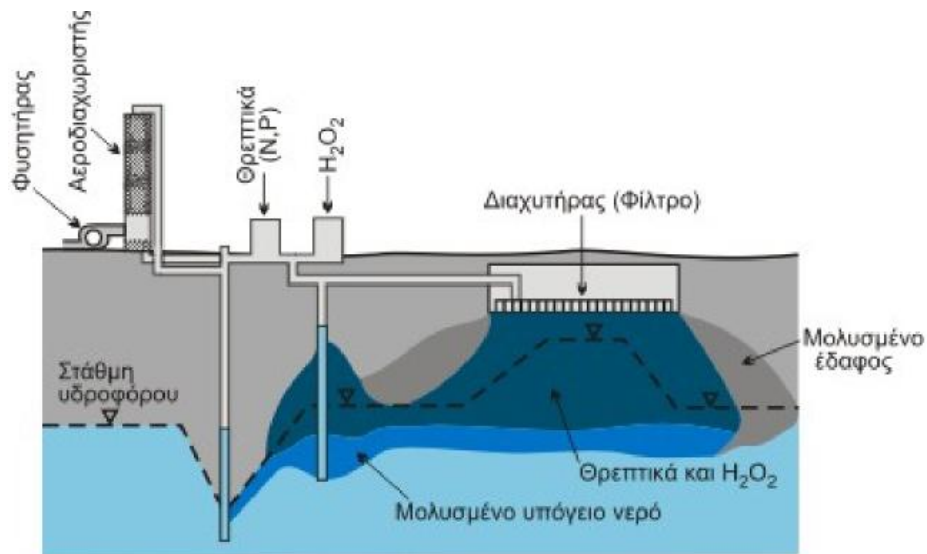


**Σχήμα 3.6 :** Συστήματα “άντλησης-επεξεργασίας” για την ανάκτηση NAPL: (a) Απλή γεώτρηση, μία αντλία, (b) απλή γεώτρηση, ζεύγος αντλιών



### 3.5. Αεροδιαχωρισμός (air stripping)

Η μέθοδος εφαρμόζεται κύρια για την απορρύπανση από επιπλέοντες πτητικούς ρυπαντές (βενζίνη, πτητικοί υδρογονάνθρακες κ.λπ.). Στον αεροδιαχωριστή προκαλείται εξάτμιση των πτητικών ουσιών σύμφωνα με τον νόμο Henry, λόγω διαβίβασης αέρα από φυσητήρα (Σχ. 3.7). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεταφορά της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα.



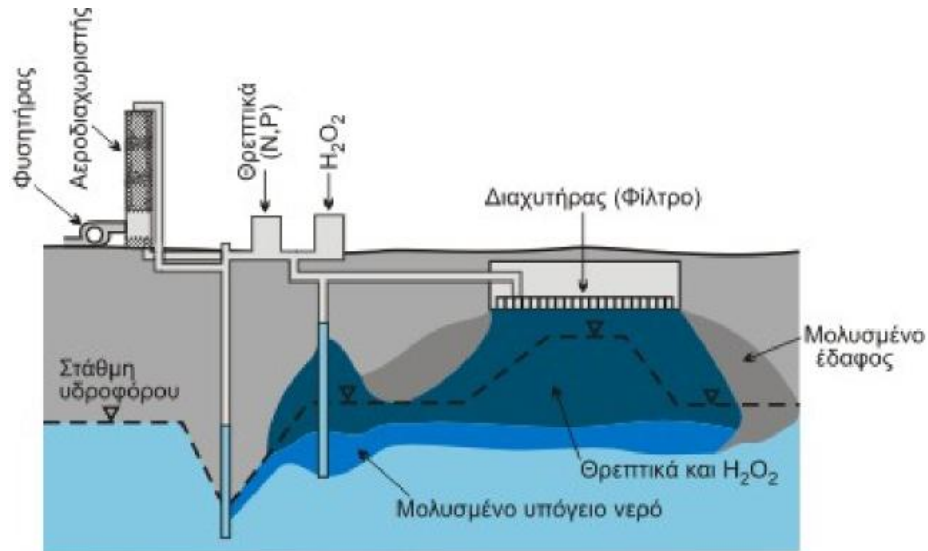
Σχήμα 3.7: Μέθοδος βιοαποκατάστασης με αεροδιαχωρισμό

### 3.6. Αεροδιασπορά (air sparging)

Κατά την αεροδιασπορά ο ρυπαντής εξαερώνεται μετά από διαβίβαση αέρα από αεροσυμπιεστή. Η διαβίβαση αέρα γίνεται μέσα από κατακόρυφο σωλήνα στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη. Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ταυτόχρονη απορρύπανση κορεσμένης και ακόρεστης ζώνης.

### 3.7. Μέθοδος άντλησης επιπλέοντων ρυπαντών.

Η απορρύπανση από επιπλέοντες ρυπαντές γίνεται με το σύστημα της διπλής άντλησης του επιπλέοντος ρυπαντή (dual pump free product recovery). Αρχικά γίνεται άντληση υπόγειου νερού, οπότε διαμορφώνεται ένας κώνος κατάπτωσης. Ο ρυπαντής λόγω υδραυλικής κλίσης κινείται προς τη γεώτρηση, απ' όπου γίνεται άντλησή του με δεύτερη αντλία.



(Σχ. 3.8). Η πτώση της στάθμης πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε να μη ρυπανθεί ο υδροφόρος σε όλο το πάχος του.

### 3.8. Αφαίρεση βαρέων μετάλλων με εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος.

Τα βαρέα μέταλλα απομακρύνονται κυρίως με την προσρόφηση των ιόντων τους στην επιφάνεια των αργιλικών ορυκτών (φυσική απορρύπανση). Επιπλέον για την αφαίρεση βαρέων μετάλλων εφαρμόζεται τάση μέσω ηλεκτροδίων και τα ιόντα των μετάλλων οδεύουν και συλλέγονται στην άνοδο.

### 3.9. Εφαρμογή υπο πίεση αέρα. (Vacuum extraction).

Αέρας υπό πίεση διοχετεύεται σε σύστημα γεωτρήσεων εντός της μερικά κορεσμένης ζώνης και εφαρμόζεται αναρρόφηση (υποπίεση), ώστε να εξατμισθούν οι πτητικοί υδρογονάνθρακες. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε εδάφη με αδρομερή υλικά (χάλικες), επειδή στα λεπτόκοκκα εδάφη η εφαρμογή υποπίεσης είναι δύσκολο να επιτευχθεί σε μεγάλη ακτίνα γύρω από τη γεώτρηση. Η εφαρμογή υποπίεσης δεν μπορεί να γίνει κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται μόνο η επιφάνεια του υδροφόρου. Για το λόγο αυτό η μέθοδος εφαρμόζεται για την απορρύπανση από επιπλέοντες πτητικούς ρυπαντές.

Πλεονέκτημα είναι η ταυτόχρονη απορρύπανση τόσο της μερικά κορεσμένης ζώνης, όσο και των επιπλέοντων ρυπαντών. Απαιτείται απομόνωση της μερικά κορεσμένης ζώνης από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε να είναι αποδοτική η εφαρμογή της αναρρόφησης, κάτι που γίνεται με την κάλυψη του εδάφους με συνθετική μεμβράνη.

### **3.10. Εκσκαφή του εδάφους.**

Το ρυπασμένο έδαφος αφαιρείται και μεταφέρεται σε άλλη περιοχή για απόθεση ή ενταφιασμό μετά από επεξεργασία. Η επεξεργασία του ρυπασμένου εδάφους μπορεί να γίνει και επιτόπου και περιλαμβάνει αερισμό, βιοαπορρύπανση, θερμική επεξεργασία κ.λπ. Η επαναπλήρωση της εκσκαφής γίνεται με το επεξεργασμένο εδαφικό υλικό ή από υγιές υλικό μεταφερόμενο από αλλού.

### **3.11. Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.**

Για την εξαέρωση πτητικών υδρογονανθράκων εφαρμόζεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας. Η εξαέρωση επιτυγχάνεται από τη θέρμανση του εδάφους σε θερμοκρασίες 150 °C για χρονικό διάστημα δύο εβδομάδων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

#### 4.1. Γενικά

Τα υπόγεια νερά αποτελούν πολύτιμο αγαθό πόρο, και ως τέτοιος πόρος θα πρέπει να προστατεύεται από την υποβάθμιση και από τη χημική ρύπανση. Τούτο είναι ιδιαίτερα ημαντικό για:

**α)** τη χρήση των υπογείων υδάτων για παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση, **(β)** τα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα.

Τα υπόγεια νερά αποτελούν το μεγαλύτερο και το πιο ευαίσθητο σύστημα γλυκών νερών στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και κύρια πηγή εφοδιασμού του κοινού με πόσιμο νερό σε πολλές περιοχές.

Η Οδηγία 2006/118/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 2006 έχει σαν στόχο την προστασία των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση και, κυρίως αυτή που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες οι οποίες μπορεί να είναι τοξικές, ανθεκτικές ή βιοσυσσορεύσιμες.

Λαμβανομένης υπόψη της ανάγκης να επιτευχθούν αξιόπιστα επίπεδα προστασίας των υπογείων υδάτων, έχουν καθορισθεί ποιοτικά πρότυπα και αναπτυχθεί μεθοδολογίες με βάση μια κοινή προσέγγιση, ώστε να θεσπιστούν κριτήρια για την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των συστημάτων υπογείων νερών.

Τα κράτη μέλη θα επρέπει να ορίσουν για πρώτη φορά ανώτερες αποδεκτές τιμές για όλους του ρύπους και δείκτες ρύπανσης οι οποίοι, σύμφωνα με το χαρακτηρισμό που καθορίζεται δυνάμει του άρθρου 5 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, χαρακτηρίζουν συστήματα ή ομάδες συστημάτων υπογείων νερών ως διατρέχοντα τον κίνδυνο να μην επιτύχουν καλή χημική κατάσταση των υπογείων νερών το συντομότερο δυνατό. Για να επιτευχθεί ο στόχος πρόληψης ή περιορισμού της εισαγωγής ρύπων στα υπόγεια ύδατα, ο οποίος θεσπίζεται σύμφωνα με το άρθρο 4, παράγραφος 1, σημείο β), στοιχείο i), της 2000/60/ΕΚ, τα κράτη μέλη διασφαλίζουν ότι το πρόγραμμα μέτρων που καταρτίζεται σύμφωνα με το άρθρο 11 της εν λόγω οδηγίας περιλαμβάνει:

(α) Όλα τα μέτρα που απαιτούνται με σκοπό την πρόληψη της εισαγωγής οποιασδήποτε επικίνδυνης ουσίας στα υπόγεια νερά.

(β) Για τους ρύπους που απαριθμούνται στο Παράρτημα VIII της οδηγίας 2000/60/ΕΚ και οι οποίοι δεν θεωρούνται επικίνδυνοι καθώς επίσης και για οποιανδήποτε άλλο μη επικίνδυνο ρύπο που δεν περιλαμβάνεται στο εν λόγω παράρτημα, ο οποίος όμως, κατά τα κράτη μέλη, αποτελεί πραγματικό ή δυνητικό κίνδυνο ρύπανσης, όλα τα μέτρα που απαιτούνται για τον περιορισμό της εισαγωγής στα υπόγεια νερά, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι η εισαγωγή αυτή δεν οδηγεί σε υποβάθμιση, ούτε προκαλεί σημαντική και διατηρούμενη ανοδική τάση συγκεντρώσεων ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Τα μέτρα αυτά λαμβάνουν υπόψη, τουλάχιστον, την καθιερωμένη βέλτιστη πρακτική, συμπεριλαμβανομένων της Βέλτιστης Περιβαλλοντικής Πρακτικής και των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών που ορίζονται στη σχετική νομοθεσία.

Για τον καθορισμό ζωνών προστασίας ακολουθείται η πιο κάτω διαδικασία :

- Το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης ετοιμάζει φάκελο για κάθε γεώτρηση με όλα τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της.
- Το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων, οριοθετεί τις Ζώνες Προστασίας τις οποίες αποστέλλει στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Ο καθορισμός των Ζωνών ακολουθεί μια διαδικασία που προβλέπει διαβούλευση με τα εμπλεκόμενα τμήματα και Υπηρεσίες (Επαρχιακές Διοικήσεις, Πολεοδομία, Υπηρεσία Περιβάλλοντος, Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης).
- Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος ετοιμάζει τη σχετική γνωστοποίηση και την υποβάλλει για έγκριση και υπογραφή στον Υπουργό Γεωργίας, Φυσικών πόρων και Περιβάλλοντος και στη συνέχεια δημοσιεύει την Γνωστοποίηση στην Επίσημη Εφημερίδα της Δημοκρατίας.

Οι ζώνες προστασίας υδρογεωτρήσεων χρησιμοποιούνται από το Τμήμα πολεοδομίας και οικήσεως και τις επαρχιακές διοικήσεις για την ορθή χωροθέτηση και αδειοδότηση των διαφόρων αναπτύξεων που εμπíπτουν στις ζώνες αυτές.

Η συστηματική εφαρμογή του Διατάγματος 2000/60/ΕΚ ξεκίνησε μετά από συσκέψεις που έγιναν με τα εμπλεκόμενα τμήματα το 2006. Μέχρι σήμερα έχουν καθορισθεί Ζώνες Προστασίας για αρκετές γεωτρήσεις (σχετικός κατάλογος), ενώ υπάρχει αρκετός ακόμα αριθμός που θα πρέπει να προστατευθούν με το καθορισμό Ζωνών Προστασίας.

### **Ζώνες Προστασίας**

#### **(α) Ζώνη I ή Ζώνη Άμεσης Προστασίας**

Η Ζώνη είναι ακτίνας 10-50 μέτρων, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα και πρέπει να περιφράσσεται. Στη Ζώνη αυτή απαγορεύεται κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα, εκτός από τις εργασίες προμήθειας νερού από τη γεώτρηση. Επιπλέον απαγορεύεται η διέλευση οχημάτων και η διάβαση πεζών.

**(β) Ζώνη II ή Ελεγχόμενη Ζώνη**

Η Ζώνη καθορίζεται από το όριο της Ζώνης Άμεσης Προστασίας μέχρι μια γραμμή από την οποία το υπόγειο νερό θα χρειάζεται τουλάχιστον 50 μέρες (συνήθως είναι σε ακτίνα μικρότερη των 100 μέτρων) για να φθάσει στο σημείο της γεώτρησης. Σκοπός της είναι η προστασία των υπόγειων νερών από μικροβιολογικής άποψης. Στη Ζώνη αυτή απαγορεύονται οι ακόλουθες δραστηριότητες:

- § Ανάπτυξη κτηνοτροφικής δραστηριότητας, ιχθυοτροφείων, χρήση κοπριάς.
- § Χρήση φυτοφαρμάκων, ζιζανιοκτόνων, παρασιτοκτόνων και λιπασμάτων εκτός αν γίνεται με βάση τον Κώδικα Ορθής Γεωργικής Πρακτικής.
- § Βιομηχανική δραστηριότητα που παράγει επικίνδυνα απόβλητα ή ουσίες που περιέχονται σε Πίνακες στο Διάταγμα.
- § Λειτουργία διυλιστηρίων, μονάδων επεξεργασίας αποβλήτων, διαχείριση αποβλήτων, σκουπιδιών, απόρριψη επεξεργασμένων αποβλήτων και λυμάτων σε απορροφητικούς λάκκους.
- § Δημιουργία πρατηρίων καυσίμων, νεκροταφείων, χώρων κατασκηνώσεων, αθλητικών χώρων, νοσοκομείων και σανατορίων.
- § Ανάπτυξη λατομικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας και ανόρυξη γεωτρήσεων για άλλους σκοπούς, αφαίρεση υλικών, δημιουργία κοιλοτήτων.

**(γ) Ζώνη III ή Εξωτερική Ζώνη**

Η Εξωτερική Ζώνη είναι η Ζώνη τροφοδοσίας της υδρογεώτρησης και είναι αρκετά εκτενής (μπορεί να καλύπτει ακτίνα 2 χλμ). Σκοπός της είναι η προστασία της πηγής από ρύπους χημικής κυρίως προέλευσης. Στη Ζώνη αυτή απαγορεύεται κάθε βιομηχανική, γεωργική ή κτηνοτροφική δραστηριότητα που εγκυμονεί κινδύνους ρύπανσης από απόβλητα ή ουσίες που χρησιμοποιούνται και περιέχονται σε Πίνακες. Απαγορεύεται, επίσης, η διάθεση των ουσιών αυτών στο έδαφος.

Για την απομάκρυνση λοιπόν της ρύπανσης από τα υπόγεια ύδατα υπάρχουν μέθοδοι αντιμετώπισης κάποιοι από τους οποίους αναλύονται παρακάτω.

## 4.2 Μέθοδος Τεχνολογίας air sparging

### Τεχνολογία air sparging

Η μέθοδος υπέρθερμου ατμού είναι μια διαδικασία όπου ο αέρας εγχέεται άμεσα στη διαποτισμένη από ρύπους υποεπιφάνεια:

- Εξατμίζει τους μολυσματικούς παράγοντες από την υγρή φάση δι' ατμοποίησης στη ζώνη αναφοράς.
- Βιοδιασπά τους μολυσματικούς παράγοντες στη διαποτισμένη ζώνη μέσω της από την εισαγωγή οξυγόνου.

Αυτός ο μηχανισμός επιτυγχάνει το μεγαλύτερο ποσό αφαίρεσης μολυσματικών παραγόντων και εξαρτάται από: τις χημικές ιδιότητες των ρύπων, τη διανομή μολυσματικών παραγόντων στο έδαφος, τη διάρκεια της έγχυσης αέρα, και τις εδαφολογικές ιδιότητες. Δεν υπάρχει καμία ευδιάκριτη διαφορά μεταξύ της βιοδιάσπασης και της διοχέτευσης υπέρθερμου ατμού εντούτοις όταν χρησιμοποιείται συνήθως σημαίνει ότι η πρόθεση του χειριστή είναι να υποκινήσει την βιοδιάσπασης με χρησιμοποίηση των χαμηλότερων εγχύσεων αέρα. Για αμετάβλητους μολυσματικούς παράγοντες, μεγάλου μοριακού βάρους μπορεί να είναι η μόνη πιθανή αποτελεσματική λύση.

Η χρήση υπέρθερμου ατμού έχει εφαρμογή :

- > στις περιοχές πηγές μολυσματικών παραγόντων που είναι παγιδευμένα μέσα στις κορεσμένες και τριχοειδείς ζώνες,
- > στα διαλυμένα υπολλείματα μολυσματικών παραγόντων ή
- > σε περίπτωση που πρέπει να αποτραπεί η μετανάστευση υπολλειμάτων μολυσματικών παραγόντων.

Τα σημαντικότερα μέρη ενός χαρακτηριστικού συστήματος διοχέυσης υπέρθερμου αέρα περιλαμβάνουν ένα φρεάτιο εγχύσεων αέρα, έναν αεροσυμπιεστή ή έναν ανεμιστήρα για να παρέχουν τον αέρα, τα σημεία ελέγχου και τα φρεάτια, και ένα προαιρετικό σύστημα εξαγωγής ατμού.

Τα φρεάτια εγχύσεων αέρα είναι γενικά κάθετα και φτάνουν μέχρι τα στα βάθη που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο μόλυνσης.

Εάν το έδαφος είναι ομοιογενής άμμος, η ροή αέρος θα είναι σχετικά ομοιόμορφη γύρω από το φρεάτιο εγχύσεως αέρα, με συνέπεια την μεταφορά ομοιόμορφης μάζας. Αντίθετα, ένα ετερογενές μέσο μπορεί να οδηγήσει στην ανομοιόμορφη ροή αέρος που μειώνει έτσι την αποτελεσματικότητα της μεθόδου. Στην πράξη όλες οι περιοχές έχουν κάποιο βαθμό εδαφολογικής ετερογένειας και η ανομοιόμορφη ροή αέρα είναι κοινή.

Στις καταστάσεις όπου η μολυσμένη υποεπιφάνεια είναι κάτω από τα κτίρια, τους διαδρόμους, ή άλλες δομές μέσω των οποίων, η εφαρμογή της μεθόδου είναι αδύνατη, μπορεί να πρέπει να εξεταστεί η εφαρμογή τα οριζόντια ή κεκλιμένα φρεάτια εγχύσεων αέρα. Οι συμπιεστές ή οι ανεμιστήρες απαιτούνται για να παρέχουν αέρα στα φρεάτια εγχύσεων. Η επιλογή ενός συμπιεστή ή ενός ανεμιστήρα εξαρτάται από την περιοχή, συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που υπαγορεύουν τη ρύθμιση της ροής αέρα και της πίεσης.

Τα σημεία ελέγχου και ο σχετικός εξοπλισμός απαιτούνται για να παρέχουν πληροφορίες για τους ρυθμούς ροής και την πίεση αέρα, και τις συγκεντρώσεις μολυσματικών παραγόντων στα υπόγεια νερά, το χώμα, και το ρεύμα αέρα έτσι ώστε να εκτιμηθεί η πρόοδος της επανόρθωσης.

Τα στάδια εφαρμογής της τεχνολογίας υπέρθερμου ατμού είναι:

- § καθορισμός των περιοχών.
- § αξιολόγηση της διανομής ατμού, εντοπισμός των προβλημάτων της διαμονής ατμού.
- § επιλογή και διαχωρισμός κατά διαστήματα: η την περιοχή.
- § καθορισμός του συστήματος ροής ατμού.
- § επιλογή συστήματος που ελέγχει.

Η μέθοδος έχει καταδειχθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματική στη μείωση μολυσματικών παραγόντων, και για τους υδρογονάνθρακες προϊόντα πετρελαίου και για τους χλωριωμένους διαλύτες. Ένας συνδυασμός αεριοποίησης και η βιο-διάσπαση επιτρέπουν την αφαίρεση πολλών ενώσεων ακόμη και στα κατώτερα όρια ανίχνευσης. Ιστορικά, πολλές περιοχές έχουν παρουσιάσει σημαντική μείωση των συγκεντρώσεων μολυσματικών παραγόντων μετά από την εφαρμογή υπέρθερμου ατμού.

Το προσωπικό και οι ανάγκες κατάρτισης για την τεχνολογία αυτή είναι πολύ σημαντικά. Οι απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας είναι επίσης ελάχιστες, εκτός αν οι κάτω από την επιφάνεια δομές ή τα κτίρια είναι μέσα στη ζώνη της επιρροής του συστήματος. Σε αυτές τις καταστάσεις, η προσοχή πρέπει να επικεντρωθεί στο ότι οι



ατμοί δεν πρέπει να διοχετεύονται σε αυτές τις δομές, προκαλώντας ενδεχομένως τα εκρηκτικά ή τοξικά περιβάλλοντα. Ενώ η μέθοδος έχει διάφορα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ανταγωνιστικές τεχνολογίες, ή δεν είναι χωρίς περιορισμούς. Απαριθμημένα κατωτέρω είναι διάφορα πλεονεκτήματα και περιορισμοί της μεθόδου.

#### 4.2.1. Πλεονεκτήματα

1) Δεδομένου ότι εύκολα ο διαθέσιμος εμπορικός εξοπλισμός εύκολα χρησιμοποιείται (δηλ. το περίβλημα, οι συμπιεστές ή οι ανεμιστήρες πολυβινυλικού χλωριδίου [PVC] , κ.λπ.), η μέθοδος υπέρθερμου ατμού είναι μια τεχνολογία απλού και

χαμηλού κόστους που εφαρμόζετε. Ο εξοπλισμός είναι εύκολο να εγκατασταθεί και προκαλεί την ελάχιστη διαταραχή στα διάφορα οικοσυστήματα.

2) Μόλις εγκατασταθεί το σύστημα επί ενός τόπου, απαιτεί την ελάχιστη λειτουργική επίβλεψη.

3) Δεν υπάρχει κανένα ρεύμα αποβλήτων που παράγεται που να απαιτεί την επεξεργασία, επειδή βγαίνοντας το ρεύμα αέρα μπορεί να διοχετεύει άμεσα στην ατμόσφαιρα.

4) Επί των τόπων όπου η μόλυνση μιας ζώνης έχει αναπτυχθεί λόγω μιας κυμαινόμενης στάθμης νερού, η μέθοδος είναι αποτελεσματική στη μεταχείριση της ζώνης κηλίδων δεδομένου ότι ο αέρας κινείται κάθετα προς τα πάνω μέσω αυτής της περιοχής.

5) Η τεχνολογία είναι αποτελεσματική στη αντιμετώπιση της ρύπανσης από μια πηγή γιατί με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η μετανάστευση των διαλυμένων μολυσματικών παραγόντων.

6) Η τεχνολογία είναι συμβατή με άλλες τεχνολογίες επανόρθωσης όπως την SVE

7) Επειδή η βιοδιάσπαση είναι ένα συστατικό της διαδικασίας της μεθόδου υπέρθερμου ατμού, αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να μεταποιήσει τους μολυσματικούς παράγοντες απλά μεταφέροντας τους σε ένα άλλο μέσο.

#### 4.2.2. Μειονεκτήματα

1) Η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλη για τους μολυσματικούς παράγοντες με τις χαμηλές τιμές των σταθερών του νόμου του Henry ή της χαμηλής αστάθειας εκτός αν η ένωση είναι αεριοβιοδιασπώμενη. Οι μολυσματικοί παράγοντες (Semivolatile) με χαμηλή αεροβική βιοδιασπασιμότητα δεν αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά με τη θέρμανση δι' ατμού αέρα.

2) Ορισμένες περιοχές περιέχουν μολυσματικούς παράγοντες που μπορούν να αφαιρεθούν αποτελεσματικά μέσω της βιοδιάσπασης, αλλά όχι αεριοποίησης, λόγω των σχετικά αργών ποσοστών βιοδιάσπασης.

3) Οι γεωλογικές συνθήκες όπως η στρωματοποίηση, η ετερογένεια, και η ανισοτροπία, θα αποτρέψουν την ομοιόμορφη ροή αέρα, άρα μειώνουν την αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

4) Το ελεύθερο προϊόν ([NAPL]) σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να έρθει σε περιορισμένη επαφή με τον εγχυμένο αέρα. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερο ενδιαφέρον με τα πυκνά (DNAPLs) που θα βυθιστούν στο κατώτατο σημείο του υδροφόρου στρώματος, γεγονός που αποτελεί περιορισμό στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

5) Υπάρχει εωδεχόμενο μετανάστευσης των εξατμισμένων μολυσματικών παραγόντων στα κτίρια και άλλες δομές.

6) Όταν η μέθοδος εφαρμόζεται για να περιέχει ένα πυκνό διάλειμα μιας φάσης, μια ζώνη μειωμένης υδραυλικής αγωγιμότητας θα μπορούσε να επιτρέψει στο συμπυκνωμένο ρύπο να παρακάμψει τη ζώνη της επιρροής θέρμανσης δι' ατμού αέρα.

7) Η ροή αέρα είναι αποτελεσματική πέρα από μια καθορισμένη περιοχή, απαιτώντας ενδεχομένως έναν μεγάλο αριθμό φρεατίων για να υπάρχει επαρκής ροή αέρα μέσω της μολυσμένης περιοχής.

Οι βασικοί παράγοντες που κανονίζουν την εφαρμογή ενός προγράμματος απορύπανσης με υπέρθερμο ατμό:

- Τομέας της μόλυνσης υπόγειων νερών
- Το βάθος στα υπόγεια νερά
- Το βάθος της μόλυνσης υπόγειων νερών
- Η ιδατική ετερογένεια
- Η περίοδος επεξεργασίας και
- Η επεξεργασία και η συλλογή ατμού

Παράμετροι όπως η έκταση της μόλυνσης υπόγειων νερών, του βάθους στα υπόγεια νερά, και του βάθους στη βάση της μόλυνσης υπόγειων νερών καθορίζονται μόλις ολοκληρωθεί ο χαρακτηρισμός περιοχών, και τα χαρακτηριστικά δεν θα αλλάξουν σημαντικά μόλις εγκατασταθεί το σύστημα εφαρμογής. Αντίθετα, η εδαφική ετερογένεια μπορεί να προσκρούσει στις απαιτήσεις του προγράμματος εφαρμογής και να τις αναγκάσει να αλλάζουν στην πορεία.

Το αρχικό κριτήριο απόδοσης για τα συστήματα υπέρθερμου ατμού είναι η μείωση των επιπέδων μολυσματικών παραγόντων υπόγειων νερών. Για τη ζώνη πηγής ή την επεξεργασία σημείων με μεγάλη συγκέντρωση ρύπων, τα επίπεδα μολυσματικών παραγόντων ελέγχονται και ο έλεγχος πρέπει να συνεχίσει τουλάχιστον ένα έτος μετά από το κλείσιμο των συστημάτων ετσι ωστς ενα εξασφαλίζεται ότι τα επίπεδα μολυσματικών παραγόντων δεν θα αυξάνονται. Η υποδομή του συστήματος πρέπει να είναι σε ισχύ κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου σε περίπτωση που είναι απαραίτητο να αρχίσει η θέρμανση δι ατμού αέρα.

Το δεύτερο κριτήριο απόδοσης είναι ρυθμοί ροής υπέρθερμου ατμού. Οι ρυθμοί ροής αέρα πρέπει να ελεγχθούν τακτικά για να εξασφαλίσουν ότι η ροή αέρα διατηρείται στο ποσοστό εγχύσεων του αρχικού σχεδιασμού.

Οι ρυθμοί ροής μπορούν να ποικίλουν λόγω των διακυμάνσεων στις στάθμες ύδατος ή την περιεκτικότητα σε υγρασία στα χώματα. Εάν οι ρυθμοί ροής μειωθούν σημαντικά, η ζώνη επεξεργασίας δεν θα λάβει ικανοποιητική επαφή με τον ατμό με συνέπεια κακή απόδοση.

Γενικά η Air sparging τεχνολογία φαίνεται να είναι η πιο κατάλληλη να διαχειρισθεί το μολυσμένο διαποτισμένο υπέδαφος και τα ρηχά υπόγεια νερά ενισχύοντας ουσιαστικά τη βιοδιάσπαση. Επιπλέον η μέθοδος απολύμανσης αποδεικνύεται οικονομικώς αποδοτική. επειδή καμία ανασκαφή του χώματος δεν πρέπει να πραγματοποιηθεί, κσθώς και εξαγωγή υπόγειων νερών για επίγεια επεξεργασία.

### 4.3 Μέθοδος εξυγίανσης με συγκλίνοντα φράγματα και διόδους

#### Περιγραφή των διαπερατών αντιδρώντων φραγμάτων.

Τα διαπερατά αντιδρώντα φράγματα (PRBs) είναι μια νέα τεχνολογία εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπογείων υδάτων. Αποτελούν μια in situ παθητική ζώνη επεξεργασίας που περιέχει αντιδρόν υλικό, το οποίο αποικοδομεί, μετατρέπει ή ακινητοποιεί τους ρυπαντές καθώς το υπόγειο ύδωρ ρέει δια μέσου αυτού. Τα φράγματα αυτά τοποθετούνται υπό το έδαφος ως μόνιμες ή αντικαταστάσιμες κατασκευές κάθετα στη κατεύθυνση της ροής και της ζώνης ρύπανσης και εκμεταλλεύονται την φυσική ροή του υπογείου ύδατος για την παθητική του εξυγίανση καθώς δεν απαιτείται καμία εξωτερική πηγή ενέργειας. Η θέση τους μπορεί να είναι πλησίον της ζώνης ρύπανσης για την αποφυγή εξάπλωσης του ρύπου, ή στα κατάντη της πηγής ρύπανσης.

Οι τύποι των υπόγειων διαπερατών φραγμάτων είναι:

- α) Η Ενεργή Τάφρος Υψηλής Διαπερατότητας (Permeablereactive trench).
- β) Τα Συστήματα Συγκλινόντων Φραγμάτων και Διόδων (Funnel and Gate) .
- γ) Τα Συστήματα Τάφρου και Διόδου (Trench and Gate) όπου έχουμε συνδυασμό των (α) και (β).

#### 4.3.1 Περιγραφή συγκλινόντων φραγμάτων και διόδων.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μονές ή πολλαπλές δίοδοι με φράγματα, περιβάλλοντας μερικώς ή ολικώς τη ζώνη ρύπανσης. Σε περίπτωση ζώνης ρύπανσης μεγάλου πλάτους είναι δυνατόν να κατασκευαστούν φράγματα με δύο ή περισσότερες διόδους. Μια άλλη διάταξη είναι με την τοποθέτηση των Φραγμάτων σε σχήμα U, τα οποία χρησιμοποιούν αδιαπέραστους τοίχους ίδιου μήκους με προεκτάσεις προς τα ανάντη. Η διάταξη των Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διόδων εξαρτάται επίσης από το αν η ζώνη ρύπανσης εκτείνεται καθ' όλο το πάχος του υδροφόρου. Αν συμβαίνει αυτό, όπως στην περίπτωση της ρύπανσης με DNAPL, το αντιδρών κελί καταλαμβάνει όλο το πάχος του υδροφορέα.

Αν η ζώνη ρύπανσης καταλαμβάνει μόνο το ανώτερο μέρος του υδροφορέα, για παράδειγμα όταν οι ρύποι είναι LNAPL, ή ένα πτητικό υγρό στην ακόρεστη ζώνη, τότε μια εγκατάσταση που εκτείνεται μόνο στο ανώτερο μέρος του υδροφορέα θα είναι αρκετή. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που ενδιαφέρει στα Συστήματα Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διόδων είναι η γεωμετρία τους. Στον όρο αυτό περιλαμβάνονται οι διαστάσεις των αδιαπέραστων τοίχων και των διόδων, η θέση και ο αριθμός των διόδων, η γωνία μεταξύ των πλευρών των φραγμάτων, και ο προσανατολισμός του Συστήματος Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διόδων ως προς την υδραυλική κλίση της περιοχής.

Για να εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα πρέπει:

1. Το Σύστημα να είναι έτσι εγκατεστημένο ώστε όλο το ρυπασμένο ύδωρ να περνάει από την ζώνη ρύπανσης, δηλαδή η εκροή πρέπει να μεγιστοποιείται.
2. Ο χρόνος συγκράτησης του ρυπασμένου ύδατος στην δίοδο πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή μείωση στις συγκεντρώσεις των ρύπων.
3. Το μέγεθος των φραγμάτων και ο αριθμός των διόδων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος. Η πιο απλή διαμόρφωση ενός Συστήματος Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διόδων είναι μία δίοδος με φράγματα που εκτείνονται αριστερά και δεξιά από αυτή.

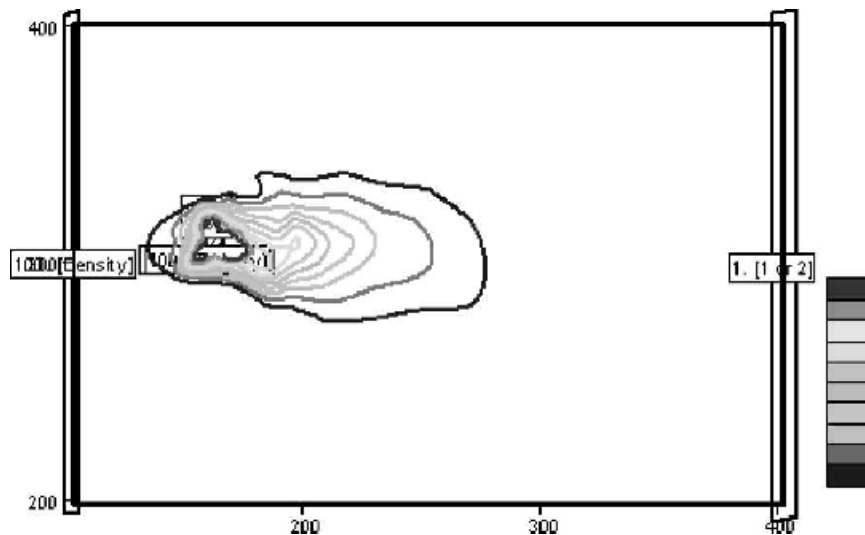
Οι ανωτέρω δύο παράγοντες, δηλαδή η εκροή και ο χρόνος συγκράτησης είναι αντιστρόφως ανάλογοι. Τίθεται επομένως το ερώτημα ποια θα είναι η βέλτιστη διάταξη και η γεωμετρία ενός Συστήματος Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διόδων σ' ένα δεδομένο πρόβλημα εξυγίανσης υπόγειου υδροφορέα. Το ερώτημα αυτό θα απαντηθεί ακολούθως με τη χρήση μοντέλου υπογείων υδάτων για την προσομοίωση των διαφόρων περιπτώσεων.

### 4.3.2 Εύρεση βέλτιστης διάταξης των συγκλινόντων φραγμάτων και διοδίων.

Γενικά ισχύει ότι για ένα δεδομένο μήκος αδιαπέραστων τοίχων, η πιο αποτελεσματική διαμόρφωση σε ένα ισότροπο υδροφορέα είναι το φράγμα με πλευρές σε γωνία 180 μοιρών και προσανατολισμένες κάθετα στην υδραυλική κλίση της περιοχής. Εξετάζεται αν ισχύει το συμπέρασμα αυτό σ' ένα οποιοδήποτε υπόγειο υδροφορέα.

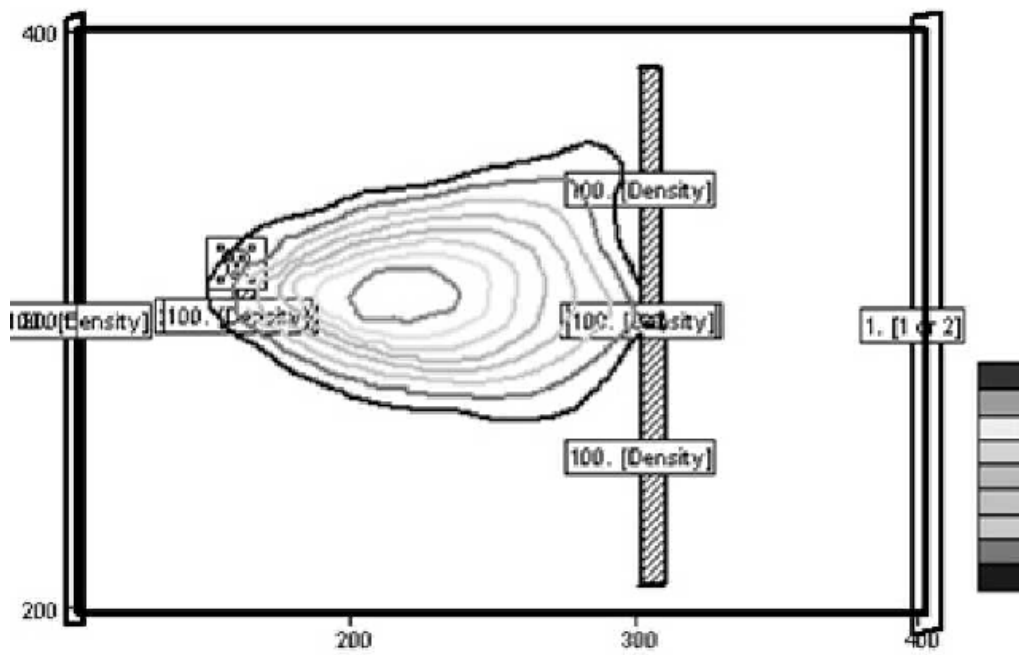
Προσομοιώνεται η υπόγεια ροή και η μεταφορά ρύπων σε ένα φανταστικό ελεύθερο υδροφορέα και εξετάζονται διάφορα πιθανά σενάρια ως προς τη μορφή των 'Συγκλινόντων Φραγμάτων & Διοδών'. Συγκρίνοντας όλα τα σενάρια για τον ελεύθερο υδροφορέα, με βάση την αποτελεσματικότητά τους για τον περιορισμό της ζώνης ρύπανσης, την εξυγίανση της περιοχής και το κόστος τους, προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις η βέλτιστη λύση είναι η εγκατάσταση φράγματος ευθεία και κάθετα στην υδραυλική κλίση της υπόγειας ροής.

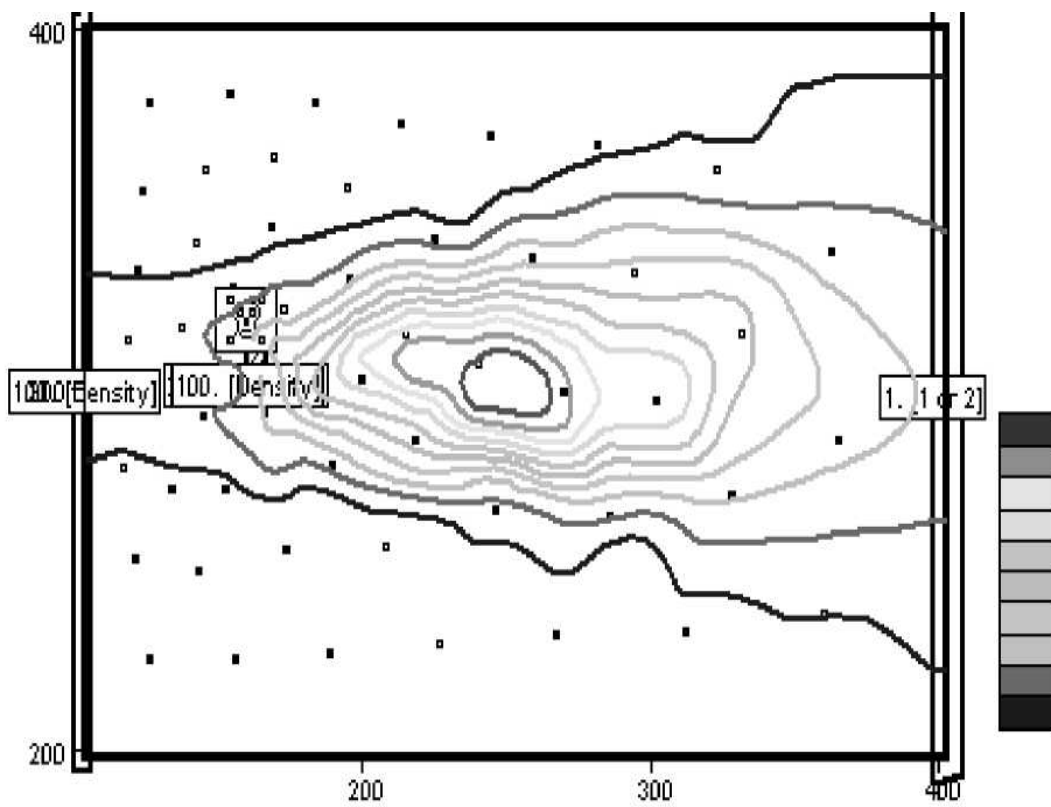
Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται η ζώνη ρύπανσης που σχηματίστηκε από πηγή ρύπανσης που λειτουργούσε για δύο χρόνια με συγκέντρωση ρυπαντή, στην πηγή, ίση με 1 kg/m<sup>3</sup>. Στο Σχήμα 4.2 παρατηρείται η κατάσταση ρύπανσης της περιοχής δύο χρόνια μετά το κλείσιμο της πηγής ρύπανσης χωρίς την εφαρμογή τεχνολογιών εξυγίανσης. Το Σχήμα 4.3 παρουσιάζει την κατάσταση ρύπανσης της περιοχής δύο χρόνια μετά το κλείσιμο της πηγής και με την εφαρμογή της τεχνολογίας 'Συγκλίνοντα φράγματα και δίοδος'. Στην περίπτωση αυτή ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι ταχύτητες τις περιοχής. (Σχήμα 4.4)



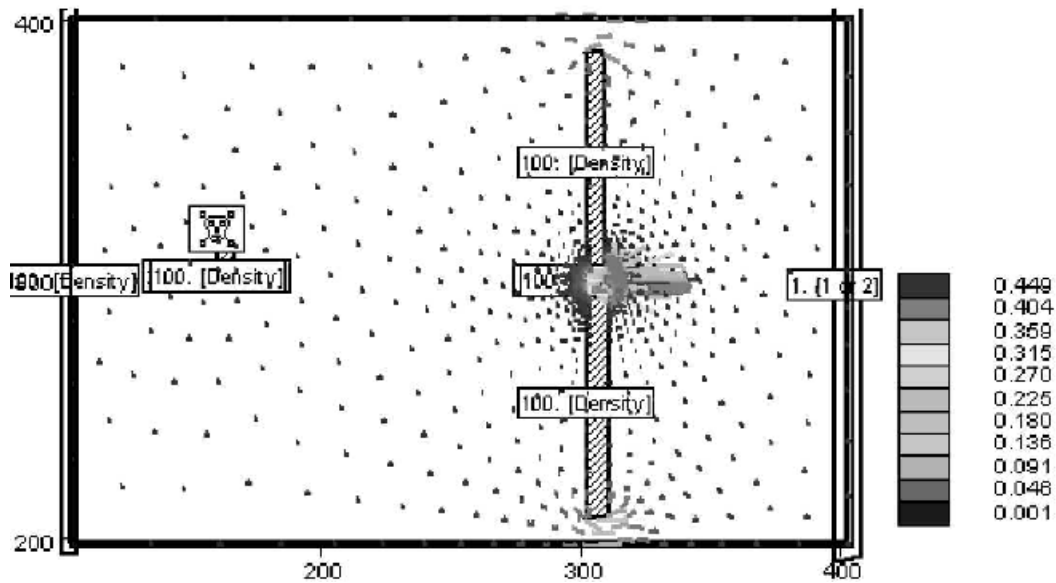
Σχήμα 4.1: Αρχικές συγκεντρώσεις

Σχήμα 4.2 : Συγκεντρώσεις ρύπων 2 χρόνια μετά την παύση λειτουργίας της πηγής





Σχήμα 4.3: Κατάσταση ρύπανσης περιοχής μετά από 2 χρόνια κλείσιμο της πηγής.



Σχήμα 4.4: Ταχύτητες με την ύπαρξη 'Funnel and Gate'

#### 4.3.3 Εκτίμηση του κόστους του συστήματος.

Το συνολικό κόστος εγκατάστασης του συστήματος "Συγκλινόντων Φραγμάτων και Διόδων" για την εξυγίανση ενός υδροφορέα περιλαμβάνει το κόστος των τοίχων μικρής διαπερατότητας (funnel walls) και το κόστος της διόδου. Συνήθως προτείνεται η εγκατάσταση τοίχων από μείγμα Τσιμέντου- Μπετονίτη (C-B) για την επίτευξη μεγαλύτερης σταθερότητας του φράγματος στην περίπτωση που η ανάμειξη εδάφους δεν είναι δυνατή ή το έδαφος δεν είναι κατάλληλο.

Από τις μεθόδους εγκατάστασης των λασπωδών τοίχων επιλέγεται η τροποποιημένη εκσκαφή με χρήση τσάπας ( Modified Backhoe Excavation). Η μέθοδος αυτή είναι πιο οικονομική από αυτές που εφαρμόζονται για εκσκαφές μεγαλύτερες των 30 ποδιών. Το κόστος της διόδου περιλαμβάνει το κόστος του πληρωτικού υλικού και το κόστος εγκατάστασης του κελιού. Για την εγκατάσταση του αντιδρώντος κελιού προτείνεται η μέθοδος βασισμένη σε 'Caisson' επειδή είναι σχετικά φτηνή και απλή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

#### 5.1. Διάβρωση και Ερημοποίηση Εδαφών

Η διάβρωση του εδάφους γεωργικών εκτάσεων και η ερημοποίηση των εδαφών σε διάφορες περιοχές του πλανήτη μας είναι δύο από τις πιο σημαντικές αιτίες απώλειας πολύτιμου παραγωγικού εδάφους. Στην πρώτη περίπτωση, η διάβρωση και η απώλεια επιφανειακού εδάφους οφείλεται στην υπερεκμετάλλευση γεωργικών εκτάσεων, βαθύ όργωμα, υπερβολική χρήση λιπασμάτων, αντιορθολογικές γεωργικές πρακτικές και κυρίως με τη χρήση ευαίσθητων εδαφών που είχαν δασική κάλυψη για γεωργική καλλιέργεια.

Η ερημοποίηση εδαφών είναι ένα γενικότερο φαινόμενο κατά το οποίο μεγάλες περιοχές γης μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις από έλλειψη νερού, υπερβολική καλλιέργεια εδαφών που προέκυψαν από εκκαθάριση δασών, επικλινείς εκτάσεις που δεν προστατεύονται με αναχώματα, και εκκαθάριση θάμνων, δένδρων και βλάστησης με ανεξέλεγκτη κτηνοτροφική εκμετάλλευση.

Τα εδάφη αυτά μετά από γεωργική εκμετάλλευση με παρατεταμένη ξηρασία χάνουν τη συνεκτικότητα των συστατικών τους, υπάρχει μεγάλη απώλεια θρεπτικών συστατικών και οργανική ύλη, με αποτέλεσμα η ποιότητα υποβαθμίζεται και πολύ γρήγορα μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις.

Η διάβρωση των εδαφών και ιδιαίτερα γεωργικών εκτάσεων, σύμφωνα με υπολογισμούς εμπειρογνομόνων, αφορά τουλάχιστον το 10% των καλλιεργημένων εκτάσεων, που είναι περίπου 1,5 δισεκατομμύρια εκτάρια (1 εκτάριο =10 στρέμματα). Επιπλέον, το 10% της καλλιεργημένης γης έχει κάποιο βαθμό διάβρωσης που μπορεί να καταστεί καταστροφική εάν δεν ληφθούν δραστικά μέτρα διόρθωσης της διάβρωσης.

Η διάβρωση των εδαφών αυτών είναι αποτέλεσμα της χρήσης εκτάσεων για καλλιέργειες που είναι κακής σύστασης ανόργανων και οργανικών υλικών, δεν ποτίζονται αρκετά και υπόκεινται σε όργωμα που διασπά τη συνεκτικότητα της υφής τους. Επίσης, η ανεξέλεγκτη κτηνοτροφία καταστρέφει τη βλάστηση και τους θάμνους που κρατούν τη συνεκτικότητα των εδαφών. Τα εδάφη αυτά, αλλά και άλλα που έχουν μεγάλη κλίση λόγω έλλειψης χαμηλής βλάστησης και προστατευτικών αναχωμάτων διαβρώνονται με τις βροχές και τον αέρα. Οι απώλειες με τη διάβρωση καλλιεργήσιμων εκτάσεων είναι κρίσιμη για την επάρκεια τροφίμων σε αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες τις επόμενες δεκαετίες.

Η διάβρωση εδαφών σε γεωργικές εκτάσεις των αναπτυσσόμενων χωρών ήταν κυρίως αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης λιπασμάτων, της εκμηχάνισης της γεωργίας και των πρακτικών εντατικής μονοκαλλιέργειας. Σήμερα όμως εφαρμόζονται διάφορα μέτρα και πρακτικές, όπως αγρανάπαυση, αλλαγές στον τρόπο οργώματος (επιφανειακή σάρωση), αμειψισπορά (crop rotation), εναλλαγή του είδους των καλλιεργούμενων φυτών, περιτροπική γεωργία και κτηνοτροφία, προσεκτική άρδευση, ενίσχυση των θρεπτικών συστατικών και του αζώτου με ειδικά φυτά, φύτεμα δένδρων, κλπ. Τα μέτρα αυτά ενισχύουν την ποιότητα των εδαφών.

Πολλές όμως αναπτυσσόμενες χώρες, που έχουν ραγδαία αύξηση του πληθυσμού και μεγάλες διατροφικές ανάγκες, δεν μπορούν να υποστηρίξουν ενεργά τέτοια μέτρα με αποτέλεσμα τη συνεχιζόμενη διάβρωση εδαφών στις περιοχές τους. Συγχρόνως, η εκκαθάριση δασών για καλλιέργειες έχουν επαυξήσει τη διάβρωση εδαφών σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες (π.χ. στην Ινδονησία, Βραζιλία).

Η **ερημοποίηση** είναι η συνεχής μετατροπή εδαφών σε άγονες εκτάσεις αμμώδους σύστασης. Κυριότερες αιτίες είναι η μεγάλης διάρκειας ξηρασία που προκαλεί αποσάθρωση πετρωμάτων και απώλεια οργανικής ύλης, η οποία σε πολλές περιοχές οφείλεται σε κλιματικές αλλαγές, στην αποδάσωση περιοχών και στην υπερεκμετάλλευση υπόγειων νερών.

Βασικές αιτίες ο υπερπληθυσμός και η εξάπλωση των πόλεων και κατοικημένων περιοχών, η ανάπτυξη οδικών αρτηριών και άλλων εγκαταστάσεων που διασπά την γεωμορφολογία πολλών περιοχών. Οι άνεμοι και οι βροχές εκπλέουν τα θρεπτικά συστατικά και η σύσταση του εδάφους αλλοιώνεται σε βαθμό που δεν μπορεί να διατηρήσει πλέον την υφή του και τη συνεκτικότητα των εδαφικών συστατικών. Υπερβολική άρδευση προκαλεί την απώλεια πολύτιμων υδατινών πόρων και αύξηση της αλατότητας λόγω εισροής θαλάσσιων νερών με την πτώση του επιπέδου του υδροφόρου ορίζοντα σε παράκτιες περιοχές.

Η ερημοποίηση αποτελεί σημαντικό παράγοντα απώλειας εδαφών και έχει μελετηθεί επισταμένα σε πολλές χώρες για την ανεύρεση πρακτικών μεθόδων επανόρθωσης και αποκατάστασης ερημοποιημένων περιοχών. Ο ΟΗΕ έχει διεξάγει πολλές μελέτες και προώθησε το 1994 τη διεθνή σύμβαση για την καταπολέμηση της ερημοποίησης, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.



## 5.2.Εκτίμηση Επικινδυνότητας Ρύπανσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση

### 5.2.1.Αυστρία

Όπως ορίζει το σύνταγμα ολοκληρωμένος έλεγχος της ρύπανσης του περιβάλλοντος σημαίνει προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, ως βάση για την ανθρώπινη ζωή, από τις δυσμενείς επιπτώσεις. Η ολοκληρωμένη προστασία του περιβάλλοντος αποτελείται κυρίως από μέτρα που αποσκοπούν στη διασφάλιση καθαρού αέρα, των υδάτων και του εδάφους, και περιορισμό της ηχορύπανσης.

Ο νομικός στόχος για τη διατήρηση καθαρών υδάτων ορίστηκε ως «η διατήρηση του νερού όπως στη φυσική του κατάσταση». Δεδομένου ότι περισσότερο από το 99% του πόσιμου νερού προέρχεται από υπόγεια ύδατα, η προστασία των υπόγειων υδάτων είναι θεμελιώδους σημασίας. Σύμφωνα με αυτό, τα υπόγεια ύδατα πρέπει να διατηρούνται καθαρά με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως, πόσιμα νερά.

Όσον αφορά τους δυνητικούς κινδύνους από μολυσμένες τοποθεσίες και τα σχετικά μέτρα αποκατάστασης, η κύρια έμφαση δίνεται στην πρόληψη της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων. Άρα οι προσεγγίσεις για την εκτίμηση κινδύνου χαρακτηρίζονται από την αρχή της προφύλαξης.

Η έγκριση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων ή το κλείσιμο βιομηχανικών εγκαταστάσεων, αποσκοπεί κυρίως στην προστασία των συμφερόντων των γειτόνων και των υδατικών συστημάτων. Ο νόμος για τη διαχείριση των αποβλήτων χρησιμοποιείται για να καθοριστεί πότε η συλλογή πότε η επεξεργασία αποβλήτων είναι απαραίτητη για το δημόσιο συμφέρον. Προκειμένου να διασφαλισθεί ο δημόσιος τομέας και να μειώσει τους πιθανούς κινδύνους οι αρχές μπορούν να επιβάλλουν υποχρεώσεις για τη διάθεση των αποβλήτων και των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων (και εκεί-από το μολυσμένο έδαφος) με περιβαλλοντικά ορθό τρόπο. Στο πλαίσιο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το Σύνταγμα περιέχει διατάξεις για τη διατήρηση του εδάφους καθαρού, αλλά δεν υπάρχει ειδική εθνική πράξη διατήρησης του εδάφους. Ωστόσο, η διατήρηση των εδαφών είναι στην αρμοδιότητα των επαρχιακών αρχών, οι οποίες είναι αρμόδιες για την εφαρμογή της νομοθεσία. Αυτοί οι νόμοι, ωστόσο, εστιάζονται αποκλειστικά στην αποκατάσταση και τη διατήρηση της γεωργικής γης και δεν ασχολούνται με την προστασία του εδάφους σε ένα ευρύτερο πλαίσιο.

Συνεπώς με το νομικό πλαίσιο, η αξιολόγηση κινδύνου των μολυσμένων χώρων πραγματοποιείται κυρίως από:

- Τις τοπικές αρχές στην εφαρμογή των υφιστάμενων νόμων (ιδίως εκείνων που αφορούν το νερό και πλωτές)
- Την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Περιβάλλοντος στην εφαρμογή του νόμου για τον καθαρισμό των μολυσμένων εγκαταστάσεων ως βάση για τη χρηματοδότηση εργασιών καθαρισμού.

Συνεπώς η Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Αυστρίας έχει αναπτύξει μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των κινδύνων η οποία ονομάζεται η «αρχή της επισκευής», λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους της προληπτικής προστασίας του περιβάλλοντος.

Ο κύριος στόχος της προληπτικής προστασίας του περιβάλλοντος είναι η διατήρηση του περιβάλλοντος στη φυσική τους κατάσταση. Κατ'αρχήν, αυτό περιλαμβάνει μείωση των εκπομπών ρύπων στο ελάχιστο και τη διατήρηση ή την αποκατάσταση των υδάτων, του εδάφους και του αέρα σε ένα στάδιο χρησιμοποίησιμης ποιότητας.

Ιστορικά ρυπασμένοι τόποι πρέπει, σύμφωνα με την αρχή της επισκευής, να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά τόσο οικολογική και οικονομική άποψη. Όσον αφορά την αξιολόγηση των μολυσμένων χώρων και των συναφών μέτρων ασφάλειας και εξυγίανσης, οι παρακάτω στόχοι έχουν εντοπιστεί:

- Διατήρηση και αποκατάσταση της φυσικής κατάστασης του περιβάλλοντος ή των σχετικών περιβαλλοντικών μέσων μαζικής ενημέρωσης.
- Η διατήρηση ή τη θέσπιση περιβαλλοντικής κατάστασης με τεχνητές επιρροές, αλλά και επιτρέποντας την πολύ λειτουργική αιεφόρο χρήση.
- Η διατήρηση ή τη θέσπιση περιβαλλοντικής κατάστασης που επιτρέπει την πραγματική ή μελλοντική χρήση του χώρου, ενώ περιέχει περαιτέρω απόρριψης επικίνδυνων ουσιών.

Με τον όρο «αρχή της επισκευής» εννοείται η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος σύμφωνα με τις αντίστοιχες οικολογικές του λειτουργίες.

### **Χώροι με προσανατολισμό την αξιολόγηση μιας υπόθεσης**

Δεν υπάρχουν γενικές τιμές παρέμβασης για την αξιολόγηση των μολυσμένων εδαφών.

Ως εκ τούτου, κάθε περίπτωση της περιβαλλοντικής ζημίας πρέπει να αξιολογείται μεμονωμένα.

Η αξιολόγηση του κινδύνου λαμβάνει υπόψη τις γεωλογικές, υδρογεωλογικές, γεωγραφικές και υδρολογικές συνθήκες. Αυτά είναι κρίσιμα, όταν πρόκειται να αποταυτιστεί την ανάγκη και την έκταση των περαιτέρω μέτρων. Η εκτίμηση κινδύνου θεωρείται ως μια συνολική διαδικασία για την τεκμηρίωση και την αξιολόγηση των κινδύνων που απορρέουν από τις ποσοτικές των αποβλήτων και βιομηχανικών περιοχών. Παρεμβατικές έρευνες που αφορούν την δειγματοληψία και την ανάλυση των υπόγειων υδάτων και του εδάφους αποτελούν τη κύρια βάση για την αξιολόγηση του κινδύνου.

Κανόνες, κανονισμοί και κατευθυντήριες γραμμές βοηθούν στο να καθοριστούν τα κριτήρια και πρότυπα που μπορεί να είναι χρήσιμα στην πρακτική λήψης αποφάσεων. Γενικά κριτήρια που χρησιμεύουν ως σημείο εκκίνησης για την αξιολόγηση και μαζί με την εξέταση των επιτόπιων συνθηκών, χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των κινδύνων και λήψη αποφάσεων ως κριτήρια ανάληψης δράσης.

### **Τα υπόγεια ύδατα**

Σύμφωνα με το αυστριακό πρότυπο **ÖNORM S 2088-1** υπάρχουν τρία κριτήρια που αποτελούν τη βάση της αξιολόγησης του κινδύνου για τα υπόγεια ύδατα.

1. Επιβλαβές δυναμικό των επικίνδυνων ουσιών
2. Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες
3. Διασπορά των επικίνδυνων ουσιών στα υπόγεια ύδατα.

Αξιολόγηση του επιβλαβούς δυναμικού των επικίνδυνων ουσιών.

Η κατάθεση επικίνδυνων ουσιών σε απόβλητα ή ρύπανση του υπεδάφους, και της διασποράς τους στο σύστημα των τριών φάσεων αερίου, στερεάς εδάφους-νερού, αξιολογούνται με βάση τα αναλυτικά αποτελέσματα από την άμεση δειγματοληψία σε ύποπτο τόπο μολυσμένο.

Για την αξιολόγηση του επιβλαβούς δυναμικού των επικίνδυνων ουσιών οι τιμές αναφοράς που προβλέπονται είναι:

1. έκλουσμα συγκεντρώσεων
2. συγκεντρώσεων των αερίων του εδάφους
3. «σύνολο» των συγκεντρώσεων ρύπων

Οι τιμές αυτές προκύπτουν μετά από την επανεξέταση της σχετικής βιβλιογραφίας και έλεγχο ειδικών προτύπων. Τα υπόγεια ύδατα κατηγοριοποιούνται σε αυτά που θεωρούνται σημαντικά για την παροχή νερού και ως εκ τούτου ιδιαίτερης προστασίας, καθώς και εκείνων που δεν έχουν αξιοποιηθεί. Αυστηρότερες τιμές αναφοράς ισχύουν για τα πρώτα.

### **Γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες εργοταξίου**

Οι μελέτες των υπογείων υδάτων περιλαμβάνουν πάντα μια αξιολόγηση της γεωλογίας και της υδρογεωλογίας της περιοχής και των περιχώρων της σε σχέση με την ενδεχόμενη απελευθέρωση επικίνδυνων ουσιών στο υπέδαφος, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού των σχετικών οδών και των γεωλογικών φραγμών.

### **Διασπορά των επικίνδυνων ουσιών στα υπόγεια ύδατα**

Αυτό εμπεριέχει την αξιολόγηση εάν και σε ποιο βαθμό μια απόθεση βιομηχανικών ή μη απορριμμάτων προκαλεί, ή θα μπορούσε να προκαλέσει, αλλαγές στην ποιότητα των υπόγειων υδάτων για να βοηθήσει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων, και τις αξίες παρεμβατικού ελέγχου που είναι διαθέσιμες, αν και δεν σχετίζονται με τη χρήση των υπόγειων υδάτων. Εξ ορισμού, υπερβαίνει μια τιμή ελέγχου και ενεργοποιεί την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα. Οι ιστότοποι με προσμείξεις σε επίπεδα κάτω των ορίων των ελέγχων είναι αποφασισμένοι να μην παρουσιάζουν δυνητικούς κινδύνους. Όταν υπερβαίνεται μια τιμή παρέμβασης

συνεπάγεται υψηλότερους δυνητικούς κινδύνους. Αυτό απαιτεί συνήθως την ασφάλεια των μέτρων εξυγίανσης, ή τουλάχιστον την εξέτασή τους. Οι τιμές παρέμβασης γενικά προσδιορίζονται σύμφωνα με τα πρότυπα πόσιμου νερού. Ωστόσο, τονίζεται ότι οι τιμές αναφοράς στηρίζονται μόνο στην εκτίμηση των κινδύνων λόγω της εναπόθεσης αποβλήτων σε βιομηχανικές περιοχές. Οποιαδήποτε διαδουκτακή απόφαση πρέπει να γίνει υπό το πρίσμα των ειδικών συνθηκών.

### 5.2.2 Βέλγιο

Η αντιμετώπιση της ρύπανσης βασίζεται σε ένα σύστημα για την ταξινόμηση των χώρων εναπόθεσης αποβλήτων βάσει των κινδύνων για το νερό, την υγεία του ανθρώπου και τα οικοσυστήματα. Η κατάταξη γίνεται με βάση έναν πίνακα ελέγχου και η ταξινόμηση γίνεται ως εξής : Την πηγή της ρύπανσης (χαρακτηριστικά τοποθεσίας), τα μονοπάτια (οδοί) και τους υποδοχείς (ομάδες κινδύνου). Το μοντέλο αυτό είναι εν μέρει εγκεκριμένο, και τώρα θα επικυρωθεί.

Τα μολυσμένα εδάφη θεωρούνται απόβλητα. Για την αποκατάσταση αυτών των τόπων, ο ιδιοκτήτης ή ο υπεύθυνος για τη ρύπανση πρέπει να υποβάλλει σχέδιο έργου αποκατάστασης, για τη διοίκηση. Αυτό το σχέδιο πρέπει να εγκριθεί από τον Υπουργό Περιβάλλοντος και, μετά την αποκατάσταση, η διοίκηση ακολουθεί για να διασφαλίσει ότι το έργο έχει εκτελεστεί ορθά. Ένας ειδικός κανονισμός καθοδήγησης σχετικά με το έδαφος είναι υπό ανάπτυξη.

### Μέθοδοι προσεγγίσης για την αξιολόγηση

Οι τεχνικές προσεγγίσεις για την αξιολόγηση του κινδύνου είναι ποικίλες . Η μεθοδολογία για την διεξαγωγή εκτιμήσεων κινδύνου είναι όμοια κατ 'αρχήν με τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για τα επίπεδα καθαρισμού του χώματος είναι δεδομένη, πρωτίστως από την περιγραφή της σημερινής πρακτικής αξιολόγησης του κινδύνου σε πλήρη διερεύνηση του εδάφους.

### Υπολογισμός τιμών για την απορρύπανση του εδάφους

Η αξία απορρύπανσης του εδάφους ορίζεται ως το επίπεδο της ρύπανσης του εδάφους πάνω από το οποίο σοβαρές και επιβλαβείς επιπτώσεις στον άνθρωπο ή το περιβάλλον μπορεί να συμβούν, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του εδάφους. Ένα μοντέλο αξιολόγησης της έκθεσης έχει χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει τις τιμές καθαρισμού του χώματος για τη στερεά φάση, η οποία έχει ως βάση τους τύπους που χρησιμοποιούνται στο υπόδειγμα ολλανδικά HESP, με ορισμένες προσθήκες και τροποποιήσεις. Οι αλλαγές αυτές αφορούν κυρίως σε χημικές ειδικές παραμέτρους και σε σενάρια για τη χρήση της γης.

Έξι χρήσεις γης έχουν οριστεί για τις τέσσερις κατηγορίες χρήσης γης: αγροτικές περιοχές, κατοικημένες περιοχές, χώρους αναψυχής και βιομηχανικές περιοχές. Μια ειδική προσέγγιση για «φυσικές περιοχές» αναπτύσσεται επί του παρόντος. Κάθε τάξη χρήσης της γης έχει χαρακτηριστεί από την τυπική έκθεση οδών και από τυπικά ανθρώπινα μοτίβα δραστηριότητας. Οι τυπικές υποθέσεις έκθεσης για τα έξι σενάρια συνοψίζονται παρακάτω.

Γεωργία: οι ενήλικες και τα παιδιά είναι σχεδόν μόνιμα εκτεθειμένα στην περιοχή (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με το έδαφος, τη σκόνη και το νερό) και με συγκεκριμένες διαδρομές (κατανάλωση λαχανικών, γάλακτος και κρέατος ) η χρήση των μη επεξεργασμένων υδάτων ως πόσιμου νερού και νερού κολύμβησης.

- Αστικές :

Πολίτες ,ενήλικες και τα παιδιά είναι σχεδόν μόνιμα εκτεθειμένα στην περιοχή από τις γενικές γραμμές (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με το έδαφος, τη σκόνη και το νερό) και με συγκεκριμένες διαδρομές (κατανάλωση των λαχανικών, η χρήση της νερού βρύσης ).

- Αναψυχή:

α. ενήλικες που εκτίθενται στο χώρο κατά τη διάρκεια αθλητικών δραστηριοτήτων για λίγες ώρες την ημέρα και τα παιδιά που εκτίθενται κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων ελεύθερου χρόνου για αρκετές ώρες την ημέρα το καλοκαίρι, η έκθεση από τις γενικές γραμμές (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με χώμα και σκόνη)

β. ενήλικες και παιδιά που εκτίθενται στο χώρο κατά τη διάρκεια του Σαββατοκύριακου από τις γενικές γραμμές (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με χώμα και σκόνη) και από συγκεκριμένες διαδρομές (χρήση νερού της βρύσης).

- βιομηχανία:

α. ενήλικες που εκτίθενται κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων της εργασίας, της εξωτερικής φύσης, από τις γενικές γραμμές (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με χώμα και σκόνη) και από συγκεκριμένες διαδρομές (χρήση νερού της βρύσης).

β. ενήλικες που εκτίθενται κατά τη διάρκεια των εργασιακών δραστηριοτήτων, κυρίως από μια εσωτερική φύση, από τις γενικές γραμμές (κατάποση και την εισπνοή του εδάφους και σκόνης, την εισπνοή των πτητικών ενώσεων, δερματική επαφή με χώμα και σκόνη) και από συγκεκριμένες διαδρομές (χρήση νερού της βρύσης).

### 5.2.3 Ολλανδία

Στο Ολλανδικό μοντέλο HESP για κάθε ρύπο, οι υπολογισμοί της έκθεσης για κάθε σενάριο που έγιναν για τη δημιουργία συνολικά έκθεση ίση με την αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη (TDI) για μη-καρκινικά αποτελέσματα. Η ημερήσια δόση αντιστοιχεί στο  $10^{-5}$  σε συμπληρωματικό κίνδυνο εμφάνισης καρκίνου του για την ισόβια έκθεσή του (επιδράσεις του καρκίνου) .Οι τιμές για TDI και μονάδα κίνδυνο καρκίνου προέρχεται από διεθνώς



αναγνωρισμένες βάσεις δεδομένων (π.χ. Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (USEPA). Συνολικά η έκθεση περιλαμβάνει την έκθεση στη μολυσμένη περιοχή, μαζί με την έκθεση υποβάθρου από απροσδιόριστες πηγές. Όπως επίσης και τα κριτήρια με βάση την έκθεση του ανθρώπου στη ρύπανση.

Η ρύπανση ανάλογα με τη χρήση γής οφείλεται:

- Γεωργία: φυτοτοξικότητα, τοξικότητα για τα γεωργικά ζώα, τα νομικά πρότυπα για τα λαχανικά, κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του αέρα
- Αστικά : φυτοτοξικότητα, κατευθυντήριες γραμμές ποιότητας του αέρα
- Αναψυχή: φυτοτοξικότητα (λιγότερο αυστηρές), κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του αέρα
- Βιομηχανία: φυτοτοξικότητα (λιγότερο αυστηρές), κατευθυντήριες γραμμές για την ποιότητα του αέρα.

Η προσέγγιση που ακολουθείται σύμφωνα με το Καναδικό πρότυπο είναι:

Συλλέγονται στοιχεία για την τοξικότητα για τα ασπόνδυλα του εδάφους, τα φυτά και μικροοργανισμούς. Όλα τα δεδομένα που υφίστανται επεξεργασία και αξιολόγηση η οποία εξαρτάται από την ποσότητα των δεδομένων. Στην καλύτερη δυνατή κατάσταση αξιολόγησης υπολογίζεται με βάση το 25ο εκατοστημόριο της αθροιστικής καμπύλης όλων των δεδομένων τοξικότητας, εκτός από τους μικροοργανισμούς, τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία χωριστά. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα από αυτή την προσέγγιση για τα βαρέα μέταλλα εξετάζεται στο OVAM. Η μέθοδος αυτή τη στιγμή δεν ισχύει για οργανικές ενώσεις, λόγω της έλλειψης των οικοτοξικολογικών δεδομένων. Στο μέλλον, μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί με βάση τον αριθμό των δοκιμών τοξικότητας σε διαφορετικά τροφικά επίπεδα και όχι χημική ανάλυση του εδάφους. Η απορρύπανση του εδάφους βασίζεται στις τιμές για τα υπόγεια ύδατα σύμφωνα με τα πρότυπα ποιότητας του πόσιμου νερού.

Οι επιστήμονες που πραγματοποιούν τις έρευνες στο έδαφος πρέπει να είναι πιστοποιημένοι από το OVAM και πρέπει να χρησιμοποιούν ένα μοντέλο υπόγειων νερών και αναγνωρισμένο πρότυπο αξιολόγησης του κινδύνου. Από το τέλος του 1997 υπάρχει ένα αναγνωρισμένο πρότυπο αξιολόγησης των κινδύνων, που ονομάζεται VLIER-humaan (Φλαμανδική Μέσο για την Αξιολόγηση των κινδύνων για τους ανθρώπους), που αναπτύχθηκε από την ολλανδική Van Hall Institute. Αποτελείται από τον ίδιο τύπο και τιμές παραμέτρων, όπως το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή αξιών της απορρύπανσης του εδάφους. Η αναγνώριση αυτού του μοντέλου δεν σημαίνει ότι χρησιμοποιούνται υποχρεωτικά αλλά η χρήση άλλων μοντέλων και προτύπων είναι πιθανό να αυξήσουν τον χρόνο που απαιτείται για να αξιολογηθεί και να διερευνηθεί πλήρως το έδαφος. Σε εύθετο χρόνο τα άλλα μοντέλα μπορούν επίσης να λάβουν αναγνώριση από την OVAM. Το μοντέλο RBCA, το οποίο έχει σχεδιαστεί για πετρέλαιο τοποθεσίες διαφυγής, εξετάζεται επί του παρόντος για την αναγνώριση OVAM, (η αξιολόγηση θα περιλαμβάνει σύγκριση των τύπων ANF φυσικοχημικών, τοξικολογικών και το σενάριο που εξαρτώνται από τις τιμές εισαγωγής).

Η χρήση αναγνωρισμένων μοντέλων δεν εγγυάται την ποιότητα της πλήρους διερεύνησης του εδάφους. Για το λόγο αυτό ένα πρωτόκολλο για την πλήρη διερεύνηση του εδάφους υποβάλλεται κάθε φορά προς έγκριση. Το πρωτόκολλο δεν έχει στόχο να παρέχει ένα αυστηρό πλαίσιο εντός του οποίου κάθε βήμα από την πλήρη διερεύνηση του εδάφους περιγράφεται με σαφήνεια. Είναι περισσότερο ένα έγγραφο καθοδήγησης για την εγγύησης ένας βασικού επιπέδου ποιότητας, ενώ ταυτόχρονα δίνει στους επιστήμονες τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν τη δική τους εμπειρία στη διεξαγωγή έρευνας. Το πρωτόκολλο αποτελείται από δύο κύρια μέρη: στρατηγικές έρευνας του χώρου και την αξιολόγηση των κινδύνων.

- Έρευνα χώρων

Ανάλογα τη ρύπανση (ομοιογενής, ετερογενής, ) παρουσιάζονται διαφορετικές στρατηγικές έρευνας. Οι στρατηγικές αυτές έχουν ένα περίγραμμα με ελάχιστες απαιτήσεις, για παράδειγμα, καθορίζει σταθερό τον αριθμό των δειγμάτων. Ο κύριος στόχος της έρευνας ενός τόπου είναι να περιγράψει την μολυσμένη περιοχή και τον όγκο και για τη στερεά φάση και τα υπόγεια ύδατα (υδάτινη φάση). Ωστόσο, η στρατηγική δειγματοληψίας πρέπει να είναι σαφώς προσανατολισμένη προς την εκτίμηση του κινδύνου.

Αξιολόγηση του κινδύνου (ολλανδικό μοντέλο)

Το τμήμα αξιολόγησης των κινδύνων, έχει τρία τμήματα: κίνδυνος για τον άνθρωπο, τον κίνδυνο για τα ζώα, τα φυτά και τα οικοσυστήματα και τον κίνδυνο διασποράς των ρύπων.

Κίνδυνοι για τον άνθρωπο (την ανθρώπινη υγεία). Ένα μοντέλο αξιολόγησης της έκθεσης που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει αναγνωριστεί από OVAM. Κατά τη διεξαγωγή αξιολόγησης κινδύνου οι σύμβουλοι δεν έχουν πλήρη ελευθερία, η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων για την απορρύπανση απορρύπανση του εδάφους, που δημοσιεύθηκε από OVAM, πρέπει πάντα να αποτελούν τη βάση συγκεκριμένα σενάρια. Χημικές ενώσεις που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση του εδάφους, φυσικών - χημικών, βιολογικών και τοξικολογικών δεδομένων πρέπει να λαμβάνονται από τη δημοσίευση OVAM. Οι αποκλίσεις είναι πιθανές, εάν υπάρχει μια καλή δικαιολογία για αυτά. Το πρωτόκολλο δείχνει πώς να χρησιμοποιούν χημικές αναλύσεις εδάφους στους υπολογισμούς, ανάλογα με την ετερογένεια και το βάθος. Μέτρησης των συγκεντρώσεων ρύπων σε περιβαλλοντικά συστήματα όπως το νερό τα λαχανικά, τον αέρα και το ποτό που μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν. Οι μετρήσεις πρέπει να πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας όσον αφορά τη μέθοδο, τον αριθμός των μετρήσεων, τη συχνότητα και ούτω καθεξής. Με λίγες εξαιρέσεις, τα δείγματα των υπόγειων υδάτων πρέπει να αναλύονται και τα στοιχεία των μετρήσεων που να χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των κινδύνων. Αν ένα μοντέλο υπόγειων υδάτων χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό διασπορά της μολυσματικής ουσίας, τα αποτελέσματα μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στην αξιολόγηση του κινδύνου. Το πρωτόκολλο προβλέπει επίσης τη δυνατότητα διύλισης της αξιολόγησης των κινδύνων με τη χρήση περισσότερο συγκεκριμένων μοντέλων για ορισμένους

ρύπους(π.χ. βιοκινητική μοντέλα) ή με τη χρήση των πιο σύνθετων μοντέλων για την συμπεριφορά ρύπων στην ακόρεστη ζώνη.

Οι εκτιμήσεις επικινδυνότητας διεξάγονται τόσο για τις υπάρχουσες και για πιθανές διαφορετικές καταστάσεις στο μέλλον. Παιδιά και ενήλικες εξετάζονται χωριστά. Εάν η RI για ενήλικες ή παιδιά είναι μεγαλύτερη από 1, πρέπει να συναχθεί το συμπέρασμα ότι μια σοβαρή απειλή είναι υπαρκτή. Για την καρκινογόνο δράση, μια ισόβια έκθεση (δόση) υπολογίζεται και διαιρείται με τη δόση που αντιστοιχεί σε πρόσθετο κίνδυνο καρκίνου κατά τη διάρκεια της ζωής του

κατά  $10^{-5}$  (δηλαδή 1 στους 100.000 εκτεθειμένα πρόσωπα). Και πάλι, αν το RI είναι μεγαλύτερο από 1, πρέπει να συναχθεί το συμπέρασμα ότι υπάρχει μια σοβαρή απειλή.

Πρόσθετοι υπολογισμοί, συγκρίσιμη με την παραγωγή των αξιών απορρύπανση του εδάφους, μπορεί να γίνει για τις συγκεντρώσεις σε άλλα σημεία του περιβάλλοντος. Οι κίνδυνοι για τα φυτά, τα ζώα και τα οικοσυστήματα. Προς το παρόν δεν υπάρχει μεθοδολογία για την εκτίμηση των κινδύνων για τα φυτά, τα ζώα και τα οικοσυστήματα. Είναι προφανές ότι η εκτίμηση των κινδύνων για δυσμενείς επιπτώσεις στα φυτά και τα ζώα είναι πιο σημαντική σε γεωργικές και κατοικημένες περιοχές από ό, τι σε δραστηριότητες αναψυχής και βιομηχανικές περιοχές. Ένα μέλλον μεθοδολογία για την αξιολόγηση των κινδύνων για τα οικοσυστήματα θα πρέπει να βασίζεται σε δοκιμές οικοτοξικότητας. Η μεθοδολογία αυτή βρίσκεται υπό ανάπτυξη.

Κίνδυνος διασποράς ρύπων. Το τμήμα που αφορά τη διασπορά καλύπτει κυρίως τη μεθοδολογία για τον υπολογισμό της διασποράς των ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Υποδεικνύει, όπου τα μοντέλα πρέπει να χρησιμοποιούνται και τι είδους μοντέλα είναι κατάλληλα. Δεν είναι υποχρεωτικά συγκεκριμένα μοντέλα. Αναφέρει επίσης τις παραμέτρους που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν λαμβάνεται η απόφαση για σοβαρή απειλή. Κινδύνους διασποράς πρέπει να λαμβάνει επίσης υπόψη της μεταφοράς από τον αέρα και μέσω των επιφανειακών υδάτων.

### Η απορρύπανση του εδάφους

Σύμφωνα με την πράξη για την προστασία του εδάφους τα ακόλουθα ερωτήματα πρέπει να απαντηθούν σε σχέση με την εξυγίανση των μολυσμένων χώρων:

- Είναι η περιοχή σοβαρά μολυσμένη;
- Είναι η απορρύπανση επείγουσα;
- Πότε θα πρέπει να ξεκινήσει ο καθαρισμός;
- Ποιος είναι ο στόχος της απορρύπανσης;

Ερώτηση 1: Είναι η τοποθεσία σοβαρά μολυσμένη;

Μια περιοχή είναι σοβαρά μολυσμένη εάν υπάρχει υπέρβαση των τιμών παρέμβασης. Αυτό αξιολογείται με βάση την ακόλουθη προσέγγιση. Η ιστορία της περιοχής έχει μελετηθεί έτσι ώστε να παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τη φύση της πιθανής μόλυνσης. Οι ύποπτες τοποθεσίες είναι οι πρώτες που υπόκεινται σε προκαταρκτική εξέταση και, αν επιβεβαιωθούν οι αρχικές υποψίες, μια περαιτέρω έρευνα γίνεται, όπου λαμβάνονται δείγματα εδάφους και των υπόγειων υδάτων δείγματα. Εάν τα αποτελέσματα δείχνουν τα επίπεδα πάνω από τις τιμές παρέμβασης,

η περιοχή είναι εγγεγραμμένη («σοβαρά μολυσμένη») κα πρέπει να προσδιορίζεται ο επείγοντας χαρακτήρας για την απορρύπανση.

Ερώτηση 2: . Είναι η απορρύπανση επείγουσα;

Για να προσδιοριστεί η επείγουσα ανάγκη για απορρύπανση έχει αναπτυχθεί μια τυπική διαδικασία. Ο πυρήνας της διαδικασίας είναι ότι η εξυγίανση των σοβαρά μολυσμένων χώρων θεωρείται ότι είναι επείγουσα, εκτός αν:

1. Ο κίνδυνος για τον άνθρωπο, ως αποτέλεσμα της SSC (τιμή παρέμβασης ο οποίος βασίζεται στην τοξικότητα για τον άνθρωπο). Η έκθεση εκτιμάται με μετρήσεις ή τους υπολογισμούς του μοντέλου (C-μοντέλο εδάφους), και
2. Ο οικοτοξικολογικός κίνδυνος ως αποτέλεσμα της πραγματικής έκθεσης δεν υπερβαίνει τα HC50 (οικοτοξικολογικές κριτήριο για τις τιμές που επιβάλλουν παρέμβαση). Σε μια οικολογικά ευαίσθητη περιοχή, για παράδειγμα, μια προστατευμένη περιοχή, θεωρείται ότι είμαι ευαίσθητη όταν μια επιφάνεια 50 m<sup>2</sup> επηρεάζεται (αυτό σχετίζεται με το κριτήριο του όγκου για τις τιμές παρέμβασης για τη ρύπανση του εδάφους σε βάθος 0,5 m). Αυτό είναι συνυφασμένο με ρεαλιστική συστήματα για επίγεια όσο και υδρόβια εδάφη, και
3. Η ετήσια αύξηση (λόγω της διασποράς των ρύπων) των χωμάτων που περιέχουν συγκεντρώσεις των υπόγειων υδάτων πάνω από την τιμή παρέμβασης, είναι μικρότερη από 100 m<sup>3</sup> (κριτήριο της αύξηση των τιμών παρέμβασης για μόλυνση των υπόγειων υδάτων).

Το επείγον πρέπει να επανεκτιμηθεί αν η χρήση γης ή την υδρογεωλογική κατάσταση αλλάζει.

Ερώτηση 3: Πότε θα πρέπει να ξεκινήσει ο καθαρισμός;

Στις αρχές του 1997 μια γενική διαδικασία για τον προσδιορισμό του πότε μια διαδικασία καθαρισμού θα πρέπει να ξεκινήσει τέθηκε σε ισχύ. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τα ίδια στοιχεία για τον καθορισμό του επείγοντος χαρακτήρα για την απορρύπανση (πραγματική ανθρώπινη κινδύνους, τους πραγματικούς κινδύνους της διασποράς), αλλά και κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες λαμβάνονται επίσης υπόψη.

Σε σοβαρά μολυσμένες τοποθεσίες η απορρύπανση κρίνεται επείγουσα (με βάση την πραγματική ανθρώπινη, οικοτοξικολογική και διασπορά κινδύνων) και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες: εκκίνηση απορρύπανσης εντός 4 ετών, μεταξύ 4 και 10 ετών, και μετά από 10 χρόνια. Εντός αυτών των ορίων, ένα το χρονοδιάγραμμα καθορίζεται σύμφωνα με κοινωνικές και οικονομικές παραμέτρους. Η διαδικασία αποτελείται από δύο βήματα:

Πρώτο βήμα. Η πρώτη κατηγορία (έναρξη απορρύπανση εντός 4 ετών) εφαρμόζεται στις ακόλουθες τοποθεσίες:

- Υπέρβαση των ορίων επικινδυνότητας για τον άνθρωπο.
- Πρόκειται για ένα σημαντικό φυσικό καταφύγιο.
- Η ετήσια αύξηση του μολυσμένου εδάφους λόγω της διασποράς έχει τουλάχιστον 5000 m<sup>3</sup>.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

- Η μόλυνση φθάνει σε ευπαθείς στόχους εντός 4 ετών (π.χ. παροχή πόσιμου νερού).

Η δεύτερη κατηγορία (έναρξη απορρύπανσης μεταξύ 4 και 10 ετών) εφαρμόζεται στις ακόλουθες τοποθεσίες:

- Δεν υπάρχει υπέρβαση του κινδύνου για τον άνθρωπο.
- Πραγματικοί οικοτοξικολογικοί κίνδυνοι εμφανίζονται (σύμφωνα με τη διαδικασία για τον προσδιορισμό της επείγουσας απορρύπανσης), αλλά ο χώρος δεν είναι ένας σημαντικός βιότοπος.
- Η μόλυνση φθάνει ευπαθείς στόχους μεταξύ 4 και 10 ετών (π.χ. παροχή πόσιμου νερού).

Η τρίτη κατηγορία (έναρξη απορρύπανση μετά από 10 χρόνια) περιέχει όλες τις επείγουσες τοποθεσίες που δεν έχουν ταξινομηθεί στην πρώτη ή τη δεύτερη κατηγορία.

Δεύτερο βήμα. Δεν υπάρχει λεπτομερής διαδικασία για τον προσδιορισμό του χρονικού πλαισίου (εντός των παραπάνω ορίων), σύμφωνα με κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες. Οι αρμόδιες αρχές (επαρχίες και μεγάλες πόλεις) καθορίζουν τα κριτήρια που θα χρησιμοποιηθούν στα σχέδια της πολιτικής τους. Τα κριτήρια αυτά παρέχουν ένα σημείο εκκίνησης για τις διαπραγματεύσεις ανάμεσα στις αρχές και τους ρυπαίνοντες ή τους ιδιοκτήτες, προκειμένου να αποφασίσει σε ποιο έτος θα πρέπει να αρχίσει τη απορρύπανση. Τα κριτήρια κυριαρχούνται από κοινωνικούς και οικονομικούς παράγοντες, αλλά και περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη. Στα πλαίσια της παροχής υποστήριξης σε εκείνους τους ανθρώπους που έχουν να αντιμετωπίσουν αυτές τις μάλλον περίτεχνα διαδικασίες (καθορισμός του επείγοντος για την απορρύπανση και τον χρόνο απορρύπανση πρέπει να ξεκινήσει), ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή έχει γραφτεί από τον Van Hall Institute κατόπιν αιτήματος του αρμόδιου Υπουργείου.

Ερώτηση 4: . Ποιος είναι ο στόχος της απορρύπανσης;

Στο παρελθόν, η στρατηγική έχει επικεντρωθεί σε απορρύπανση με αποτέλεσμα σε ένα πολύ λειτουργικό εδάφους, δηλαδή συγκεντρώσεων ρύπων στο επίπεδο των τιμών-στόχων (ή τοπικό υπόβαθρο), εκτός εάν η απορρύπανση:

- Περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκαλούνται.
- Ήταν αδύνατο για τεχνικούς λόγους.

Αν μια συνολική απορρύπανση φαίνονται να είναι αδύνατη η περιοχή είναι απομονωμένη,πρέπει να ελέγχεται και να παρακολουθείται (ICM προσέγγιση). Για τις νέες τοποθεσίες (μολυσμένες κατά τη διάρκεια και μετά το 1987), ένα

σύνολο μεθόδων απορρύπανσης πρέπει να εκτελείται. Για τα παλαιά ορυχεία (μολυσμένα πριν από το 1987) και με μεταφερόμενους ρύπους, η μόλυνση θα πρέπει να αφαιρεθεί σε όσο το δυνατόν περισσότερο βαθμό με οικονομικά αποδοτικό τρόπο.

Για τις παλιές τοποθεσίες με μη μεταφερόμενους ρύπους, η μόλυνση θα πρέπει να αφαιρεθεί στο βαθμό που απαιτείται, αναγνωρίζοντας την τελική χρήση της περιοχής (λειτουργία-προσανατολισμένη προσέγγιση). Το γενικό περίγραμμα της νέας προσέγγισης που εγκρίθηκε από το ολλανδικό Κοινοβούλιο το 1997. Συμβουλές για το πώς να ασχοληθεί με ορισμένες πτυχές αυτής της προσέγγισης (π.χ. σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, τα κριτήρια για την κινητικότητα) καθορίζεται από το χειμώνα του 1999.

#### 5.2.4 Δανία (Δανικό μοντέλο)

##### Τεχνικές προσεγγίσης για την αξιολόγηση των κινδύνων

Διάταγμα για διερεύνηση και καταγραφή των μολυσμένων χώρων

Το Διάταγμα και μια συνοδευτική κατευθυντήρια γραμμή για την εγγραφή και τη διαγραφή των μολυσμένων χώρων εισήχθησαν το 1993.

Η καταχώριση ενός μολυσμένου τόπου γίνεται δημόσια, με ανακοίνωση στο Επίσημο Κτηματολόγιο. Η παρούσα ανακοίνωση έχει γενικά αρνητική επίδραση στην αξία της ιδιοκτησίας. Ως εκ τούτου, προκειμένου να διατηρηθούν οι αξίες ακινήτων, δυνάμει μολυσμένων τοποθεσιών πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, που αναφέρονται παρακάτω, πριν να εγγραφούν. Μετά την εγγραφή οποιαδήποτε αλλαγή στη χρήση γης πρέπει να έχει εγκριθεί εκ των προτέρων από τις περιφερειακές αρχές.

Αρχικά έγινε συστηματική έρευνα στις ιστοσελίδες που έχουν ή είχαν χρησιμοποιηθεί για τις δραστηριότητες που παρουσίασε ένα δυνητικό κίνδυνο μόλυνσης. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Μια ιστορική έρευνα που διενεργείται βασίζεται σε δημόσια αρχεία, παλιούς καταλόγους επιχειρήσεων, των τοπικών ιστορικών αρχείων και ανεπίσημα στοιχεία. Μια προκαταρκτική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων γίνεται με βάση αυτό το υλικό.
- Όλες οι τοποθεσίες που δεν αποκλείονται με βάση την ιστορική έρευνα, στη συνέχεια, υποβάλλονται σε προκαταρκτική τεχνική έρευνα. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση του εδάφους και, ενδεχομένως, την ανάλυση δειγμάτων υπογείων υδάτων.
- Στην περίπτωση που η έρευνα αποκαλύπτει ότι ένας τόπος έχει μολυνθεί σε ένα επίπεδο που παρουσιάζουν κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία ή το περιβάλλον μέσω της τρέχουσας χρήσης του ή της ρύπανσης των υδάτων, η περιοχή θεωρείται ότι είναι μολυσμένη και είναι εγγεγραμμένη ως τέτοια στον δανικό κατάλογο ρυπασμένων τόπων.

Επιπλέον, η αξιολόγηση του κινδύνου περιλαμβάνει επίσης την αξιολόγηση του κατά πόσον η περιοχή θα μπορούσε να θεωρηθεί κίνδυνος, εάν επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί για μια πιο ευαίσθητη χρήση, όπως η στέγαση. Αν αυτό θεωρηθεί αποφασισμένο τότε η περίπτωση αυτή πρέπει να εγγραφεί στον δανικό κατάλογος ρυπασμένων τόπων. Αυτή είναι μια εθνική απογραφή που τηρείται από τη δανική ΕΡΑ βάσει των εκθέσεων από τις διάφορες περιοχές. Ο κατάλογος περιέχει πληροφορίες για τον τόπο, τη χρήση γης, το είδος της μόλυνσης, κλπ.

### **Διαδικασίες αξιολόγησης του κινδύνου**

Οι δικτυακοί τόποι στον δανικό Κατάλογο ρυπασμένων τόπων εμφανίζονται με προτεραιότητα ανάλογα με την ανάγκη τους για αποκατάσταση. Δεδομένου ότι σχεδόν όλο το πόσιμο νερό προέρχεται από υπόγεια ύδατα, η προστασία των υπόγειων υδάτων έχει μια πολύ υψηλή προτεραιότητα. Τα πρότυπα για τους πόρους των υπόγειων υδάτων που έχουν ή πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για πόσιμο νερό είναι ίδια με βάση τα πρότυπα πόσιμου νερού. Σε γενικές γραμμές χαμηλότερη προτεραιότητα δίνεται στα επιφανειακά ύδατα, όπως αναλύεται παρακάτω. Υψηλότερη προτεραιότητα δίνεται σε τοποθεσίες που βρίσκονται εντός περιοχών που χαρακτηρίζονται ως περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος για την παροχή νερού. Μεταξύ των χώρων που χρησιμοποιούνται σήμερα για ευαίσθητους σκοπούς, όπως η στέγαση και τα κέντρα παιδικής μέριμνας έχει δοθεί σε αυτές τις τοποθεσίες χαρακτηρισμένες ως υψίστης προτεραιότητας. Επιπλέον, η υψηλή προτεραιότητα που δίνεται σε εκείνες τις περιοχές όπου υπάρχει δυνατότητα άμεσης επαφής με μόλυνση, είτε επειδή η μόλυνση βρίσκεται στο πάνω μέρος του εδάφους ή επειδή οι ατμοί του εδάφους μπορεί να μεταναστεύσουν σε κτίρια. Μια ειδική περίπτωση είναι η παραγωγή αερίου μεθανίου σε παλιές χωματερές, όπου η υψηλότερη προτεραιότητα δίνεται σε κτίρια που βρίσκονται μέσα ή κοντά στην περιοχή. Επιφανειακή μόλυνση του νερού είναι υψηλή προτεραιότητα σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου οι επιπτώσεις της μόλυνσης μπορούν να μετρηθούν. Μόνο πολύ περιπτώσεις αποκατάστασης των επιφανειακών υδάτων έχουν συμβεί στη Δανία.

Γενικά, η αξιολόγηση των κινδύνων βασίζεται σε προσδιορισμό των συγκεντρώσεων ρύπων και σύγκρισή τους με τα ποιοτικά κριτήρια για το έδαφος, τα υπόγεια ύδατα ή αέρα. Εάν η συγκέντρωση κάποιων συγκεκριμένων ρύπων διαπιστώνεται ότι υπερβαίνει το σχετικό κριτήριο, η περιοχή θεωρείται ότι παρουσιάζει κάποιο κίνδυνο για το περιβάλλον και για τους ανθρώπους. Αυτό θα οδηγήσει είτε σε περαιτέρω έρευνα, προκειμένου να ελεγχθεί ή να αντικρούσει την αρχική εκτίμηση του κινδύνου, είτε σε διορθωτικά μέτρα. Η κατευθυντήρια γραμμή του 1998 είναι η εκτεταμένη μορφή της κατευθυντήριας γραμμής του 1992, και παρέχει μια πιο λεπτομερή και συγκεκριμένη περιγραφή της διαχείρισης των μολυσμένων περιοχών, συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων έρευνας πεδίου, συλλογή δειγμάτων, το χαρακτηρισμό τοποθεσία, τη διεξαγωγή αξιολογήσεων κινδύνων, και την εφαρμογή και τον έλεγχο των διορθωτικών ενεργειών.

Τα ακόλουθα θέματα αποτελούν το κεντρικό στοιχείο των νέων κατευθυντήριων γραμμών:

- Κριτήρια ποιότητας του εδάφους θα πρέπει να καλυφθούν σε βάθος σχετικά με την αξιολόγηση του κινδύνου. Αυτό το βάθος εξαρτάται από τη χρήση της γης, που κυμαίνεται από πολύ ευαίσθητη σε καθόλου ευαίσθητη.
- Ο χρόνος έκθεσης κυμαίνεται γενικά ανάλογα με τη χρήση γης. Ο χρόνος έκθεσης πρέπει να εκτιμηθεί στη συγκεκριμένη βάση.
- Τα κριτήρια που εξαρτώνται από το βάθος ποιότητας του εδάφους δεν χρησιμοποιούνται.

Όσον αφορά την κορυφή του εδάφους (0-1m) για πολύ ευαίσθητες χρήσεις γης, όπως η στέγαση με κήπους και παιδικές χαρές, τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους για περίπου 50 ουσίες που έχουν εοριστεί με βάση την τοξικότητα τους για τον άνθρωπο. Ο αποφασιστικός υποδοχέας στην αξιολόγηση είναι συνήθως δύο χρονών παιδί, που υποτίθεται ότι καταναλώνει 0,2 g εδάφους την ημέρα, ή σε σπανιότερες περιπτώσεις έδαφος 10g. Οι νέες κατευθυντήριες γραμμές εισάγουν ένα νέο τύπο μια νέα κατευθυντήρια γραμμή ορίζονται για το έδαφος. Έτσι υποδηλώνοντας ότι αν η μόλυνση είναι κάτω από αυτή την κατευθυντήρια γραμμή η αποκατάσταση δεν είναι απαραίτητη, διότι η έκθεση μπορεί να μειωθεί σε αποδεκτά επίπεδα, μειώνοντας την επαφή με το έδαφος. Εάν η τιμή υπερβεί τα όρια σε χώρους που χρησιμοποιείται για οικιστικούς σκοπούς της έκθεσης θα πρέπει να κοπεί, είτε με την αποκατάσταση είτε με τη δημιουργία ενός φράγματος. Οι τιμές αποκοπής έχουν νόημα μόνο για συγκεκριμένες ουσίες και έχουν ληφθεί για 10 από αυτές.





Πολύ ευαίσθητη χρήση γης ορίζεται ως οι δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε μια μονοκατοικία με κήπο, σε παιδικές χαρές και στα νηπιαγωγεία. Δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος που να συνδέεται με τις δραστηριότητες που εμπλέκονται αν τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους είναι σε ένα βάθος 3 μ. κάτω από την επιφάνεια, οπότε δεν είναι αναγκαία κανενός είδος διοικητικού κανονισμού. Εάν

τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους είναι σε ένα βάθος 1m κάτω από την επιφάνεια, δεν υπάρχει κίνδυνος που συνδέεται με τις συνήθεις δραστηριότητες, αλλά η εγγραφή είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι οι εργασίες κατασκευής θα ληφθεί υπόψη η ρύπανση του εδάφους σε βαθύτερα επίπεδα. Πολύ ευαίσθητη χρήση γης, είναι αν τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους συναντήθηκαν σε ένα βάθος από 300 εκατοστά κάτω από την επιφάνεια και με ένα καθαρό δείκτη ή γεωύφασμα χωρίζει τη επιφάνεια εδαφών από το μολυσμένο υποκείμενο έδαφος. Τέτοιες περιπτώσεις πρέπει επίσης να είναι εγγεγραμμένες. Τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους για μερικούς από τους συνηθέστερους μολυσματικούς παράγοντες που απαριθμούνται στον πίνακα (σε σχέση με τη χρήση της γης). Πτητικές ενώσεις μπορούν να ενέχουν κινδύνους για τα υπόγεια ύδατα και την ποιότητα του αέρα, αλλά οι κίνδυνοι αυτοί αξιολογούνται χωριστά.

### **Ευαίσθητες και μη - ευαίσθητες χρήσεις γης**

Πρόκειται για τις χρήσεις γης με δραστηριότητες άλλες από εκείνες που αναφέρονται στην πολύ ευαίσθητη χρήση γης, π.χ. πάρκα και τη βιομηχανία. Ο γενικός κανόνας είναι ότι τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους πρέπει να πληρούνται κατά το βάθος χρήσης. Ο διαχωρισμός μεταξύ μολυσμένων και μη μολυσμένων εδαφών επιτυγχάνεται με τα κριτήρια του εδάφους, αρκεί να πληρούνται μέχρι το βάθος του φράγματος. Ωστόσο, η περιοχή δεν είναι ρυθμιζόμενη ακόμη διοικητικά. Το βάθος της χρήσης των χώρων στάθμευσης και άλλων παρόμοιων ανοιχτών χώρων γενικά αναμένεται να είναι 0,5. Το βάθος της εκμετάλλευσης για κατοικημένες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων δασο-υπο-περιοχές είναι 0.25m.

### **Εκτίμηση των συγκεντρώσεων ρύπων**

Οι γενικές συστάσεις είναι οι εξής:

- Περιοχές με συγκεντρώσεις των ρύπων που υπερβαίνουν τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους παρουσιάζουν κίνδυνο, ακόμη και αν η υπέρβαση μπορεί να είναι μέτρια.
- Τα δείγματα από τα στρώματα περιοχής που μπορεί να εντοπιστεί στον τομέα (π.χ. σκωρίες και τέφρα) δεν πρέπει να αναμιγνύεται με άλλα στρώματα.

Η τοξική επίδραση των προσμείξεων πρέπει να τα λάμβανε υπόψη κατά την εκτίμηση του κινδύνου θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη, αν ένα μόνο μέρος από τα δείγματα πληρούσαν τα κριτήρια ποιότητας του εδάφους προκαλούν χρόνιες επιδράσεις, π.χ. Pb και Cd, ημέση συγκέντρωση των δειγμάτων πρέπει να πληρεί τα κριτήρια της ποιότητας του εδάφους.

Στην περίπτωση των ουσιών που θα μπορούσε να προκαλέσει οξείες τοξικές επιδράσεις, π.χ. Ni η μέση συγκέντρωση πρέπει να πληρεί τα κριτήρια της ποιότητας του εδάφους, αλλά όχι περισσότερο από το 10% των δειγμάτων μπορεί να υπερβαίνει τα κριτήρια κατά περισσότερο από 50%. Εάν αυτός ο όρος δεν πληρείται οι περιοχές που εκπροσωπούνται από τα δείγματα θεωρούνται ότι παρουσιάζουν σημαντικό κίνδυνο.

### **Η ρύπανση του εδάφους σε σχέση με τα υπόγεια ύδατα**

Ο στόχος είναι η προστασία των υπογείων υδάτων ως πηγή πλούτου. Ποιότητα των υπογείων υδάτων βασίζεται στις κατευθυντήριες τιμές για το πόσιμο νερό. Εξίσου και τα υπόγεια ύδατα, μετά από συνήθεις διαδικασίες καθαρισμού νερού, πρέπει να πληρούν τα πρότυπα του πόσιμου νερού. Τα κριτήρια ποιότητας για τα υπόγεια ύδατα έχουν προκύψει για περίπου 50 ουσίες. Μερικές από τις γενικές αρχές είναι οι εξής:

- Σε περίπτωση υπέρβασης των κριτηρίων ποιότητας των υπογείων υδάτων σε επόμενο στάδιο της έρευνας μπορεί να χρειάζεται για να επιβεβαιώσει η αρχική εκτίμηση. Προχωρώντας σε αυτό το επόμενο στάδιο απαιτεί γενικά περισσότερα σχετικά με το χώρο δεδομένα.
- Η αξιολόγηση του κινδύνου μίας μολυσμένης περιοχής περιλαμβάνει τον καθορισμό χώρου, εάν η μόλυνση επηρεάζει ή θα μπορούσε να επηρεάσει την ποιότητα των υπογείων υδάτων σε διάφορες αποστάσεις από την τοποθεσία. Η εκτιμώμενη συγκέντρωση στον υδροφόρο ορίζοντα σε μια απομακρυσμένη περιοχή δίνει το στίγμα του κινδύνου εάν η εκτιμώμενη συγκέντρωση των υπογείων υδάτων υπερβαίνει τα κριτήρια ποιότητας των υπογείων υδάτων.
- Η παρουσία της ελεύθερης φάσης ρύπων θεωρείται ότι εγκυμονεί κίνδυνο.

### **Η Διαδικασία τριών βημάτων (Φιλανδικό μοντέλο)**

Η αξιολόγηση των κινδύνων από τη ρύπανση του εδάφους σε σχέση με τα υπόγεια ύδατα περιλαμβάνει τρία στάδια που περιλαμβάνουν όλο και πιο προηγμένες και ειδικές διαδικασίες για μια δεδομένη περιοχή.

Βήμα 1: «μοντέλο ανάμειξης κοντά στην περιοχή της πηγής» είναι μια απλή και εύκολη εκτίμηση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων και των συγκεντρώσεων στην μολυσμένη περιοχή. Ο υπολογισμός λαμβάνει υπόψη την αραίωση σε συνάρτηση με τη ροή των υπογείων υδάτων. Η συγκέντρωση των ρύπων στους υδάτινους πόρους στην ακόρεστη πηγή ζώνη μπορεί να μετρηθεί άμεσα ή να υπολογιστεί από τις εξισώσεις που περιγράφουν τη στεγανοποίηση μεταξύ των φάσεων του εδάφους. Τα μολυσμένα υπόγεια ύδατα στο ενδοπορικό νερό θεωρείται ότι αναμειγνύεται με την μεγάλη κατακόρυφη ζώνη 0,25 μ στον υδροφόρο ορίζοντα. Η συγκέντρωση στα υπόγεια ύδατα υπολογίζεται από τη ισορροπία. Αν δεν μπορεί να ανταποκριθεί στα κριτήρια ποιότητας των υπογείων υδάτων, η περιοχή θεωρείται ότι έχει κίνδυνο. Η αξιολόγηση πρέπει να πραγματοποιείται είτε στο βήμα 2, ή πρέπει να ληφθούν διορθωτικά μέτρα.

Βήμα 2: «Το μεταγενέστερο μοντέλο της περιοχής προέλευσης» βασίζεται σε κριτήρια τήρηση της ποιότητας υδάτων στον υδροφόρο ορίζοντα σε ένα σημείο που βρίσκεται 100 μέτρα κατάντη της πηγής ή σε απόσταση ίση προς τη διαδρομή της ροής των υπογείων υδάτων ενός έτους. Το βάθος της ζώνης ανάμειξης καθορίζεται από την εξέταση εγκάρσιας διασπορά στον υδροφόρο ορίζοντα.

Βήμα 3: «Το μεταγενέστερο μοντέλο βασισμένο σε διασπορά και στην υποβάθμιση των φυσικών χαρακτηριστικών» με την ποιότητα των υπογείων υδάτων με βάση τα κριτήρια στην ίδια απόσταση, όπως στο βήμα 2, αλλά οι συγκεντρώσεις μειώνονται λόγω της φυσικής εξασθένησης των ρύπων στον υδροφόρο ορίζοντα. Εάν τα κριτήρια ποιότητας υπολείπονται των εκτιμήσεων των συγκεντρώσεων ρύπων, το ποσοστό αποδόμησης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό πρέπει να επιβεβαιώνεται με μετρήσεις είτε στον τομέα (in situ) είτε στο εργαστήριο.

### **Σχέση των πτητικών ρύπων με τον αέρα**

Η αξιολόγηση των κινδύνων από τη ρύπανση του εδάφους σε σχέση με πτητικές ουσίες στην εσωτερική αέρια φάση βασίζεται στην μεταφορά ρύπων από τη διάχυση μέσω πόρων στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους. Εάν η εκτιμώμενη συγκέντρωση ρύπων στον αέρα υπερβαίνει κριτήριο της ποιότητας του αέρα, η ρύπανση θεωρείται ότι παρουσιάζει κίνδυνο και απαιτείται εκτίμηση των κινδύνων σε βάθος, σε μολυσμένες τοποθεσίες Σε βάθος ποσοτικές εκτιμήσεις των τοξικολογικών ή άλλων κινδύνων από μολυσμένες τοποθεσίες έχουν γίνει στη Φινλανδία. Με βάση μια πρόσφατη έρευνα της ποιότητας των εκτιμήσεων έχουν ως επί το πλείστον κακή άποψη όσο αφορά το στόχος-ρύθμιση, το πεδίο εφαρμογής, τη μεθοδολογία, η συνολική συμπεριφορά, τεκμηρίωση και αξιοποίηση. Αυτές οι αδυναμίες, σε μεγάλο βαθμό προκαλούνται από την έλλειψη πόρων (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και της εμπειρίας), αλλά και από τις στάσεις και τη στενότητα της παρατήρησης (ορισμοί in situ του πεδίου εφαρμογής της αξιολόγησης). Η επιπλέον εκτίμηση κινδύνου έχει ενσωματωθεί επαρκώς και σε άλλους τομείς της αποκατάστασης της έρευνας και του σχεδιασμού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκείς, μάταιες ή ακόμη και σε φαινομενικές εκτιμήσεις. Λόγω του περιορισμένου πεδίου πολλών εκτιμήσεων, οι κίνδυνοι μπορεί να υπερτιμηθούν ή να υποτιμηθούν ή ακόμα και να παραμεληθούν εντελώς μια περιοχή με προβλήματα ρύπανσης και η διαχείριση του κινδύνου μπορεί να είναι δυσανάλογη προς τις πραγματικές ανάγκες. Εν μέρει λόγω της εξάρτησης των μεθοδολογιών που ανέπτυξαν η τυπική αμερικανική μεθοδολογία εκτίμησης κινδύνου και τα εμπορικά μοντέλα, υπήρξε μια υπερβολική έμφαση στις καρκινογόνες ουσίες σε αξιολόγηση των κινδύνων για την υγεία. Οι κίνδυνοι αυτοί συνήθως εκτιμώνται με συντηρητικές παραδοχές έκθεσης, με δεδομένα τοξικότητας των ζώων. Για άλλες ουσίες, η αξιολόγηση των κινδύνων για την υγεία βασίζονται στην παραδοχή ορίου κατά τη λειτουργία δόσης-απόκρισης, σε συνδυασμό με την τάση να λαμβάνονται υπόψη αλληλεπίδραση μεταξύ των ειδών και ενδοεπικοινωνίες του είδους. Οι οικολογικοί κίνδυνοι συνήθως αντιμετωπίζονται μόνο ποιοτικά. Ποσοτική σύγκριση των δημοσιευμένων στοιχείων τοξικότητας με συγκεντρώσεις που παρατηρούνται έχει επιχειρηθεί αλλά δεν έχουν αναλυθεί σε δεδομένα ευαισθησίας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, άμεσες αποδείξεις των επιπτώσεων έχει προκύψει από βιολογική δοκιμασία του εργαστηρίου. Ωστόσο, αυτές οι δοκιμές σπάνια έχουν συνδεθεί με μοντέλα οικοτοξικολογικά ή χρησιμοποιούνται για την επικύρωση των εκτιμήσεων.

Λίγα πράγματα έχουν γίνει μέχρι στιγμής στη Φινλανδία ώστε να χρησιμοποιηθούν και να βελτιωθούν τα μοντέλα για την ανάλυση κινδύνου, π.χ. πρότυπο Μόντε Κάρλο αν και αυτό είναι το κλειδί για την πιο ρεαλιστική εκτίμηση για πιο ενημερωμένες αποφάσεις για τη διαχείριση. Η επικύρωση της έκθεσης και των μοντέλων επικινδυνότητας για τους ρυπασμένους τόπους παρουσιάζει μεγάλες προκλήσεις. Οι αποφάσεις για τη διαχείριση κινδύνου όπως επίσης με βάση και άλλους παράγοντες, οι πολιτικές και κοινωνικές νόρμες. Αυτό δεν μειώνει τη σημασία της εκτίμησης κινδύνου ή μοντελοποίηση του κινδύνου.

Όπως συμβαίνει με πολλές άλλες χώρες, που έχουν μολυνθεί η εκτίμηση των κινδύνων στο χώρο αξιολόγησης στη Φινλανδία δεν έχει ακόμη επαρκώς συνδεθεί με τη διαχείριση του κινδύνου. Υπήρξαν κάποιες προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση, π.χ. σε μελέτες σκοπιμότητας για την απορρύπανση στρατηγικές και λύσεις. Θα ήταν χρήσιμο να γίνει καλύτερη χρήση των μεθοδολογιών και οι αποφάσεις να λαμβάνονται με γνώμονα την ανάλυση του κινδύνου που έχουν αναπτυχθεί σε πιο προχωρημένους τομείς του περιβαλλοντικού τεχνολογικού εξοπλισμού, π.χ. προστασία από την ακτινοβολία, την τεχνολογία οδικής ασφάλειας και την υγειονομική περίθαλψη. Πολυδιάστατη ανάλυση των κινδύνων, το κόστος, τα οφέλη (ή άλλα πλεονεκτήματα) και ο συνολικός αντίκτυπος των επιλογών διαχείρισης κινδύνου θα παρείχε μια πιο υγιή βάση για την απορρύπανση ανάπτυξη στρατηγικής και λήψης αποφάσεων σε περιφερικό και εθνικό επίπεδο.

1. Τοπικά έναντι παγκόσμιων ζητημάτων, και συγκεκριμένα την εξέταση της σχέσης μεταξύ των κινδύνων από τις μολυσμένες περιοχές και εκείνων που προέρχονται από άλλες πηγές ρύπανσης.

2. Επικινδυνότητα εκτίμησης σε σχέση με τη διαχείριση του κινδύνου. Αυτό αφορά βασικά ερωτήματα σχετικά με την αρχή της προφύλαξης (δικαιολογημένη σύνεση υπό συνθήκες αβεβαιότητας) και την ανάγκη να διαχειρίζονται τα προβλήματα με κόστος και με ένα χρονοδιάγραμμα που η κοινωνία μπορεί να αντέξει οικονομικά.

### 5.2.5 Γαλλία

#### Η αρχική διάγνωση και απλοποιημένη εκτίμηση του κινδύνου

Η αρχική διάγνωση (μελέτη του εδάφους) είναι το δεύτερο βήμα κατά την εθνική διαδικασία για τον εντοπισμό των μολυσμένων τοποθεσιών. Το πρώτο στάδιο είναι μια προκαταρκτική επίσκεψη στον τομέα, προκειμένου να εντοπιστούν οι περιοχές που παρουσιάζουν άμεσους κινδύνους που απαιτούν τη λήψη έκτακτων μέτρων (π.χ. τύμπανα διαρροή, εύφλεκτα, προϊόντα κλπ.) Οι στόχοι της αρχικής μελέτης είναι:

1. Προσδιορισμός των ενδεχόμενων ρύπανσης και μια σύντομη περιγραφή των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον από το παρελθοντικές ή το παροντικές δραστηριοτήτων στις τοποθεσίες αυτές.
2. Συγκέντρωση των απαραίτητων πληροφοριών για την εφαρμογή μιας απλουστευμένης αξιολόγησης του κινδύνου, προκειμένου να κατατάξουν την ανάγκη

παρέμβασης.

Η μελέτη του εδάφους περιλαμβάνει δύο κύρια στάδια:

**Βήμα Α:** έγγραφες αποδείξεις σχετικά με τη δυνητική ρύπανση χρησιμοποιώντας εύκολα προσβάσιμες πληροφορίες, συμπληρώνεται από μία ή περισσότερες επισκέψεις στο πεδίο.

**Βήμα Β:** εάν είναι απαραίτητο, σύντομες επιπλέον έρευνες πεδίου για τη συλλογή πληροφοριών που δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί στο παρελθόν.

Οι κύριες φάσεις στο Βήμα Α:

- Ιστορική έρευνα για να καθορίσει τη διαδοχή των δραστηριοτήτων σε μια τοποθεσία, ακριβείς θέσεις τους και κάθε συναφές πρακτικό περιβαλλοντικής διαχείρισης.
- Μελέτη της ευπάθειας του περιβάλλοντος ως προς τη ρύπανση, συμπεριλαμβανομένου του προσδιορισμού των παραμέτρων που θα καθορίσουν την τύχη και τη μεταφορά των ρύπων (ιδίως, παράγοντες που μπορεί να καθυστερήσουν ή να επιταχύνουν τη μετανάστευση) και τη δυνατότητα προβολής από τους υποδοχείς (ανθρώπους, κατοικίες, κλπ πόσιμο νερό προμήθειες .)
- Επίσκεψη στο site και τα περίχωρά του. Αυτό πρέπει να περιλαμβάνει την επιβεβαίωση της τρέχουσας κατάστασης της περιοχής, την επαλήθευση των πληροφοριών που συγκεντρώνονται κατά τη διάρκεια της ιστορικής έρευνας, των προμηθειών των πρόσθετων στοιχείων και τον προσδιορισμό των δυνητικών ή υφιστάμενων κινδύνων, και την προετοιμασία για τις μελλοντικές έρευνες πεδίου.
- Μετά την ολοκλήρωση αυτού του βήματος ένα σχέδιο έκθεσης, όπως ένα εννοιολογικό μοντέλο του τόπου, θα πρέπει να περιλαμβάνει υποθέσεις εργασίας για:
  - Τον προσδιορισμό και η θέση των πιθανών πηγών ρύπανσης.
  - Τον κατάλογο των ρύπων που μπορεί να βρεθεί στην ιστοσελίδα.
  - Την χωρική ετερογένεια της ρύπανσης.
  - Τον βαθμός της ευπάθειας του περιβάλλοντος.
  - Τους δυναμικούς υποδοχείς που έχουν εντοπιστεί.
  - Το προσδιορισμό των μέσων που ενδέχεται να επηρεαστούν.
  - Την παρατήρηση των πραγματικών επιπτώσεων.

Το βήμα Β της αρχικής διάγνωσης περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων που δεν είναι διαθέσιμη στο τέλος του σταδίου Α, αλλά απαιτείται η ταξινόμησή τους με βάση μια απλοποιημένη μέθοδο αξιολόγησης του κινδύνου. Αυτό συνήθως περιορίζεται σε επιβεβαίωση της ρύπανσης στα διάφορα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Δεν είναι ένας στόχος σε αυτό το στάδιο να διεξάγονται έρευνες για τη χωρική

κατανομή της ρύπανσης, τους μηχανισμούς μεταφοράς της, η έκταση της ζημίας ή την επιλογή των τεχνικών αποκατάστασης.

Η ερευνά θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- Το εννοιολογικό μοντέλο που αναπτύχθηκε στο τέλος του Βήματος Α.
- Η χρήση των πόρων ανάλογα με το μέγεθος του χώρου.
- Πώς με ασφάλεια τις τεχνικές που έχουν επιλεγεί μπορεί να εφαρμοστούν (ασφάλεια των προσώπων και την προστασία του περιβάλλοντος).

Όλες οι πληροφορίες που συλλέγονται κατά τη διάρκεια της μελέτης του εδάφους χρησιμοποιούνται στην απλουστευμένη αξιολόγηση του κινδύνου.

Ο στόχος της απλουστευμένης αξιολόγησης του κινδύνου είναι να γίνει διάκριση μεταξύ των χώρων που δεν ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον και εκείνων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ουσιαστικές ή μακροχρόνιες βλαβερές συνέπειες. Αυτή η απλοποιημένη αξιολόγηση διενεργείται με την εξέταση των ανθρώπινων πόρων για την υγεία και το νερό ως βασικούς υποδοχείς, σε συνάρτηση με τις γνωστές χρήσεις του χώρου και τα περιχώρα της κατά το χρόνο των σπουδών.

Η απλοποιεί αξιολόγηση των κινδύνων χρησιμοποιεί μια μέθοδο βαθμολόγησης βασίζεται στο θεμελιώδες μοντέλο εκτίμησης του κινδύνου: πηγή-μονοπάτι-στόχο. Δηλαδή, για τον κίνδυνο να υπάρχουν πρέπει να υπάρχει μια επικίνδυνη ή επικίνδυνη πηγή (D), ένα μονοπάτι ή με τη μεταφορά προς και σε μέσα μαζικής ενημέρωσης (T), και έναν ή περισσότερους στόχους (Ta).

Τεχνικά κριτήρια έχουν οριστεί για κάθε έναν από τους παράγοντες (D, T, Ta) δίνοντάς τους τη δυνατότητα να χαρακτηρίζεται με βάση τις πληροφορίες που συγκεντρώθηκαν κατά την αρχική διάγνωση, έχουν 49 κριτήρια έχουν επιλεγεί για την απλουστευμένη αξιολόγηση του κινδύνου σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Πιθανό κίνδυνο από την πηγή.
2. Δυναμικότητα κινητοποίησης και μεταφοράς των ρύπων.
3. Στόχοι.
4. Παρατήρησης των επιπτώσεων.

Κάθε κριτήριο βαθμολογείται σε συνάρτηση με τη μέγιστη δυνατή τιμή που θα μπορούσε να φτάσει. Τα βασικά αποτελέσματα στη συνέχεια συνδυάζονται για να παρέχουν μια συνολική βαθμολογία για κάθε οδό έκθεσης έχουν προσδιοριστεί για την περιοχή μελέτης. Εννέα πλέγματα βαθμολόγησης έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε να ταξινομούνται οι τόποι:

- Τρεις για τα υπόγεια ύδατα:  
Παροχές πόσιμου νερού  
Άλλες χρήσεις  
Το μέλλον των πόρων.
- Τρεις για τα επιφανειακά ύδατα:  
Παροχές πόσιμου νερού

Άλλες χρήσεις

Το μέλλον των πόρων.

- Έδαφος με την άμεση επαφή
- Αέρας μέσω άμεσης επαφής
- Κίνδυνος πυρκαγιάς / έκρηξης

Στην πράξη, επιλέγονται μόνο τα δίκτυα βαθμολόγησης που έχουν σημασία για την περιοχή. Αυτό το βήμα της επιλογής κριτηρίων για βαθμολόγηση πρέπει να συμφωνηθεί μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών (π.χ. το πρόσωπο που είναι υπεύθυνο για την τοποθεσία, ο σύμβουλος και ο επιθεωρητής του εγκεκριμένες εγκαταστάσεις).

### Ταξινόμηση των χώρων

Η Κατάταξη σε μία από τις τρεις κατηγορίες («κοινός τόπος» χώρους για την παρακολούθηση, και τοποθεσίες που χρειάζονται πρόσθετη έρευνα και λεπτομερή εκτίμηση των κινδύνων) πραγματοποιείται ανάλογα με τη χρήση της περιοχής σήμερα ή στο μέλλον ανάλογα με την περίπτωση. Η κατάταξη αυτή ισχύει για τις συνθήκες κατά τη στιγμή της μελέτης του εδάφους, δηλαδή η έκταση των επιστημονικών και τεχνικών γνώσεων, και η δηλωθείσα χρήση της περιοχής και τα περιχώρα της. Εάν οποιαδήποτε από αυτές τις συνθήκες έχει αλλάξει, η απλοποιημένη αξιολόγηση κινδύνου πρέπει να αναθεωρηθεί.

### 5.2.6 Ελλάδα

Προκειμένου να προστατευθεί η δημόσια υγεία και το περιβάλλον, το 1986 η Ελλάδα περιέλαβε στην εθνική της νομοθεσία τις βασικές Περιβαλλοντικές αρχές στο 1659-1686, (ο νόμος ο οποίος καλύπτει όλες τις πτυχές της προστασίας του περιβάλλοντος). Σε αυτό το νόμο ειδικές διατάξεις που περιλαμβάνονται σχετικά με την προστασία του εδάφους από τη διάθεση των αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων, και από την υπερβολική χρήση των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη νομοθεσία, οδηγίες και πρότυπα υπάρχουν άμεσα ή έμμεσα για τον έλεγχο του εδάφους και των υπόγειων υδάτων. Η σπανιότητα της βαριάς βιομηχανίας και άλλων παραγωγικών δραστηριοτήτων που δημιουργούν τα επικίνδυνα απόβλητα έχει περιορίσει τον αριθμό των μολυσμένων τόπων στην Ελλάδα. Τέτοιες περιοχές είναι πιο πιθανό να σχετίζονται με την ακατάλληλη απόρριψη οικιακών και βιομηχανικών αποβλήτων, με περιοχές ορυχείων και των δεξαμενών υποδοχής απορριμμάτων, με τη διύλιση πετρελαίου και χώρους αποθήκευσης, καθώς και για τις εγκαταστάσεις για τον εμποτισμό ξύλου.

Μέχρι στιγμής δεν έχει υπάρξει συγκεκριμένη έρευνα για την αναγνώριση και την καταγραφή των ρυπασμένων τόπων στην Ελλάδα. Σύμφωνα με την πρώτη καταγραφή των χώρων διάθεσης οικιακών αποβλήτων, το 1988, περίπου 3.500 τοποθεσίες που λειτουργούν χωρίς μέτρα προστασίας του περιβάλλοντος, και περίπου 1.500 περιοχές με περιορισμένα μέτρα. Από το 1990 όλα οι νέοι χώροι υγειονομικής ταφής θα πρέπει να ακολουθούν τις διαδικασίες που ορίζονται στην Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 69269/5387/90. Η διάθεση των αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται κάτω από συνεχή έλεγχο, σύμφωνα με τις περιβαλλοντικές διατάξεις που καθορίζονται από τις αρμόδιες αρχές. Οπουδήποτε οι χώροι Υγειονομικής Ταφής θα



πρέπει να αποκατασταθούν κατά το τέλος της λειτουργίας του, από τις τοπικές αρχές, στις οποίες οι διαδικασίες έπαυσαν πριν από το 1990 γιατί είναι γνωστό ότι προκαλούν σημαντική ρύπανση.

Η διάθεση επικίνδυνων και βιομηχανικών αποβλήτων στην Ελλάδα περιλαμβάνει συν-διάθεση σε δημοτικούς χώρους ταφής αποβλήτων για τα επικίνδυνα απόβλητα που είναι παρόμοια σε σύνθεση με τα οικιακά απορρίμματα. Άλλα είδη επικίνδυνων αποβλήτων μπορούν να αποθηκευτούν σε ελεγχόμενες περιοχές εντός της εγκατάστασης, όπου τα απόβλητα που παράγονται ή μπορούν να εξάγονται προς διάθεση σε ειδικούς χώρους σε τρίτες χώρες. Το τελευταίο εφαρμόζεται στις περιπτώσεις των αποβλήτων υψηλής κινδύνου, όπως, κυάνιο PCBs απόβλητα και τα φυτοφάρμακα.

Δύο προγράμματα που βρίσκονται σε εξέλιξη για την επιλογή του χώρου και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας για την ελεγχόμενη διάθεση των επικίνδυνων αποβλήτων, το ένα για τη Βόρεια Ελλάδα και μία για την Νότια Ελλάδα. Υπάρχει επίσης μια μελέτη σχετικά με την εγκατάσταση μιας μονάδας επεξεργασίας υγρών επικίνδυνων αποβλήτων και λάσπης, που παράγεται από τις βιομηχανίες των Νομών Αττικής και Βοιωτίας. Το μεγάλο πρόβλημα που έχει η πολιτεία είναι να αντιμετωπίσει τις ανησυχίες για τη δημόσια αποδοχή των προτεινόμενων τοποθεσιών. Η έρευνα που διεξάγεται από πανεπιστήμια και ερευνητικά ινστιτούτα έχει προσδιορίσει μια σειρά βιομηχανικά μολυσμένων χώρων. Σήμερα, μια μελέτη έχει ήδη ολοκληρωθεί από το Υπουργείο Περιβάλλοντος για την ακριβή καταγραφή των χώρων υποψία του ντάμπινγκ επικίνδυνων αποβλήτων.

Σε γενικές γραμμές η έρευνα σχετικά με μολυσμένες τοποθεσίες χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, την εθνική κυβέρνηση και δημοτικές επιχορηγήσεις. Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει μεγάλο ενδιαφέρον για τις δραστηριότητες αποκατάστασης, κυρίως των δημοτικών χώρων διάθεσης αποβλήτων, καθώς επίσης και σε δραστηριότητες αξιολόγησης της επικινδυνότητας για τους ρυπασμένους τόπους. Σήμερα πολλά σχετικά έργα βρίσκονται σε εξέλιξη. Μερικά από τα έργα αυτά περιλαμβάνονται στο Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβαλλοντικό για την Ελλάδα και χρηματοδοτούνται με επιχορηγήσεις από το Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Άλλα έργα που χρηματοδοτούνται από το Ταμείο Συνοχής και εθνικούς πόρους, μέσω του ειδικού ταμείου για την εφαρμογή των διαρθρωτικών και τα πολεοδομικά σχέδια.

#### **5.2.6.1. Πολιτικό πλαίσιο**

Η εθνική προσέγγιση για την αξιολόγηση των κινδύνων μολυσμένο χώρο στην Ελλάδα βασίζεται στη γενική φιλοσοφία σχετικά με όλα τα περιβαλλοντικά θέματα, η οποία εισήχθη με το βασικό Περιβάλλοντος Ν. 1650/86. Η βασική αρχή, σύμφωνα με τον τελευταίο νόμο, είναι ότι ο ρυπαίνων φέρει την ευθύνη για το κόστος αποκατάστασης (ο ρυπαίνων πληρώνει). Εκτός από το Νόμο 1650/86, αυτά είναι τα κύρια τμήματα της ελληνικής νομοθεσίας που αναφέρονται σε μόλυνση του εδάφους και των υπόγειων υδάτων και γενικά βασίζονται σε μετάφραση της νομοθεσίας της ΕΕ στην εθνική νομοθεσία:

- ΚΥΑ 72751/3054/1985: Τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα και PCB / PCT (ΕΟΚ οδηγιών 78/319 και 76/403).
- ΚΥΑ 49541/1424/1986: Στερεά απόβλητα (οδηγία 75/442 ΕΟΚ).

- ΚΥΑ 26857/553/1988: Προστασία των υπογείων υδάτων για την απόρριψη επικίνδυνων ουσιών (οδηγία 80/68 ΕΟΚ).
- Ο κανονισμός 259/93 σχετικά με τις διασυνοριακές μεταφορές αποβλήτων.
- ΚΥΑ 69269/5387/1990: Ταξινόμηση των δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και το περιεχόμενο των διαφορετικών τύπων περιβαλλοντική μελέτη αξιολόγησης των επιπτώσεων (ΕΟΚ οδηγία 86/278).
- ΚΥΑ 80568/4225/1991: Μέθοδοι και περιορισμοί για τη χρησιμοποίηση της ύλης καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία (ΕΟΚ την οδηγία 86/278)
- ΚΥΑ 8243/1113/1991: Μέτρα και μέθοδοι για την πρόληψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τον αμίαντο (οδηγία 87/217 ΕΟΚ).
- ΚΥΑ 98012/2001/1996: Μέτρα και διατάξεις για τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων ορυκτελαίων (ΕΟΚ την οδηγία 87/101).
- Νερό προστασία πράξη 144/1987, η οποία ορίζει τις επικίνδυνες ουσίες και καθορίζει το ανώτερο παραδεκτές συγκεντρώσεις Cd, Hg, και HCH σε ουσίες που μπορούν να απορρίπτονται σε εσωτερικά ύδατα (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα).
- ΚΥΑ 46399/1352/1986 ,η οποία ορίζει κατευθυντήριες τιμές για διάφορες παραμέτρους που αφορούν την επιφάνεια της ποιότητας του νερού για διάφορες χρήσεις (πόσιμο νερό, κολύμπι, ιχθυοκαλλιέργειες κλπ
- ΚΥΑ 16190/1335/1997: Μέτρα και διατάξεις για την προστασία των υδάτων από τη μόλυνση με νιτρικά γεωργικής προέλευσης.

Σύμφωνα με τις διατάξεις του νέου Νόμου για τη διαχείριση αποβλήτων (ΚΥΑ 69728/824/1996), που θεσπίστηκε το Μάιο του 1996, τα αρμόδια Υπουργεία έχουν συντάξει κατευθυντήριες γραμμές για Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός για τη διαχείριση των αστικών αποβλήτων. Ένα σημαντικό θέμα είναι η διάθεση των παλαιών αποβλήτων και σταδιακή εξάλειψή τους μέσω ποιοτική αποκατάσταση και την αποκατάσταση.

Οι βασικοί παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία αποκατάστασης είναι οι εξής:

- Γεωγραφική πλαίσιο
- Η τελική χρήση της γης
- Αποστάσεις από, βιομηχανικών οίκων εγκαταστάσεις κλπ.
- Το γενικό χαρακτήρα της περιοχής (γεωργία, βοσκοτόπων κ.λπ.)
- Η ανάγκη για σωστή, τοπικά συστήματα μεταφόρτωσης απορριμμάτων
- Η οικολογική συνοχή της ευρύτερης περιοχής.

Σύμφωνα με την ΚΥΑ 69728/824/1996, οι τοπικές αρχές είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη των εγκαταστάσεων διαχείρισης των αποβλήτων. Η διαχείριση των αποβλήτων και τη διάθεση των αποβλήτων πρέπει να εκτελούνται κατά τέτοιον τρόπο ώστε κάθε ρύπανση του περιβάλλοντος (σε έδαφος, νερό και αέρα) που προκύπτουν από αυτές τις δραστηριότητες είναι να προλαμβάνονται ή να περιορίζονται. Η ΚΥΑ επιβάλλει υποχρεώσεις στις τοπικές αρχές όσον αφορά την ρύπανση του εδάφους από

των δημοτικών αποβλήτων, διότι οι εν λόγω αρχές είναι οι αρμόδιες αρχές για τη διαχείριση των δημοτικών αποβλήτων σύμφωνα με την εθνική νομοθεσία.

Επιπλέον, για τα επικίνδυνα απόβλητα Νόμος για τη διαχείριση (ΚΥΑ 19396/1546/1997) τέθηκε σε ισχύ τον Ιούλιο του 1997. Ο νόμος αυτός ορίζει τα επικίνδυνα απόβλητα και αναφέρει, μεταξύ άλλων, με τα καθήκοντα του παραγωγού ή του κατόχου των επικίνδυνων αποβλήτων να αποφευχθεί η μόλυνση του εδάφους σύνορα διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων. Σύμφωνα με την προαναφερόμενη κοινοτική νομοθεσία, το πρόσωπο ή φορέα (π.χ. η τοπική αρχή), υπεύθυνο για τη διάθεση των αποβλήτων επιβαρύνεται με το κόστος της ενδεχόμενης αποκατάστασης τοποθεσία / ανάκτηση, αλλά στην περίπτωση των ορφανών τοποθεσιών ότι το κόστος καλύπτεται από δημόσιους πόρους. Η ανάγκη για τους πόρους είναι πιο επιτακτική για την εξέταση και αποκατάσταση των ορφανών περιοχών εξόρυξης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι ΚΥΑ 69269/5387/1990, αναφέρθηκε προηγουμένως, ότι καθορίζει το περιεχόμενο, του πλαισίου μελετών εκτίμησης των επιπτώσεων και τη λήψη κατάλληλων μέτρων για την πρόληψη της ρύπανσης του εδάφους, του νερού ή αέρα. Ιδιωτικές και δημόσιες επιχειρήσεις πρέπει να υποβάλλουν μελέτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων για τις αρμόδιες αρχές προκειμένου να λάβει άδεια εκμετάλλευσης.

Στην Ελλάδα εθνικά κείμενα αναφοράς για την εκτίμηση κινδύνου δεν υπάρχουν σήμερα για τους ρυπασμένους τόπους. Υπάρχουν έγγραφα Προσανατολισμού που έχουν αναπτυχθεί από κάποιους οργανισμούς, αλλά δεν έχουν γενική ισχύ. Σε γενικές γραμμές, η προσέγγιση της εκτίμησης κινδύνου εκτελείται σύμφωνα με τη διεθνή (π.χ. Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος) ή τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Σε ορισμένες περιπτώσεις η ελληνική νομοθεσία απαιτεί ορισμένες διαδικασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Για παράδειγμα, για τον χώρο ενός ξενοδοχείου η ερευνά και η ανάλυση των μεθόδων CEN ακολουθούνται. Αυτό σημαίνει ότι οι στρατηγικές για τη δειγματοληψία και την ανάλυση θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις μεθόδους της CEN, τα οποία θεωρούνται ότι έχουν την εξουσία της νομοθεσίας. Υπάρχουν, επίσης, σχετικά με κατευθυντήριες γραμμές του ΟΟΣΑ αξίες διαλογής. Η επιλογή των ρύπων που πρέπει να αναλύονται βασίζεται σε προηγούμενη χρήση της περιοχής και των γνωστών περιστατικών μόλυνσης.

Ως άλλο παράδειγμα, για την αξιολόγηση της ανθρώπινης τοξικότητας των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται είναι τα κριτήρια Περιβαλλοντικής Υγείας και Μονογραφίες της IARC για τις καρκινογόνες ουσίες. Οι τρέχουσες εξελίξεις στην Ελλάδα σχετικά με μολυσμένη γη περιλαμβάνουν μια σειρά από έργα E & A. Τα σχέδια αυτά αποσκοπούν είτε να εντοπίσει προβληματικούς τομείς, να καθορίσει την έκταση της ρύπανσης και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της, ή για την ανάπτυξη τεχνολογιών για την επεξεργασία και τον καθαρισμό.

Τα έργα αυτά σχετίζονται με την εμφάνιση και τη διανομή των τοξικών ουσιών σε διάφορους γνωστούς και ύποπτους μολυσμένους χώρους που ερευνώνται. Η συνήθης διαδικασία είναι να γίνει ποιοτική σύγκριση με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ποσοτική εκτίμηση του κινδύνου γίνεται με τη σύγκριση των συγκεντρώσεων που παρατηρήθηκαν στο αντικείμενο της έρευνας (έδαφος, νερό) με αποδεκτά επίπεδα, που ορίζονται στο συνιστώμενα διεθνή πρότυπα, ή στην ελληνική νομοθεσία, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Οι σχετικές μελέτες περιλαμβάνουν τη συλλογή ιστορικών στοιχείων που αφορούν σε μια τοποθεσία, γεωλογικών και υδρολογικών δεδομένων, καθώς και των χημικών και φυσικών μετρήσεων των εδαφών και των υγρών (επιφανειακά ή υπόγεια

ύδατα, εκπλύματα κ.λπ.) σε περιοχές που υπάρχουν υπόνοιες ότι έχουν μολυνθεί.

Τα σχέδια Ε & Α που προαναφέρθηκε, περιλαμβάνουν τις ακόλουθες δράσεις:

- Η Λαυρεωτική χερσόνησος (περιοχή του Λαυρίου), όπου έχουν συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων στο έδαφος, τον αέρα και το νερό έχουν διερευνηθεί. Η Λαυρεωτική χερσόνησος είναι μια από τις πιο αρχαίες μεταλλευτικές περιοχές με υψηλή περιεκτικότητα σε επιφανειακά εδάφη από τοξικά μέταλλα (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb και Zn). Η επιδημιολογική έρευνα που διεξάγεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και στο παρελθόν έδειξαν υψηλά επίπεδα τοξικών στοιχείων στο αίμα και στα ούρα των παιδιών σχολικής ηλικίας.
- Η έρευνα σχετικά με το μολυσμένο έδαφος στο Λαύριο σχετίζεται με την ανάπτυξη μεθοδολογίας για την περιβαλλοντική χαρακτηρισμό του τόπου και τη μείωση των διαρροών των ορυχείων οξύ.
- Η περιοχή του Θριασίου Πεδίου στο νομό Αττικής είναι μια από τις σημαντικότερες βιομηχανικές ζώνες, συμπεριλαμβανομένης της βαριάς βιομηχανίας, τις γεωργικές δραστηριότητες επίσης πρέπει να πραγματοποιηθεί. Η χωματερή των Άνω Λιοσίων βρίσκεται σε αυτή την περιοχή, όπου απορρίπτονται τα αστικά λύματα της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών. Το έργο ερευνά τη σύνθεση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, του εδάφους και των στραγγισμάτων χώρων υγειονομικής ταφής (προσδιορισμός των διαφόρων ρύπων, όπως τα βαρέα μέταλλα, οργανικές τοξικές ουσίες, λάδια, υδρογονάνθρακες, BOD, COD κλπ).
- Άλλες βιομηχανικές ζώνες (Σχηματαρίου-Οινοφύτων, τη βιομηχανική ζώνη της Θεσσαλονίκης), όπου διεξάγεται επίσης ερευνά συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών των γεωλογικών δεδομένων και χημικές και φυσικές μετρήσεις στα νερά και εδάφη.
- Την ποιότητα και η ποσότητα των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, όπου οι έρευνες αφορούν τον προσδιορισμό των τοξικών ουσιών, οι πηγές της ρύπανσης και την ανάπτυξη καθαρών διαδικασιών. Τα πιο σημαντικά προβλήματα ρύπανσης φαίνεται να σχετίζονται με την υπερβολική χρήση λιπασμάτων και τα στραγγίσματα χώρων υγειονομικής ταφής και βιομηχανικών αποβλήτων.
- Η μεγάλη μεταλλευτική περιοχή της Βόρειας Εύβοιας. Το σχετικό έργο είναι σε πιλοτική κλίμακα μιας και αφορά την εκτίμηση του κινδύνου και την εξυγίανση του εδάφους.
- Του Αλιάκμονα ποταμού, όπου η ποσότητα και η μεταφορά ινών αμιάντου στο ποτάμι πρέπει να διερευνηθεί με τη χρήση πεδίου και εργαστηριακές τεχνικές.

Μερικά άλλα ερευνητικά έργα σχετίζονται με την ποιότητα των υπόγειων υδάτων στις μεγάλες βιομηχανική περιοχή της Θεσσαλονίκης, εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην κοιλάδα του ποταμού Ασωπού, το πετρέλαιο και το πετρέλαιο-διασποράς τοξικότητα σε θαλάσσιες παράκτιες περιοχές, περιβαλλοντική τοξικολογία, και την ανάπτυξη εργαλείων για την αξιολόγηση των υπόγειων υδάτων μόλυνσης από βιοχημικά δραστικές ουσίες. Επιπλέον, αυτά τα μεγάλα έργα που αφορούν την αποκατάσταση χώρων διάθεσης απορριμμάτων βρίσκονται σε εξέλιξη:

- Η περιοχή του Σχιστού, η οποία σταμάτησε να λειτουργεί το 1992
- Η χωματερή των Άνω Λιοσίων (βλέπε παραπάνω)

- Ο χώρος υγειονομικής ταφής της Θεσσαλονίκης (Ταγαράδες).

Για όλες τις τοποθεσίες, στο πλαίσιο των σχετικών έργων, οι μελέτες αποκατάστασης έχουν ολοκληρωθεί και τα έργα (συλλογή και την αξιοποίηση του βιοαερίου, έργα αποκατάστασης) έχουν ήδη ξεκινήσει. Οι σχετικές ενέργειες, επίσης, αφορούν και άλλες περιοχές στην Ελλάδα όπου ανεξέλεγκτη απόρριψη αποβλήτων έγινε στο παρελθόν. Άλλο ένα εκτεταμένο σχέδιο για την αποκατάσταση της χωματερής των απορριμμάτων κατεργασίας θειούχων στο Λαύριο έχει ολοκληρωθεί. Πρόκειται για την προσθήκη ασβεστόλιθου στο έδαφος για να εξουδετερώσει την ενδεχόμενη παραγωγή οξέων, που ακολουθείται από ένα στρώμα εδάφους για να απομονώσουν τα τοξικά υπολείμματα από το περιβάλλον και να δημιουργήσει μια αισθητική κάλυψη της βλάστησης.

### 5.2.7. Ισπανία

Ο στόχος για την προστασία των οικοσυστημάτων είναι να εξασφαλιστεί ότι θα λειτουργεί σωστά. Ο κίνδυνος ενός οικοσυστήματος που επηρεάζεται είναι άμεσα συνδεδεμένος με το πόσο καλά θα διατηρηθεί, και συστήματα έχουν αναπτυχθεί για να εγγραφθούν την διατήρηση και την εξέλιξή τους, αν έχει επηρεαστεί αρνητικά. Υπό το πρίσμα αυτό, και λαμβάνοντας υπόψη την παρούσα κατάσταση των επιστημονικών γνώσεων, οι κατευθυντήριες τιμές έχουν προκύψει με βάση τα ακόλουθα κριτήρια.

- Η αξιολόγηση εστιάζεται τις επιπτώσεις στη δομή των οικοσυστημάτων. Αυτό προϋποθέτει ότι η προστασία της δομής περιλαμβάνει επίσης την προστασία την λειτουργία και το οικοσύστημα στο σύνολό του.
- Τα επίπεδα κινδύνου ως εκ τούτου έχουν καθοριστεί σύμφωνα με τις επί τις εκατό των ειδών που επηρεάζονται. Το κρίσιμο ποσοστό μπορεί να ποικίλλει, συνήθως σύμφωνα με την οικολογική σημασία των πιο ευαίσθητων ειδών. Στην περίπτωση των τιμών ελέγχου, τα επίπεδα Β και Γ έχουν καθοριστεί γενικά στην προστασία των αξιών 90% και 50% των ειδών, αντίστοιχα. Οι VIE-C τιμές ερμηνεύεται από την οπτική γωνία της προστασίας των οικοσυστημάτων ως ένα οικολογικό όριο (το ήμισυ του τα είδη που επηρεάστηκαν). Σκοπός τους στο πλαίσιο του συστήματος αξιολόγησης της ποιότητας είναι να χρησιμεύσει ως σήμα συναγερμού.
- Η αξιολόγηση βασίζεται κυρίως σε αποτελέσματα λόγω της άμεσης έκθεσης σε μολυσμένο έδαφος. Ασπόνδυλα του εδάφους, έχουν την κύρια εστίαση, αν και τα φυτά και μικροοργανισμοί μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν. Η επιλογή βασίζεται στη σημασία των ασπόνδυλων στην οικολογία του εδάφους και σχετικά φτωχή ικανότητα προσαρμογής τους, που τους βάζουν σε μεγαλύτερο κίνδυνο.

Δύο πρακτικά θέματα, οι πιστοποιημένες εργαστηριακές δοκιμές και οι μέθοδοι παρέκτασης, εξετάζονται επίσης.

- Όταν υπάρχουν ενδείξεις για βιοσυσσώρευση μέσω της τροφικής αλυσίδας, πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη.
- Μόνο οι άμεσες συνέπειες για τα είδη που θεωρούνται ευαίσθητα λαμβάνουν υπ' όψιν αφού τα δεδομένα οικοτοξικότητας που είναι διαθέσιμα κυρίως προέρχονται υπολογιστικά μοντέλα εργαστηριακές δοκιμές.
- Αν οι μολυσματικοί παράγοντες δρουν απευθείας σε άτομα, για τα χαμηλότερα οργανωτικά επίπεδα, ότι είναι σημαντικό σε επίπεδο οικοσυστήματος είναι το επίπεδο του πληθυσμού, κατά συνέπεια, η αξιολόγηση θα πρέπει να είναι συγκεκριμένη. Ως εκ τούτου, στα αποτελέσματα αυτά που αφορούν τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η δυναμική των πληθυσμών.
- Έχει υποθεθεί ότι η ευαισθησία σε τοξικές ουσίες από τα είδη που συνθέτουν ένα οικοσύστημα ακολουθεί μια γνωστή κατανομή, και πρέπει να υπάρχει συγκεκριμένο υλικοτεχνικό πρωτόκολλο. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα για να κατασκευάσει κάποιος αυτή τη λειτουργία, που ακολουθείται ένα προσεγγιστικό μοντέλο.

### 5.2.8. Ηνωμένο Βασίλειο

#### Κίνδυνοι για την ανθρώπινη ζωή

Για πολλά χρόνια στο Ηνωμένο Βασίλειο έχει λειτουργήσει μια άμεση προσέγγιση για την αξιολόγηση των κινδύνων από μολυσμένο έδαφος στο οποίο οι τιμές ενεργοποίησης προφύλαξης στο κατώτατο όριο ορίζονται με βάση το έλεγχο του επιπέδου για μερικούς από τους πιο κοινούς ρύπους του εδάφους. Λεπτομερής έκθεση ειδικά για μια περιοχή αξιολόγηση των κινδύνων, με βάση την έκθεση και την τοξικότητα, χρησιμοποιείται όταν αυτό είναι ιδιαίτερα περίπλοκο ή ευαίσθητες περιστάσεις το απαιτούν. Στο πλαίσιο των άμεσων κινδύνων για την υγεία του ανθρώπου είναι αυτά που απαιτούν οι τιμές ορίου σταδιακά να αντικατασταθούν από κατευθυντήριες τιμές. Οι κατευθυντήριες τιμές προκύπτουν χρησιμοποιώντας τις ίδιες διαδικασίες και αλγορίθμους και χρησιμοποιούνται σε λεπτομερή ειδικά για μια περιοχή αξιολόγηση των κινδύνων, αλλά εφαρμόζεται σε τυπικά σενάρια γης που χαρακτηρίζονται από ειδικές υποθέσεις έκθεσης στη ρύπανση (DETR, στο πλαίσιο της προετοιμασίας).

Κατευθυντήριες τιμές μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του κινδύνου για όσο διάστημα ο εκτιμητής ιστοσελίδα έχει πεισθεί ότι:

1. Οι παραδοχές στις οποίες βασίζονται οι τιμές είναι σχετικές με την πηγή-μονοπάτι-υποδοχέα περιστάσεις της εν λόγω τοποθεσία,
2. Έχουν οποιεσδήποτε άλλες συνθήκες σχετικές με τη χρήση των κατευθυντήριων τιμών που έχει παρατηρηθεί (π.χ. το καθεστώς δειγματοληψίας και τις μεθόδους προετοιμασίας του δείγματος και την ανάλυση),
3. Έχουν πραγματοποιήσει κατάλληλες προσαρμογές για να καταστεί δυνατή η

διαφορές μεταξύ των περιστάσεων της εν λόγω γήπεδο και οι παραδοχές ή άλλους παράγοντες που σχετίζονται με τις κατευθυντήριες τιμές.

Για να βοηθήσει κάποιος στη λήψη αυτών των αποφάσεων, έτσι ώστε να αντικατοπτρίζουν την «κατάλληλη για χρήση» πολιτική πρέπει κάποιος να λάβει υπόψη του ξεχωριστές κατευθυντήριες τιμές που προκύπτουν ως λειτουργίες από τον τύπο του εδάφους, pH του εδάφους, της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ύλη κλπ. Όταν οι κατευθυντήριες γραμμές δεν είναι διαθέσιμες ή η χρήση τους δεν είναι κατάλληλη, άλλες μέθοδοι εκτίμησης του κινδύνου μπορεί να χρησιμοποιηθούν εφ' όσον είναι σκόπιμο, έγκυρες και επιστημονικά τεκμηριωμένες.

### **Οι κίνδυνοι για το υδάτινο περιβάλλον**

Είναι πιο δύσκολο να προκύψουν γενικές οδηγίες για την προστασία των υπόγειων υδάτων σε σχέση με το έδαφος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των βασικών μεταβλητών (πάχος και εγγύτητα του εδάφους και βραχώδες υπόστρωμα, το βάθος, σε σημεία άντλησης, κλπ.) είναι συγκεκριμένες για κάθε περιοχή. Ο Οργανισμός Περιβάλλοντος έχει αναπτύσσει επί του παρόντος οδηγίες σχετικά με μια κλιμακωτή προσέγγιση για την αξιολόγηση των κινδύνων για τα υπόγεια ύδατα. Αυτό περιλαμβάνει απλές μεθόδους ελέγχου και σταδιακά όλο και πιο εξελιγμένες μεθόδους αξιολόγησης του κινδύνου για τη χρήση όταν οι περιστάσεις δικαιολογούν το πρόσθετο κόστος. Οι νέες κατευθυντήριες γραμμές θα τονίζουν τη σημασία της επαρκούς εννοιολογικό μοντέλο των τοπικών και περιφερειακών υδρολογία. Ομοίως, η μεταφορά των ρύπων από το έδαφος στα επιφανειακά ύδατα εξετάζονται ιδιαίτερα στο συγκεκριμένο χώρο και εξαρτάται από την απορροή όγκου, η μέγιστη ταχύτητα ροής, το έδαφος, το μήκος των πρανών erodability και κλίση, απορροφητική ικανότητα του εδάφους, τη βλάστηση τύπου κάλυμμα και η απόσταση από την παραλαβή του σώματος. Χώροι όπου η μεγαλύτερη απειλή είναι να επιφανειακά ύδατα θα πρέπει να αξιολογηθεί σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Οδηγίες σχετικά με την εκτίμηση των επιπτώσεων της μολυσμένης γης για τα υπόγεια και τα επιφανειακά ύδατα έχει δημοσιευθεί από τον Οργανισμό Περιβάλλοντος (1996), το υπουργείο (1994) και (1995). Συγκεκριμένες οδηγίες και μια μεθοδολογία έχουν επίσης αναπτυχθεί για την αποκατάσταση των μολυσμένων υπόγειων υδάτων. Λαμβάνεται υπόψη η πορεία προς το πλησιέστερο υποδοχέα και τις δυνατότητες του φυσικού εξασθένησης, ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις.

## **Οικολογικοί κίνδυνοι**

Σε μερικές περιπτώσεις, είναι αναγκαίο να εξεταστεί βλάβη ή παρεμβολές στα οικοσυστήματα και ενδιαιτήματα που προστατεύονται από την Άγρια Ζωή και την ύπαιθρο σύμφωνα με το Νόμο του 1981, της κοινοτικής οδηγίας 79/409/ΕΟΚ περί της διατηρήσεως των αγρίων πτηνών και της οδηγίας 92/43/ΕΟΚ για τους οικοτόπους. Η νέα νομοθεσία (Περιβάλλον Act 1995) προσδιορίζει ορισμένα ειδικά καθορισμένους χώρους που απαιτούν ρύθμιση από τον Οργανισμό Περιβάλλοντος όπου έχουν οριστεί ως μολυσμένης γη στο πλαίσιο του νόμου. Εκτιμήσεις: Η αξιολόγηση του κινδύνου για τις εν λόγω περιοχές είναι, φυσικά διαφορετική για συγκεκριμένο χώρο. Γενικές οδηγίες για οικολογική αξιολόγηση του κινδύνου παρέχονται στο Ciria (1995) και αποτελεί σήμερα αντικείμενο έρευνας του Οργανισμού Περιβάλλοντος.

## **Κίνδυνοι για τα οικοδομικά υλικά**

Μερικοί ρυπαντές του εδάφους μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τα οικοδομικά υλικά. Εντός του Ηνωμένου Βασιλείου το θέμα αυτό συνήθως γίνεται με αναφορά σε γενικές κατευθυντήριες τιμές, αν και αναγνωρίζεται ότι σήμερα υπάρχουν σχετικά λίγα χρήσιμα στοιχεία για τις επιπτώσεις των επικίνδυνων ουσιών για τα δομικά υλικά και κατασκευές. Καθοδήγηση παρέχεται από το Κέντρο Ερευνών Building .

## **Διαδικαστικές οδηγίες**

Τα τελευταία χρόνια, έχει αναγνωριστεί ότι θα υπάρξουν οφέλη σε αυξημένο επίπεδο με συνέπεια στη λεπτομερή προσέγγιση για την αξιολόγηση των κινδύνων που εγκρίθηκε από τους ειδικούς στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ως εκ τούτου, παράλληλα με την ανάπτυξη εργασιών σχετικά με τα μοντέλα και κατευθυντήριες τιμές για τους σκοπούς της αξιολόγησης των κινδύνων, η ερευνητική προσπάθεια έχει επίσης επικεντρωθεί στην ανάπτυξη των κατευθύνσεων για τις κατάλληλες διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται όταν ασχολείται κάποιος με μολυσμένες τοποθεσίες. Αυτές οι διαδικασίες που ορίζουν βήμα-βήμα τις κατευθύνσεις για τις δραστηριότητες που απαιτούνται και καθορίζουν τις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων και πώς να χρησιμοποιούνται, τα διάφορα τεχνικά πρότυπα. Οι διαδικαστικές οδηγίες που αναπτύσσονται δεν θα είναι υποχρεωτικές, αλλά θα ορίζεται πρωτόκολλο ορθών πρακτικών. Θα πρέπει να εφαρμόζονται σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμιστικών αρχών, της βιομηχανίας, τους γαιοκτήμονες, προγραμματιστές και επαγγελματίες. Ειδικοί τομείς αναπτύσσουν τώρα τις δικές τους συγκεκριμένες στο Ηνωμένο Βασίλειο διαδικαστικές οδηγίες τους με βάση γενική καθοδήγηση.



### Γνωστοποίηση των κινδύνων

Στις περισσότερες περιπτώσεις, διάφορα μέρη εμπλέκονται με ένα μολυσμένο χώρο. Η αποτελεσματική επικοινωνία σχετικά με τους διάφορους κινδύνους και τα θέματα είναι απαραίτητη για την επιτυχή έκβαση της απορρύπανσης. Ωστόσο, στο Ηνωμένο Βασίλειο η εμπειρία δείχνει ότι οι διαφορετικές αντιλήψεις, οι ανάγκες και οι στόχοι των διαφόρων μερών δεν ενθαρρύνουν πάντοτε τη σαφήνεια και τη συμβατότητα της κατανόησης σε συζητήσεις σχετικά με τους κινδύνους μόλυνσης. Η Υπηρεσία Περιβάλλοντος, τη Σκωτική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος, και η Βόρεια Ιρλανδία Υπηρεσία Περιβάλλοντος και Κληρονομιάς χρηματοδοτούν από κοινού το ερευνητικό έργο με στόχο την εξεύρεση τρόπων για τη βελτίωση της επικοινωνίας επικινδυνότητας για τους ρυπασμένους τοποθεσίες.

### 5.3.Συμπεράσματα

Το έδαφος, μαζί με τα υδάτινα συστήματα, είναι ο κυριότερος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι βιομηχανικές, βιοτεχνικές και εμπορικές δραστηριότητες ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος.

Η ρύπανση των υπόγειων νερών προκαλείται από την εδάφια διάθεση των λυμάτων των σταθμών επεξεργασίας αστικών λυμάτων και σηπτικών δεξαμενών, τις εκπλήσσεις από τους σκουπιδότοπους, και τις ποικίλες γεωργικές πρακτικές. Δραστηριότητες που εμπλουτίζουν ή ρυπαίνουν υδάτινους αποδέκτες, είναι οι απορρίψεις που αφορούν ανθρώπινες χρήσεις. Τα ακάθαρτα νερά χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη τους περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά και συνήθως αποχετεύονται σε θαλάσσιους, λιμναίους ή ποτάμιους αποδέκτες ή και απορροφητικούς βόθρους, ρυπαίνοντας έτσι και τα υπόγεια νερά.

Οι πιο σπουδαίοι μικροοργανισμοί στα υπόγεια νερά είναι τα παθογόνα βακτήρια, οι μύκητες και διάφορα άλλα παράσιτα, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο όπως τύφο, χολέρα, ηπατίτιδα. Για αυτούς τους λόγους πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την απορρύπανση των ρυπασμένων περιοχών.

Τα θέματα απορρύπανσης αφορούν την ανάληψη ενεργειών για την περιβαλλοντική αποκατάσταση εδαφών καθώς επίσης και των υπόγειων υδάτων που έχουν ήδη ρυπανθεί. Ενώ τα θέματα προστασίας αφορούν τη λήψη μέτρων για να αποφευχθεί η περαιτέρω επέκταση της ρύπανσης από περιοχές που έχουν ρυπανθεί προς άλλες περιοχές .

Παραπάνω αναφέρθηκαν κάποιες μέθοδοι απορρύπανσης όπως: η *βιολογική αποκατάσταση* η οποία αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους απορρύπανσης των εδαφών και βασίζεται στην αποδόμηση των οργανικών ουσιών και την τελική μετατροπή τους σε αβλαβείς ουσίες μέσω της δράσης μικρό-οργανισμών. Οι μικρόοργανισμοί αποσυνθέτουν τις οργανικές ενώσεις χρησιμοποιώντας ως καταλύτες κατάλληλα ένζυμα (πρωτεΐνες) τα οποία παράγουν οι ίδιοι. Το τελικό προϊόν της αποσύνθεσης των οργανικών ουσιών μέσω των μικρό οργανισμών είναι ανόργανες ουσίες (διοξείδιο του άνθρακα και νερό) που συνήθως θεωρούνται λιγότερο επιβλαβείς από τις αρχικές ενώσεις.

Μια άλλη μέθοδος είναι η φυτοεξυγίανση, βασίζεται στη διαπίστωση ότι τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν και να διασπούν τοξικές οργανικές ουσίες, τόσο από το έδαφος όσο και από την ατμόσφαιρα και επομένως μπορούν, υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης. Η Φυτοεξυγίανση αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία συνδυάζει το χαμηλό κόστος οργάνωσης και λειτουργίας με τη δυνατότητα επεξεργασίας των ρυπαντών. Κάποια από τα σημαντικά μειονεκτήματα της μεθόδου είναι η δυσκολία πρόβλεψης της απόδοσης της, η εφαρμογή της σε σχετικά περιορισμένο βάθος ρύπανσης, η μεγάλη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση της, η εξάρτηση της από τις φυσικοχημικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής.

Όσο αναφορά τις τεχνολογίες απορρύπανσης των υπογείων νερών δυο από τις βασικές μεθόδους αναλύσαμε παραπάνω. Η πρώτη είναι η τεχνολογία *Air sparging*: που φαίνεται να είναι η πιο κατάλληλη να μεταχειριστεί το μολυσμένο διαποτισμένο υπέδαφος και τα ρηγά υπόγεια νερά στους θερμούς κλιματολογικούς όρους. Είναι μια τεχνολογία απλού και χαμηλού κόστους, όπου ο αέρας εγχέεται άμεσα στη διαποτισμένη υποεπιφάνεια, εξατμίζει τους μολυσματικούς παράγοντες από την υγρή φάση στη φάση ατμού, και τους βιοδιασπά μέσω της υποκίνησης από την εισαγωγή οξυγόνου χωρίς να επιτρέπει την μετανάστευση τους.

Η τεχνολογία δεν είναι αποτελεσματική σε μολυσματικούς παράγοντες με χαμηλή αεροβική διασπασιμότητα. Την απόδοση της επηρεάζουν οι γεωλογικές συνθήκες των περιοχών όπως η στρωματοποίηση, η ετερογένεια, και η ανισοτροπία που αποτρέπουν την ομοιόμορφη ροή αέρα.

Τα διαπερατά αντιδρώντα φράγματα (PRBs) είναι μια νέα τεχνολογία εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπογείων υδάτων. Αποτελούν μια *in situ* παθητική ζώνη επεξεργασίας που περιέχει αντιδρών υλικό, το οποίο αποικοδομεί, μετατρέπει ή ακινητοποιεί τους ρυπαντές καθώς το υπόγειο ύδωρ ρέει δια μέσου αυτού. Για να λειτουργήσει σωστά η μέθοδος αυτή θα πρέπει να μπορεί η θέση τους να είναι πλησίον της ζώνης ρύπανσης για την αποφυγή εξάπλωσης του ρύπου, ή στα κατάντη της πηγής ρύπανσης. Το σύστημα να είναι έτσι εγκατεστημένο ώστε όλο το ρυπασμένο ύδωρ να περνάει από την δίοδο. Το μέγεθος των φραγμάτων και ο αριθμός των διόδων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

### 6.1 ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΑΦΩΝ

#### ΟΔΗΓΙΑ 2006/118/ΕΚ

Σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων από τη ρύπανση και την υποβάθμιση

(1) Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν πολύτιμο φυσικό πόρο, και ως τέτοιος πόρος θα πρέπει να προστατεύεται από την υποβάθμιση και από τη χημική ρύπανση. Τούτο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα οικοσυστήματα που εξαρτώνται από τα υπόγεια ύδατα καθώς και για τη χρήση των υπογείων υδάτων για παροχή νερού για ανθρώπινη κατανάλωση.

(2) Τα υπόγεια ύδατα αποτελούν το μεγαλύτερο και το πιο ευαίσθητο σύστημα γλυκών υδάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και κύρια πηγή εφοδιασμού του κοινού με πόσιμο ύδωρ σε πολλές περιοχές.

(3) Τα συστήματα υπογείων υδάτων που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου νερού, ή προορίζονται για μια τέτοια χρήση μελλοντικά, πρέπει να προστατεύονται κατά τρόπον ώστε η υποβάθμιση της ποιότητας αυτών των υδάτινων συστημάτων να αποφεύγεται προκειμένου να μειώνεται το απαιτούμενο επίπεδο επεξεργασίας καθαρισμού για την παραγωγή πόσιμου νερού, σύμφωνα με το άρθρο 7, παράγραφοι 2 και 3, της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2000, σχετικά με τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων <sup>(4)</sup>.

(4) Η απόφαση αριθ. 1600/2002/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 22ας Ιουλίου 2002, για τη θέσπιση του έκτου κοινοτικού προγράμματος δράσης για το περιβάλλον, <sup>(5)</sup> περιλαμβάνει στους στόχους της την επίτευξη επιπέδων ποιότητας των υδατικών πόρων που να μην χουν σημαντικές επιπτώσεις, ούτε να ενέχουν κινδύνους, για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

(5) Για την προστασία του περιβάλλοντος ως συνόλου και της ανθρώπινης υγείας ειδικότερα, οι επιζήμιες συγκεντρώσεις επιβλαβών ρύπων στα υπόγεια ύδατα πρέπει να αποτρέπονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται.

(6) Η οδηγία 2000/60/ΕΚ περιέχει γενικές διατάξεις για την προστασία και τη διατήρηση των

υπόγειων υδάτων. Σύμφωνα με το άρθρο 17 της εν λόγω οδηγίας, θα πρέπει να θεσπισθούν μέτρα πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, συμπεριλαμβανομένων κριτηρίων για την αξιολόγηση της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, τον προσδιορισμό σημαντικών και διατηρούμενων ανοδικών τάσεων, και τέλος τον καθορισμό σημείων εκκίνησης για την αναστροφή των τάσεων.

(7) Λαμβανομένης υπόψη της ανάγκης να επιτευχθούν αξιόπιστα επίπεδα προστασίας των υπόγειων υδάτων, θα πρέπει να καθορισθούν ποιοτικά πρότυπα και ανώτερες αποδεκτές τιμές και να αναπτυχθούν μεθοδολογίες με βάση μια κοινή προσέγγιση, ώστε να θεσπισθούν κριτήρια για την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των συστημάτων υπόγειων υδάτων.

(8) Θα πρέπει να καθορισθούν ποιοτικά πρότυπα για τη νιτρορύπανση, τα φυτοπροστατευτικά προϊόντα και τα βιοκτόνα, ως κοινοτικά κριτήρια για την αξιολόγηση της χημικής κατάστασης των συστημάτων υπόγειων υδάτων, και να εξασφαλισθεί η συνοχή με την οδηγία 91/676/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 12ης Δεκεμβρίου 1991, για την προστασία των υδάτων από τη νιτρορύπανση γεωργικής προέλευσης <sup>(6)</sup>, την οδηγία 91/414/ΕΟΚ του Συμβουλίου, της 15ης Ιουλίου 1991, σχετικά με τη διάθεση στην αγορά φυτοπροστατευτικών προϊόντων <sup>(7)</sup>, και την οδηγία 98/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 16ης Φεβρουαρίου 1998, για τη διάθεση βιοκτόνων στην αγορά <sup>(8)</sup>, αντιστοίχως.

(9) Η προστασία των υπογείων υδάτων μπορεί, σε ορισμένες περιοχές, να απαιτεί αλλαγή των πρακτικών καλλιέργειας ή δασοκομίας, πράγμα που μπορεί να επιφέρει απώλεια εισοδήματος. Η Κοινή Αγροτική Πολιτική προβλέπει χρηματοδοτικούς μηχανισμούς για την εφαρμογή μέτρων τήρησης των κοινοτικών προτύπων, συγκεκριμένα με τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1698/2005, της 20ής Σεπτεμβρίου 2005, για τη στήριξη της αγροτικής ανάπτυξης από το Ευρωπαϊκό Γεωργικό Ταμείο Αγροτικής Ανάπτυξης. (ΕΓΤΑΑ) <sup>(9)</sup>. Όσον αφορά τα μέτρα προστασίας των υπογείων υδάτων, εμπίπτει στην αρμοδιότητα των κρατών μελών η επιλογή των προτεραιοτήτων και των προγραμμάτων τους.

(10) Οι διατάξεις σχετικά με τη χημική κατάσταση των υπόγειων υδάτων δεν εφαρμόζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις ουσιών ή ιόντων που ανευρίσκονται στη φύση ή των δεικτών τους, που

περιέχονται είτε σε σύστημα υπόγειων υδάτων είτε σε συνδεδεμένα συστήματα επιφανειακών υδάτων, λόγω ειδικών υδρογεωλογικών συνθηκών, οι οποίες δεν καλύπτονται από τον ορισμό της ρύπανσης. Δεν εφαρμόζονται επίσης ούτε σε προσωρινές και χωρικές περιορισμένες αλλαγές της κατευθυνσης ροής και της χημικής σύνθεσης, οι οποίες δεν θεωρούνται διεισδύσεις.

11) Θα πρέπει να θεσμοθετηθούν κριτήρια για τον εντοπισμό τυχόν σημαντικών και διατηρούμενων ανοδικών τάσεων στις συγκεντρώσεις ρύπων καθώς και κριτήρια για τον καθορισμό του σημείου εκκίνησης για την αναστροφή μιας τάσης, συνεκτιμώντας την πιθανότητα να επηρεασθούν αρνητικά υδατικά οικοσυστήματα και άμεσα εξαρτώμενα χερσαία οικοσυστήματα.

(12) Τα κράτη μέλη θα πρέπει, εφόσον είναι δυνατόν, να χρησιμοποιούν στατιστικές διαδικασίες, εφόσον αυτές είναι σύμφωνες προς τις διεθνείς προδιαγραφές και συμβάλλουν στη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων της παρακολούθησης μεταξύ των κρατών μελών σε βάθος χρόνου.

(13) Σύμφωνα με την τρίτη περίπτωση της παραγράφου 2, του άρθρου 22, της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, η οδηγία 80/68/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Δεκεμβρίου 1979, περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες <sup>(1)</sup> πρόκειται να καταργηθεί από τις 22 Δεκεμβρίου 2013. Είναι ανάγκη να εξασφαλισθεί η συνέχεια της προστασίας που προβλέπεται με την οδηγία 80/68/ΕΟΚ, όσον αφορά τα μέτρα με στόχο την πρόληψη ή

(14) Είναι αναγκαίο να γίνει διάκριση μεταξύ επικίνδυνων ουσιών, η εισαγωγή των οποίων θα πρέπει να προλαμβάνεται, και άλλων ρύπων, η εισαγωγή των οποίων θα πρέπει να περιορίζεται. Για τον προσδιορισμό των επικίνδυνων και μη επικίνδυνων ουσιών που αντιπροσωπεύουν πραγματικό ή δυνητικό κίνδυνο ρύπανσης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται το Παράρτημα VIII της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, στο οποίο παρατίθεται κατάλογος των κυριότερων ρύπων των σχετικών με το υδάτινο περιβάλλον.

(15) Τα μέτρα για την πρόληψη ή τον περιορισμό της εισαγωγής ρύπων στα συστήματα υπόγειων υδάτων που χρησιμοποιούνται ή προορίζονται στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν για την άντληση πόσιμου ύδατος για την ανθρώπινη κατανάλωση, όπως αναφέρεται στο άρθρο 7, παράγραφος 1 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, θα πρέπει, σύμφωνα με το άρθρο 7, παράγραφος 2 της εν λόγω οδηγίας, να περιλαμβάνουν μέτρα τα οποία απαιτούνται προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι, υπό το εφαρμοζόμενο καθεστώς επεξεργασίας του ύδατος και σύμφωνα με την κοινοτική νομοθεσία, το ύδωρ που προκύπτει πληροί τις απαιτήσεις της οδηγίας 98/83/ΕΚ του Συμβουλίου, της 3ης Νοεμβρίου 1998, για την ποιότητα του ύδατος για ανθρώπινη κατανάλωση

- (<sup>2</sup>). Τα μέτρα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν, σύμφωνα με το άρθρο 7, παράγραφος 3 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, την καθιέρωση από τα κράτη μέλη ζωνών ασφαλείας, μεγέθους που κρίνεται αναγκαίο από τον αρμόδιο εθνικό φορέα προκειμένου να προστατευθούν τα αποθέματα πόσιμου ύδατος. Αυτές οι ζώνες ασφαλείας μπορούν να καλύπτουν ολόκληρο το έδαφος κράτους μέλους.
- (16) Προκειμένου να εξασφαλισθεί η αξιόπιστη προστασία των υπόγειων υδάτων, τα κράτη μέλη με κοινά συστήματα υπόγειων υδάτων θα πρέπει να συντονίζουν τις δραστηριότητές τους όσον αφορά την παρακολούθηση, τον καθορισμό ανώτερων αποδεκτών τιμών και τον προσδιορισμό σχετικών επικινδύνων ουσιών.
- (17) Αξιόπιστες και συγκρίσιμες μέθοδοι παρακολούθησης των υπογείων υδάτων αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση της ποιότητας των υπογείων υδάτων, καθώς και για την επιλογή των πλέον ενδεδειγμένων μέτρων. Το άρθρο 8, παράγραφος 3 και το άρθρο 20 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ προβλέπουν την έγκριση τυποποιημένων μεθόδων για την ανάλυση και την παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων και, εάν χρειασθεί, κατευθυντήριων γραμμών για την εφαρμογή, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης.
- (18) Υπό ορισμένες προϋποθέσεις, τα κράτη μέλη θα πρέπει να μπορούν να προβλέπουν εξαιρέσεις από τα μέτρα πρόληψης ή περιορισμού της εισαγωγής ρύπων στα υπόγεια ύδατα. Οι εξαιρέσεις θα πρέπει να βασίζονται σε διαφανή κριτήρια και να περιγράφονται λεπτομερώς στα Σχέδια Διαχείρισης Λεκάνης Απορροής Ποταμών.
- (19) Οι επιπτώσεις επί του επιπέδου περιβαλλοντικής προστασίας και επί της λειτουργίας της εσωτερικής αγοράς από την ύπαρξη διαφορετικών ανώτερων αποδεκτών τιμών για τα υπόγεια ύδατα που καθορίζουν τα κράτη μέλη, θα πρέπει να αποτελέσουν αντικείμενο ανάλυσης
- (20) Θα πρέπει να διεξαχθεί έρευνα για να προβλεφθούν καλύτερα κριτήρια για την εξασφάλιση της ποιότητας και της προστασίας του οικοσυστήματος των υπόγειων υδάτων. Όπου απαιτείται, τα εξαχθέντα πορίσματα θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη μεταφορά στο εθνικό δίκαιο ή κατά την αναθεώρηση της παρούσας οδηγίας. Είναι ανάγκη να ενθαρρυνθεί και να χρηματοδοτηθεί η εν λόγω έρευνα, καθώς και η διάδοση της γνώσης, της κτηθείσας πείρας και των πορισμάτων της έρευνας.
- (21) Είναι ανάγκη να προβλεφθούν μεταβατικά εφαρμοστέα μέτρα για το χρονικό διάστημα από την ημερομηνία εφαρμογής της παρούσας οδηγίας έως την ημερομηνία κατάργησης της οδηγίας 80/68/ΕΟΚ.
- (22) Η οδηγία 2000/60/ΕΚ καθορίζει τους απαιτούμενους ελέγχους στους οποίους συμπεριλαμβάνεται η απαίτηση προηγούμενης αδειοδότησης του τεχνητού εμπλουτισμού ή αύξησης των υπόγειων υδάτων, υπό τον όρο ότι η χρησιμοποίηση της πηγής δεν θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν καθορισθεί για την πηγή ή το εμπλουτιζόμενο ή αυξανόμενο σύστημα υπογείου ύδατος.
- (23) Η οδηγία 2000/60/ΕΚ συμπεριλαμβάνει στο άρθρο 11, παράγραφος 2 και στο Μέρος Β. του Παραρτήματος VI, που αφορά το πρόγραμμα μέτρων, έναν μη εξαντλητικό κατάλογο συμπληρωματικών μέτρων τα οποία τα κράτη μέλη μπορούν να επιλέξουν να θεσπίσουν στο πλαίσιο του προγράμματος μέτρων, όπως :
- νομοθετικά μέτρα,
  - διοικητικά μέτρα, και
  - συμφωνίες κατόπιν διαπραγματεύσεων για την προστασία του περιβάλλοντος.
- (24) Τα μέτρα που απαιτούνται για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας θα πρέπει να θεσπισθούν σύμφωνα με την απόφαση 1999/468/ΕΚ του Συμβουλίου, της 28ης Ιουνίου 1999, για τον καθορισμό των όρων άσκησης των εκτελεστικών αρμοδιοτήτων που ανατίθενται στην Επιτροπή.
- Ιδίως, είναι αναγκαίο να εφαρμόζεται η κανονιστική διαδικασία με έλεγχο όσον αφορά μέτρα γενικής εμβέλειας τα οποία αποσκοπούν στην τροποποίηση μη ουσιωδών στοιχείων της παρούσας οδηγίας, συμπεριλαμβανομένης της κατάργησης ορισμένων εξ αυτών ή της συμπλήρωσης της παρούσας οδηγίας με την προσθήκη νέων μη ουσιωδών στοιχείων.

## 6.2 ΝΟΜΟΣ ΠΕΡΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

### ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ ΥΠ' ΑΡΙΘΜ. 51

Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις των παραγράφων 1, 2 και 3 του άρθρου 1 του ν. 1338/1983 «Εφαρμογή του Κοινοτικού Δικαίου» (Α? 34) όπως η παράγραφος 1 τροποποιήθηκε με το άρθρο 6 του ν. 1440/1984 «Συμμετοχή της Ελλάδας στο κεφάλαιο, στα αποθεματικά και στις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Τράπεζας κ.λ.π.» (Α? 70) του άρθρου 3 του ν. 1338/1983 όπως αυτό αντικαταστάθηκε με το άρθρο 65 του ν. 1892/1990 (Α? 101), του άρθρου 4 του ίδιου νόμου, όπως αυτό αντικαταστάθηκε με το άρθρο 6 (παρ. 4) του ν. 1440/1984 (Α? 70) και τροποποιήθηκε με τα άρθρα 7 του ν. 1775/1988 (Α? 101), 31 του ν. 2076/1992 (Α? 130), 19 του ν. 2367/1995 (Α? 261), 22 του ν. 2789/2000 (Α? 21) και 48 του ν. 3427/2005 (Α? 312) και τέλος τις διατάξεις του άρθρου δευτέρου του ν. 2077/1992 (Α? 136).

2. Τις διατάξεις των άρθρων 9 και 10 του ν. 1650/1986 «για την προστασία του περιβάλλοντος».

3. Τις διατάξεις του ν. 3010/2002 «Εναρμόνιση του ν. 1650/1986 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ. κ.λ.π.» (Α? 91).

4. Τις διατάξεις του ν. 3199/2003 «Προστασία και διαχείριση των υδάτων – εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Α? 280) και

ειδικότερα των άρθρων 4 (παραγ. 1, εδαφ. ι), 5 (παραγ. 5, εδαφ. στ), 6 (παραγ. 3), 7 (παραγ. 1), 8 (παραγ. 3 και 6), 9 (παραγ. 4), 12 (εδαφ. γ), 13, 14 και 15 (παραγ. 1) αυτού.

5. Τις διατάξεις του άρθρου 90 του κώδικα νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και τα Κυβερνητικά όργανα [π.δ. 63/2005 (Α? 98)].

6. Τις διατάξεις του άρθρου 1 (παρ. 4) του ν. 2469/1997.

7. Την υπ' αριθμ. ΔΙΔΚ/Φ.1/2/6139/2004 κοινή απόφαση του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Εσωτερικών, Δημ. Διοίκησης και Αποκέντρωσης «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στους Υφυπουργούς Εσωτερικών, Δημ. Διοίκησης και Αποκέντρωσης» (Β? 527).

8 Μαρτίου 2007

8. Την υπ' αριθμ. 27304/2004 κοινή απόφαση του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στους Υφυπουργούς Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης» (Β? 517).

9. Την υπ' αριθμ. Δ15/Α/Φ19/4040/24.2.2006 απόφαση του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Ανάπτυξης «Ανάθεση αρμοδιοτήτων στους Υφυπουργούς Ανάπτυξης Αναστάσιο Νεράντζη και Ιωάννη Παπαθανασίου».

10. Το γεγονός ότι από τις διατάξεις του Διατάγματος αυτού, προκαλείται δαπάνη σε βάρος του Κρατικού Προϋπολογισμού, το ύψος της οποίας δεν μπορεί να καθορισθεί επειδή εξαρτάται από το είδος των μέτρων (αρθ. 4, 12 και 14) που κρίνονται εκάστοτε αναγκαία για την εφαρμογή του ν. 3199/2003 και του παρόντος π.δ. και από το βαθμό υλοποίησης των μέτρων αυτών. Η δαπάνη αυτή θα καλύπτεται από τις πιστώσεις του Προγράμματος Δημοσίων Επενδύσεων μέσω συγχρηματοδοτούμενων από την Ευρωπαϊκή Ένωση Προγραμμάτων.

11. Την υπ' αριθμ. 338/2006 γνωμοδότηση του Συμβουλίου της Επικρατείας μετά από πρόταση των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Εμπορικής Ναυτιλίας και των Υφυπουργών Εσωτερικών, Δημόσιας Διοίκησης και Αποκέντρωσης, Ανάπτυξης και Υγείας και Κοινωνικής Αλληλεγγύης, αποφασίζουμε:

Άρθρο 1 Σκοπός

Με το παρόν Προεδρικό Διάταγμα αποσκοπείται η εφαρμογή των διατάξεων των άρθρων 9 και 10 του ν. 1650/1986 καθώς και των άρθρων 4 (παραγ. 1, εδαφ. ι), 5 (παραγ. 5, εδαφ. στ), 6 (παραγ. 3), 7 (παραγ. 1), 8 (παραγ. 3 και 6), 9 (παραγ. 4), 12 (εδαφ. γ) και 15 (παραγ. 1) του ν. 3199/2003 και συγχρόνως η συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 «για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων» που έχει δημοσιευθεί στην Ελληνική γλώσσα στην Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (ΕΕL 327/1/22.12.2000), ώστε με τη θέσπιση του αναγκαίου πλαισίου μέτρων και διαδικασιών να επιτυγχάνεται η ολοκληρωμένη προστασία και

ορθολογική διαχείριση των εσωτερικών επιφανειακών, των μεταβατικών, των παράκτιων και υπόγειων νερών, η οποία συνίσταται:

α) στην αποτροπή της περαιτέρω επιδείνωσης, στην προστασία και βελτίωση της κατάστασης των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και των αμέσως εξαρτώμενων από αυτά χερσαίων οικοσυστημάτων και υγροτόπων σε ό,τι αφορά τις ανάγκες τους σε νερό,

β) στην προώθηση της βιώσιμης χρήσης του νερού βάσει μακροπρόθεσμης προστασίας των διαθέσιμων υδατικών πόρων,

γ) στην ενίσχυση της προστασίας και τη βελτίωση του υδάτινου περιβάλλοντος, μεταξύ άλλων με ειδικά μέτρα για την προοδευτική μείωση των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών ουσιών προτεραιότητας και με την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών των επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας,

δ) στη διασφάλιση της προοδευτικής μείωσης της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων και στην αποτροπή της περαιτέρω μόλυνσής τους και

ε) στο μετριασμό των επιπτώσεων από πλημμύρες και ξηρασίες και να συμβάλλει με αυτό τον τρόπο:

– στην εξασφάλιση επαρκούς παροχής επιφανειακού και υπόγειου νερού καλής ποιότητας που απαιτείται για την βιώσιμη, ισόρροπη και δίκαιη χρήση ύδατος,

– σε σημαντική μείωση της ρύπανσης των υπογείων υδάτων,

– στην προστασία των χωρικών και θαλάσσιων υδάτων και

– στην επίτευξη των στόχων των σχετικών διεθνών συμφωνιών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αποσκοπούν στην πρόληψη και την εξάλειψη της ρύπανσης του θαλασσιού περιβάλλοντος, με κοινοτική δράση δύναμει του άρθρου 16 παράγραφος 3 της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ για την παύση ή την σταδιακή εξάλειψη των απορρίψεων, εκπομπών και διαρροών επικίνδυνων ουσιών προτεραιότητας, με απώτατο στόχο να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον οι οποίες, για μεν τις φυσικώς απαντώμενες ουσίες να πλησιάζουν το φυσικό βασικό επίπεδο, για δε τις τεχνητές συνθετικές ουσίες να είναι σχεδόν μηδενικές.

Για την εφαρμογή των διατάξεων των άρθρων 3-16 και των Παραρτημάτων I-VIII του παρόντος, οι κατά περίπτωση αρμόδιες αρχές ακολουθούν τις εκάστοτε ισχύουσες κατευθυντήριες γραμμές της Επιτροπής Ε.Κ.

#### Άρθρο 2 Ορισμοί

Για την εφαρμογή του παρόντος ισχύουν οι ορισμοί του άρθρου 2 του ν. 3199/2003, επιπλέον δε οι ακόλουθοι όροι έχουν την εξής έννοια:

1. «Διαθέσιμο πόρος υπόγειων υδάτων»: ο μακροπρόθεσμος μέσος ετήσιος ρυθμός συνολικού εμπλουτισμού ενός συστήματος υπόγειων υδάτων, μείον τον μακροπρόθεσμο μέσο ετήσιο ρυθμό εκροής που απαιτείται για την επίτευξη των στόχων οικολογικής ποιότητας για τα συναφή επιφανειακά ύδατα οι οποίοι ορίζονται στο άρθρο 4, για την αποφυγή οιασδήποτε σημαντικής μείωσης της οικολογικής κατάστασης των υδάτων αυτών και για την αποφυγή οιασδήποτε σημαντικής ζημίας των συναφών χερσαίων οικοσυστημάτων.

2. «Καλή ποσοτική κατάσταση»: η κατάσταση που ορίζεται στον πίνακα 2.1.2 του Παραρτήματος III του παρόντος.

3. «Ρύπος»: κάθε ουσία που εμπεριέχει τον κίνδυνο να προκαλέσει ρύπανση, ιδίως αυτές που απαριθμούνται στο Παράρτημα I του παρόντος.

4. «Απ' ευθείας απόρριψη στα υπόγεια ύδατα»: απόρριψη ρύπων στα υπόγεια ύδατα χωρίς να διαπεράσουν το έδαφος ή το υπέδαφος.

5. «Εμμεσες απορρίψεις σε υπόγεια ύδατα» είναι οι απορρίψεις ρύπων σε υπόγεια ύδατα μετά από διήθηση μέσω του εδάφους ή του υπεδάφους.

6. «Συνδυασμένη προσέγγιση»: ο έλεγχος των απορρίψεων και των εκπομπών στα επιφανειακά ύδατα σύμφωνα με την προσέγγιση που εκτίθεται στο άρθρο 9 του παρόντος διατάγματος.

7. «Νερό που προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση», όπως ορίζεται στην υπ' αριθμ. Υ2/2600/2001 (Β? 892) κοινή υπουργική απόφαση.

8. «Χρήση ύδατος»: οι υπηρεσίες ύδατος, όπως ορίζονται στην παράγραφο κθ) του άρθρου 2 του ν. 3199/2003, μαζί με κάθε άλλη δραστηριότητα η οποία έχει σημαντικές επιπτώσεις στην κατάσταση των υδάτων και προσδιορίζεται σύμφωνα με το άρθρο 5, σε συνδυασμό με το Παράρτημα II του παρόντος.

9. «Αρμόδια αρχή»: αρχή ή αρχές που προσδιορίζονται δύναμει του άρθρου 3 παράγραφος Α.5 ή παράγραφος Β.4 του παρόντος Διατάγματος.

10. «Περιβαλλοντικοί στόχοι»: οι στόχοι που θεσπίζει το άρθρο 4 του παρόντος Διατάγματος.

11. «Περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή περιοχή λεκανών απορροής ποταμών»: η περιοχή που ορίζεται στην παράγραφο (ιε) του άρθρου 2 του ν. 3199/2003 και ταυτίζεται με τον όρο «υδατικό διαμέρισμα».

#### Άρθρο 3

##### Περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού (Υδατικά διαμερίσματα)

Α. Προσδιορισμός περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού  
1. Με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, οι λεκάνες απορροής ποταμού που έχουν ενδεχομένως προσδιορισθεί σύμφωνα με την παράγραφο 2 του άρθρου 5 του ν. 3199/2003, υπάγονται σε περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού.

2. Για το σχηματισμό των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού, όπου ενδείκνυται, οι μικρές λεκάνες απορροής ποταμού δύναται να ενώνονται με μεγαλύτερες λεκάνες απορροής ποταμού ή με γειτονικές μικρές λεκάνες απορροής ποταμού.

3. Όταν τα υπόγεια νερά δεν ακολουθούν πλήρως μια συγκεκριμένη λεκάνη απορροής ποταμού, τα νερά αυτά προσδιορίζονται και υπάγονται στην πλησιέστερη ή προσφορότερη περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού.

4. Τα παράκτια νερά προσδιορίζονται και υπάγονται στην ή στις πλησιέστερες ή προσφορότερες περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού.

5. Αρμόδια αρχή για την διαχείριση και προστασία των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμού είναι η Περιφέρεια στα διοικητικά όρια της οποίας εμπίπτει κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού σύμφωνα με την παρ. 1 του άρθρου 5 του ν. 31 99/2003. Αν η εν λόγω περιοχή εκτείνεται στα διοικητικά όρια περισσότερων

Περιφερειών, εφαρμόζονται κατ' αναλογία οι διατάξεις της παραγ. 3 του άρθρου 5 του νόμου αυτού, ειδικότερα όσον αφορά στο συντονισμό των Προγραμμάτων Μέτρων (άρθρο 12 του παρόντος), για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που προβλέπονται στο άρθρο 4 του παρόντος.

Β. Διεθνείς-Διασυνοριακές περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού

1. Όταν η λεκάνη απορροής ποταμού εκτείνεται στην Ελληνική Επικράτεια και στην Επικράτεια άλλου κράτους μέλους, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων ενδεχομένως και με την συνδρομή της Επιτροπής Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων μεριμνά για την υπαγωγή της εν λόγω λεκάνης απορροής ποταμού σε διεθνή περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού.

2. Στην περίπτωση της προηγούμενης παραγράφου ο συντονισμός των Προγραμμάτων Μέτρων για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του άρθρου 4, εξασφαλίζονται από την Εθνική Επιτροπή Υδάτων από κοινού με το ενδιαφερόμενο κράτος μέλος ενδεχομένως και με τη συνδρομή της Επιτροπής Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. Για την εφαρμογή αυτής της παραγράφου είναι δυνατόν τα ως άνω εμπλεκόμενα κράτη να χρησιμοποιούν τις υφιστάμενες δομές που απορρέουν από διεθνείς συμφωνίες.

3. Όταν μία περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού εκτείνεται στην Ελληνική Επικράτεια και στην Επικράτεια τρίτου κράτους μη μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων επιδιώκει τον αναγκαίο συντονισμό με το οικείο τρίτο κράτος για την επίτευξη των στόχων του παρόντος διατάγματος σ' ολόκληρη την περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού.

4. Η οικεία Περιφέρεια στα διοικητικά όρια της οποίας εκτείνεται το τμήμα της διεθνούς-διασυνοριακής λεκάνης απορροής ποταμού, είναι η αρμόδια αρχή για την προστασία και διαχείρισή του, σύμφωνα με το εδάφιο 5 της παραγράφου Α του άρθρου αυτού.

#### Άρθρο 4

##### Περιβαλλοντικοί Στόχοι

1. Για την αποτελεσματική εφαρμογή των Προγραμμάτων Μέτρων που περιλαμβάνονται στα Σχέδια Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, λαμβάνονται τα ακόλουθα μέτρα επίτευξης των αντίστοιχων περιβαλλοντικών στόχων:

α) για τα επιφανειακά ύδατα:

α.1) μέτρα που αποσκοπούν στην πρόληψη της υποβάθμισης της κατάστασης όλων των συστημάτων επιφανειακών υδάτων με την επιφύλαξη εφαρμογής των παραγράφων 6, 7 και 8 του παρόντος άρθρου,

α.2) μέτρα που αποσκοπούν στην προστασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση όλων των συστημάτων των επιφανειακών υδάτων, με την επιφύλαξη της εφαρμογής της παραγράφου 3 για τα τεχνητά και ιδιαίτερος τροποποιημένα υδατικά συστήματα, με σκοπό την επίτευξη καλής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων το αργότερο μέχρι 23.12.2015, σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙΙ του παρόντος, με την επιφύλαξη εφαρμογής των παραγράφων 4, 5, 6, 7 και 8 του παρόντος άρθρου,

α.3) μέτρα που αποσκοπούν στην προστασία και αναβάθμιση όλων των τεχνητών και ιδιαίτερος τροποποιημένων υδατικών συστημάτων, με σκοπό την επίτευξη καλού οικολογικού δυναμικού και καλής

χημικής κατάστασης των επιφανειακών υδάτων, το αργότερο μέχρι 23.12.2015, σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙΙ του παρόντος, με την επιφύλαξη εφαρμογής των παρατάσεων που καθορίζονται στην παράγραφο 4 καθώς και εφαρμογής των παραγράφων 5, 6, 7 και 8 του παρόντος άρθρου.

α.4) μέτρα με στόχο την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από τις ουσίες προτεραιότητας και την παύση ή τη σταδιακή εξάλειψη των εκπομπών, των απορρίψεων και των διαρροών επικινδύνων ουσιών προτεραιότητας,

α.5) Τα μέτρα που αναφέρονται στις ανωτέρω περιπτώσεις καθορίζονται σε αρμονία με τις διατάξεις τυχόν ισχυουσών διεθνών συνθηκών που ρυθμίζουν τα ίδια ζητήματα.

β) για τα υπόγεια ύδατα:

β.1) μέτρα ώστε να προληφθεί ή να περιορισθεί η διοχέτευση ρύπων στα υπόγεια ύδατα και να προληφθεί η υποβάθμιση της κατάστασης όλων των υπογείων υδάτων, με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παραγράφων 6, 7 και 8 του παρόντος άρθρου και με την επιφύλαξη του άρθρου 12 (παρ. 4, εδάφιο ι),

β.2) μέτρα προστασίας, αναβάθμισης και αποκατάστασης όλων των υπόγειων υδάτων, ήτοι της διασφάλισης του ισοζυγίου εισροών-εκροών (άντλησης φυσικής ή τεχνητής ανατροφοδότησης) των υπόγειων υδάτων, λαμβανομένου υπόψη των ρυθμιστικών αποθεμάτων τους, με στόχο την επίτευξη καλής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, το αργότερο μέχρι 23.12.2015 σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΙΙ του παρόντος, με την επιφύλαξη εφαρμογής των παρατάσεων που καθορίζονται στην παράγραφο 4 καθώς και εφαρμογής των παραγράφων 5, 6, 7 και 8 του παρόντος άρθρου και με την επιφύλαξη του άρθρου 12 (παρ. 4, εδάφιο ι),

β.3) μέτρα για την αναστροφή κάθε σημαντικής και έμμονης ανοδικής τάσης συγκέντρωσης οιοδήποτε ρύπου, η οποία οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα προκειμένου να μειωθεί προοδευτικά η ρύπανση των υπόγειων υδάτων.

Τα μέτρα για την επίτευξη της αναστροφής της τάσης εφαρμόζονται σύμφωνα με το άρθρο 14, λαμβάνοντας υπόψη τα ισχύοντα πρότυπα που έχουν καθορισθεί με διατάξεις της εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας με την επιφύλαξη της εφαρμογής των παραγράφων 6, 7 και 8 του άρθρου αυτού.

γ) για τις προστατευόμενες περιοχές:

πρέπει να έχει επιτευχθεί συμμόρφωση με τα πρότυπα και τους στόχους του παρόντος διατάγματος το αργότερο μέχρι 23.12.2015, εκτός αν προβλέπεται άλλως στην ισχύουσα νομοθεσία σύμφωνα με την οποία έχουν καθοριστεί οι επιμέρους προστατευόμενες περιοχές.

2. Εάν σ' ένα συγκεκριμένο υδατικό σύστημα έχουν τεθεί δύο ή περισσότεροι από τους στόχους της παραγράφου 1, εφαρμόζεται ο αυστηρότερος στόχος.

3. Είναι δυνατόν ένα επιφανειακό υδατικό σύστημα να καθορίζεται ως τεχνητό ή ιδιαίτερος τροποποιημένο, όταν:

α) οι αλλαγές στα γεωμορφολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού που είναι αναγκαίες για την επίτευξη καλής οικολογικής κατάστασης, θα προκαλούσαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις:

α.1) στο ευρύτερο περιβάλλον,



- a.2) στη ναυσιπλοΐα, συμπεριλαμβανομένων των λιμενικών εγκαταστάσεων, ή στην αναψυχή,  
 a.3) σε δραστηριότητες για τους σκοπούς των οποίων αποθηκεύεται το νερό, όπως η υδροδότηση, η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ή η άρδευση,  
 a.4) στη ρύθμιση του ύδατος, στην προστασία από πλημμύρες, στην στράγγιση εδαφών, ή  
 a.5) άλλες εξίσου σημαντικές ανθρώπινες δραστηριότητες για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

β) οι χρήσιμοι στόχοι που εξυπηρετούνται από τα τεχνικά ή τροποποιημένα χαρακτηριστικά του υδατικού συστήματος δεν μπορούν, λόγω τεχνικής αδυναμίας ή δυσανάλογου κόστους, να επιτευχθούν λογικά με άλλα μέσα τα οποία αποτελούν πολύ καλύτερη περιβαλλοντική επιλογή.

Ειδική μνεία για τον προσδιορισμό αυτό και τη σχετική αιτιολογία του γίνεται στο Σχέδιο Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού (άρθρο 10 του παρόντος) το οποίο αναθεωρείται ανά εξαετία.

4. Οι προθεσμίες που προβλέπονται στην παράγραφο 1 μπορούν να παρατείνονται για τη σταδιακή επίτευξη των στόχων για υδατικά συστήματα, με τον όρο ότι δεν υποβαθμίζεται περαιτέρω η κατάσταση του οικείου υδατικού συστήματος, εφόσον πληρούνται σωρευτικά οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) οι αρμόδιες Διευθύνσεις Υδάτων σε συνεργασία με τις Δ/νσεις Υγείας της Περιφέρειας διαπιστώνουν ότι δεν είναι ευλόγως δυνατόν να επιτευχθούν οι απαιτούμενες βελτιώσεις της κατάστασης του υδατικού συστήματος εντός των προθεσμιών που καθορίζονται στην παράγραφο αυτή, για έναν τουλάχιστον από τους εξής λόγους:

a.1) η κλίμακα των απαιτούμενων βελτιώσεων δεν είναι, για τεχνικούς λόγους, δυνατόν να επιτευχθεί παρά μόνο σε χρονικά στάδια που υπερβαίνουν το χρονοδιάγραμμα,

a.2) η ολοκλήρωση των βελτιώσεων εντός του χρονοδιαγράμματος θα ήταν δυσανάλογα δαπανηρή,

a.3) οι φυσικές συνθήκες δεν επιτρέπουν έγκαιρες βελτιώσεις στην κατάσταση του υδατικού συστήματος.

β) η παράταση της προθεσμίας, και η αντίστοιχη αιτιολογία, εκτίθενται ειδικά στο οικείο Σχέδιο Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

γ) οι παρατάσεις περιορίζονται σε δύο (2) το πολύ περαιτέρω ενημερώσεις του Σχεδίου Διαχείρισης, εκτός από τις περιπτώσεις που οι φυσικές συνθήκες είναι τέτοιες ώστε οι στόχοι να μην είναι δυνατόν να επιτευχθούν εντός της περιόδου αυτής.

δ) το Σχέδιο Διαχείρισης περιλαμβάνει: α) περίληψη των μέτρων τα οποία απαιτούνται σύμφωνα με το άρθρο 12 και τα οποία θεωρούνται αναγκαία για να φθάσουν προοδευτικά τα υδατικά συστήματα στην απαιτούμενη κατάσταση μέσα στην παραταθείσα προθεσμία, β) τους λόγους για οποιαδήποτε αξιοσημείωτη καθυστέρηση εφαρμογής των εν λόγω μέτρων και γ) το αναμενόμενο χρονοδιάγραμμα για την εφαρμογή τους. Στις ενημερώσεις του Σχεδίου Διαχείρισης περιλαμβάνονται: α) επισκόπηση της εφαρμογής των μέτρων αυτών και β) περίληψη των τυχόν πρόσθετων μέτρων.

5. Είναι δυνατή η επίδιωξη περιβαλλοντικών στόχων λιγότερο αυστηρών από αυτούς που απαιτούνται σύμφωνα με την παράγραφο 1 για συγκεκριμένα υδατικά συστήματα, όταν επηρεάζονται τόσο από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως προβλέπεται στο άρθρο 5, παράγραφος 1, ή η φυσική τους κατάσταση είναι τέτοια ώστε η

επίτευξη των στόχων αυτών να είναι ανέφικτη ή δυσανάλογα δαπανηρή, και εφόσον πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) οι περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές ανάγκες που εξυπηρετούνται από την ανθρώπινη αυτή δραστηριότητα δεν μπορούν να επιτευχθούν με άλλα μέσα τα οποία αποτελούν πολύ καλύτερη επιλογή για περιβαλλοντική πρακτική, η οποία δεν συνεπάγεται δυσανάλογο κόστος,

β) Οι Διευθύνσεις Υδάτων σε συνεργασία με τη Δ/νση Υγείας της Περιφέρειας εξασφαλίζουν:

β.1) για τα επιφανειακά ύδατα, ότι επιτυγχάνεται το μέγιστο δυνατό οικολογικό δυναμικό και η καλύτερη δυνατή χημική κατάσταση, δεδομένων των επιπτώσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν αποφευχθεί λόγω της φύσεως της ανθρώπινης δραστηριότητας ή της ρύπανσης,

β.2) για τα υπόγεια ύδατα, τις όσο το δυνατόν λιγότερες μεταβολές στην καλή τους κατάσταση, δεδομένων των επιπτώσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν αποφευχθεί λόγω της φύσεως της ανθρώπινης δραστηριότητας ή της ρύπανσης, γ) δεν σημειώνεται περαιτέρω υποβάθμιση της κατάστασης του αντίστοιχου υδατικού συστήματος, δ) ο καθορισμός λιγότερο αυστηρών περιβαλλοντικών στόχων, και η αντίστοιχη αιτιολογία, εκτίθενται ειδικά στο Σχέδιο Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, οι στόχοι δε αυτοί επανεξετάζονται ανά εξαετία.

6. Προσωρινή υποβάθμιση της κατάστασης των υδατικών συστημάτων δεν συνιστά παράβαση των απαιτήσεων του παρόντος διατάγματος, εάν οφείλεται σε περιστάσεις που απορρέουν από φυσικά αίτια ή από ανωτέρα βία και είναι εξαιρετικές ή δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, ιδίως ακραίες πλημμύρες και παρατεταμένες ξηρασίες, ή εάν οφείλεται σε περιστάσεις λόγω ατυχημάτων οι οποίες δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, εφόσον σε κάθε περίπτωση πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) λαμβάνονται όλα τα πρακτικά εφικτά μέτρα για να προληφθεί η περαιτέρω υποβάθμιση της κατάστασης και για να μην υπονομευθεί η επίτευξη των στόχων του παρόντος Προεδρικού Διατάγματος σε άλλα υδατικά συστήματα που δεν θίγονται από τις περιστάσεις αυτές,

β) το Σχέδιο Διαχείρισης Λ.Α.Π. καθορίζει τις συνθήκες οι οποίες συνιστούν τις απρόβλεπτες ή εξαιρετικές περιστάσεις, συμπεριλαμβανομένης της θέσπισης των κατάλληλων δεικτών,

γ) τα μέτρα που πρέπει να λαμβάνονται στις εξαιρετικές αυτές περιστάσεις περιλαμβάνονται στο Πρόγραμμα Μέτρων και δεν θα υπονομεύσουν την αποκατάσταση της ποιότητας του υδατικού συστήματος μετά τη λήξη των περιστάσεων,

δ) οι επιπτώσεις των εξαιρετικών περιστάσεων ή των περιστάσεων που δεν θα μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί εξετάζονται ετησίως και, με την επιφύλαξη των οριζόμενων στην παράγραφο 4 (εδάφιο α), λαμβάνονται τα πρακτικά εφικτά μέτρα για την ευλόγως ταχύτερη δυνατή αποκατάσταση του υδατικού

συστήματος στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν πριν την επέλευση των επιπτώσεων αυτών,

ε) η επόμενη ενημέρωση του Σχεδίου Διαχείρισης Λ.Α.Π., περιλαμβάνει περιλήψη των συνεπειών των περιστάσεων και των μέτρων που ελήφθησαν ή θα ληφθούν σύμφωνα με τα εδάφια α και δ.

7. Δεν στοιχειοθετείται παράβαση των διατάξεων του παρόντος Προεδρικού Διατάγματος εφόσον:

7.1) η αδυναμία επίτευξης καλής κατάστασης των υπόγειων υδάτων, καλής οικολογικής κατάστασης ή, κατά περίπτωση, καλού οικολογικού δυναμικού ή πρόληψης της υποβάθμισης της κατάστασης ενός συστήματος επιφανειακών ή υπόγειων υδάτων, οφείλεται σε νέες τροποποιήσεις των φυσικών χαρακτηριστικών του συστήματος επιφανειακών υδάτων ή σε μεταβολές της στάθμης του συστήματος υπόγειων υδάτων, ή

7.2) η αδυναμία πρόληψης της υποβάθμισης από την άριστη στην καλή κατάσταση ενός συστήματος επιφανειακών υδάτων είναι αποτέλεσμα νέων ανθρώπινων δραστηριοτήτων βιώσιμης ανάπτυξης και εφόσον πληρούνται όλες οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

α) λαμβάνονται όλα τα πρακτικά εφικτά μέτρα για το μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων στην κατάσταση του υδατικού συστήματος,

β) η αιτιολογία των τροποποιήσεων ή των μεταβολών εκτίθεται ειδικά στο Σχέδιο Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που προβλέπεται στο άρθρο 10 και οι στόχοι αναθεωρούνται ανά εξαετία,

γ) οι λόγοι για τις τροποποιήσεις ή τις μεταβολές αυτές υπαγορεύονται από υπέρτερο δημόσιο συμφέρον και/ή τα οφέλη για το περιβάλλον και την κοινωνία από την επίτευξη των στόχων που εξαγγέλλονται στην παράγραφο 1 υπερκαλύπτονται από τα οφέλη των νέων τροποποιήσεων ή μεταβολών για την υγεία των ανθρώπων, για τη διαφύλαξη της ασφάλειάς τους ή για τη βιώσιμη ανάπτυξη, και

δ) οι ευεργετικοί στόχοι τους οποίους εξυπηρετούν αυτές οι τροποποιήσεις ή μεταβολές των υδατικών συστημάτων δεν μπορούν για τεχνικούς λόγους ή λόγω υπέρμετρου κόστους, να επιτευχθούν με άλλα μέσα που συνιστούν πολύ καλύτερη περιβαλλοντική επιλογή.

8. Η εφαρμογή των παραγράφων 3, 4, 5, 6 και 7 γίνεται κατά τρόπο ώστε να μην αποκλείεται σε μόνιμη βάση να μην υπονομεύεται η επίτευξη των στόχων του παρόντος διατάγματος σε άλλα υδατικά συστήματα της ίδιας περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού και να συνάδει με την εφαρμογή της ισχύουσας εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας για την προστασία του Περιβάλλοντος.

9. Οι Διευθύνσεις Υδάτων σε συνεργασία με τις Δ/νσεις Υγείας των Περιφερειών λαμβάνουν τα αναγκαία μέτρα ώστε η εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου αυτού, ιδίως δε των παραγράφων 3, 4, 5, 6 και 7, να εξασφαλίζει τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο προστασίας με αυτό που προβλέπεται στις εκάστοτε κείμενες εθνικές και κοινοτικές διατάξεις.

#### Άρθρο 5

Χαρακτηριστικά περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού (υδατικού διαμερίσματος), επισκόπηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος

1. Για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού ή για κάθε τμήμα διεθνούς-διασυνοριακής περιοχής λεκάνης

απορροής ποταμού που βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων της περιφέρειας οι Διευθύνσεις Υδάτων της Περιφέρειας:

α) προβαίνουν σε:

- ανάλυση των χαρακτηριστικών της,
- επισκόπηση των επιπτώσεων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην κατάσταση των επιφανειακών και των υπόγειων υδάτων, και

- οικονομική ανάλυση της χρήσης ύδατος, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές των

Παραρτημάτων II και IV του παρόντος, και

β) υποχρεούνται να ολοκληρώσουν το ως άνω έργο μέσα σε 4 μήνες από την δημοσίευση του παρόντος διατάγματος.

2. Οι αναλύσεις και επισκοπήσεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1 επανεξετάζονται και, εάν απαιτείται, ενημερώνονται το αργότερο μέχρι 22.12.2013, στη συνέχεια δε, ανά εξαετία.

#### Άρθρο 6

Μητρώο προστατευόμενων περιοχών

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών καταρτίζουν μητρώο προστατευόμενων περιοχών για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, το οποίο επανεξετάζεται και ενημερώνεται ανά τριετία και το οποίο διαβιβάζουν στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων. Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων καταρτίζει και αντιστοίχως επανεξετάζει το Εθνικό Μητρώο Προστατευόμενων Περιοχών της χώρας, σύμφωνα με το άρθρο 4, παράγ. 1, στοιχείο ι του ν. 3199/2003, εντός εξαμήνου από την δημοσίευση του παρόντος. Προστατευόμενες περιοχές είναι αυτές που έχουν χαρακτηριστεί ότι έχουν ανάγκη ειδικής προστασίας βάσει ειδικών διατάξεων της κείμενης εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας σχετικά με την προστασία των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων ή τη διατήρηση των οικοτόπων και των ειδών που εξαρτώνται άμεσα από το νερό.

2. Το Εθνικό Μητρώο περιλαμβάνει όλα τα υδατικά συστήματα που προσδιορίζονται δυνάμει του άρθρου 7 παράγραφος 1 και τις προστατευόμενες περιοχές της χώρας που αναφέρονται στο Παράρτημα V του παρόντος διατάγματος.

#### Άρθρο 7

Υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη η απόληψη πόσιμου ύδατος

1. Σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, οι αρμόδιες Διευθύνσεις Υδάτων με τη σύμφωνη γνώμη των Δ/νσεων Υγείας της Περιφέρειας προσδιορίζουν: α) όλα τα υδατικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την απόληψη ύδατος με σκοπό την ανθρώπινη κατανάλωση και παρέχουν κατά μέσον όρο άνω των 10 m<sup>3</sup> ημερησίως ή εξυπηρετούν περισσότερα από 50 άτομα, και

β) τα υδατικά συστήματα που προορίζονται για τέτοια χρήση μελλοντικά.

Οι Διευθύνσεις Υδάτων με τη σύμφωνη γνώμη των Δ/νσεων Υγείας της Περιφέρειας, παρακολουθούν τα υδατικά συστήματα τα οποία παρέχουν κατά μέσο όρο άνω των 100 m<sup>3</sup> ημερησίως, σύμφωνα με το Παράρτημα III του παρόντος διατάγματος.

2. Για κάθε υδατικό σύστημα που προσδιορίζεται κατά τη παράγραφο 1, εκτός της τήρησης των περιβαλλοντικών στόχων του άρθρου 4 σύμφωνα με τις διατάξεις του

παρόντος διατάγματος, συμπεριλαμβανομένων των ποιοτικών προτύπων που καθορίζονται σύμφωνα με το άρθρο 13 (παραγρ. 3, 4 και 5), η Δ/ση Υδάτων και η Δ/ση Υγείας της Περιφέρειας εξασφαλίζει ότι, με το καθεστώς επεξεργασίας του νερού που εφαρμόζεται σύμφωνα με τη σχετική νομοθεσία, το νερό που προκύπτει πληροί τις απαιτήσεις της κείμενης νομοθεσίας σχετικά με την ποιότητα του πόσιμου νερού κατ' εφαρμογή της υπ' αριθμ. Υ2/2600/2001 κοινής υπουργικής απόφασης (Β? 892).

3. Οι αρμόδιες Διευθύνσεις Υδάτων με τη σύμφωνη γνώμη των Δ/σεων Υγείας της Περιφέρειας εξασφαλίζουν την προσήκουσα προστασία των προσδιοριζόμενων υδατικών συστημάτων με σκοπό να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητάς τους και κατ' επέκταση να μειωθεί ο βαθμός καθαρισμού που απαιτείται για την παραγωγή πόσιμου ύδατος. Είναι δυνατό, με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, μετά από εισήγηση της αρμόδιας Διεύθυνσης Υδάτων και Υγείας και γνώμη του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων, σύμφωνα με το άρθρο 6 (παρ. 2) του ν. 3199/2003, να καθορίζονται ζώνες ασφαλείας για τα ως άνω υδατικά συστήματα. Με τις ίδιες αποφάσεις, όταν κρίνεται αναγκαίο, τίθενται όροι, απαγορεύσεις και περιορισμοί δραστηριοτήτων και χρήσεων.

#### Άρθρο 8

Ανάκτηση του κόστους για υπηρεσίες ύδατος

1. Για την ανάκτηση κόστους που αφορά τις υπηρεσίες ύδατος, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους για το περιβάλλον και τους φυσικούς πόρους, απαιτείται σχετική οικονομική ανάλυση σύμφωνα με το άρθρο 12 του ν. 3199/2003, η οποία πραγματοποιείται κατά τα οριζόμενα στο Παράρτημα IV του παρόντος διατάγματος και σύμφωνα με την αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει».

2. Οι γενικοί κανόνες κοστολόγησης και τιμολόγησης των υδάτων, συμπεριλαμβανομένης της ανάκτησης κόστους, εγκρίνονται με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, μετά από εισήγηση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων και γνώμη της Κεντρικής Γνωμοδοτικής Επιτροπής Υδάτων που δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, σύμφωνα με το άρθρο 4 (παρ. 1 εδ. δ και παρ. 3) του ως άνω νόμου.

3. Για την επίτευξη των στόχων της παραγράφου 1 πρέπει μέχρι το 2010:

α) οι πολιτικές τιμολόγησης του ύδατος να παρέχουν κατάλληλα κίνητρα στους χρήστες για να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά τους υδατικούς πόρους και κατά συνέπεια συμβάλλουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που προβλέπονται στο άρθρο 4 του παρόντος,

β) να καθιερωθεί κατάλληλη συμβολή των διαφόρων χρήσεων ύδατος, διακρινόμενων, τουλάχιστον, σε βιομηχανία, νοικοκυριά και γεωργία, στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος, βάσει της οικονομικής ανάλυσης που διενεργείται σύμφωνα με την παράγραφο 1 του άρθρου αυτού.

4. Στα Σχέδια Διαχείρισης κάθε λεκάνης απορροής ποταμού που εκπονούνται από τις αρμόδιες Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών, αναφέρονται οι προγραμματιζόμενες ενέργειες για την εφαρμογή των παραγράφων 1 και 2, που θα συμβάλλουν στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του άρθρου 4, καθώς και η συμβολή των διαφόρων χρήσεων ύδατος στην ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών ύδατος.

5. Για την εφαρμογή των διατάξεων του παρόντος άρθρου είναι δυνατόν να θεσπίζονται συγκεκριμένα προληπτικά ή διορθωτικά μέτρα στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 3199/2003, για την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του παρόντος διατάγματος.

6. Οι διατάξεις των παραγράφων 2 (δεύτερη περίπτωση) και 3, είναι δυνατό να μην εφαρμόζονται για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα χρήσης ύδατος, εφόσον αυτό δεν θίγει τους σκοπούς και την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων του παρόντος διατάγματος. Οι Περιφέρειες γνωστοποιούν στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων τους λόγους για τους οποίους δεν εφαρμόζουν πλήρως την παράγραφο 2 (δεύτερη περίπτωση) στα Σχέδια Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, προκειμένου μέσω αυτής να ενημερωθεί σχετικά η Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων.

#### Άρθρο 9

Συνδυασμένη προσέγγιση για τον έλεγχο των σημειακών και διάχυτων πηγών ρύπανσης

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών ελέγχουν τις απορρίψεις στα επιφανειακά ύδατα, οι οποίες αναφέρονται στην παράγραφο 2, σύμφωνα με τη συνδυασμένη προσέγγιση, όπως ορίζεται στο άρθρο 2 (παρ. 4) και περιγράφεται στο παρόν άρθρο.

2. Οι Διευθύνσεις Υδάτων της Περιφέρειας διενεργούν ελέγχους:

α) για τις εκπομπές σύμφωνα με τις Καλύτερες Διαθέσιμες Τεχνικές ή  
β) για την τήρηση των οριακών τιμών εκπομπής που έχουν καθορισθεί ή καθορίζονται με ειδικές διατάξεις ή  
γ) για τις διάχυτες πηγές ρύπανσης, συμπεριλαμβανομένης κατά περίπτωση της εφαρμογής Βέλτιστων Περιβαλλοντικών Πρακτικών.

Οι ανωτέρω έλεγχοι καθορίζονται ειδικότερα:

- στο ν. 3010/2002 (Α? 91) και στις υπ' αριθμ. 11014/2003 (Β? 332) και 37111/2003 (Β? 1391) κοινές υπουργικές αποφάσεις που εκδόθηκαν σε συμμόρφωση με την οδηγία 96/61/ΕΚ,
- στην υπ' αριθμ. 5673/400/1997 κοινή υπουργική απόφαση (Β? 192) «για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων» που εκδόθηκε σε συμμόρφωση με την οδηγία 91/271/ΕΟΚ,
- στην υπ' αριθμ. 16190/1335/1997 κοινή υπουργική απόφαση (Β? 519) «σχετικά με τον καθορισμό μέτρων και όρων για την προστασία των νερών από τη νιτρορρύπανση γεωργικής προέλευσης» που εκδόθηκε σε συμμόρφωση με την οδηγία 91/676/ΕΟΚ,
- στις εθνικές διατάξεις που εκδίδονται σε συμμόρφωση με κοινοτικές οδηγίες κατ' εφαρμογή του άρθρου 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ,
- στις εθνικές διατάξεις που έχουν εκδοθεί σε συμμόρφωση με αντίστοιχες κοινοτικές οδηγίες και αναφέρονται στο Παράρτημα VI του παρόντος διατάγματος,
- σε οιοδήποτε άλλες σχετικές διατάξεις της εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας, και διενεργούνται το αργότερο μέχρι 22.12.2012, εκτός εάν ορίζεται άλλως στην παραπάνω σχετική νομοθεσία.

3. Όταν ένας ποιοτικός στόχος ή ένα ποιοτικό πρότυπο, που έχει καθορισθεί είτε σύμφωνα με την εθνική και κοινοτική νομοθεσία που αναφέρεται στο Παράρτημα VI του παρόντος, είτε σύμφωνα με οποιοδήποτε άλλο

εθνικό ή κοινοτικό νομοθέτημα, απαιτεί αυστηρότερα όρια τιμών από αυτά που προβλέπονται στις διατάξεις της παραγράφου 2, καθορίζονται κατ' αναλογία και αυστηρότεροι έλεγχοι εκπομπών.

#### Άρθρο 10

##### Σχέδιο Διαχείρισης περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού (υδατικού διαμερίσματος)

1. Το Σχέδιο Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού, καταρτίζεται και εγκρίνεται σύμφωνα με τη διαδικασία και τα κριτήρια που προβλέπονται στο άρθρο 7 του ν. 3199/2003 μετά από γνώμη του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων και σύμφωνη γνώμη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων και δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

2. Το Σχέδιο Διαχείρισης περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού περιλαμβάνει υποχρεωτικά τις πληροφορίες που αναφέρονται αναλυτικά στο Παράρτημα VII του παρόντος διατάγματος, συμπεριλαμβανομένου του Προγράμματος Μέτρων και του Προγράμματος Παρακολούθησης της κατάστασης των νερών σύμφωνα με το άρθρο 8 του ν. 3199/2003. Το περιεχόμενο των Προγραμμάτων αυτών καθορίζεται στα άρθρα 11 και 12 του παρόντος διατάγματος.

3. Το Σχέδιο Διαχείρισης περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού καταρτίζεται και εγκρίνεται το αργότερο μέχρι 22.12.2009 ενώ αναθεωρείται και ενημερώνεται το αργότερο μέχρι 22.12.2015 και στη συνέχεια ανά βετία.

Κάθε ενημέρωση περιλαμβάνει τις πληροφορίες που αναφέρονται στο Παράρτημα VII του παρόντος διατάγματος.

4. Σε περίπτωση διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού που εκτείνεται στην Ελληνική Επικράτεια και στην Επικράτεια άλλου κράτους μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων διεξάγει τις αναγκαίες συνεννοήσεις με την αρμόδια αρχή του κράτους μέλους για την κατάρτιση ενιαίου Διεθνούς Σχεδίου Διαχείρισης. Σε περίπτωση που επιτευχθεί σχετική συμφωνία η Δ/ση Υδάτων της Περιφέρειας συνεργάζεται με την αρμόδια αρχή του κράτους μέλους για την κατάρτιση του εν λόγω ενιαίου Διεθνούς Σχεδίου Διαχείρισης. Εφόσον δεν καταρτισθεί τέτοιο Σχέδιο, η ως άνω αρμόδια Δ/ση καταρτίζει Σχέδιο Διαχείρισης που καλύπτει τουλάχιστον το μέρος της διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής που βρίσκεται στα διοικητικά της όρια μέσα στην Ελληνική Επικράτεια.

5. Σε περίπτωση διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού η οποία εκτείνεται στην Ελληνική Επικράτεια και στην Επικράτεια τρίτου κράτους μη μέλους της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η Εθνική Επιτροπή Υδάτων διεξάγει τις αναγκαίες συνεννοήσεις με την αρμόδια αρχή του τρίτου κράτους για την κατάρτιση ενιαίου Διεθνούς Σχεδίου Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Σε περίπτωση που επιτευχθεί σχετική συμφωνία η Δ/ση Υδάτων της Περιφέρειας συνεργάζεται με την αρμόδια αρχή του εν λόγω κράτους για την κατάρτιση ενιαίου Διεθνούς Σχεδίου Διαχείρισης. Εφόσον η κατάρτιση τέτοιου Σχεδίου είναι ανέφικτη, η ως άνω αρμόδια Δ/ση καταρτίζει Σχέδιο Διαχείρισης το οποίο καλύπτει τουλάχιστον το τμήμα της διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής που βρίσκεται στα διοικητικά της όρια μέσα στην Ελληνική Επικράτεια.

6. Είναι δυνατόν τα Σχέδια Διαχείρισης λεκανών απορροής ποταμών να συμπληρώνονται με την

κατάρτιση λεπτομερέστερων προγραμμάτων και Σχεδίων Διαχείρισης ανά υπολεκάνη, τομέα, θέμα ή τύπο νερού, προκειμένου να αντιμετωπίζονται ειδικά θέματα διαχείρισης των νερών. Η εφαρμογή των μέτρων αυτών γίνεται τηρουμένων των λοιπών διατάξεων του παρόντος διατάγματος.

#### Άρθρο 11

##### Πρόγραμμα Παρακολούθησης της κατάστασης των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων καθώς και των προστατευόμενων περιοχών

1. Το Πρόγραμμα Παρακολούθησης της κατάστασης των νερών που συνιστά μέρος του Σχεδίου Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, καταρτίζεται και εγκρίνεται σύμφωνα με το άρθρο 5, (παραγ. 5 εδαφ. ζ) του ν.3199/2003, με τους όρους και τη διαδικασία που προβλέπεται στο άρθρο 8 του ίδιου νόμου. Το Πρόγραμμα αυτό αποβλέπει στη δημιουργία μιας συνεκτικής και συνολικής εικόνας της κατάστασης των νερών σε κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού.

α) για τα επιφανειακά ύδατα, το Πρόγραμμα καλύπτει:

- τον όγκο και τη στάθμη ή το ρυθμό ροής στο μέτρο που αφορά την οικολογική και τη χημική τους κατάσταση και το οικολογικό τους δυναμικό,
- την οικολογική και τη χημική τους κατάσταση και το οικολογικό τους δυναμικό,

β) για τα υπόγεια ύδατα, το Πρόγραμμα καλύπτει την παρακολούθηση της ποσοτικής και της χημικής τους κατάστασης, λαμβάνοντας υπόψη τις διατάξεις της εκάστοτε κείμενης εθνικής και κοινοτικής νομοθεσίας για την προστασία των υπόγειων υδάτων,

γ) για τις προστατευόμενες περιοχές, το Πρόγραμμα συμπληρώνεται με τις προδιαγραφές που περιέχονται στην ισχύουσα νομοθεσία με την οποία έχουν καθοριστεί οι επιμέρους προστατευόμενες περιοχές.

2. Τα Προγράμματα αυτά τίθενται σε εφαρμογή το αργότερο μέχρι 23.12.2006. Η ως άνω παρακολούθηση πρέπει να συμφωνεί με τις απαιτήσεις του Παραρτήματος III του παρόντος.

3. Οι τεχνικές προδιαγραφές και οι τυποποιημένες μέθοδοι για την ανάλυση και την παρακολούθηση της κατάστασης των νερών καθορίζονται σύμφωνα με την διαδικασία του άρθρου 21 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

4. Τα συλλεγόμενα στοιχεία από την παρακολούθηση της κατάστασης των υδάτων καταχωρούνται μετά από συνεργασία των αρμόδιων υπηρεσιών και φορέων όπως ορίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 4 του ν. 3199/2003 σε βάση υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων, σύμφωνα με την παραγ. 5 (εδαφ. ζ) του άρθρου 5 του ν. 3199/2003.

#### Άρθρο 12

##### Πρόγραμμα Μέτρων

1. Το Πρόγραμμα Μέτρων συνιστά μέρος του Σχεδίου Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Καταρτίζεται και εγκρίνεται από την οικεία Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας σύμφωνα με το άρθρο 5 παραγρ. 5 (εδαφ. γ και δ) του ν. 3199/2003, με τους όρους και τη διαδικασία που προβλέπονται στο άρθρο 8 του ίδιου νόμου.

2. Για την κατάρτιση του Προγράμματος Μέτρων λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων που

απαιτούνται σύμφωνα με το άρθρο 5, ώστε να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι που προβλέπονται στο άρθρο 4 του παρόντος διατάγματος.

3. Το Πρόγραμμα Μέτρων περιλαμβάνει «βασικά μέτρα» και «συμπληρωματικά μέτρα», το αναλυτικό περιεχόμενο των οποίων εκτίθεται παρακάτω.

4. «Βασικά μέτρα» είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις που πρέπει να πληρούνται και συνίστανται σε:

α) μέτρα που απαιτούνται για την εφαρμογή της κοινοτικής νομοθεσίας για την προστασία των υδάτων, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων που απαιτούνται δυνάμει της νομοθεσίας που προσδιορίζεται στο άρθρο 9 και στο Παράρτημα VIII (Τμήμα Α) του παρόντος διατάγματος,

β) μέτρα που κρίνονται κατάλληλα για την ανάκτηση του κόστους των υπηρεσιών νερού σύμφωνα με το άρθρο 8 του παρόντος,

γ) μέτρα για την προαγωγή μιας αποτελεσματικής και βιώσιμης χρήσης ύδατος προκειμένου να μην διακυβεύεται η επίτευξη των στόχων, οι οποίοι καθορίζονται στο άρθρο 4,

δ) μέτρα για τη ικανοποίηση των απαιτήσεων του άρθρου 7, συμπεριλαμβανομένων των μέτρων για τη διαφύλαξη της ποιότητας των υδάτων, προκειμένου να μειωθεί το επίπεδο της επεξεργασίας καθαρισμού, το οποίο απαιτείται για την παραγωγή ποσίμου ύδατος,

ε) ελέγχους που διέπουν την απόληψη γλυκών επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και τη συγκέντρωσή τους σε ταμειωτήρες ή δεξαμενές γλυκών επιφανειακών υδάτων. Στους ελέγχους συμπεριλαμβάνονται η κατάρτιση μητρώου ή μητρώων απολήψεων υδάτων και η απαίτηση έκδοσης εκ των προτέρων άδειας για την παραπάνω απόληψη και συγκέντρωση. Οι έλεγχοι αυτοί θα επανεξετάζονται περιοδικώς και, όπου είναι απαραίτητο, θα επικαιροποιούνται. Οι Διευθύνσεις Υδάτων της Περιφέρειας είναι δυνατό να εξαιρούν από τους ελέγχους αυτούς απολήψεις και συγκεντρώσεις, οι οποίες δεν έχουν σημαντική επίπτωση στην κατάσταση των υδάτων,

στ) ελέγχους, συμπεριλαμβανομένης της απαίτησης έκδοσης εκ των προτέρων άδειας για τον τεχνητό εμπλουτισμό ή αύξηση της παροχής των υπόγειων υδατικών συστημάτων. Τα χρησιμοποιούμενα ύδατα μπορεί να προέρχονται από οποιαδήποτε επιφανειακή ή υπόγεια ύδατα, εφόσον η χρησιμοποίηση της πηγής αυτής δεν θέτει σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζονται για την πηγή ή για τα εμπλουτιζόμενα υπόγεια υδατικά συστήματα. Οι έλεγχοι αυτοί επανεξετάζονται περιοδικά και, εφόσον χρειάζεται, επικαιροποιούνται,

ζ) μέτρα για σημειακές πηγές απορρίψεων, οι οποίες ενδέχεται να προκαλέσουν ρύπανση. Τα μέτρα αυτά μπορεί να είναι περιβαλλοντικοί όροι, η έγκριση των οποίων γίνεται σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, στους οποίους συμπεριλαμβάνεται μεταξύ άλλων η απαγόρευση διοχέτευσης ρύπων στα ύδατα. Οι έλεγχοι τήρησης των όρων αυτών διενεργούνται σύμφωνα με την κείμενη σχετική νομοθεσία, συμπεριλαμβανομένων των ελέγχων που διενεργούνται σύμφωνα με τα άρθρα 9 και 13. Τα συστήματα ελέγχων επανεξετάζονται περιοδικώς και, εφόσον χρειάζεται, επικαιροποιούνται,

η) μέτρα για την πρόληψη ή τον έλεγχο της διοχέτευσης ρύπων από διάχυτες πηγές ικανές να προκαλέσουν

ρύπανση. Τα μέτρα αυτά μπορεί να είναι περιβαλλοντικοί όροι, η έγκριση των οποίων γίνεται σύμφωνα με τις σχετικές διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, όπως η απαγόρευση διοχέτευσης ρύπων στα ύδατα, όταν αυτό δεν προβλέπεται από άλλη σχετική νομοθεσία. Τα μέτρα αυτά επανεξετάζονται περιοδικά και, εφόσον χρειάζεται, επικαιροποιούνται,

θ) μέτρα για οιοσδήποτε άλλες σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην κατάσταση του ύδατος που προσδιορίζεται δυνάμει του άρθρου 5 και του Παραρτήματος II του παρόντος. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνουν ειδικότερα μέτρα που εξασφαλίζουν ότι οι υδρομορφολογικές συνθήκες των υδατικών συστημάτων είναι συμβατές με την επιδίωξη της απαιτούμενης οικολογικής κατάστασης ή του καλού οικολογικού δυναμικού για τα υδατικά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται τεχνητά ή ισχυρά τροποποιημένα. Οι έλεγχοι προς το σκοπό αυτό μπορεί να λάβουν τη μορφή απαίτησης για τη χορήγηση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, όταν η απαίτηση αυτή δεν προβλέπεται από άλλη εθνική ή κοινοτική νομοθεσία. Τα συστήματα ελέγχων επανεξετάζονται περιοδικά και, εφόσον χρειάζεται, επικαιροποιούνται,

ι) απαγόρευση των απορρίψεων ρύπων απευθείας στα υπόγεια ύδατα, με την επιφύλαξη των διατάξεων του εδαφίου αυτού.

Με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, μετά από εισήγηση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας, είναι δυνατόν, κατ'εξάφραση, να επιτραπεί η επανέγχυση ύδατος το οποίο χρησιμοποιείται για γεωθερμικούς σκοπούς στον ίδιο υδροφόρο ορίζοντα. Με απόφαση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας, μετά από εισήγηση της Διεύθυνσης Υδάτων της Περιφέρειας είναι δυνατόν, ορίζοντας στην απόφαση αυτή τις σχετικές προϋποθέσεις, σύμφωνα με το άρθρο 5 (παρ.6) του ν. 3199/2003, να επιτρέπεται:

– έγχυση υδάτων που περιέχουν ουσίες οι οποίες προέρχονται από εργασίες αναζήτησης και εξαγωγής υδρογονάνθρακων ή από μεταλλευτικές δραστηριότητες, και την έκχυση υδάτων για τεχνικούς λόγους, σε γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους έχουν εξαχθεί υδρογονάνθρακες ή άλλες ουσίες ή σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι, για φυσικούς λόγους, είναι μονίμως ακατάλληλοι για άλλους σκοπούς. Οι εγχύσεις αυτές δεν επιτρέπεται να περιέχουν άλλες ουσίες πλην εκείνων που προέρχονται από τις προαναφερόμενες εργασίες,

– επανέγχυση υπόγειων υδάτων που αντλούνται από ορυχεία και λατομεία ή που συνδέονται με την κατασκευή ή τη συντήρηση έργων πολιτικού μηχανικού,

– έγχυση φυσικού νερού ή επεξεργασμένων λυμάτων για τον τεχνητό εμπλουτισμό των υδροφόρων,

– έγχυση φυσικού αερίου ή υγραερίου (LPG) για λόγους αποθήκευσης σε γεωλογικούς σχηματισμούς οι οποίοι, για φυσικούς λόγους, είναι μονίμως ακατάλληλοι για άλλους σκοπούς,

– έγχυση φυσικού αερίου ή υγραερίου (LPG) για λόγους αποθήκευσης σε άλλους γεωλογικούς σχηματισμούς όταν υπάρχει επιτακτική ανάγκη για την ασφάλεια του εφοδιασμού σε αέριο, και όταν η έκχυση πραγματοποιείται κατά τρόπο που δεν παρουσιάζει ή δεν θα παρουσιάσει κίνδυνο υποβάθμισης της ποιότητας των υπόγειων υδάτων υποδοχής,

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

– κατασκευαστικές, οικοδομικές και άλλες εργασίες πολιτικού μηχανικού, καθώς και παρόμοιες δραστηριότητες, επί ή εντός του εδάφους που έρχεται σε επαφή με τα υπόγεια ύδατα. Οι δραστηριότητες αυτές επιτρέπονται μόνο εφόσον διεξάγονται σύμφωνα με τις ισχύουσες σχετικές διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας,

– απορρίψεις μικρών ποσοτήτων ουσιών οι οποίες πραγματοποιούνται για επιστημονικούς λόγους για το χαρακτηρισμό, την προστασία ή την αποκατάσταση υδατικών συστημάτων και οι οποίες περιορίζονται αυστηρά στην απαιτούμενη ποσότητα, εφόσον οι προαναφερόμενες απορρίψεις δεν θέτουν σε κίνδυνο την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που καθορίζονται για τα εν λόγω υπόγεια υδατικά συστήματα.

ι.α) ειδικά μέτρα λαμβάνονται κατ' εφαρμογή του άρθρου 13: (α) για την εξάλειψη της ρύπανσης επιφανειακών υδάτων από τις ουσίες προτεραιότητας που προσδιορίζονται από την Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σύμφωνα με το άρθρο 16 παράγραφος 2 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, και (β) για την προοδευτική μείωση της ρύπανσης από άλλες ουσίες η οποία, διαφορετικά, θα εμπόδιζε την επίτευξη των στόχων του άρθρου 4 για τα επιφανειακά υδατικά συστήματα,

ι.β) μέτρα που είναι απαραίτητα για την πρόληψη σημαντικών διαρροών ρύπων από τεχνικές εγκαταστάσεις και για την πρόληψη και/ή τη μείωση των επιπτώσεων από επεισόδια ρύπανσης λόγω ατυχήματος, όπως π.χ. μετά από πλημμύρες. Στα μέτρα αυτά περιλαμβάνεται η εφαρμογή διατάξεων συστημάτων για ανίχνευση ή προειδοποίηση τέτοιων γεγονότων, συμπεριλαμβανομένων, στην περίπτωση των ατυχημάτων που δεν θα μπορούσαν να έχουν ευλόγως προβλεφθεί, όλων των κατάλληλων μέτρων για τη μείωση των κινδύνων στα υδατικά οικοσυστήματα.

5. «Συμπληρωματικά μέτρα» είναι τα μέτρα που καταρτίζονται και τίθενται σε εφαρμογή επιπλέον των βασικών μέτρων, με σκοπό την επίτευξη των στόχων που καθορίζονται στο άρθρο 4. Τα μέτρα αυτά περιλαμβάνονται στο Παράρτημα VIII του παρόντος διατάγματος.

6. Όταν τα στοιχεία παρακολούθησης ή άλλα στοιχεία υποδεικνύουν ότι δεν είναι πιθανόν να επιτευχθούν οι στόχοι που τίθενται δυνάμει του άρθρου 4 για το υδατικό σύστημα, η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων λαμβάνει τα αναγκαία μέτρα ώστε:

α) να διερευνώνται τα αίτια της πιθανής αποτυχίας, β) να εξετάζονται οι σχετικές άδειες και λοιπές διοικητικές πράξεις και να αναθεωρούνται εφόσον συντρέχει περίπτωση,

γ) να αναθεωρούνται και να προσαρμόζονται τα Προγράμματα Παρακολούθησης εφόσον συντρέχει περίπτωση, και

δ) να θεσπίζονται τα πρόσθετα μέτρα που είναι αναγκαία προκειμένου να επιτευχθούν οι εν λόγω στόχοι, συμπεριλαμβανομένης, εφόσον συντρέχει περίπτωση, της θέσπισης αυστηρότερων περιβαλλοντικών προτύπων

σύμφωνα με τις διαδικασίες που προβλέπονται στο Παράρτημα III του παρόντος διατάγματος.

Όταν τα αίτια αυτά οφείλονται σε περιστάσεις που απορρέουν από φυσικά αίτια ή από ανωτέρα βία και είναι εξαιρετικές ή δεν μπορούσαν ευλόγως να έχουν προβλεφθεί, ιδίως ακραίες πλημμύρες και παρατεταμένες ξηρασίες, η Κεντρική Υπηρεσία

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Υδάτων μπορεί να αποφασίζει ότι η λήψη πρόσθετων μέτρων είναι αδύνατη, με την επιφύλαξη του άρθρου 4, παράγραφος 6.

7. Κατά την εφαρμογή των μέτρων που θεσπίζονται σύμφωνα με την παράγραφο 3, οι Διευθύνσεις Υδάτων της Περιφέρειας λαμβάνουν όλα τα κατάλληλα μέτρα για να μην αυξηθεί η ρύπανση των θαλάσσιων υδάτων. Με την επιφύλαξη της ισχύουσας νομοθεσίας, η εφαρμογή μέτρων που λαμβάνονται σύμφωνα με την παράγραφο 3 δεν επιτρέπεται να οδηγεί, αμέσως ή εμμέσως, στην αύξηση της ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων. Η απαίτηση αυτή δεν ισχύει εάν τούτο θα είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της ρύπανσης του όλου περιβάλλοντος.

8. Τα Προγράμματα Μέτρων καταρτίζονται το αργότερο μέχρι 22.12.2009 και όλα τα μέτρα είναι έτοιμα προς εφαρμογή το αργότερο μέχρι 22.12.2012.

9. Τα Προγράμματα Μέτρων ενημερώνονται και, αν είναι ανάγκη, αναθεωρούνται, το αργότερο μέχρι 22.12.2015 και στη συνέχεια, ανά δετία. Κάθε νέο ή αναθεωρημένο μέτρο που θεσπίζεται δυνάμει ενός ενημερωμένου Προγράμματος, πρέπει να είναι έτοιμο προς εφαρμογή εντός τριών ετών από τη θέσπισή του.

### Άρθρο 13

Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης

1. Οι Περιφερειακές Διευθύνσεις Υδάτων καταρτίζουν Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης των υδάτων, σύμφωνα με το άρθρο 9 (παραγ. 2 και 4) του νόμου 3199/2003 μετά από γνώμη του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων και σύμφωνη γνώμη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων, από μεμονωμένους ρύπους ή ομάδες ρύπων που αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για το υδατικό περιβάλλον ή μέσω αυτού, συμπεριλαμβανομένων των κινδύνων για τα ύδατα που χρησιμοποιούνται για την άντληση πόσιμου ύδατος. Το Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων δημοσιεύεται στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.
2. Οι ρύποι αυτοί αφορούν στις ουσίες προτεραιότητας όπως ορίζονται στο άρθρο 2 (παραγ. κστ) του ν. 3199/2003, οι οποίες προσδιορίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ. Ο κατάλογος των ουσιών προτεραιότητας περιλαμβάνεται στο Παράρτημα ΙΧ του παρόντος διατάγματος.
3. Τα ποιοτικά πρότυπα που αφορούν στις συγκεντρώσεις των ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, τα ιζήματα και το βιόκοσμο, καθορίζονται από τις κείμενες εθνικές και κοινοτικές διατάξεις και

αναθεωρούνται από την Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

4. Σε περίπτωση που, για ουσίες του καταλόγου ουσιών προτεραιότητας, δεν υπάρχει συμφωνία σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα για τις εν λόγω ουσίες καθορίζονται εντός του πρώτου εξαμήνου του έτους 2007, με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων μετά από εισήγηση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων για όλα τα επιφανειακά ύδατα που επηρεάζονται από την απόρριψη των ουσιών αυτών. Οι έλεγχοι των κύριων πηγών των εν λόγω απορρίψεων, γίνεται με βάση, μεταξύ άλλων, την εξέταση όλων των τεχνικών επιλογών περιορισμού.
5. Για τις ουσίες που προστίθενται μεταγενέστερα στον κατάλογο ουσιών προτεραιότητας, τα σχετικά ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα εφόσον δεν υπάρχει συμφωνία

σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθορίζονται με τον ίδιο ως άνω τρόπο, πέντε χρόνια μετά την ημερομηνία προσθήκης στον κατάλογο.

#### Άρθρο 14

Πρόγραμμα ειδικών μέτρων για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών θεσπίζουν Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων κατά της ρύπανσης για την πρόληψη και τον έλεγχο της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, σύμφωνα με το άρθρο 9 (παραγ. 3 και 4) του νόμου 3199/2003 μετά από γνώμη του Περιφερειακού Συμβουλίου Υδάτων και σύμφωνη γνώμη της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν στην επίτευξη του στόχου της καλής χημικής κατάστασης των υπόγειων υδάτων σύμφωνα με το άρθρο 4, παράγραφος 1, εδάφιο β) και θεσπίζονται σε συμμόρφωση με αντίστοιχα μέτρα που υιοθετούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 17 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ.

2. Το Πρόγραμμα Ειδικών Μέτρων για τα υπόγεια νερά, περιλαμβάνεται στο Πρόγραμμα Μέτρων που προβλέπεται στο άρθρο 12 του παρόντος.

3. Σε περίπτωση που δεν έχουν καθορισθεί κριτήρια σε κοινοτικό επίπεδο για τη θέσπιση ειδικών μέτρων πρόληψης και ελέγχου της ρύπανσης των υπόγειων υδάτων, με απόφαση της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων μετά από εισήγηση της Κεντρικής Υπηρεσίας Υδάτων, καθορίζονται τα κατάλληλα εθνικά κριτήρια. Στην περίπτωση αυτή, η αναστροφή της τάσης λαμβάνει ως εναρκτήριο σημείο της το 75%, κατ' ανώτατο όριο, του επιπέδου των ποιοτικών προδιαγραφών που προβλέπονται στην υφιστάμενη κοινοτική νομοθεσία η οποία εφαρμόζεται στα υπόγεια ύδατα.

#### Άρθρο 15

Διαδικασία δημοσιοποίησης των Σχεδίων Διαχείρισης

Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών μεριμνούν για την ουσιαστική συμμετοχή του κοινού και των φορέων εκπροσώπησης του, συμπεριλαμβανομένων των χρηστών, στις διαδικασίες προστασίας και διαχείρισης των νερών και ιδίως στη διαδικασία εκπόνησης, αναθεώρησης και την ενημέρωση των σχεδίων διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού. Για το σκοπό αυτό και σε εφαρμογή της παραγράφου 5 εδάφιο (στ) του ν. 3199/2003, για κάθε περιοχή λεκάνης απορροής ποταμού θέτουν στη διάθεση του κοινού, τα προσχέδια διαχείρισης των λεκανών απορροής ποταμών καθώς και τις πληροφορίες και τα στοιχεία που συγκεντρώνουν στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων τους και παρέχουν προθεσμία τουλάχιστον έξι μηνών για την διατύπωση και υποβολή γραπτών παρατηρήσεων. Ειδικότερα:

1. Πριν από την έγκριση κάθε Σχεδίου Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού σύμφωνα με την διαδικασία και τους όρους που προβλέπονται στο άρθρο 7 του ν. 3199/2003 καθώς και στο άρθρο 10 του παρόντος διατάγματος και τουλάχιστον ένα χρόνο πριν από την έναρξη της περιόδου στην οποία αναφέρεται το Σχέδιο, η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας διαβιβάζει αντίγραφο του Σχεδίου Διαχείρισης στο Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων σύμφωνα με τις παραγράφους 2 και 3 του άρθρου 6 του ν. 3199/2003.

2. Το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων μέσα σε πέντε ημέρες από την παραλαβή του Σχεδίου, προβαίνει σε δημοσίευση στον ημερήσιο τύπο περιφερειακής ή

εθνικής εμβέλειας και ενδεχομένως και ηλεκτρονικά, εφόσον υπάρχει σχετική δυνατότητα, ανακοίνωσης και πρόσκλησης του κοινού για να λάβει γνώση του Σχεδίου και να διατυπώσει και να υποβάλει εγγράφως τις παρατηρήσεις του. Παράλληλα το Περιφερειακό Συμβούλιο μεριμνά για την ανάρτηση αντιγράφου της ως άνω ανακοίνωσης στον πίνακα ανακοινώσεων των Νομαρχιακών Αυτοδιοικήσεων που υπάγονται στα διοικητικά όρια της οικείας Περιφέρειας. Η προθεσμία υποβολής των παρατηρήσεων του κοινού καθορίζεται από το Περιφερειακό Συμβούλιο Υδάτων και δεν μπορεί να υπερβαίνει τους έξι μήνες από την δημοσιοποίηση του Σχεδίου. Το περιεχόμενο της ανακοίνωσης αυτής καθορίζεται από την Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας. Με τη λήξη της ανωτέρω προθεσμίας, το Περιφερειακό Συμβούλιο διαβιβάζει στη Δ/νση Υδάτων της Περιφέρειας τη γνωμοδότησή του καθώς και τις παρατηρήσεις του κοινού, προκειμένου να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία έγκρισης του Σχεδίου Διαχείρισης.

3. Μετά από σχετική αίτηση κάθε ενδιαφερόμενου, η Διεύθυνση Υδάτων της Περιφέρειας παρέχει πρόσβαση σε βοηθητικά έγγραφα και πληροφορίες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση του προσχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

4. Οι παράγραφοι 1 και 2 εφαρμόζονται και στις περιπτώσεις ενημέρωσης των Σχεδίων Διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού.

5. Η διαδικασία δημοσιοποίησης που προβλέπεται στις παραγράφους 1 και 2 του παρόντος άρθρου, εφαρμόζεται κατ' αναλογία και για τις περιπτώσεις 1 και 3 του εδαφίου στ της παραγράφου 5 του άρθρου 5 του ν. 3199/2003.

#### Άρθρο 16

Υποβολή εκθέσεων στην Επιτροπή Ε.Κ.

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών διαβιβάζουν αντίγραφα των Σχεδίων Διαχείρισης και όλων των επακόλουθων ενημερωμένων μορφών τους στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων, η οποία στη συνέχεια τα διαβιβάζει στην Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης και σε οιοδήποτε ενδιαφερόμενο κράτος μέλος εντός τριών μηνών από την έγκρισή τους:

α) για τις περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού που ευρίσκονται εξ ολοκλήρου στην Ελληνική Επικράτεια, όλα τα Σχέδια Διαχείρισης τα οποία έχουν δημοσιευθεί σύμφωνα με το άρθρο 15,

β) για τις διεθνείς περιοχές λεκάνης απορροής ποταμού, τουλάχιστον το μέρος των Σχεδίων που καλύπτει το έδαφος της χώρας.

2. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών υποβάλλουν προς την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων συνοπτικές εκθέσεις σχετικά με:

– τις αναλύσεις που απαιτούνται δυνάμει του άρθρου 5, και

– τα Προγράμματα Παρακολούθησης που καταρτίζονται δυνάμει του άρθρου 11, που αναλαμβάνονται για τους σκοπούς του πρώτου Σχεδίου Διαχείρισης, εντός 3 μηνών από την ολοκλήρωσή τους.

Οι εκθέσεις αυτές υποβάλλονται από την Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων στην Επιτροπή της Ευρωπαϊκής



## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Ένωσης και κοινοποιούνται στην Εθνική Επιτροπή Υδάτων.

ετών από την έγκριση κάθε Σχεδίου Διαχείρισης ή την επικαιροποίησή του σύμφωνα με το άρθρο 10, δημοσιεύουν και υποβάλλουν στην Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων του Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. Ενδιάμεση Έκθεση στην οποία περιγράφεται η πρόοδος που έχει σημειωθεί ως προς την εφαρμογή του προβλεπόμενου Προγράμματος Μέτρων. Η Κεντρική Υπηρεσία Υδάτων αποστέλλει άμεσα την ως άνω Ενδιάμεση Έκθεση στην Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

### Άρθρο 17

#### Καταργούμενες Διατάξεις

##### A. Καταργούμενες διατάξεις

1. Με την επιφύλαξη της παραγράφου Β, κάθε διάταξη που αντίκειται στις διατάξεις του παρόντος διατάγματος ή ανάγεται σε θέματα που ρυθμίζονται από αυτό, καταργείται.

2. Στις 23.12.2007 καταργούνται:

α) Τα άρθρα 3Α παράγραφος 1, 4, 5 παράγραφοι 1-3α, 6, 7α, 8-10 της κοινής υπουργικής απόφασης 46399/1352/86 (Β? 438) «απαιτούμενη ποιότητα επιφανειακών νερών που προορίζονται για «πόσιμα», «κολύμβηση», «διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά» και «καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών», μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ».

β) Η Απόφαση 77/795/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1977 «Περί καθιέρωσης κοινής διαδικασίας ανταλλαγής πληροφοριών για την ποιότητα των γλυκών επιφανειακών υδάτων της Κοινότητας» όπως ισχύει.

3. Στις 23.12.2013 καταργούνται:

– Τα άρθρα 3Α παράγραφος 3, 3Β παράγραφοι 1 – 1.4, 5 παράγραφοι 3 εδάφιο Β της κοινής υπουργικής απόφασης 46399/1352/86 (Β? 438) «απαιτούμενη ποιότητα επιφανειακών νερών που προορίζονται για «πόσιμα», «κολύμβηση», «διαβίωση ψαριών σε γλυκά νερά» και «καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών», μέθοδοι μέτρησης, συχνότητα δειγματοληψίας και ανάλυση των επιφανειακών νερών που προορίζονται για πόσιμα, σε συμμόρφωση με τις οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/ΕΟΚ, 76/160/ΕΟΚ, 78/659/ΕΟΚ, 79/923/ΕΟΚ και 79/869/ΕΟΚ».

– Η κοινή υπουργική απόφαση 26857/553/88 (Β? 196) «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία των υπόγειων νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών», η οποία αποτελεί την εναρμόνιση της Ελληνικής νομοθεσίας προς την οδηγία 80/68/ΕΟΚ «περί προστασίας των υπογείων υδάτων από τη ρύπανση που προέρχεται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες».

– Η υπ' αριθμ. 2/1.2.2001 ΠΥΣ (Α? 15) και η υπ' αριθμ. 4859/726/2001 κοινές υπουργικές αποφάσεις (Β? 253) που έχουν εκδοθεί σε συμμόρφωση με την οδηγία 76/464/ΕΟΚ, εκτός από το άρθρο 4 της κοινής υπουργικής απόφασης αυτής που καταργείται από την έναρξη ισχύος του παρόντος διατάγματος.

##### B. Μεταβατικές διατάξεις

1. Οι ακόλουθες μεταβατικές διατάξεις ισχύουν για την υπ' αριθμ. 2/1.2.2001 ΠΥΣ και την υπ' αριθμ. 4859/726/2001 κοινή υπουργική απόφαση:

α) ο κατάλογος προτεραιότητας που θεσπίζεται σύμφωνα με το άρθρο 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα ΙΧ του παρόντος,

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

αντικαθιστά τον κατάλογο ουσιών που παρατίθεται στην Ανακοίνωση της Επιτροπής Ε.Κ. προς το Συμβούλιο της 22ας Ιουνίου 1982 «για τις επικίνδυνες ουσίες που μπορούν να συμπεριληφθούν στον πίνακα Ι της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου».

β) Για την υπ' αριθμ. 2/2001 ΠΥΣ όπως τροποποιήθηκε με την υπ' αριθμ. 50388/2704/Ε 103/2003 κοινή υπουργική απόφαση (Β' 1866), σχετικά με την εφαρμογή του Εθνικού Προγράμματος Μείωσης της Ρύπανσης από επικίνδυνες ουσίες και τις αναθεωρήσεις του καθώς και την εφαρμογή των Ειδικών Προγραμμάτων Μείωσης της ρύπανσης που έχουν εκδοθεί σύμφωνα με το άρθρο 4 της ως άνω ΠΥΣ, είναι δυνατό να εφαρμόζονται οι προβλεπόμενες στο παρόν δ/γμα αρχές για τον εντοπισμό των προβλημάτων ρύπανσης και των ουσιών που τα προξενούν σύμφωνα με τα άρθρα 9 και 11, τη θέσπιση ποιοτικών προτύπων και τη λήψη μέτρων σύμφωνα με το άρθρο 13 του παρόντος δ/τος.

2. Οι περιβαλλοντικοί στόχοι του άρθρου 4 και τα ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα που θεσπίζονται α) στο Παράρτημα VI β) σύμφωνα με το άρθρο 16 (παραγ. 5) της οδηγίας 2000/60 γ) σύμφωνα με το Παράρτημα ΙΧ για τις ουσίες που δεν περιλαμβάνονται στον κατάλογο προτεραιότητας και δ) σύμφωνα με το άρθρο 13 (παραγ. 4) του παρόντος για τις ουσίες προτεραιότητας για τις οποίες δεν έχουν καθορισθεί ποιοτικά πρότυπα δυνάμει του άρθρου 16 (παραγ. 6) της οδηγίας 2000/60, θεωρούνται ως ποιοτικά περιβαλλοντικά πρότυπα για την εφαρμογή του άρθρου 12 της υπ' αριθμ. 11014/703/2003 κοινής υπουργικής απόφασης (Β' 332).
3. Για τα συστήματα επιφανειακών υδάτων, οι περιβαλλοντικοί στόχοι που θεσπίζονται δυνάμει του πρώτου σχεδίου διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού που απαιτείται σύμφωνα με το άρθρο 10 του παρόντος, συνεπάγονται τουλάχιστον, τη θέσπιση ποιοτικών προτύπων τουλάχιστον το ίδιο αυστηρών με εκείνα που απαιτούνται για την εφαρμογή του Εθνικού Προγράμματος Μείωσης της ρύπανσης των νερών που αναφέρεται στην παράγραφο 1 (εδαφ. β) του άρθρου αυτού.

### Άρθρο 18 Κυρώσεις

1. Σε κάθε φυσικό ή νομικό πρόσωπο που ρυπαίνει ή υποβαθμίζει τα νερά ή παραβαίνει τις διατάξεις του παρόντος διατάγματος με πράξη ή παράλειψη επιβάλλονται οι διοικητικές και ποινικές κυρώσεις που προβλέπονται στα άρθρα 13 και 14 του ν. 3199/2003.
2. Οι ως άνω κυρώσεις επιβάλλονται ανεξάρτητα από την επιβολή κυρώσεων που προβλέπονται σε άλλες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας.

### Άρθρο 19 Παραρτήματα

Προσαρτώνται και αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του παρόντος διατάγματος τα Παραρτήματα Ι –ΙΧ που ακολουθούν.

Τα Παραρτήματα αυτά τροποποιούνται με κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε. και του κατά περίπτωση συναρμόδιου Υπουργού σύμφωνα με τα εκάστοτε ισχύοντα στο Κοινοτικό Δίκαιο.

### Άρθρο 20

## 6.3 ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Αριθμ. Η.Π. 51354/2641/Ε103

Καθορισμός Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για τις συγκεντρώσεις ορισμένων ρύπων και ουσιών προτεραιότητας στα επιφανειακά ύδατα, σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 «σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με την τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου», καθώς και για τις συγκεντρώσεις ειδικών ρύπων στα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα και άλλες διατάξεις.

**ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ, ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ -  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ, ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ  
ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ -  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ**

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις του άρθρου 2 δευτέρου του Ν. 2077/1992 «Κύρωση Συνθήκης για την Ευρωπαϊκή Ένωση» (Α= 136) και τις διατάξεις των άρθρων 1 και 2 (παρ. 1ζ) του Ν.1338/1983 « Εφαρμογή του Κοινοτικού Δικαίου» (Α= 34) όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 6 του Ν. 1440/1986 «Συμμετοχή της Ελλάδας στο κεφάλαιο, στα αποθεματικά και στις προβλέψεις της Ευρωπαϊκής Τράπεζας Επενδύσεων κ.λ.π. (Α= 70) και του άρθρου 65 του Ν. 1892/1990 (Α= 101).

2. Τις διατάξεις των άρθρων 2, 4 (παρ. 1) και 5 (παρ. 5

12. Τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ.166/2006 «Για τη σύσταση ευρωπαϊκού μητρώου έκλυσης και μεταφοράς ρύπων και

εδ. α, β και ζ) 9,13 και 14 του Ν. 3199/2003 “Προστασία και διαχείριση των υδάτων – εναρμόνιση με την οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000” (Α’ 280).

3. Τις διατάξεις των άρθρων 1 (παρ. γ), 4 (παρ.1 εδ. α.4, παρ. 2 και παρ. 5 εδ. β.1), 9, 10, 11,12 (παρ.4 εδ. ζ,θ και ια, παρ.5 και παρ.6) και 13 του Π.Δ. 51/2007 «Καθορισμός μέτρων και διαδικασιών για την ολοκληρωμένη προστα-

σία και διαχείριση των υδάτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 200/60/ΕΚ.....του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000» (Α’54).

4. Τις διατάξεις των άρθρων 1,2 και 3 του Ν.3010/2002 «Εναρμόνιση του Ν.1650/1986 με τις οδηγίες 97/11/ΕΕ και 96/61/ΕΕ κ.ά. (Α’91).

5. Τις διατάξεις της υπ’ αριθμ. ΗΠ 15393/2332/2002 Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες σύμφωνα με το άρ. 3 του Ν.1650/86, όπως αντικαταστάθηκε από το άρ. 1 του Ν. 3010/2002 ...» (Β= 1022/2002), όπως ισχύει.

6. Τις διατάξεις της υπ’ αριθμ. 11 014/703/Φ1 04/14.03.2003 Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α.) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.) σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν. 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε από το άρ. 2 του Ν. 3010/2002 ...» (Β= 332).

7. Τις διατάξεις της υπ’ αριθμ. Η.Π. 37111/2021/2003 Κοινής Υπουργικής Απόφασης «Καθορισμός τρόπου ενημέρωσης και συμμετοχής του κοινού κατά την διαδικασία έγκρισης περιβαλλοντικών όρων των έργων και δραστηριοτήτων σύμφωνα με την παρ.2 του άρθρου 5 του Ν. 1650/86, όπως αντικαταστάθηκε με τις παραγράφους 2 και 3 του άρθρου 3 του Ν. 3010/2002» (Β= 1391/29.09.2003).

8. Τις διατάξεις της υπ. αριθ. 107017/2006 Κοινής Υπουργικής Απόφασης « Εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ορισμένων σχεδίων και προγραμμάτων, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2001/42/ΕΚ.... κλπ» (Β= 1225).

9. Τις διατάξεις της οδηγίας 2008/105/ΕΚ «σχετικά με πρότυπα ποιότητας περιβάλλοντος στον τομέα της πολιτικής των υδάτων καθώς και σχετικά με την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των Οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της Οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου».

10. Την Οδηγία 2006/11/ΕΚ «για τη ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται στο υδάτινο περιβάλλον της Κοινότητας (Κωδικοποιημένη έκδοση)».

11. Την απόφαση 2455/2001/ΕΚ «περί καθορισμού πρώτου καταλόγου ουσιών προτεραιότητας στον τομέα της πολιτικής των υδάτων».

για την τροποποίηση των οδηγιών 91/689/ΕΟΚ και 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου» (ΕΕL 33/1/4-2-2006).

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

13. Τις διατάξεις του άρθρου 6 του Π.Δ.189/2009 «Καθορισμός και ανακατανομή των αρμοδιοτήτων των Υπουργείων» (Α<sup>5</sup>221).

14. Την υπ. αριθ. 2876/2009 Απόφαση του Πρωθυπουργού «Αλλαγή τίτλου Υπουργείων» .

15. Τις διατάξεις του άρθρου 2 (παρ. 4) του Π.Δ. 24/2010 «Ανακαθορισμός των αρμοδιοτήτων των Υπουργείων και τροποποίηση του Π.Δ. 189/2009» (Α<sup>5</sup>56), αποφασίζουμε:

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

#### Άρθρο 1 Σκοπός

1. Με την παρούσα απόφαση αποσκοπείται η εφαρμογή και εξειδίκευση των διατάξεων των άρθρων 2, 4 (παρ. 1), 5 (παρ.5 εδ. α, β και ζ) και 9 του Ν. 3199/2003 (Α= 280) καθώς και των άρθρων 1 (παρ. γ), 4 (παρ.1 εδ. α.4, παρ. 2 και παρ. 5 εδ. β.1), 9, 10, 11,12 (παρ.4 εδ. ζ,θ και ια, παρ.5 και παρ.6) και 13 του Π.Δ. 51/2007 (Α<sup>5</sup>54), σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2008/105/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Δεκεμβρίου 2008 «σχετικά με Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) στον τομέα της πολιτικής των υδάτων και σχετικά με την τροποποίηση και μετέπειτα κατάργηση των οδηγιών του Συμβουλίου 82/176/ΕΟΚ, 83/513/ΕΟΚ, 84/156/ΕΟΚ, 84/491/ΕΟΚ και 86/280/ΕΟΚ και την τροποποίηση της οδηγίας 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου» (ΕΕΛ 288/27/2007), ώστε με τον καθορισμό Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για ορισμένους ρύπους και για τις ουσίες του καταλόγου ουσιών προτεραιότητας, που εγκρίθηκε με την Απόφαση 2455/2001/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σύμφωνα με τη διαδικασία του άρθρου 16 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, καθώς και Προτύπων Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ) για ειδικούς ρύπους, να μειώνονται οι κίνδυνοι ρύπανσης των επιφανειακών υδάτων και να επιτυγχάνεται η καλή χημική και οικολογική τους κατάσταση, σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς στόχους του άρθρου 4 του Π.Δ.51/2007.

#### Άρθρο 2 Ορισμοί

Για την εφαρμογή της παρούσας απόφασης, ισχύουν οι ορισμοί του άρθρου 2 του Ν. 3199/2003 (Α= 280) και του άρθρου 2 του Π. Δ. 51/2007 (Α<sup>5</sup>54).

#### Άρθρο 3

##### Πρότυπα Ποιότητας Περιβάλλοντος (ΠΠΠ)

1. Στα συστήματα επιφανειακών υδάτων εφαρμόζονται τα ΠΠΠ τα οποία ορίζονται :
  - α) στο μέρος Α του παραρτήματος Ι του άρθρου 8 και αφορούν τις ουσίες προτεραιότητας και ορισμένους άλλους ρύπους,
  - β) στο μέρος Β του παραρτήματος Ι του άρθρου 8, αφορούν ειδικούς ρύπους και απαιτούνται για την υποβοήθηση του προσδιορισμού της οικολογικής κατάστασης των συστημάτων των εσωτερικών επιφανειακών υδάτων.
2. Τα ΠΠΠ εφαρμόζονται στα συστήματα επιφανειακών υδάτων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που ορίζονται στο μέρος Γ του παραρτήματος Ι του άρθρου 8.

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

3. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, μετά από εισήγηση της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων, μπορεί σε ορισμένες κατηγορίες επιφανειακών υδάτων να απαιτείται για τα ιζήματα ή/και τους ζώντες οργανισμούς (βιόκοσμο) η εφαρμογή ΠΠΠ συμπληρωματικών ή διαφορετικών από τα ΠΠΠ που ορίζονται στο μέρος Α του παραρτήματος Ι. Στην περίπτωση αυτή :

α) εφαρμόζονται, για τον υδράργυρο και τις ενώσεις του, ΠΠΠ 20μg/kg, ή/και για το εξαχλωροβενζόλιο ΠΠΠ 10μg/kg, ή/και για το εξαχλωροβουταδιένιο ΠΠΠ 55 μg/kg, στους ιστούς θηρευομένων ιχθύων (υγρό βάρος), επιλέγοντας τον πλέον πρόσφορο δείκτη μεταξύ ιχθύων, μαλακίων, οστρακοδέρμων και άλλων ζώντων οργανισμώνJ

β) ορίζονται και εφαρμόζονται ΠΠΠ πλην των μνημονευομένων στο στοιχείο α) για τα ιζήματα ή/και τους ζώντες οργανισμούς για συγκεκριμένες ουσίες του μέρους Α του παραρτήματος Ι. Τα εν λόγω ΠΠΠ παρέχουν τουλάχιστον το ίδιο επίπεδο προστασίας για τα ύδατα, με τα ΠΠΠ τα οποία παρατίθενται στο μέρος Α του παραρτήματος ΙJ

γ) καθορίζονται, για τις ουσίες που αναφέρονται στα στοιχεία α) και β), η συχνότητα παρακολούθησης στους ζώντες οργανισμούς ή/και τα ιζήματα. Η παρακολούθηση γίνεται τουλάχιστον μία φορά ανά έτος παρακολούθησης, εκτός εάν τεκμηριωμένα, σύμφωνα με τους κανόνες της επιστήμης και της τεχνικής, δικαιολογείται άλλη περιοδικότητα

3.1. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, κοινοποιεί στην Επιτροπή και τα άλλα κράτη μέλη, μέσω της επιτροπής του άρθρου 21 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ, κατάλογο των ουσιών για τις οποίες ορίσθηκαν ΠΠΠ σύμφωνα με το στοιχείο (β), τους λόγους για τη χρήση της προσέγγισης αυτής, τα εναλλακτικά ΠΠΠ που έχουν ορισθεί, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων και της μεθοδολογίας με τα οποία επιτεύχθηκαν τα εναλλακτικά ΠΠΠ, τις κατηγορίες των επιφανειακών υδάτων στα οποία θα εφαρμόζονται, και την προγραμματιζόμενη συχνότητα παρακολούθησης, μαζί με την αιτιολόγηση της συχνότητας αυτής.

4. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων, με βάση τα αποτελέσματα της παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων που διεξάγεται, με την επιφύλαξη της παραγράφου

5 του άρθρου 7, σύμφωνα με το άρθρο 11 του Π.Δ. 51/2007, προβαίνει σε ανάλυση των μακροπρόθεσμων τάσεων των συγκεντρώσεων των ουσιών προτεραιότητας που εκτίθενται στο μέρος Α του παραρτήματος Ι και οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται σε ιζήματα ή/και ζώντες οργανισμούς, αποδίδοντας ιδιαίτερη έμφαση στις ουσίες αριθ. 2, 5, 6, 7, 12, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 26, 28 και 30.

Με την επιφύλαξη του άρθρου 4 του Π.Δ. 51/2007, τα Προγράμματα Ειδικών Μέτρων που προβλέπονται στο άρθρο 13 του Π.Δ. 51/2007, πρέπει να διασφαλίζουν ότι οι ανωτέρω συγκεντρώσεις δεν αυξάνονται σημαντικά σε ιζήματα ή/και οικείους ζώντες οργανισμούς (βιόκοσμο).

5. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων καθορίζει τη συχνότητα παρακολούθησης σε ιζήματα ή/και ζώντες οργανισμούς (βιόκοσμο) ώστε να υπάρχουν επαρκή δεδομένα για μια αξιόπιστη ανάλυση μακροπρόθεσμων τάσεων. Η

παρακολούθηση πρέπει να γίνεται κάθε τριετία, εκτός εάν τεκμηριωμένα, σύμφωνα με τους κανόνες της επιστήμης και της τεχνικής, δικαιολογείται άλλη περιοδικότητα.

#### Άρθρο 4

##### Ζώνες ανάμειξης

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών, μετά από σύμφωνη γνώμη της Ειδικής Γραμματείας Υδάτων, μπορούν να καθορίζουν ζώνες ανάμειξης παρακείμενες σε σημεία απόρριψης στα επιφανειακά ύδατα. Μέσα στις ζώνες ανάμειξης οι συγκεντρώσεις μιας ή περισσότερων ουσιών που καταγράφονται στα μέρη Α και Β του παραρτήματος Ι, είναι δυνατό να υπερβαίνουν τα σχετικά ΠΠΠ, εφόσον δεν επηρεάζεται η συμμόρφωση της υπόλοιπης επιφάνειας των υδάτων προς τα εν λόγω ΠΠΠ.

2. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών που ορίζουν ζώνες ανάμειξης, στα σχέδια διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμών που προβλέπονται στο άρθρο 7 του Ν. 3199/2003 και στο άρθρο 10 του Π.Δ. 51/2007, περιλαμβάνουν περιγραφή:

α) των προσεγγίσεων και μεθοδολογιών οι οποίες εφαρμόστηκαν για τον προσδιορισμό των ζωνών, και β) των μέτρων που λαμβάνονται με σκοπό τη μείωση της έκτασης των ζωνών ανάμειξης στο μέλλον, όπως των μέτρων που λαμβάνονται κατ' εφαρμογή των προγραμμάτων ειδικών μέτρων που προβλέπονται στο άρθρο 9 του Ν. 3199/2003 και στο άρθρο 13 του Π.Δ. 51/2007 στο πλαίσιο εφαρμογής του άρθρου 12 (παρ. 4 στοιχείο ια) του Π.Δ. 51/2007. Η λήψη των ανωτέρω μέτρων πραγματοποιείται μέσω της διαδικασίας επανεξέτασης ή αναθεώρησης των προβλεπόμενων στις διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας ή εγκρίσεων περιβαλλοντικών όρων, όπως ειδικότερα ορίζεται στο άρθρο 12 (παρ. 4 στοιχείο ζ) του Π.Δ/τος 51/2007.

3. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών που ορίζουν ζώνες ανάμειξης διασφαλίζουν ότι η έκταση των ζωνών αυτών:

α) περιορίζεται στο χώρο που γεινιάζει με το σημείο απόρριψης,

β) είναι αναλογική, σε σχέση με τις συγκεντρώσεις των ρύπων στο σημείο απόρριψης και τις συνθήκες εκπομπών ρύπων που περιέχονται σε προγενέστερες κανονιστικές

πράξεις, όπως σε εγκρίσεις ή/ και σε άδειες, που αναφέρονται στο άρθρο 12 (παρ. 4 στοιχείο ζ) του Π.Δ. 51/2007 καθώς και σε άλλες διατάξεις της κείμενης νομοθεσίας, κατ' εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών και σύμφωνα με το άρθρο 9 του εν λόγω Π.Δ/τος, ιδίως μετά την επανεξέταση ή αναθεώρηση των εν λόγω κανονιστικών πράξεων.

4. Οι τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές για τον προσδιορισμό των ζωνών ανάμειξης θεσπίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή σύμφωνα με την κανονιστική διαδικασία που αναφέρεται στο άρθρο 9 (παρ.2) της οδηγίας 2008/105/ΕΚ.

5. Σε κάθε περίπτωση κατά τον προσδιορισμό των ζωνών ανάμειξης πρέπει να διασφαλίζεται ότι η συνολική έκταση των ζωνών ανάμειξης στα ύδατα δεν οδηγεί στην αδυναμία επίτευξης των περιβαλλοντικών του στόχων. Ειδικά για τις περιπτώσεις των ποταμών το μήκος έκτασης ζώνης ανάμειξης δεν θα υπερβαίνει το δεκαπλάσιο του πλάτους του ποταμού και σε κα-

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

μία περίπτωση το συνολικό μήκος των ζωνών ανάμιξης δεν θα υπερβαίνει το 10 % του συνολικού μήκους του ποταμού.

### Άρθρο 5

Κατάλογος εκπομπών, απορρίψεων και διαρροών

1. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών, με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται σύμφωνα με τα άρθρα 5 και 11 του Π. Δ. 51/2007, τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 166/2006 και άλλα διαθέσιμα δεδομένα, καταρτίζουν για κάθε περιφέρεια λεκάνης απορροής ποταμού ή μέρος της περιφέρειας αυτής που βρίσκεται μέσα στα διοικητικά τους όρια, κατάλογο συμπεριλαμβανομένων τυχόν χαρτών, των εκπομπών, απορρίψεων και διαρροών για όλες τις ουσίες προτεραιότητας και όλους τους ρύπους που εκτίθενται στο μέρος Α του παραρτήματος Ι της παρούσας απόφασης, συμπεριλαμβανομένων των συγκεντρώσεων τους στα ιζήματα και τους ζώντες οργανισμούς, κατά περίπτωση.

2. Η περίοδος αναφοράς για την εκτίμηση των συγκεντρώσεων των ρύπων που πρέπει να καταχωρούνται στους καταλόγους που αναφέρονται στην παράγραφο 1 είναι ένα έτος μεταξύ των ετών 2008 και 2010. Ωστόσο, για ουσίες προτεραιότητας ή ρύπους που καλύπτονται από το Π.Δ. 115/1997 (Α<sup>1</sup>04), που εκδόθηκε σε συμμόρφωση με την Οδηγία 91/414/ΕΟΚ, οι καταχωρίσεις είναι δυνατό να υπολογίζονται ως η μέση τιμή των ετών 2008, 2009 και 2010.

3. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών διαβιβάζουν τους καταλόγους που έχουν εκπονηθεί σύμφωνα με την παράγραφο 1 του παρόντος άρθρου, συμπεριλαμβανομένων των αντίστοιχων περιόδων αναφοράς, στην Ειδική Γραμματεία Υδάτων, προκειμένου να διαβιβασθούν στη Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 16 (παρ. 1) του Π.Δ.51/2007.

4. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών επικαιροποιούν τους καταλόγους τους κατά την επανεξέταση των αναλύσεων που προσδιορίζονται στο άρθρο 5 (παρ. 2) του Π.Δ.51/2007.

4.1. Η περίοδος αναφοράς για τον καθορισμό τιμών στους επικαιροποιημένους καταλόγους είναι το έτος που προηγείται εκείνου κατά το οποίο πρέπει να ολοκληρωθεί η εν λόγω ανάλυση. Για ουσίες προτεραιότητας ή ρύπους καλυπτόμενους από το Π.Δ. 115/1997 (Α<sup>1</sup>04), οι καταχωρίσεις είναι δυνατό να υπολογίζονται ως η μέση τιμή

των τριών ετών που προηγούνται της ολοκλήρωσης της εν λόγω ανάλυσης.

5. Οι Διευθύνσεις Υδάτων των Περιφερειών δημοσιεύουν τους επικαιροποιημένους καταλόγους στα σχέδια διαχείρισης κάθε λεκάνης απορροής ποταμού, που ενημερώνονται σύμφωνα με τις προβλέψεις του άρθρου 10 (παρ. 3) του Π.Δ.51/2007.

6. Οι τεχνικές κατευθυντήριες γραμμές για την κατάρτιση καταλόγων θεσπίζονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, σύμφωνα με την κανονιστική διαδικασία του άρθρου 9 (παρ.2) της οδηγίας 2008/105/ΕΚ.

### Άρθρο 6

Διασυνοριακή ρύπανση

1. Δεν παραβιάζονται οι υποχρεώσεις που προβλέπονται στις διατάξεις της παρούσας απόφασης ως προς την συμμόρφωση με τα ΠΠΠ, εφόσον μπορεί να αποδειχθεί ότι:

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

α) η υπέρβαση οφειλόταν σε πηγή ρύπανσης εκτός εθνικής δικαιοδοσίας. J

β) ήταν αδύνατη η λήψη αποτελεσματικών μέτρων συμμόρφωσης με το σχετικό ΠΠΠ, λόγω του διασυνωριακού χαρακτήρα της ρύπανσης, καθώς και ότι

γ) εφαρμόστηκαν οι μηχανισμοί συντονισμού που προβλέπονται στο άρθρο 10 (παρ.4 και 5) του Π.Δ. 51/2007 και, κατά περίπτωση, αξιοποιήθηκαν οι προβλέψεις του άρθρου 4 (παρ. 4, 5 και 6) του Π.Δ. 51/2007, για τα υδατικά συστήματα τα οποία επλήγησαν από τη διασυνωριακή ρύπανση.

2. Η Ειδική Γραμματεία Υδάτων κάνει χρήση του μηχανισμού που ορίζεται στο άρθρο 12 της οδηγίας 2000/60/ΕΚ για να παράσχει στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή τις απαραίτητες πληροφορίες, στις περιπτώσεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1, καθώς και σύνοψη των μέτρων που ελήφθησαν κατά της διασυνωριακής ρύπανσης στο σχετικό σχέδιο διαχείρισης λεκάνης απορροής ποταμού, σύμφωνα με τις απαιτήσεις υποβολής εκθέσεων που προβλέπονται για τα Σχέδια Διαχείρισης στο άρθρο 16 (παρ. 1) του Π.Δ. 51/2007.

### Άρθρο 7

#### Τροποποιούμενες και καταργούμενες Διατάξεις

1. Το παράρτημα ΙΧ του άρθρου 19 του Π.Δ.51/2007 αντικαθίσταται από το παράρτημα ΙΙ του άρθρου 8 της παρούσας απόφασης.

2. Αντικαθίστανται με τα αντίστοιχα ΠΠΠ του μέρους Α του Παραρτήματος Ι του άρθρου 8, οι οριακές τιμές ποιότητας νερών που καθορίζονται στις ακόλουθες Πράξεις Υπουργικού Συμβουλίου (ΠΥΣ):

α) Στο παράρτημα Β του άρθρου 6 της ΠΥΣ 144/1987 «Προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από την ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες.....και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών ποιότητας του νερού σε κάδμιο, υδράργυρο και εξαχλωροκυκλοεξάνιο (HCH)» (Α<sup>5</sup>197)

β) Στο παράρτημα του άρθρου 6 της ΠΥΣ 73/1990 «Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο Ι του Παραρτήματος Α του άρθρου 6 της αριθμ.

144/2.11.1987 Πράξης του Υπουργικού Συμβουλίου» (Α<sup>5</sup>90).

γ) Στο άρθρο 2 της ΠΥΣ 255/1994 «Συμπλήρωση του Παραρτήματος του άρθρου 6 της υπ. αριθμ. 73/29.6.1990 πράξης Υπουργικού Συμβουλίου 'Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο Ι του Παραρτήματος Α του άρθρου 6 της υπ. αριθμ. 144/2.11.1987 πράξης του Υπουργικού Συμβουλίου'» (Α<sup>5</sup>123), με το οποίο τροποποιήθηκε το παράρτημα του άρθρου 6 της Πράξης Υπουργικού Συμβουλίου

3. Από 22 Δεκεμβρίου 2012 καταργούνται:

α) οι ακόλουθες Πράξεις Υπουργικού Συμβουλίου (ΠΥΣ):

αα) η ΠΥΣ 144/1987 «Προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος από την ρύπανση που προκαλείται από ορισμένες επικίνδυνες ουσίες που εκχέονται σε αυτό και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών ποιότητας του νερού σε κάδμιο, υδράργυρο και εξαχλωροκυκλοεξάνιο (HCH)»

ββ) η ΠΥΣ 73/1990 «Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο Ι του Παραρτήματος Α του άρθρου 6 της αριθμ. 144/2.11.1987 Πράξης του Υπουργικού Συμβουλίου»

γγ) η ΠΥΣ 255/1994 «Συμπλήρωση του Παραρτήματος του άρθρου 6 της υπ. Αριθ. 73/29.6.1990 πράξης Υπουργικού Συμβουλίου 'Καθορισμός των κατευθυντήριων και οριακών τιμών ποιότητας των νερών από απορρίψεις ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον κατάλογο Ι του Παραρτήματος Α του άρθρου 6 της υπ. Αριθ. 144/2.11.1987 πράξης του Υπουργικού Συμβουλίου'».

β) οι ακόλουθες Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις(ΚΥΑ): αα) η ΚΥΑ 18186/271/88 (B 126<sup>5</sup>) «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικίνδυνων ουσιών στα υγρά απόβλητα»

ββ) η ΚΥΑ 90461/2193/94 (B= 843) «Συμπλήρωση του παραρτήματος του άρθρου 12 της υπ' αριθ. 55648/2210/1991 Κοινής Υπουργικής Απόφασης 'Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου



## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικινδύνων ουσιών στα υγρά απόβλητα»

γγ) η ΚΥΑ 55648/2210/1991 (Β<sup>3</sup>23) «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών των επικινδύνων ουσιών στα υγρά απόβλητα»

δδ) Κοινή Υπουργική Απόφαση οικ.4859/726/2001 (Β=253) «Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδάτινου περιβάλλοντος.....», ως προς τις παραμέτρους που περιλαμβάνει το Παράρτημα Ι της παρούσας απόφασης.

#### 4. Στην υπ' αριθμ. 50388/2704/2003 Κοινή Υπουργική Απόφαση (Β<sup>1</sup>866):

α) οι ποιοτικοί στόχοι για τα εσωτερικά επιφανειακά ύδατα που αναφέρονται στον πίνακα 5 του παραρτήματος, αντικαθίστανται από τα αντίστοιχα ΠΠΠ του Μέρους Β, του Παραρτήματος Ι της παρούσας και

β) οι ποιοτικοί στόχοι για τα λοιπά επιφανειακά ύδατα (μεταβατικά και παράκτια), που αναφέρονται στον πίνακα 5 του παραρτήματος ως προς τις παραμέτρους που περιλαμβάνει το μέρος Α του Παραρτήματος Ι της παρούσας απόφασης, αντικαθίστανται από τα αντίστοιχα ΠΠΠ του μέρους Α του Παραρτήματος Ι της παρούσας.

5. Πριν από τις 22 Δεκεμβρίου 2012, η Ειδική Γραμματεία Υδάτων έχει τη δυνατότητα να προβαίνει στην παρακολούθηση και τη σύνταξη εκθέσεων σύμφωνα με τα άρθρα 5, 11 και 16 του Προεδρικού Διατάγματος υπ' αριθμ. 51/08.03.2007, αντί να ενεργεί σύμφωνα με τις διατάξεις που αναφέρονται στην παράγραφο 3 του παρόντος άρθρου.

#### Άρθρο 8 Παραρτήματα

Προσαρτώνται και αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της παρούσας απόφασης τα παραρτήματα Ι και ΙΙ που ακολουθούν.

## 6.4.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. The composition and properties of soil. In: Williams I. Environmental Chemistry. Wiley & Sons, Chichester, 2001: 130-135.
2. Soil and agricultural chemistry. In: Manahan SE. Fundamentals of Environmental Chemistry. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1993: 516-543.
3. Brady NC. The Nature and Properties of Soils. Macmillan Publishing Co, Inc, New York, 1974.
4. Greenland DJ, Hayes MHM, eds. The Chemistry of Soil Constituents. John Wiley & Sons, New York, 1978.
5. Gill R. Chemical Fundamentals of Geology. 2nd ed. Chapman & Hall, London, 1996.
6. Faure G. Principles and Applications of Geochemistry, 2nd ed. Prentice Hall, New York, 1997.
7. Oldeman LR. The global extent of land degradation. In: Greenland DJ, Szaboles I, eds. Land Resilience and Sustainable Land Use. CABI, Oxford, 1994: 99-118;
8. International Soil Reference Centre (ISRIC). Global Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation. 2000
10. Smil V. The Bad Earth. Environmental Degradation in China. Sharpe Press, New York, 1984.
11. Singh GR, Babu R, Narain P, Bhushan LS, Abrol IP. Soil erosion in India. J Soil Land Water Conserv, 1992, **47**: 97-99.
12. United Nations Environment Programme (UNEP). Status of Desertification and Implementation of the United Nations Action Plan to Combat Desertification. UNEP, New York, 1991.
13. United Nations Convention to Combat Desertification, 1994 Geneva (178 χώρες έχουν υπ29. Sawhney BL, Brown K, eds. Reactions and Movements of Organic Chemicals
14. Domsch KH, Jagnow G, Anderson T-H. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms.
15. Hutchinson SL, Schwab AP, Banks MK. Phytoremediation of aged petroleum sludge: effect of irrigation techniques and scheduling. 2001

16. Bhupathiraju VK, Krauter P, Holman HY, et al. Assessment of in-situ bioremediation at a refinery waste-contaminated site and aviation gasoline contaminated site. *Biodegradation*, 2002, **13**: 79-90.
17. Banks MK, Schwab P, Liu B, Kulakow PA, Smith JS, Kim R. The effect plant on the degradation and toxicity of petroleum contaminants in soil: filed assessment. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2003, **78**: 75-96.
18. Riser-Roberts E, Riser-Roberts RR. Remediation of Petroleum Contaminated Soils. Biological, Physical, and Chemical Processes. CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.
19. Cheineau CH, Yepremian C, Vidalie JF, et al. Bioremediation of a crude oil-polluted soil: Biodegradation, leaching and toxicity assessment.
20. Alexander, M. (1994). "**Biodegradation and Bioremediation**", Academic Press Inc.
21. Eweis, J. B., Ergas, S. J., Chang, D. P. Y., and Schroeder, E. D. (1998). "**Bioremediation principles**", McGraw-Hill.
22. Gabriel, P. F. (1992). "Innovative technologies for contaminated soil remediation: focus on bioremediation". In **Bioremediation: the state of practise in Hazardous waste remediation operations: AWMA/HWAC**).
23. Kavanaugh, M. C. (1996). **Water Science Technology**, Vol. 34, pp. 275-283
24. Brown, LA και R. Fraxedas. 1992. 1992. Air Sparging επέκταση πηκτικότητας σε μολυσμένα υδροφόρα στρώματα, σε Πρακτικά του Συμποσίου για το έδαφος εξαερισμού, 29 Απρίλιος - 1η Μάιος 1991, Houston, Texas, pp. 249-269. 249269. US EPA, Office of Research and Development. EPA/600/R-92/174. Η ΥΠΠ των ΗΠΑ, Γραφείο Έρευνας και Ανάπτυξης. EPA/600/R-92/174.
25. Johnson, RL, PC Johnson, DB McWhorter, RE Hinchee, and I. Goodman. Μια επισκόπηση των επί τόπου Sparging αέρα. *Ground Water Monitoring Review*.
26. Hinchee, RE 1994. Hinchee, RE 1994. Air Sparging for Site Remediation. Air Sparging για Site αποκατάστασης. Boca Raton, FL: Lewis Publishers. Boca Raton, FL: Lewis Publishers.
27. Marley, M., DJ Hazenbronck, and MT Walsh. Marley, M., DJ Hazenbronck, και MT Walsh. 1992. 1992. Η εφαρμογή των επιτόπιων αέρα Sparging ως καινοτόμο εδάφη και τα υπόγεια ύδατα τεχνολογία αποκατάστασης. *Ground Water Monitoring Review*. *Ground Water Παρακολούθηση κριτική*. Vol. Vol. 12, No. 2, pp. 12, No 2, pp. 137-145. 137-145.
28. US Environmental Protection Agency (EPA). Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA). 1992. 1992. Μια Αξιολόγηση της Τεχνολογίας

του εδάφους Vapor Εκχύλιση και Air Sparging. Washington, DC: Γραφείο Έρευνας και Ανάπτυξης. EPA/600/R-92/173. EPA/600/R-92/173.

29. (Appelo & Postma, 1993, 1994, 1996).
30. (Mason & Moore, 1982).
31. (Todd, 1980).
32. (Crane-Gardner, 1961).
33. (Fetter, 1994).
34. (Domenico & Schwartz, 1998).
35. (Freeze-Cherry, 1979).
36. (Domenico & Schwartz, 1998).
37. (Tchobanoglous & Schroeder, 1985).

#### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

38. Water, Air & Soil Pollution, 2003, **144**: 419-440. **Ζανάκη Κ.**, 1996: "Έλεγχος Ποιότητας Νερού" Έκδ. "ΙΩΝ" Αθήνα, ISBN960-405-501-1.

39. **Κάγκαλου Ι.**, 1997: "Σημειώσεις Λιμνολογίας" ΤΕΙ Ηπείρου, Ηγουμενίτσα Καράταγλης Στ., 1992: "Φυσιολογία Φυτών" Έκδ. ART of TEXT, Θεσσαλονίκη, ISBN 960-312-009-X.

40. **Κουσουρής Θ.**, 1998: "Μονογραφίες Θαλάσσιων Επιστημών - Το Νερό στη Φύση, στην Ανάπτυξη, στην Προστασία του Περιβάλλοντος" Έκδ. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Αθήνα.

41. Αντωνόπουλος Β. 2001, καθ.Α.Π.Θ. εκδ. Ζήτη, Θεσ/νική σελ.355,(Ποιότητα και Ρύπανση Υπογείων νερών).

42. Αντωνόπουλος Β. 1999( Υδρολογία της Ακόρεστης Ζώνης του Εδάφους) σελ.275.

43. Καββαδάς Μιχ. Αναπλ.καθ.Ε.Μ.Π. Σεπτ.2007.(Τεχνολογίες απορρύπανσης και προστασίας εδαφών και υπόγειων υδροφορέων).

44. Χριστούλας Δ. 1991,(Ρύπανση τω υδάτων και αντιρρυπαντική τεχνολογία)Αθήνα.

45.«Κυριότερες μέθοδοι απορρύπανσης» Χριστούλας 91',Καββαδάς 96',Αντωνόπουλος 01'.

46. Καινοτόμες Μέθοδοι Εξυγίανσης Ρύπανσης Εδαφών και υπογείων υδάτων. Τεχνολογία φυτοεξυγίανσης Ζαμπετάκης Α./ Μάνιος Θ./ Καρατζάς Γ. Heleco '05 ΤΕΕ Αθήνα 2005.

ΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ:

47. [www.epa.gov/oust/pubs/tum\\_ch7.pdf](http://www.epa.gov/oust/pubs/tum_ch7.pdf)

48. [www.europa.eu](http://www.europa.eu)

49. [www.greenpage.gr](http://www.greenpage.gr)

50. [www.unccd.int](http://www.unccd.int)

51. [www.isric.nl/GLASOD.htm](http://www.isric.nl/GLASOD.htm)

52. [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)

53. [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)

54. <http://www.i-live.gr/news-xartografisi-rypansis-ee/>

55. <http://kireas.org/smf/index.php?topic=685.0>

56. <http://www.archipelago.gr>