

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΡΥΠΑΝΘΕΙ ΜΕ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΝΙΚΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε για το Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας, και αναφέρεται στις Μεθόδους - Τεχνολογίες Απορρύπανσης του εδάφους που έχει ρυπανθεί με πετρελαιοειδή.

Στην αρχή γίνεται ανάλυση των βασικών στοιχείων θεωρίας για το έδαφος και τη σημασία του, εξηγούμε κατάλληλα τον όρο ρύπανση και εμβαθύνουμε περαιτέρω στις επιπτώσεις της ρύπανσης και σε μέτρα αποφυγής της, ακολούθως εξηγούμε πως γίνεται η «κίνηση» ενός ρύπου απο πετρελαιοειδή μέσα στο έδαφος, άρα και η ρύπανση διπλανών εδαφών και προχωράμε στην παρουσίαση σημαντικών τεχνολογιών απορρύπανσης.

Η σημασία της Πτυχιακής Εργασίας είναι αυτή η δυνατότητα που μας δόθηκε σαν φοιτητές, να έρθουμε σε άμεση επαφή με το θέμα μας και την πραγματικότητα που ισχύει εδώ και χρόνια, όσον αφορά το πρόβλημα της ρύπανσης των εδαφών με πετρελαιοειδή. Τεράστιας σημασίας ζήτημα καθώς απασχολεί κατά καιρούς, παγκοσμίως αλλά και στην Ελλάδα, μεγάλους οργανισμούς, φορείς και επιστήμονες οι οποίοι με διάφορες αποφάσεις, οδηγίες προς μεγάλες βιομηχανίες κ.λ.π, προσπαθούν να μειώσουν την ανεξέλεγκτη αυτή ρύπανση, που ουσιαστικά «σκοτώνει» τον ζωντανό φλοιό της γής, που αποτελεί το θεμέλιο της ζωής μας. Με την δυνατότητα αυτή, βασικός μας στόχος ήταν η απόκτηση στο χρονικό αυτό διάστημα, περισσότερων γνώσεων γύρω απο αυτό το θέμα και η ξεκαθάριση ορισμένων πραγμάτων, όσον αφορά τα μέτρα προστασίας και τα μέτρα απορρύπανσης των ήδη ρυπασμένων εδαφών, που τελικώς λαμβάνονται απο την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε.), τις οδηγίες που στέλνει σ'όλους τους υπευθύνους καθώς και η Ελλάδα πως συμβάλλει στην προσπάθεια αυτή.

Έχουμε δεχτεί πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ'όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της Πτυχιακής μας Εργασίας και έτσι θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά την υπεύθυνη καθηγήτρια μας κ. Δήμητρα Τζοβόλου ξέροντας οτι αυτό θα ήθελε και προσωπική της προσπάθεια και επιμέλεια της δουλειάς μας, καθώς και για την προθυμία της να μας λύσει τυχόν απορίες ή ακόμη και να μας δώσει συμβουλές για την μετέπειτα πορεία μας. Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε και την επιβλέπουσα καθηγήτρια μας κ. Μαρία Θεοδωροπούλου για τον τελικό έλεγχο της Πτυχιακής Εργασίας και επισήμανσης όποιων λαθών, όπως επίσης και τους γονείς μας, για όλη αυτή την στήριξη, ηθική, ψυχική και υλική, την αμέριστη συμπαράσταση τους, καθώς και για την συνεχή υπομονή που επιδεικνύουν γενικότερα και καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας.

Χριστοδούλου Ανδρέας
Κωνσταντίνου Νίκος
Μάιος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην μελέτη διαφόρων μεθόδων απορρύπανσης εδαφών που έχουν ρυπανθεί με πετρελαιοειδή, ενός χρόνιου ζητήματος, που απασχολεί ακόμη και την Ελλάδα και που χρήζει άμεσης αντιμετώπισης. Κάθε διάθεση πετρελαιοειδών στο έδαφος, σε ρυθμούς και ποσότητες ανώτερες από την αφομοιωτική του ικανότητα, οδηγεί στην ποιοτική και αισθητική υποβάθμιση του κι ακολούθως στην υποβάθμιση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου, δηλ. της υγείας του.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε έξι Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά ο όρος «έδαφος» και η βαθύτερη σημασία του για την ζωή. Παρουσιάζουμε διάφορες κατηγορίες και είδη εδαφών, την σύσταση και την υφή τους, τις υποκείμενες στρώσεις του ανώτερου φλοιού του εδάφους που καλείται υπέδαφος και τις κύριες υδρολογικές ζώνες στις οποίες διακρίνεται. Εξηγούμε πως σχηματίζεται το έδαφος με την πάροδο των χρόνων, τους διάφορους εδαφικούς ορίζοντες καθώς και τις διάφορες ιδιότητες του. Επίσης αναφερόμαστε στην διαπερατότητα του εδάφους, στους πόρους του και πως επιτρέπεται η κίνηση ενός ρευστού διαμέσου της μάζας του. Τέλος μελετάμε την εδαφική υποβάθμιση (διάβρωση και ερημοποίηση), τους τύπους της, που οφείλεται και πως γενικότερα επηρεάζεται η ζωή μας από αυτό, αναφέροντας και ένα παράδειγμα άμεσου κινδύνου ερημοποίησης στην Ελλάδα.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο ξεκαθαρίζουμε τον ορισμό της ρύπανσης και την διαφορά που έχει ως προς την έννοια της μόλυνσης και της βλάβης. Αναπτύσσουμε τις βασικότερες αιτίες ρύπανσης των εδαφών, πως ρυπαίνεται το υπέδαφος με πετρελαιοειδή και πως γίνεται η αλληλεπίδραση των πετρελαιοειδών με το έδαφος. Στην συνέχεια μελετάμε πως μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο της ρύπανσης, παίρνοντας διάφορα μέτρα προστασίας για τον περιορισμό, καθώς και την αποκατάσταση των ήδη ρυπασμένων περιοχών. Αναλύουμε δηλ. ένα γενικότερο πλαίσιο εργασίας που ακολουθείται σε τέτοιες περιπτώσεις (ανάλυση διακινδύνευσης κ.λ.π).

Στο τρίτο Κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στα πετρελαιοειδή δηλ. τι είναι, από τι αποτελούνται, κ.α. Επίσης ασχολούμαστε με την παρουσία πετρελαιοειδών, γενικότερα στο περιβάλλον και ειδικότερα την συμπεριφορά τους στα εδάφη (όπως π.χ φυσικοχημικές διεργασίες). Στην συνέχεια περιγράφουμε γενικά τις μέθοδους για την ανίχνευση και αναγνώριση ρυπασμένων εδαφών με υπολείμματα βενζίνης και ντίζελ και δείχνουμε ορισμένα παραδείγματα εξάτμισης και αποδόμησης τους, με χρήση αέριας χρωματογραφίας. Αναλύουμε περαιτέρω ειδικές κατηγορίες ρυπαντικών ενώσεων, συστατικών του αργού πετρελαίου και των παραγώγων του όπως οι Π.Α.Υ και τα NAPL's, παρουσία τους στο περιβάλλον και στα εδάφη, διεργασίες τους στο υπέδαφος, κίνδυνοι από την τοξικότητα τους, κ.λ.π.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο μελετάται ο καθαρισμός και η αποκατάσταση του εδάφους. Στην αρχή περιγράφονται ορισμένοι γενικοί κανόνες και φάσεις που

πρέπει να ακολουθούνται με σκοπό τον περιορισμό και συλλογή του ρυπαντή απο το έδαφος, ούτως ώστε αργότερα να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα για την εξυγίανση του. Συνεχίζουμε με τις διάφορες τεχνολογίες απορρύπανσης και αποκατάστασης των εδαφών που έχουν ρυπανθεί με πετρελαιοειδή, αναλύουμε τον ρόλο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής και πως αυτή εφαρμόζει στην πράξη τις διάφορες μεθόδους. Γίνεται αναφορά στις κατηγορίες αυτών των τεχνικών και ακολούθως παρουσίαση της αρχής λειτουργίας τους, ρύπους που απορρυπαίνουν, πόσο αποτελεσματικές είναι όσον αφορά τα πετρελαιοειδή κ.λ.π (σημειώνεται οτι στο τέλος, η Πτυχιακή Μελέτη φέρει Παραρτήματα με διάφορους πίνακες και γραφήματα σύγκρισης τους).

Το πέμπτο Κεφάλαιο ασχολείται με μια αρκετά δημοφιλή και συγχρόνως αποδοτική τεχνολογία απορρύπανσης, αυτή είναι η S.V.E ή αλλιώς άντληση εδαφικού κενού. Στην έναρξη του Κεφαλαίου κάνουμε μια ιστορική αναδρομή και συνεχίζουμε με μια γενική ανάλυση της μεθόδου. Ακολούθως δείχνουμε διάφορες εικόνες αναπαράστασης απο το πεδίο εφαρμογής της και προχωράμε σε αναλυτικότερο προσδιορισμό της. Αυτό συνεπάγεται ανάπτυξη της αρχή λειτουργίας και του βασικού σχεδιασμού, πεδίο εφαρμογής, σχέσεις υπολογισμού διαφόρων συντελεστών, ακτίνα επιρροής της μεθόδου κ.α. Παραθέτουμε και ορισμένα παραδείγματα απο την πρακτική εμπειρία εφαρμογής της, πως γίνεται η επεξεργασία των ρύπων στην επιφάνεια και κλείνουμε με μια σχέση υπολογισμού του κόστους και της αποδοτικότητας. Για περισσότερη κατανόηση, παραθέτουμε και παράδειγμα στο τέλος, με ένα τυχαίο περιστατικό διαφυγής βενζίνης στο έδαφος και πως με χρήση της S.V.E, υπολογίζουμε τον χρόνο που απαιτείται για την ανάκτησης του διαρρεύσαντος καυσίμου.

Στο έκτο Κεφάλαιο ασχολούμαστε με το θεσμικό πλαίσιο (μέτρα, αποφάσεις, κ.λ.π), με σκοπό την πρόληψη περιστατικών ρύπανσης με πετρελαιοειδή. Αν όμως δεν έτυχε η σωστή πρόληψη και έχουμε ρύπανση του εδάφους, αναλύουμε επίσης τις απαραίτητες διαδικασίες που ακολουθούμε για την σωστή διαχείριση αυτού του ζητήματος. Πάρακάτω, αναφερόμαστε στο μέγεθος της ρύπανσης που υπάρχει σε Αμερική και Ευρώπη καθώς και τους νόμους που κατοχυρώνουν την αποκατάσταση των ήδη ρυπασμένων περιοχών. Αξίζει εδώ να πούμε οτι, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει δώσει προτεραιότητα στα υπόγεια ύδατα, παραμελώντας έτσι τα εδάφη. Για την ώρα δηλ. δεν υπάρχουν ακόμα διατάξεις που να ρυθμίζουν (συνολικά), τα ζητήματα χαρακτηρισμού και αποκατάστασης των εδαφών που έχουν πιθανά ρυπανθεί. Γίνεται επίσης ειδική αναφορά στην Ελληνική πραγματικότητα και γενικότερα, πως εμείς εδώ στην Ελλάδα, αντιδρούμε. Παραθέτουμε και μερικά παραδείγματα με περιστατικά απο διαρροές πετρελαιοειδών, θέλοντας να δείξουμε το μέγεθος της ρύπανσης και την σημασία αυτού που λέμε «περιβαλλοντική ευαισθησία». Για σκοπούς ενημέρωσης και σύγκρισης, παραθέτουμε πίνακες που δείχνουν σε διάφορες χώρες, τα μέγιστα αποδεκτά όρια συγκεντρώσεως των ρύπων και της τοξικότητάς τους και πως αυτά ελέγχονται. Τέλος αναφέρουμε τις προοπτικές στον τομέα της αποκατάστασης των εδαφών και κλείνουμε με ορισμένα συμπεράσματα και προτάσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΔΑΦΟΣ

1.1	Εισαγωγή	1
1.1.1	Σχηματισμός εδάφους	4
1.2	Ιδιότητες – διεργασίες εδάφους	6
1.2.1	Φυσικές	6
1.2.2	Χημικές	7
1.2.3	Βιολογικές	7
1.3	Σύσταση εδαφών	8
1.4	Υφή του εδάφους (Αναλογίες των συστατικών)	10
1.5	Πορώδες – πορώδη υλικά	11
1.6	Διαπερατότητα εδαφών	14
1.6.1	Γενικά	14
1.6.2	Νόμος Darcy, υδραυλική αγωγιμότητα, πραγματική διαπερατότητα	14
1.7	Κατηγορίες εδαφών	16
1.8	Υποβάθμιση του εδάφους	21
1.8.1	Τύποι υποβάθμισης του εδάφους	22
1.8.2	Διάβρωση (Corrosion) και Ερημοποίηση (Desertification)	23
1.8.2.1	Γενικά	23
1.8.2.2	Σημερινή κατάσταση ερημοποίησης στην Ελλάδα	25

2. ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1	Ορισμός	28
2.2	Οι κυριότερες αιτίες ρύπανσης των εδαφών	30
2.2.1	Ρύπανση της ακόρεστης ζώνης του υπεδάφους	32
2.2.1.1	Διάχυτη ρύπανση υπεδάφους και των υπόγειων νερών	33
2.2.2	Τα πετρελαιοειδή ως αιτία ρύπανσης των εδαφών	34
2.2.2.1	Αλληλεπίδραση ρύπων - πετρελαιοειδών με το έδαφος	35
2.3	Αντιμετώπιση της ρύπανσης	37
2.3.1	Πλαίσιο εργασίας για την επιλογή μεθόδων απορρύπανσης	38
2.3.1.1	Οικονομοτεχνική μελέτη μεθόδων απορρύπανσης	40
2.3.2	Μεθόδοι ανάλυσης διακινδύνευσης και μαθηματικά μοντέλα	41
2.3.2.1	Μεταφορά προς κρίσιμα σημεία έκθεσης	48

3. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ

3.1	Εισαγωγή	51
3.2	Πετρελαιοειδή στο περιβάλλον	53
3.2.1	Συμπεριφορά πετρελαικών υδρογονανθράκων στο έδαφος	54
3.3	Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (Π.Α.Υ ή P.A.H's)	62
3.3.1	Οι ΠΑΥ στο περιβάλλον	62
3.3.2	Οι Π.Α.Υ στα εδάφη	65
3.3.3	Κίνδυνοι για την Δημόσια Υγεία – Κανόνες Ασφαλείας	66
3.4	Non Aqueous Phase Liquids (N.A.P.L'S)	68
3.4.1	Κίνηση των N.A.P.L's στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους	70
3.4.2	Μεταφορά των L.N.A.P.L's και παράμετροι που την επηρεάζουν	72
3.4.3	L.N.A.P.L's και η τύχη τους στο υπέδαφος	74
3.5	Πητικές οργανικές ενώσεις και διεργασίες στην ακόρεστη ζώνη	75

4. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ – ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.1	Περιορισμός – Συλλογή ρυπαντή απο το έδαφος	81
4.1.1	Ενέργειες περιορισμού της ρύπανσης	88
4.1.2	Ενέργειες ανάκτησης της ρύπανσης	90
4.2	Τεχνολογίες απορρύπανσης – αποκατάσταση εδαφών	90
4.2.1	Κατηγορίες τεχνολογιών αποκατάστασης	92
4.2.2	Καλλιέργεια – Απόθεση των ρυπασμένων εδαφών (Land Farming)	93
4.2.3	Δημιουργία βιοστοιβάδων (Biopiling)	95
4.2.4	Βιοαερισμός (Bioventing)	96
4.2.5	Βιοαποκατάσταση, Βιοαποδόμηση (Bioremediation, Biodegradation)	98
4.2.6	Θερμική Επεξεργασία - Εκρόφηση (Thermal Treatment – Desorption)	101
4.2.7	Αεροδιασπορά - Αεροδιασκορπισμός (Air sparging, In situ Air stripping)	104
4.2.8	Φυτοεξυγίανση - Φυτοαποκατάσταση (Phytoremediation)	106
4.2.9	Έκπλυση Εδάφους (Soil Washing, Chemical Extraction, Leaching)	109
4.2.9.1	Γενικά βασικά στοιχεία	109
4.2.9.2	Παράμετροι σχεδιασμού	114
4.2.9.3	Επιτόπου έκπλυση εδάφους (in situ flushing)	115
4.2.10	Τεχνολογία εξυγίανσης εδαφών PuriSoil	118
4.2.11	Απορρύπανση με την Τεχνική Πλάσματος (Plasma treatment)	119

5. ΑΝΤΛΗΣΗ – ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΚΕΝΟΥ (S.V.E – SOIL VAPOR EXTRACTION)

5.1	Ιστορική αναδρομή	122
5.2	Γενική ανάλυση της μεθόδου	124
5.3	Αναλυτικότερος προσδιορισμός	127
5.3.1	Γενικά	127
5.3.2	Πεδίο εφαρμογής	127
5.3.3	Βασικές αρχές σχεδιασμού	129

5.3.3.1	Βασικές εξισώσεις της ροής του αέρα στην ακόρεστη ζώνη.....	129
5.3.3.2	Ακτίνα επιρροής και αριθμός γεωτρήσεων άντλησης.....	132
5.3.3.3	Ογκομετρική ροή αέρα.....	133
5.3.3.4	Ρυθμός απομάκρυνσης των ρύπων και απαιτούμενος χρόνος καθαρισμού.....	135
5.3.4	Μεθόδοι επεξεργασίας των ρύπων στην επιφάνεια.....	137
5.4	Καθορισμός κόστους και αποδοτικότητας.....	140
5.5	Παράδειγμα εφαρμογής S.V.E.....	141
5.5.1	Εκφώνηση του προβλήματος.....	141
5.5.2	Επίλυση του προβλήματος.....	143
6. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
6.1	Γενικά.....	146
6.1.1	Μέγεθος της ρύπανσης και νόμοι αποκατάστασης σε Αμερική – Ευρώπη.....	147
6.1.1.1	Εμπειρία απο περιστατικά αποκατάστασης υπεδάφους σε Αμερική – Ευρώπη.....	152
6.2	Ελληνική πραγματικότητα.....	153
6.2.1	Μέγεθος της ρύπανσης.....	153
6.2.2	Σχετικοί νόμοι, μέτρα και αποφάσεις.....	155
6.3	Αποδεκτά όρια ρύπανσης.....	155
6.4	Προοπτικές.....	161
6.5	Επιγραμματικά συμπεράσματα και προτάσεις.....	162
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	164
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	173

1. ΕΔΑΦΟΣ - ΥΠΕΔΑΦΟΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το έδαφος αποτελεί το θεμέλιο της ζωής μας. Παρέχει το μέσο στο οποίο αναπτύσσονται οι ρίζες των φυτών, συγκρατεί αρκετό νερό για τα φυτά και τα διαθέσιμα σε αυτά θρεπτικά, στοιχεία απαραίτητα για την υποστήριξη της ζωής. Προσφέρει κατοικία στους αναρίθμητους μικροοργανισμούς που πραγματοποιούν τις βιοχημικές μετατροπές από τη δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου έως την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας καθώς και στα μικροσκοπικά ζώα, τους γαιοσκώληκες, τα μυρμήγκια, τους τερμίτες και άλλους ασπόνδυλους οργανισμούς.

Το σύνολο όλων αυτών των γονιδίων, των βιολογικών ειδών, των οικοσυστημάτων και των πολιτισμών μιας περιοχής του εδάφους, ονομάζεται βιοποικιλότητα, δηλ. βιολογική ποικιλότητα, και το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται εντός του εδάφους και όχι πάνω από αυτό (συνεπώς το να πούμε ότι βιοποικιλότητα είναι η ποικιλία της ζωής δεν αρκεί, καθώς υπάρχουν διάφοροι τύποι βιοποικιλότητας). Κάποια οικοσυστήματα είναι πλουσιότερα σε είδη από άλλα, κάποια είδη είναι πιο ικανά στο να προσαρμόζονται στις αλλαγές του περιβάλλοντος και υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα σε μια φυσική εξαφάνιση και σε αυτή που προκαλείται από τον άνθρωπο, όπως αυτή που ζούμε σήμερα.

Ο μεγάλος αριθμός και η ποικιλομορφία των σύγχρονων μορφών ζωής στη γη, είναι το αποτέλεσμα εκατοντάδων εκατομμυρίων χρόνων εξελικτικής ιστορίας και δυστυχώς σήμερα παρατηρείται μείωση της βιοποικιλότητας στον πλανήτη, γεγονός που οφείλεται σε μια σειρά από αιτίες όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος, η καταστροφή των δασών, η ερημοποίηση των εδαφών, η μόλυνση των υδάτων, η αυξημένη θήρευση, κ.α. Η μείωση της βιοποικιλότητας, και η εξαφάνιση ειδών που δεν έχουν ανακαλυφθεί ακόμη, μειώνει τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων, αλλά και στερεί τον άνθρωπο από ουσίες που πιθανώς να αποδειχθούν πολύτιμες για την προστασία της υγείας του, όπως φάρμακα για την αντιμετώπιση σπάνιων ασθενειών. Το να μάθουμε όμως να διαχειριζόμαστε καλά αυτόν τον φυσικό πόρο είναι μια εγγύηση για την επιβίωση του ανθρώπου.

Τα εδάφη παρουσιάζουν διαφορές από θέση σε θέση που εκδηλώνονται όχι με τυχαίο αλλά με καθορισμένο τρόπο, δηλ. τα εδάφη των περιοχών της τούνδρας είναι πολύ διαφορετικά από εκείνα των τροπικών περιοχών, τα εδάφη των γαιών με απότομες κλίσεις είναι επίσης πολύ διαφορετικά από εκείνα των πεδιάδων διαφέροντας μεταξύ τους ακόμη και σε μικρές αποστάσεις. Όπως μετακινούμαστε από τις κορυφές των λόφων προς το κάτω μέρος των κοιλάδων, συχνά βρίσκουμε εδάφη που έχουν διαφορετική εικόνα και συμπεριφορά, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ανάπτυξης φυτών ή κατασκευής δρόμων ή σπιτιών. Αυτή η παραλλακτικότητα αντανάκλα τη μοναδικότητα, σε σχέση με τα άλλα συστατικά του πλανήτη γη, των εδαφών, τα οποία αποτελούν το συνδετικό κρίκο μεταξύ ατμόσφαιρας, λιθόσφαιρας, υδρόσφαιρας και βιόσφαιρας.

Επίσης είναι ευαίσθητα και δυστυχώς η μεγαλύτερη καταστροφή τους προκαλείται από τον άνθρωπο. Αυτό δεν είναι καινούργιο φαινόμενο δεδομένου ότι συμβαίνει από την εποχή των πρώτων πολιτισμών που αναπτύχθηκαν στην πεδιάδα του Τίγρη και Ευφράτη. Η μεγαλύτερη απειλή είναι η διάβρωση, εξ αιτίας της οποίας το έδαφος απομακρύνεται, αποκαλύπτοντας συχνά το μητρικό πέτρωμα. Το έδαφος είναι ένα πολύ δυναμικό σύστημα, μέσα στο οποίο πολλά υλικά αλλάζουν χημική σύνθεση και μετατρέπονται σε λιγότερο επιβλαβή. Αυτή η δυνατότητα των εδαφών να «καθαρίζουν» υλικά επιτρέπει την προσθήκη στο εδαφικό σύστημα οργανικών αποβλήτων και ανόργανων υλικών. Εάν οι ποσότητες που εφαρμόζονται υπερβαίνουν τη δυνατότητα των εδαφών να μετατρέπουν τη χημική σύνθεση των προστιθέμενων υλικών, τα εδάφη υποβαθμίζονται και η βιολογική τους δραστηριότητα μειώνεται. Η πιο σοβαρή υποβάθμιση του εδάφους είναι η απώλεια του εξαιτίας της οικοδόμησης. Αυτό είναι πολύ συνηθισμένο σε βιομηχανικά αναπτυσσόμενες χώρες. Εάν το έδαφος καλυφθεί από ασφαλτό ή κτίρια δεν μπορεί να εκδηλώσει πλέον τις λειτουργίες του και έτσι χάνεται οριστικά.

Άς αναλύσουμε παραιτέρω. Ο όρος «έδαφος» είναι ένας γενικός όρος, ο οποίος συνήθως δηλώνει ένα σύμπλοκο μείγμα από λεπτά διαμερισμένο ανόργανο και οργανικό υλικό, το οποίο είναι συνήθως βιολογικά ενεργό (αυτό το μείγμα αποσυντίθεται ή σχηματίζει σύμπλοκα χουμικά οξέα, νερού, αέρα και ζωντανών μικροοργανισμών) και καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της χερσαίας γης, ουσιαστικά είναι η «επιδερμίδα» του στερεού φλοιού της γής πάνω στην οποία στηρίζονται και αναπτύσσονται τα φυτά (35 έως 50 cm). Αν και το πάχος αυτής της λεπτής επικάλυψης του βιολογικά ενεργού υλικού είναι μερικές φορές μόνο λίγα (cm) και σπάνια μεγαλύτερο από 2 έως 3 (m), εν τούτοις έχει καθοριστική επίδραση σε ό,τι συμβαίνει στην επιφάνεια της γης. Τα εδάφη είναι ένα ανοικτό περιβαλλοντικό τμήμα που βρίσκεται σε συνεχή ανταλλαγή με την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και τη βιόσφαιρα.

Δύο μεγάλες (γενικές) κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα εδάφη, σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α (ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άμμο, άργιλο και ιλύς) είναι τα :

1. Ψαθυρά ή διαπερατά εδάφη (χαλίκια, άμμος, ιλύς (ανόργανη & οργανική)).
2. Συνεκτικά ή μη διαπερατά εδάφη (άργιλος (ανόργανη & οργανική), τύρφη).

Κάτω από το επιφανειακό έδαφος, υπάρχουν οι «υποκείμενες στρώσεις του ανώτερου φλοιού του εδάφους», το οποίο λέγεται υπέδαφος. Το υπέδαφος είναι εκείνο το συμπαγές άγονο στρώμα που βρίσκεται «υπό το έδαφος», αποτελείται από πετρώματα (ασβεστόλιθο, γρανίτη, μάρμαρο κ.α) και φτάνει στο 1,5 m έως 2 m, ως εκεί δηλ. που προχωρούν οι ρίζες των φυτών και μπορεί να γίνει γεωργική εκμετάλλευσή του. Το υπέδαφος από τεχνικής απόψεως διακρίνεται σε μαλακούς και βραχώδεις σχηματισμούς (πετρώματα) που μελετώνται από την Εδαφομηχανική και Βραχομηχανική αντιστοίχως.

Οι βραχώδεις σχηματισμοί διακρίνονται σε πυριγενείς (που έχουν προέλθει από την πήξη μάγματος), ιζηματογενείς (που έχουν προέλθει από τη γεωλογική διαγένεση μαλακών ιζημάτων) και μεταμορφωσιγενείς (που έχουν προέλθει από τη μεταμόρφωση πυριγενών και ιζηματογενών πετρωμάτων υπό συνθήκες μεγάλων πιέσεων και θερμοκρασιών).

Οι μαλακοί σχηματισμοί προέρχονται από την αποσάθρωση βραχωδών σχηματισμών και διακρίνονται σε αλλουβιακούς δηλ. προϊόντα αποσάθρωσης

βράχων που έχουν μεταφερθεί από το νερό και έχουν αποτεθεί ως ιζήματα στους πυθμένες θαλασσών και λιμνών σε σχετικώς πρόσφατες γεωλογικές περιόδους και συνεπώς δεν έχουν υποστεί αξιόλογη διαγένεση (διαγένεση είναι η διαδικασία με την οποία ένα χαλαρό ίζημα μετατρέπεται σε συμπαγές πέτρωμα, με τη βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδεδετικής ύλης) και υπολειμματικούς, δηλ. χαλαρά προϊόντα της αποσάθρωσης βραχωδών σχηματισμών που έχουν αποτεθεί επιτόπου στις βάσεις των κλιτύων, χωρίς προηγούμενη μεταφορά τους από το νερό.

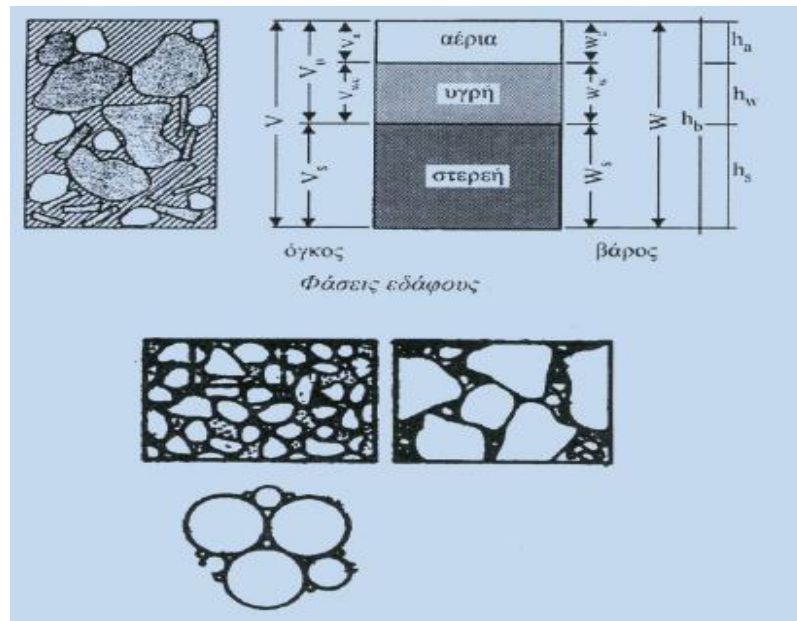
Πιο συγκεκριμένα και αναλυτικότερα, το υπέδαφος μπορεί να χαρακτηριστεί από δύο κύριες υδρολογικές ζώνες : την ακόρεστη ή μερικώς κορεσμένη ζώνη (unsaturated / vadose zone), και την κεκορεσμένη ζώνη (saturated zone). Η ακόρεστη ζώνη αναφέρεται στην περιοχή μέσα και κάτω από την επιφάνεια της γης, όπου τα κενά διαστήματα μεταξύ των εδαφολογικών κόκκων ή των ρωγμών των πετρωμάτων δεν γεμίζουν εξ' ολοκλήρου με νερό. Η ακόρεστη ζώνη είναι σπάνια απολύτως ξηρή, επειδή το νερό βρίσκεται σχεδόν πάντα υπό μορφή σταγονιδίων υγρασίας και υδάτινων φιλμ στα κενά (πόρους) που βρίσκονται στο χώμα και τους βράχους. Επειδή αυτά τα κενά δεν γεμίζουν εξ' ολοκλήρου με νερό (το υπόλοιπο του διαστήματος γεμίζει με τον αέρα), ένα φρέαρ εγκατεστημένο στην ακόρεστη ζώνη δεν θα παρήγαγε νερό. Στην πραγματικότητα, η υγρασία στην ακόρεστη ζώνη παραμένει παγιδευμένη στο χώμα ή το βράχο με τον ίδιο τρόπο που μια στήλη ύδατος ,που τοποθετείται στην επιφάνεια ενός πορώδους υλικού, απορροφάται από αυτήν. Η «προσρόφηση» ή «η αναρρόφηση» είναι το αποτέλεσμα τριχοειδών δυνάμεων.

Σε αντίθεση με την ακόρεστη ζώνη, η κεκορεσμένη ζώνη είναι η περιοχή κάτω από την επίγεια επιφάνεια όπου τα κενά διαστήματα μεταξύ των εδαφολογικών μορίων ή οι ρωγμές των πετρωμάτων είναι διαποτισμένα ή εξ' ολοκλήρου γεμισμένα με νερό. Το ανώτερο μέρος της κεκορεσμένης ζώνης, καλούμενο ως ζώνη τριχοειδών, είναι μια λεπτή ζώνη όπου τα κενά είναι διαποτισμένα με το νερό που παγιδεύεται από τις τριχοειδείς δυνάμεις. Το πάχος αυτής της ζώνης εξαρτάται από την κατανομή του μεγέθους των πόρων και κόκκων του εδάφους στο δίκτυο των υδροφόρων στρωμάτων. Το αμμοχάλικο και ο ρωγματώδης βράχος έχουν γενικά μικρές έως ανύπαρκτες ζώνες τριχοειδών, η άμμος έχει ζώνη τριχοειδών πάχους αρκετών cm, ενώ οι άργιλοι έχουν πολύ παχύτερη ζώνη τριχοειδών. Κάτω από τη ζώνη τριχοειδών, το νερό είναι ελεύθερο να ρεύσει στο κενό διάστημα. Επομένως, εάν εγκατασταθεί ένα πηγάδι στη κεκορεσμένη ζώνη, το νερό θα ρεύσει σε αυτό κάτω από τη ζώνη τριχοειδών. Η κορυφή της υδάτινης στήλης σε ένα τέτοιο υποθετικό φρέαρ αναφέρεται ως στάθμη νερού και θεωρείται συνήθως ότι αντιπροσωπεύει την κορυφή της ζώνης. Εντούτοις, η κορυφή της διαποτισμένης ζώνης αντιστοιχεί πραγματικά στην κορυφή της τριχοειδούς ζώνης που βρίσκεται επάνω από την στάθμη του νερού.

Στο επόμενο Κεφάλαιο 2, όπου γίνεται εκτενής αναφορά σ' ότι αφορά την ρύπανση (ορισμούς, μέτρα αποφυγής κ.λ.π), αναλύουμε περαιτέρω την μόλυνση της ακόρεστης ζώνης του υπεδάφους και του εδάφους απο προϊόντα πετρελαίου κ.λ.π.

Το έδαφος, όπως βλέπουμε και στην παράκατω εικόνα (Σχήμα 1.1), της σελ. 4, αποτελεί ένα σύστημα τριών φάσεων αποτελούμενο από στερεά, υγρά (κυρίως νερό) και αέρια (κυρίως αέρας), συστατικά τα οποία βρίσκονται σε στενή επαφή και συνεχή αλληλεπίδραση (Singer et al. , 1996). Η χρησιμότητα ενός εδάφους επηρεάζεται απο τις μεταβολές στις αναλογίες και στη δομή των τριών αυτών φάσεων π.χ οι τύποι των στερεών υλικών, το μέγεθος των εδαφικών κόκκων και το περεχόμενο σε υγρασία είναι οι πιο σημαντικές μεταβλητές οι οποίες και θα καθορίσουν την τεχνική τους συμπεριφορά άρα και τις τεχνικές τους ιδιότητες που

είναι η αντοχή, η ανθεκτικότητα, η ευαισθησία, η συμπιεστότητα, η διαβρωσιμότητα, η περατότητα, το δυναμικό διάβρωσης, η ευκολία εκσκαφής και το δυναμικό συστολής – διαστολής.



Σχήμα 1.1 : Τρεις φάσεις του εδάφους (αέρια, υγρή και στερεή)

1.1.1 Σχηματισμός εδάφους

Για να σχηματιστεί 1 cm εδάφους απαιτούνται δεκάδες χρόνια, που μπορεί να είναι από 100 μέχρι 1000 χρόνια, ανάλογα με τις συνθήκες περιβάλλοντος, γι' αυτό το λόγο και δεν αποτελεί ανανεώσιμο φυσικό πόρο. Το έδαφος, ένας φυσικός πόρος που χρειάζεται πάρα πολύ καιρό για να δημιουργηθεί, αποτελεί τη βάση για την παραγωγή τροφίμων και δυστυχώς καταλαμβάνεται από ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως πόλεις και γενικά κατοικημένες περιοχές.

Πέντε παράγοντες θεωρείται πως επηρεάζουν το σχηματισμό του εδάφους, ανάλογα με την αλληλεπίδραση μεταξύ τους, και τα οποία είναι :

1. Το μητρικό υλικό, το οποίο είναι σχετικά χαλαρό υλικό, προερχόμενο από την αποσάθρωση (διάβρωση) των πετρωμάτων της γήινης επιφάνειας, και από το οποίο με την επίδραση και των άλλων παραγόντων της εδαφογένεσης, σχηματίζεται το έδαφος (δηλ. οι διεργασίες αυτές της αποσάθρωσης και της εδαφογένεσης δρουν ταυτόχρονα). Προσδιορίζει, με λίγα λόγια, τα βασικά ορυκτά και τις αναλογίες άμμου, ιλύος και αργίλου.
2. Το κλίμα, το οποίο επιδρά στη βλάστηση με την θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και τους ανέμους, επηρεάζει το περιεχόμενο νερού και την εξάτμιση καθώς επίσης και την έκπλυση μέσα στο έδαφος. Επιδρά επίσης και σε άλλους παράγοντες εδαφογένεσης.

3. Οι ζώντες οργανισμοί, δηλ. φυτικοί οργανισμοί, μικροοργανισμοί, μεγάλοι οργανισμοί και άνθρωποι που χρησιμοποιούν τη γη για αγροτικές, δασικές, κτηνοτροφικές, οικιστικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, ενισχύοντας την γονιμότητα.
4. Το Ανάγλυφο δηλ. η τοπογραφία της περιοχής (η μορφή της επιφάνειας της γης, έκθεση, υψόμετρο και κλίση), επηρεάζει την απορροή του εδάφους και την επίδραση του κλίματος.
5. Ο χρόνος, δηλ. η διάρκεια διαδικασίας σχηματισμού του εδάφους (προώθηση της αποσάθρωσης από το μητρικό υλικό), που είναι πολύ μεγάλη, και σύμφωνα με τον χρόνο αυτό, χωρίζονται σε πρόσφατα, ώριμα και παλιά.

Οι διεργασίες μέσω των οποίων σχηματίζεται το έδαφος είναι φυσικές (από τη δράση ανέμου, θερμότητας, βαρύτητας, συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας, βροχή, παγετός), χημικές (ανταλλαγές χημικών στοιχείων στα συστατικά του εδάφους) και βιολογικές (αποικοδόμηση των φυτικών υπολειμμάτων από οργανισμούς). Η πιο σημαντική βιολογική διαδικασία είναι η διάσπαση και χουμοποίηση, δηλ. η αποσύνθεση των οργανικών υπολειμμάτων των ζώων και φυτών και των νεκρών μικροοργανισμών με τελικό προϊόν ένα υλικό σκοτεινό και πολύπλοκο, χωρίς ιδιαίτερη δομή που ονομάζεται χούμος και το οποίο αναλύουμε καλύτερα στην υποενότητα 1.2.3 (βλ. σελ. 7).

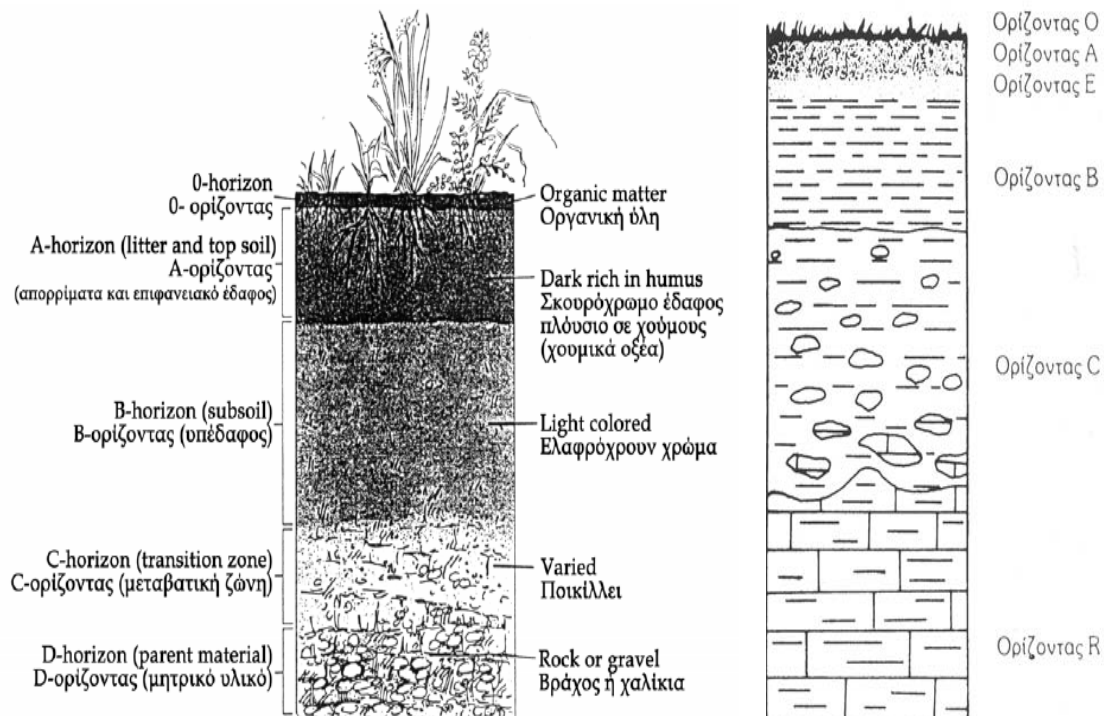
Το έδαφος αποτελεί το μέσο στήριξης και θρέψης των φυτών, συνιστά τη βάση της αγροτικής και δασικής παραγωγής, το φυσικό φίλτρο και το προστατευτικό στρώμα των αποθεμάτων του υπόγειου νερού καθώς επίσης και το χώρο όπου ζουν μεγάλοι αριθμοί μικροοργανισμών που συμμετέχουν στην διαδικασία ανακύκλωσης στοιχείων όπως του αζώτου και του άνθρακα.

Αν πραγματοποιήσουμε μια πλήρως εξελιγμένη κάθετη εδαφοτομή (προφίλ), βάθους μερικών m, θα διακρίνουμε διαφορετικά στρώματα - στοιβάδες, τα οποία ονομάζονται ορίζοντες (horizons) και τα οποία έχουν διαφορετική υφή και σύσταση. Οι ορίζοντες αυτοί είναι :

1. Ορίζοντας O : Ανώτατο στρώμα εδάφους νεκρής οργανικής ύλης (surface litter), με φυτά, οργανικά υπολείμματα, πεσμένα φύλλα δένδρων και μερικώς αποσυντιθέμενη οργανική ύλη.
2. Ορίζοντας A : Τα πρώτα 30 - 50 cm του μέτρου εδάφους (topsoil) με χουμικά οξέα, μερικά ανόργανα ορυκτά, ζωντανούς οργανισμούς, οργανική ύλη, με τη μεγαλύτερη βιολογική δραστηριότητα από όλες τις άλλες στοιβάδες (δηλ. ανάμειξη οργανικής και ανόργανης ύλης).
3. Ορίζοντας E : Η ζώνη που διαχωρίζει το επιφανειακό έδαφος από το υπέδαφος. Η διαλυμένη ή αιωρούμενη ύλη κινείται προς τη στοιβάδα αυτή και γι' αυτό καλείται ως ζώνη αποπλυμάτων (leaching zone).
4. Ορίζοντας B : Το υπέδαφος είναι ορίζοντας εμπλουτισμού με κolloειδή και θρεπτικές ουσίες, όπου συγκεντρώνονται τα χουμικά οξέα, ο άργιλος (πηλός), σίδηρος και αργίλιο μετά το στράγγισμα από τις επάνω ζώνες.

5. Ορίζοντας C : Ελαφρά διαβρωμένο βραχώδες έδαφος που περιέχει τα ορυκτά συστατικά του κυρίου εδάφους (ημιαποσαθρωμένο μητρικό υλικό).
6. Ορίζοντας R : Βραχώδες υπόθεμα κάτω από το έδαφος (bedrock) που δεν επηρεάζεται από την διάβρωση.

Ακολουθεί στο Σχήμα 1.2 ένα παράδειγμα των στοιβάδων του εδάφους και της κύριας σύστασης που χαρακτηρίζει τους εδαφικούς ορίζοντες :



Σχήμα 1.2 : Ορίζοντες – Στοιβάδες του εδάφους και της κύριας σύστασης που χαρακτηρίζει τους διάφορους εδαφικούς ορίζοντες

1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

1.2.1 Φυσικές

Μερικές βασικές φυσικές ιδιότητες του εδάφους, τις οποίες και αναλύουμε πιο κάτω, μεταξύ άλλων αναφέρονται :

1. Στην σύσταση : Η σύσταση του εδάφους διαμορφώνεται από την αναλογία των υλικών που το αποτελούν (μείγμα ανόργανων άμμου, ιλύος αργίλου και οργανικών υλικών, νερού, αέρα).

2. Στην υφή : Το μέγεθος των ανόργανων υλικών καθορίζει την υφή του εδάφους.
3. Στο πορώδες και ειδικό βάρος : Το πορώδες (porous), καθορίζεται από τον όγκο που έχουν τα διάκενα του εδάφους. Το πραγματικό ειδικό βάρος (λόγος του βάρους ενός όγκου κόκκων εδάφους προς ίσο όγκο αποσταγμένου νερού στους 4°C) είναι γύρω στο 2,5.
4. Στην υγροσκοπικότητα : Η υγροσκοπικότητα του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητα πρόσληψης και απόδοσης υγρασίας. Όταν όλα τα διάκενα του εδάφους είναι γεμάτα νερό η υγροσκοπικότητα του εδάφους φτάνει το μέγιστο.
5. Στην ειδική θερμότητα : Αφορά στην ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C . Η θερμοκρασία είναι ένας από τους συντελεστές της ανάπτυξης των φυτών και εξαρτάται από τα συστατικά του εδάφους, το χρώμα του, την υγρασία του κλπ.

1.2.2 Χημικές

1. Δείκτης (pH) του εδάφους : Ο δείκτης που ονομάζεται πεχά (pH), καθορίζει την οξύτητα ή την αλκαλικότητα του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, εκφράζει τον αρνητικό λογάριθμο της συγκεντρώσεως των ιόντων υδρογόνου στο εδαφικό διάλυμα, δηλ. πόσα ιόντα υδρογόνου βρίσκονται μέσα σε αυτό. Όταν το pH παίρνει τιμές κάτω από 7 ($\text{pH}<7$), το διάλυμα λέγεται όξινο, ενώ όταν οι τιμές είναι πάνω από 7, ($\text{pH}>7$), αλκαλικό (δηλ. βασικό). Η ανάπτυξη των φυτών και η βλάστηση κάθε είδους επηρεάζεται από το pH του εδάφους, γιατί καθορίζει την απορρόφηση και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το pH είναι οι εξής πιο κάτω :
 1. Η βροχόπτωση.
 2. Το είδος των καλλιεργούμενων φυτών.
 3. Η χρησιμοποίηση λιπασμάτων.

1.2.3 Βιολογικές

Οι ρίζες των φυτών αναπτύσσονται και μεγαλώνουν στο έδαφος αφήνοντας σημαντικές ποσότητες οργανικών υπολειμμάτων. Η εδαφική πανίδα δημιουργεί κενούς χώρους και διαστήματα στο έδαφος και χρησιμοποιεί τα φυτικά υπολείμματα ως τροφή, ενώ συγχρόνως τα αποσυνθέτει και σχηματίζεται ο χούμος. Η δράση των γαιοσκωλήκων είναι χαρακτηριστική στο σχηματισμό του χούμου.

Με τον όρο «χούμος» εννοούμε το σύνολο της οργανικής ύλης, δηλ. ένα παχύ στρώμα οργανικών υλών, το οποίο βρίσκεται στα επιφανειακά στρώματα του εδάφους (βάθους συνήθως μέχρι 50 cm, βλ. Σχήμα 1.3, σελ. 8) και που προέρχεται από φυτικά υπολείμματα (από συνεχείς διεργασίες αποσύνθεσης και σύνθεσης νέων ουσιών - Schefflen, 1956). Κάτω από συνθήκες συνεχούς αποικοδόμησης μετατρέπεται σε ανόργανα συστατικά που χρησιμοποιούνται ως τροφή από τα φυτά.

Δημιουργείται από τα φύλλα και τις βελόνες που πέφτουν κάθε χρόνο, τα υπολείμματα κλαδιών και ριζών καθώς και από τα απορρίμματα και υπολείμματα των ζωικών οργανισμών και την αποσύνθεση των υπολειμμάτων αυτών αναλαμβάνουν διάφοροι μικροοργανισμοί και βακτηρίδια. Αναλυτικότερα κατά τον σχηματισμό του χούμου παρατηρούνται δύο κύριες διεργασίες και οι οποίες είναι η διάσπαση της αρχικής οργανικής ουσίας σε ορυκτά συστατικά (ορυκτογένεση) και η σύνθεση νέων πολύπλοκων χουμικών ενώσεων (χουμοποίηση).

Ο χούμος αποτελεί συνήθως ένα λεπτό μαύρο στρώμα με κολλοειδή υφή. Η χρησιμότητα του χούμου στη φύση είναι πολύ σημαντική, εάν ληφθεί υπόψη ότι περιβάλλοντας τα σωματίδια του εδάφους, βελτιώνει τη γονιμότητά του. Ο χούμος ενεργεί κατά κάποιον τρόπο, «στεγανοποιητικά», με συνέπεια αφενός μεν την αποθήκευση οργανικών ουσιών, που έτσι παρεμποδίζονται να κατέλθουν σε κατώτερα στρώματα, αφετέρου δε την αύξηση της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να αυξάνει την καλλιεργητική απόδοσή του. Ο χούμος χρησιμοποιείται επίσης και ως φυσικό λίπασμα για άλλα εδάφη.



Σχήμα 1.3 : Παράδειγμα χούμου που μπορεί να φτάσει μέχρι το βάθος των 50 cm

1.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Η σύσταση του εδάφους αποτελείται κατά το μισό περίπου του όγκου του από το μείγμα των στερεών (ανόργανων και οργανικών υλικών), του μεγέθους των σωματιδίων, της οργανικής ύλης που ενσωματώθηκε με τη βιοαποικοδόμηση, του αέρα και κατά το άλλο μισό του νερού και αέρα που έχει εγκλωβιστεί στο έδαφος (βλ. Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 : Σύσταση εδάφους (%)

Τα περισσότερα εδάφη διαθέτουν λιγότερο από 5 % κ.β (Κανονικού Βάρους) οργανική ύλη, αλλά παρόλα' αυτά η παρουσία της έχει μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες του εδάφους. Το κύριο δομικό στοιχείο της οργανικής ύλης του εδάφους είναι ο άνθρακας, επιπρόσθετα η οργανική ύλη περιέχει υδρογόνο, οξυγόνο, φωσφόρο, άζωτο και θείο. Τα τελευταία τρία στοιχεία είναι συχνά καθοριστικά για την ανάπτυξη των φυτών. Η οργανική ύλη του εδάφους είναι και η κύρια πηγή αζώτου και θείου για τα φυτά στα εδάφη στα οποία δεν έχουν προστεθεί λιπάσματα.

Οι ζώντες οργανισμοί προσθέτουν οργανική ύλη στο έδαφος κατά τη διάρκεια της ζωής τους, αλλά και όταν « πεθάνουν » μέσω της αποσύνθεσής τους. Το έδαφος ως εκ τούτου, περιέχει μεγάλη ποικιλία οργανικής ύλης, όπως τα βιοπολυμερή (πολυσακχαρίτες, λιπίδια, πρωτεΐνες, κυτταρίνη, λιγνίνη - η κυτταρίνη και η λιγνίνη είναι βασικά συστατικά των φυτικών κυττάρων), χουμικές ουσίες που προέρχονται από τα βιοπολυμερή και απανθρακωμένα υλικά (Song et al., 2002 Stevenson, 1994 Aiken et al., 1985). Από τους διάφορους τύπους οργανικής ύλης, στο έδαφος κυριαρχούν οι χουμικές ουσίες (Stevenson, 1994 Schnitzer, 1978).

Τα εδάφη συνήθως αποτελούνται από μείγματα 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 αμμοαργιλώδες χώμα (loam), που αποτελείται από 40% λάσπη, 40% άμμο και 20% άργιλο.

Τα κυριότερα στοιχεία που υπάρχουν στο επιφανειακό έδαφος αναφέρονται πιο κάτω και είναι τα εξής :

1. Οξυγόνο - O (υπό μορφή οξειδίων)
2. Πυρίτιο - Si
3. Αργίλιο - Al
4. Σίδηρος - Fe
5. Ασβέστιο - Ca

6. Νάτριο - Na
7. Κάλιο - K
8. Μαγνήσιο - Mg

Εκτος αυτών υπάρχουν και μερικά από τα κλασσικά οξειδία του εδάφους τα οποία είναι : SiO_2 , Fe_3O_4 , MnO_2 , F_2O_3 , και τα ορυκτά KAlSi_3O_8 , $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, CaO_3 ($\text{AlFe})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

Το έδαφος όμως, πέραν όσων προαναφέρθηκαν, περιέχει και ζωντανούς οργανισμούς και περιλαμβάνονται από τους μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες) και τα ζώα που ζουν στο έδαφος, όπως επίσης και τα σκουλήκια του εδάφους. Συνήθως 1 m² γόνιμου εδάφους, περιέχει πάνω από 1.000.000.000 (1 δις) μικροοργανισμούς. Οι οργανισμοί που συγκεντρώνονται στη φυλλοστρωμνή αναλαμβάνουν το έργο της αποικοδόμησης (αποσύνθεσης). Μετατρέπουν τα νεκρά οργανικά υλικά αρχικά σε χούμο και στη συνέχεια σε ανόργανα συστατικά, απαραίτητα για τα φυτά. Ο προσδιορισμός της εκατοστιαίας αναλογίας των ανόργανων υλικών γίνεται σε εδαφολογικά εργαστήρια και καλείται Μηχανική Ανάλυση του Εδάφους. Ανάλογα με τα στοιχεία αυτής της Μηχανικής Ανάλυσης τα εδάφη κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες.

1.4 ΥΦΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ (ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ)

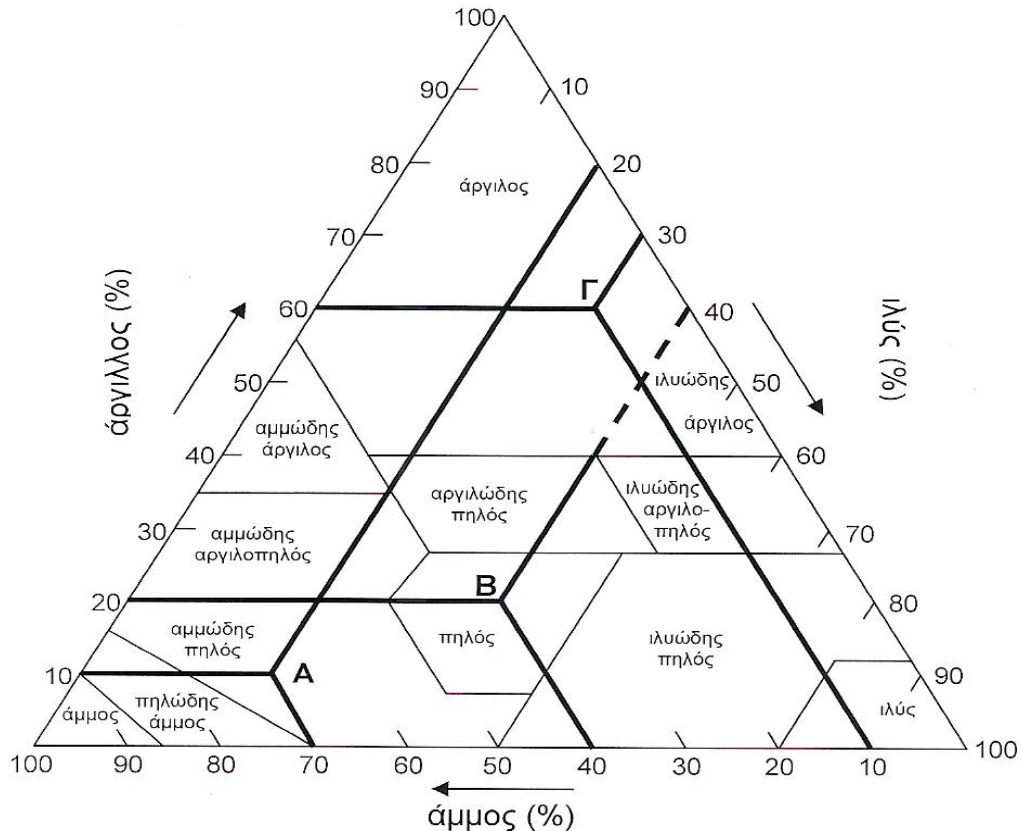
Η μηχανική σύσταση του εδάφους αναφέρεται στην ποσοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος. Με βάση τη μηχανική σύσταση διακρίνονται δώδεκα κλάσεις εδαφών. Οι δώδεκα αυτές κλάσεις εδαφών καταλαμβάνουν ορισμένη θέση και χώρο σε ένα ισοσκελές τρίγωνο, το οποίο ονομάζεται τρίγωνο μηχανικής σύστασης εδαφών (βλ. Σχήμα 1.5 στην σελ. 11)

Στο Σχήμα αυτό, φαίνεται το αναφερόμενο τριγωνικό διάγραμμα, σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα USDA (Singer et al., 1996). Κάθε γωνία του διαγράμματος αντιπροσωπεύει το 100 % ενός κλάσματος μεγέθους : άμμος, ιλύς ή άργιλος. Εντός του τριγώνου βρίσκονται περιοχές που αντιπροσωπεύουν τους επιτρεπτούς συνδυασμούς των τριών κλασμάτων μεγέθους για κάθε τάξη υφής. Για να καθορίσει κάποιος την υφή ενός εδάφους, αρκεί να προσδιορίσει τα ποσοστά της άμμου, της ιλύος και της αργίλου και να φέρει τις ευθείες από τους αντίστοιχους αριθμούς στο διάγραμμα προς την κατεύθυνση του σημαδιού του αριθμού. Το σημείο τομής των τριών ευθειών βρίσκεται εντός της περιοχής που αντιπροσωπεύει την υφή του εδάφους. Για παράδειγμα, ένας αμμώδης πηλός (A) δεν μπορεί να περιέχει πάνω από 20 % άργιλο ή 85 % άμμο ή 50 % ιλύ.

Οι όροι πηλός (loam) και άργιλος (clay) συχνά συγχέονται. Ένα έδαφος που χαρακτηρίζεται ως πηλός (B) μπορεί να έχει από 7% έως 27% άργιλο, από 28% έως 50% ιλύ και από 23% έως 52% άμμο. Ένα έδαφος για να χαρακτηριστεί ως άργιλος (Γ) πρέπει να έχει τουλάχιστον 40% άργιλο και μπορεί να έχει μέχρι 40% ιλύ ή 45% άμμο. Πρέπει να διευκρινιστεί εδώ ότι ο όρος άργιλος, περιγράφει τρεις διαφορετικές έννοιες στην εδαφολογία και είναι εύκολο να υπάρξει σύγχυση αφού το νόημα εξαρτάται από το κείμενο.

Άργιλος είναι ένα κλάσμα μεγέθους του εδάφους, μια κατηγορία υφής του εδάφους και μια τάξη ορυκτών. Η τρίτη έννοια της λέξης άργιλος ίσως είναι και η

σημαντικότερη. Ο όρος άργιλος περιγράφει μια ομάδα ορυκτών τα οποία έχουν ιδιαίτερες ιδιότητες, που τα καθιστούν σημαντικά στον καθορισμό των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, ακόμα και αν είναι παρόντα σε μικρές ποσότητες (Singer et al., 1996).



Σχήμα 1.5 : Πρότυπο τριγωνικό διάγραμμα υφής του εδάφους σύμφωνα με το Αμερικάνικο σύστημα USDA

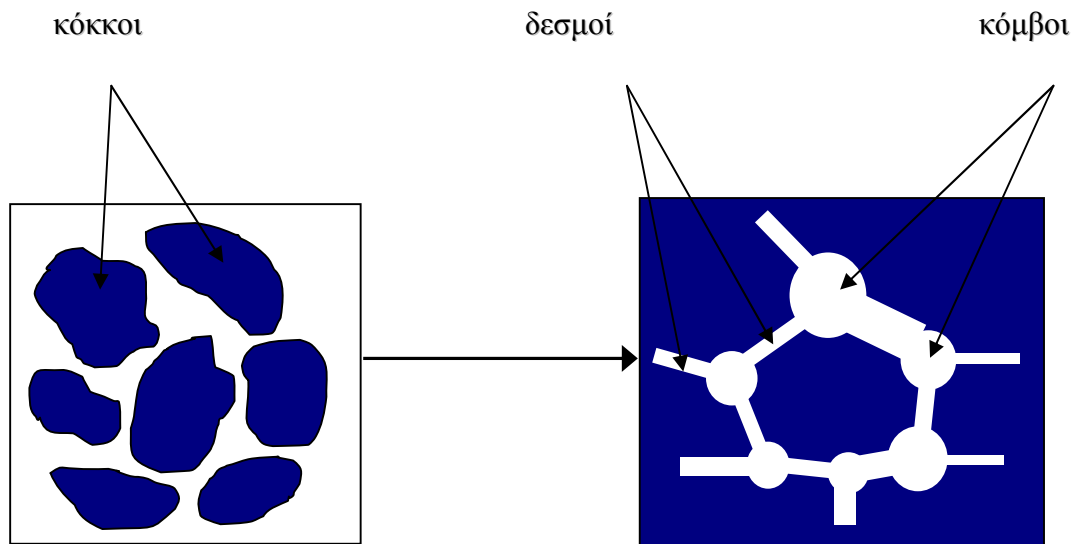
1.5 ΠΟΡΩΔΕΣ – ΠΟΡΩΔΗ ΥΛΙΚΑ

Είναι γνωστό ότι το έδαφος είναι ένα πορώδες μέσο, αποτελείται δηλαδή από πόρους. Γι' αυτό και κρίνεται απαραίτητο να πούμε λίγα λόγια κατ' αρχήν για το τι εννοούμε με τον όρο «πόρο» και πως τα χαρακτηριστικά των πορώδων μέσων συνδέονται με τη ροή των ρευστών που τα διαπερνούν.

Πόρος ονομάζεται κάθε κενός χώρος μέσα στη δομή του πορώδους μέσου ανεξάρτητα από το σχήμα και το μέγεθός του. Το σχήμα και οι διαστάσεις των πόρων των φυσικών πορώδων μέσων (εδάφη, πετρώματα) καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το είδος του εδάφους / πετρώματος και την ιστορία διαγένεσης (προηγουμένως στην σελ. 3, εξηγήσαμε τι είναι η διαγένεση), η οποία καθορίζει τον τελικό σχηματισμό του.

Στα φυσικά πορώδη μέσα, οι πόροι διακρίνονται σε θαλάμους και λαιμούς. Θάλαμοι ονομάζονται οι μεγαλύτεροι πόροι των οποίων οι διαστάσεις είναι συγκρίσιμες με αυτές των κόκκων που συνθέτουν το υλικό. Λαιμοί καλούνται οι

μικρότεροι πόροι οι οποίοι έχουν τη μορφή καναλιών (στενώσεων) που συνδέουν τους θαλάμους. Ως χαρακτηριστική διάσταση των θαλάμων μπορεί να θεωρηθεί η αποτελεσματική ακτίνα μιας σφαίρας που έχει τον ίδιο όγκο με τους πόρους του υλικού. Το πορώδες μέσο μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα δίκτυο στους κόμβους του οποίου τοποθετούνται οι θάλαμοι, ενώ στους δεσμούς οι λαιμοί (βλ. Σχήμα 1.6 που ακολουθεί) :



Σχήμα 1.6 : Πορώδες μέσο σε αναπαράσταση με ένα δίκτυο δεσμών και κόμβων

Η ροή των ρευστών που λαμβάνει χώρα μέσα σε πορώδη μέσα, ελέγχεται από τις ιδιότητες των πορώδων μέσων. Κάποιες από τις πιο σημαντικές αυτές ιδιότητες, παρατίθενται πιο κάτω.

Οπότε οι βασικές ιδιότητες τους θα είναι οι εξής επτά :

1. Η απόλυτη διαπερατότητα (στην υποενότητα 1.6, αναλύουμε περαιτέρω).
2. Το πορώδες.
3. Οι συντελεστές μεταφοράς (υδροδυναμική διασπορά, σχετικές διαπερατότητες κ.λ.π).
4. Η ετερογένεια του μέσου.
5. Το σχήμα και οι διαστάσεις των πόρων.
6. Η διασύνδεση των πόρων.
7. Η διαβροχή της πορώδους επιφάνειας ως προς το σύστημα των ρευστών.

Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες ιδιότητες, οι τέσσερις πρώτες, περιγράφουν τα πορώδη μέσα μακροσκοπικά (μακροσκοπικοί παράγοντες), ενώ οι άλλες τρεις περιγράφουν τα πορώδη μέσα μικροσκοπικά (μικροσκοπικοί παράγοντες).

Και αφού αναφερόμαστε στο πορώδες του εδάφους αξίζει να το αναλύσουμε περισσότερο χρησιμοποιώντας ορισμένες σχέσεις υπολογισμού και μερικά βασικά στοιχεία θεωρίας στηρίζοντας όλα όσα παρουσιάζουμε. Ένα βασικό στοιχείο είναι η απόλυτη διαπερατότητα (k) που αποτελεί μέτρο της υδραυλικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει ένα πορώδες μέσο κατά τη μονοφασική ροή ενός Νευτώνειου ρευστού, δηλ. φυσικού ρευστού, μέσα από αυτό, και εξαρτάται αποκλειστικά από τα γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά της πορώδους δομής. Υπολογίζεται από το νόμο του Darcy (σχέση 1.1) και αποτελεί την πιο σημαντική ιδιότητα ενός πορώδους μέσου :

$$Q = \left(\frac{k \cdot A}{m} \right) \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad (1.1)$$

και όπου : Q = ογκομετρική παροχή του ρευστού (σε m^3/sec)

A = εμβαδό εγκάρσιας διατομής (σε m^2)

L = μήκος πορώδους μέσου (σε m)

μ = ιξώδες ρευστού (σε $Pa \cdot sec$)

ΔP = η πτώση πίεσης (σε Pa)

k = απόλυτη διαπερατότητα (σε m^2 ή Darcy, όπου $1 \text{ Darcy} = 10^{-12} m^2$)

Το πορώδες ενός υλικού (f), ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των πόρων (V_p) προς το συνολικό όγκο (V_s) του πορώδους υλικού (βλ. σχέση 1.2) :

$$f = \frac{V_p}{V_s} \quad (1.2)$$

Πολλές μέθοδοι έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση του πορώδους, οι οποίες μπορεί να είναι άμεσες (βασίζονται στη μέτρηση του όγκου των πόρων και του όγκου του δείγματος) ή έμμεσες (βασίζονται στη μέτρηση κάποιας ιδιότητας του κενού χώρου). Οι πιο σημαντικές άμεσες μέθοδοι είναι η μέθοδος της εισρόφησης και η πορομετρία υδραργύρου (Τσακίρογλου, 1990). Η πιο διαδεδομένη έμμεση μέθοδος μέτρησης του πορώδους είναι η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας ενός αγωγίμου ρευστού που γεμίζει τους πόρους του δείγματος.

1.6 ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ

1.6.1 Γενικά

Διαπερατότητα είναι η ιδιότητα των υλικών να επιτρέπουν την κίνηση ενός ρευστού διαμέσου της μάζας τους. Συνεπώς οποιοσδήποτε σχηματισμός επιτρέπει τη διέλευση ρευστού δια μέσου της μάζας του καλείται περατός (permeable), ενώ όταν η κίνηση αυτή μέσα στη μάζα του σχηματισμού είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη, τότε αυτός καλείται αδιαπέρατος (impermeable). Η εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα (intrinsic permeability), φαίνεται να είναι στενά συνδεδεμένη με το πορώδες των διάφορων εδαφικών ή και βραχωδών σχηματισμών.

Για τους βραχώδεις σχηματισμούς πάντως, πέρα από το πρωτογενές πορώδες, η διαπερατότητα συνδέεται και με την παρουσία άλλων κενών χώρων μέσα στη μάζα τους, όπως για παράδειγμα ρωγμών, διαρρήξεων, καρστικών αγωγών, κ.λ.π, που διαμορφώνουν το δευτερογενές πορώδες. Τέτοια κενά ενδεχόμενα να μην επηρεάζουν την υδροπερατότητα, αν δεν υπάρχει σύνδεση - επικοινωνία μεταξύ τους, οπότε ο σχηματισμός είναι αδιαπέρατος. Για παράδειγμα αναφέρονται τα κενά που δημιουργεί ο εγκλωβισμός αερίων στη μάζα ενός ηφαιστειακού πετρώματος, τα οποία πολλές φορές δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Έτσι, η αρχική διαπερατότητα σχετίζεται με :

1. Τον βαθμό διασύνδεσης και επικοινωνίας των πόρων μέσα στη μάζα του πετρώματος (ενεργό πορώδες).
2. Το φυσικό μέγεθος των πόρων, που για τα κοκκώδη υλικά, έχει σχέση με το μέγεθος, τη μορφή και τη διάταξη των κόκκων, αφού πολύ μικρού μεγέθους πόροι συνεπάγονται πολύ χαμηλή υδροπερατότητα.

Συνεπώς, στους βραχώδεις σχηματισμούς η διαπερατότητα εξαρτάται κυρίως από το δευτερογενές πορώδες και είναι μόνο έμμεσα συνδεδεμένη με το πρωτογενές πορώδες.

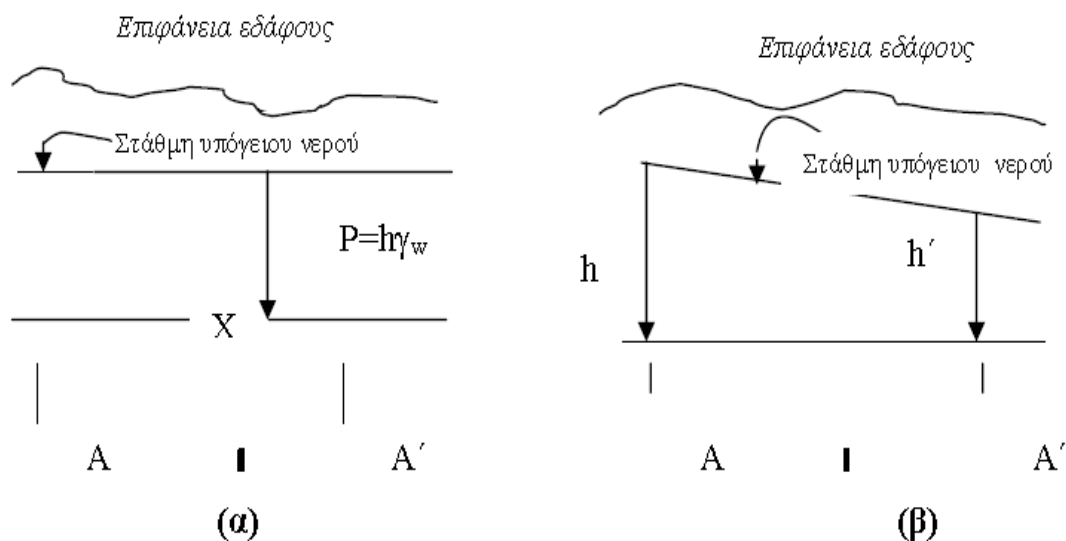
1.6.2 Νόμος Darcy, υδραυλική αγωγιμότητα, πραγματική διαπερατότητα

Όπως είναι γνωστό για να υπάρξει ροή ρευστού μέσα σε ένα κορεσμένο υλικό χρειάζεται η παρουσία υδραυλικού φορτίου, δηλ. διαφορά στην υδροστατική πίεση. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει υδραυλική κλίση, i , (hydraulic gradient) σε οποιοδήποτε σημείο X του επιπέδου $A - A'$, (βλ. Σχήμα 1.7), η πίεση P είναι ίση με το γινόμενο του h (ύψος στάθμης υπόγειου νερού) και του γ_w (πυκνότητα του νερού) :

$$P = h \cdot \gamma_w, \quad (\text{Σχήμα 1.7-α}) \quad (1.3)$$

Αντίθετα όπου υπάρχει υδραυλική κλίση, η ποσότητα του νερού (Q) που ρέει μέσα από μια διατομή (A) ισούται με το συντελεστή υδροπερατότητας (k) επί την η υδραυλική κλίση (dh/dl), σύμφωνα με το νόμο του Darcy :

$$Q = -k \cdot A \frac{dh}{dl}, \quad (\text{Σχήμα 1.7-β}) \quad (1.4)$$



Σχήμα 1.7 : Υδροδυναμικό καθεστώς υπόγειου νερού, (α) χωρίς υδραυλική κλίση, (β) με υδραυλική κλίση

Συνεπώς, οποιαδήποτε αύξηση είτε στην υδραυλική κλίση (i) είτε στις διαστάσεις της διατομής (A), θα επιφέρει αύξηση στη ποσότητα του νερού που ρέει. Από το νόμο του Darcy φαίνεται ότι ο λόγος της ποσότητας (Q) του νερού που ρέει μέσα από συγκεκριμένη διατομή (A) σε συγκεκριμένο χρόνο, δια της διατομής αυτής, καθορίζει τη μέση ταχύτητα ροής (u), δηλαδή :

$$u = \frac{Q}{A} = -k \frac{dh}{dl} \quad (1.5)$$

ή με γενικευμένη μορφή :

$$u = c \cdot i \quad (1.6)$$

και όπου : i = η υδραυλική κλίση (dh/dl)

c = σταθερά, που εξαρτάται από δύο παράγοντες, το υλικό μέσο (μέγεθος πόρων, βαθμός διασύνδεσης - επικοινωνίας των πόρων κ.λ.π) και τις ιδιότητες του ρευστού (ιξώδες, πυκνότητα κ.λ.π)

Στην περίπτωση που το κινούμενο ρευστό είναι το νερό, τότε και μόνο τότε η σταθερά (c) ισούται με (k), δηλ. με την υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity) ή όπως συνήθως καλείται, με το συντελεστή υδροπερατότητας. Συνεπώς θα πρέπει να διακρίνονται σαφώς η εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα (K), η οποία είναι μια ιδιότητα του υλικού μέσου μεταβίβασης του ρευστού και ανεξάρτητη των ιδιοτήτων του ρευστού που «μεταβιβάζεται», και η

υδραυλική αγωγιμότητα ή συντελεστής υδροπερατότητας (k). Οι δύο αυτές ιδιότητες συνδέονται με τον τύπο :

$$K = \frac{k \cdot \mu}{r \cdot g} \quad (1.7)$$

όπου : K = Εσωτερική ή πραγματική διαπερατότητα του υλικού μέσου

k = Συντελεστής υδροπερατότητας ή υδραυλική αγωγιμότητα

μ = Δυναμικό ιξώδες ρευστού

ρ = Πυκνότητα ρευστού

g = Επιτάχυνση βαρύτητας (g = 9,81 m/sec²)

Ο συντελεστής υδροπερατότητας (k) για την περίπτωση του νερού, μετράται σε m/day, m/sec, cm/sec, δηλαδή έχει διαστάσεις ταχύτητας. Οι καλύτερες προσεγγίσεις της τιμής του συντελεστή υδροπερατότητας γίνονται με τη βοήθεια δοκιμών άντλησης (pumping out tests) σε υδρογεωτρήσεις, όπου η άντληση γίνεται σε μία κύρια γεώτρηση και η παρατήρηση του κώνου πτώσης της στάθμης του νερού, στις δορυφόρες αυτής γεωτρήσεις και ο βαθμός σταδιακής ανόδου της υδροστατικής στάθμης. Καθώς οι μέθοδοι αυτοί είναι δαπανηρές και χρονοβόρες, για τις ανάγκες των τεχνικών έργων, ο υπολογισμός του συντελεστή υδροπερατότητας γίνεται :

1. Κατ' εκτίμηση με εμπειρικούς τύπους και διαγράμματα.
2. Με την χρήση περατομέτρων (Permeameters) σταθερού ή πίπτοντος (μεταβλητού) φορτίου στο εργαστήριο.
3. Στην ύπαιθρο με δοκιμές εισπίεσης (Pumping in tests).

1.7 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Όλα τα εδάφη δεν σχηματίστηκαν με τον ίδιο τρόπο. Αλλού επέδρασε πιο πολύ το νερό και απόθεσε σε αυτά περισσότερη άμμο, αλλού έζησαν κατά εποχές περισσότερα ζώα και φυτά και πλούτισαν ανάλογα τα εδάφη με θρεπτικές ουσίες, πολλές από αυτές μεταφέρθηκαν με τα νερά των βροχών στις κοιλάδες, αλλού τα γύρω βουνά ήταν ασβεστολιθικά κ.λ.π. Έτσι σήμερα τα καλλιεργήσιμα εδάφη, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, χωρίζονται σε αμμώδη, αργιλώδη, πηλώδη, ασβεστολιθικά ή ασπροχώματα, οργανικά (χουμώδη) ή κηποχώματα ή μαυροχώματα και σε ανάμεικτα. Αναλυτικότερα για τις προαναφερθείσες γενικές κατηγορίες θα έχουμε τα :

1. Αμμώδη :

Αυτά έχουν για κύριο συστατικό τους την άμμο και είναι χαλαρά, αφράτα και ευκολοκαλλιέργητα. Το νερό, ο ήλιος και ο αέρας περνούν μέσα τους εύκολα και σε μεγαλύτερο βάθος. Όμως δεν μπορούν να συγκρατήσουν υγρασία και οι θρεπτικές ουσίες της επιφάνειάς τους ξεπλένονται εύκολα. Επίσης, τον χειμώνα ψύχονται γρήγορα και το καλοκαίρι θερμαίνονται πολύ. Τα φυτά, που δεν έχουν βαθιές ρίζες, δε βρίσκουν πολλές θρεπτικές ουσίες στα εδάφη αυτά, δεν στηρίζονται γερά και όταν φυσά δυνατός άνεμος, τα ρίχνει κάτω ή τα ξεριζώνει και όταν πιάνουν ζέστες, παύουν να αναπτύσσονται, αν δεν ξεραθούν τελείως. Παράδειγμα αμμώδους εδάφους μπορεί εύκολα κανείς να διακρίνει στην πιο κάτω εικόνα (Σχήμα 1.8) :



Σχήμα 1.8 : Αμμώδες έδαφος

2. Αργιλώδη (clay/silt) :

Σε αυτά πλεονάζει η άργιλος (χώμα που χρησιμοποιείται στην κεραμοποιία). Τα εδάφη αυτά έχουν μεγάλη συνεκτικότητα, μικρή διαπερατότητα και δύσκολα περνούν μέσα τους βαθιά το νερό, ο ήλιος κι ο αέρας. Το χειμώνα δεν τα διαπερνά το κρύο, αλλά στην επιφάνειά τους είναι ψυχρά. Το καλοκαίρι κρατούν υγρασία, αλλά στις μεγάλες ζέστες σκάζουν, δημιουργώντας βαθιές ρωγμές αποξήρανσης (desiccation fractures).

Οι ρίζες των φυτών δυσκολεύονται να προχωρήσουν βαθιά, υποφέρουν από ασφυξία και στις ξηρασίες όταν εξατμίζεται όλη η επιφανειακή υγρασία, παύει κάθε ανάπτυξή τους και μαραζώνουν. Τα αργιλώδη εδάφη γίνονται κατάλληλα για καλλιέργεια, όταν ρίξουμε ποταμίσις άμμο (όχι θαλασσινή, γιατί έχει αλάτι) ή κοπριά χωνεμένη ή και αχώνευτη. Παράδειγμα αργιλώδους εδάφους φαίνεται πιο κάτω στο Σχήμα 1.9 :



Σχήμα 1.9 : Αργιλώδες έδαφος

3. Πηλώδη :

Αυτής της κατηγορίας τα εδάφη είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη φυτών. Όταν εμπλουτίζονται με οργανική ουσία θερμαίνονται ευκολότερα και έχουν καλό αερισμό. Παρακάτω στην εικόνα (Σχήμα 1.10), διακρίνεται ένα παράδειγμα πηλώδους εδάφους :



Σχήμα 1.10 : Πηλώδες έδαφος

4. Ασβεστολιθικά ή Ασπροχώματα :

Αυτά προέρχονται από ασβεστολιθικά πετρώματα κι έχουν τα μειονεκτήματα των αργιλωδών εδαφών. Διορθώνονται, αν τους προσθέσουμε άμμο ή κοπριά, όπως

στα αργιλώδη, όχι όμως ασβέστη καθώς έχουν ήδη πάρα πολύ. Παράδειγμα ασβεστολιθικού εδάφους φαίνεται στο Σχήμα 1.11 :



Σχήμα 1.11 : Ασβεστολιθικό έδαφος

5. Οργανικά (Χουμώδη) ή Κηποχώματα ή Μαυροχώματα :

Αυτού του τύπου τα εδάφη έχουν πολλές οργανικές ουσίες και το χρώμα τους είναι σαν σκούρο (καστανό) Είναι αφράτα και καλλιεργούνται εύκολα και διατηρούν την ζέση το χειμώνα και την δροσιά το καλοκαίρι. Απορροφούν και συγκρατούν το νερό, τα διαπερνά εύκολα ο ήλιος και ο αέρας και μέσα τους ζουν σκουλήκια, μικρόζωα και μικρόβια, που μεγαλώνουν τη γονιμότητά τους. Είναι τα πιο κατάλληλα εδάφη για καλλιέργεια και με το χρώμα τους μπορούμε να πλουτίσουμε άλλα εδάφη φτωχά (αργιλώδη, αμμώδη και ασβεστολιθικά). Η κοπριά πολλές φορές είναι περιττή και επιζήμια.

Στα εδάφη αυτά, όταν τα φυτά (και πιο πολύ το σιτάρι και τα άλλα λεπτόκορμα δημητριακά) μεγαλώνουν πολύ και «πλαγιάζουν», χωρίς να καρποφορούν, τα πλουτίζουμε με φωσφορούχα χημικά λιπάσματα. Ακολουθεί παράδειγμα χουμώδους εδάφους στο Σχήμα 1.12 :



Σχήμα 1.12 : Χουμώδες έδαφος

6. Ανάμεικτα :

Έχουν απ' όλα τα κύρια συστατικά (άργιλο, άμμο, ασβέστιο και οργανικές ουσίες) και παίρνουν διάφορες ονομασίες από τα συστατικά που πλεονάζουν σε αυτά, όπως αργιλοαμμώδη ή αμμοαργιλώδη, χουμαργιλώδη ή αργιλοχουμώδη, χουμώδη ή αμμοχουμώδη (sandy clayey) κ.λ.π. Τα ανάμεικτα εδάφη αποτελούν την πλειοψηφία των εδαφών του φυσικού κόσμου και ως εκ τούτου παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Τα μεγέθη των κόκκων που τα απαρτίζουν (αργιλικοί κόκκοι, λάσπη, άμμος, χαλίκια, πέτρες) μεταβάλλονται σε ευρεία κλίμακα με αποτέλεσμα τα μεγέθη των πόρων στα εδάφη αυτά να καλύπτουν μια εξίσου ευρεία κλίμακα, γεγονός που τα καθιστά εξαιρετικά ετερογενή. Στην Ελλάδα τα περισσότερα εδάφη που καλλιεργούνται, ανήκουν στην κατηγορία των ανάμεικτων. Ανάμεικτο έδαφος βλέπουμε στο Σχήμα 1.13 :



Σχήμα 1.13 : Ανάμεικτο έδαφος

Πέραν των πιο πάνω κατηγοριών εδάφους (ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους), κατάταξη των εδαφών γίνεται και σύμφωνα με την κατανομή του μεγέθους των κόκκων του. Το μέγεθος των κόκκων (μηχανικά κλάσματα) του εδάφους επιδρά στις χημικές ιδιότητές του, εξαιτίας της ισχυρής συσχέτισης της προσροφητικότητάς τους με το εμβαδόν της επιφάνειάς τους. Επομένως, είναι απαραίτητο να υπάρχει όχι μόνο ένα σύστημα ταξινόμησης των κόκκων, αλλά και σύστημα που να περιγράφει ποσοτικά την κατανομή μεγέθους κόκκων.

Τα όρια στα μεγέθη των κόκκων τέθηκαν με βάση τη συμβολή του μεγέθους των κόκκων εδάφους στις φυσικές και χημικές ιδιότητές του. Στον παρακάτω Πίνακα 1.1, στην επόμενη σελ. 21, παρουσιάζεται το σύστημα κατάταξης των κόκκων που έχει υιοθετηθεί από τα εδαφολογικά εργαστήρια της Ελλάδας. Ο Πίνακας αυτός αναφέρει τις κατηγορίες των μηχανικών κλασμάτων στο αριστερό μέρος του και τις αντίστοιχες διαμέτρους των κόκκων τους (σε mm) στο δεξιό μέρος του.

Πίνακας 1.1 : Κατηγορίες κατάταξης κόκκων όπως εφαρμόζεται στην Ελλάδα

Κατηγορία μηχανικών κλασμάτων		Διάμετρος κόκκων (mm)
Πετρώματα	σκελετικά υλικά	> 600
Λίθοι		600 - 200
Πέτρες		200 - 75
Χαλίκια		75 - 2
Άμμος	λεπτή γη	2 – 0,05 (2000 – 50 μm)
Ιλύς		0,05 – 0,002 (50 - 2μm)
Αργίλος		< 0,002 (< 2 μm)

1.8 ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα τελευταία χρόνια η εντατικοποίηση της γεωργίας για την επίτευξη της μεγιστοποίησης της παραγωγής γεωργικών αγαθών, έχει προκαλέσει πολλαπλές καταπονήσεις στο εδαφικό περιβάλλον. Αυτές τις καταπονήσεις τις καλούμε με ένα όρο που λέγεται «υποβάθμιση του εδάφους».

Εδαφική υποβάθμιση είναι η μείωση της παραγωγικότητας του εδάφους για μια ή περισσότερες χρήσεις γής, που μπορεί να προκληθεί από φυσικά φαινόμενα και να επιταχυνθεί από ανθρώπινες παρεμβάσεις δηλ. γενικότερα, είναι εκείνη η μόνιμη και μη αναστρέψιμη μεταβολή της δομής και της λειτουργίας του εδάφους. Ανθρώπινες επεμβάσεις όπως οι εκχερσώσεις, οι εντατικές καλλιέργειες, η υπεράντληση των υπόγειων νερών, τα οποία και δημιουργούν σοβαρές διαταραχές στα εδάφη.

Η υποβάθμιση αυτή προκαλείται από φυσική, χημική ή βιολογική καταπόνηση του εδάφους λόγω ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Η υποβάθμιση της γης είναι αποτέλεσμα μιας πολύ μεγάλης επιβάρυνσης σε ένα οικοσύστημα. Η οικονομική διάσταση της υποβάθμισης αυτής είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστεί (πρέπει όμως να γίνει) προκειμένου να μειωθεί η υποβάθμιση και επίσης το μέγεθος ενός τέτοιου προϋπολογισμού, πρέπει να εκτιμηθεί από το κοινωνικό σύνολο.

Εάν μπορεί να θεωρήσει κανείς το έδαφος ως επιδερμίδα της γης, τότε η υποβάθμιση (απώλεια των λειτουργιών του εδάφους), αποτελεί ασθένεια με συμπτώματα. Σε γενικές γραμμές η υποβάθμιση των εδαφών δηλ. οι κύριες διαδικασίες εδαφικής υποβάθμισης στην Ε.Ε (Ευρωπαϊκή Ένωση), οφείλονται στην διάβρωση (την πλέον διαδεδομένη παγκοσμίως αιτία υποβάθμισης), οξύνιση, μόλυνση, συμπίεση, απώλεια οργανικής ουσίας, αλάτωση, κατάκλυση.

Η υποβάθμιση του εδάφους αποτελεί σοβαρό πρόβλημα στην Ευρώπη. Προκαλείται ή επιδεινώνεται από ανθρώπινες δραστηριότητες όπως οι ακατάλληλες γεωργικές και δασοκομικές πρακτικές, βιομηχανικές δραστηριότητες, λόγω τουρισμού, την εξάπλωση των αστικών κέντρων και της βιομηχανίας, καθώς και

λόγω του χωροταξικού σχεδιασμού. Οι συνέπειές της είναι, μεταξύ άλλων, η μείωση της εδαφικής γονιμότητας, οι απώλειες άνθρακα και βιοποικιλότητας, ο περιορισμός της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί το νερό, η διατάραξη των κύκλων των αερίων και των θρεπτικών συστατικών και η μείωση της αποδόμησης των ρυπογόνων ουσιών.

Η υποβάθμιση των εδαφών επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του νερού και του αέρα, την βιοποικιλότητα και τις κλιματικές αλλαγές. Παράλληλα μπορεί να επηρεάσει την υγεία του πληθυσμού ή να απειλήσει την ασφάλεια των ειδών ανθρώπινης και ζωικής διατροφής. Από την ανάλυση των επιπτώσεων, η οποία διενεργήθηκε σύμφωνα με τις κατευθύνσεις που χάραξε η Επιτροπή και βάσει των διαθέσιμων δεδομένων, προκύπτει ότι η υποβάθμιση του εδάφους μπορεί να κοστίζει μέχρι και 38 δις. Ευρώ ετησίως.

Στην υποενότητα 1.8.1 που ακολουθεί, αναλύουμε περαιτέρω τους τύπους υποβάθμισης του εδάφους.

1.8.1 Τύποι υποβάθμισης του εδάφους

1. Υδατική υποβάθμιση :

Είναι η απώλεια επιφανειακού χώματος λόγω κίνησης του νερού που το συμπαρασύρει. Εξαρτάται από το κλίμα, το γεωλογικό υπόβαθρο, το ανάγλυφο και την βλάστηση.

2. Αιολική διάβρωση :

Στην περίπτωση αυτή οι άνεμοι παρασύρουν το επιφανειακό χώμα. Η αποδάσωση (δηλ. απομάκρυνση της φυσικής βλάστησης) είναι από τους κύριους λόγους δημιουργίας της και η εντατική γεωργία (υπερβολική χρησιμοποίηση του εδάφους από τους γεωργούς) με συνεχή οργώματα, εκθέτουν το έδαφος σε υδατική και αιολική διάβρωση. Επίσης η εντατική βόσκηση δημιουργεί μείωση της φυτοκάλυψης και καταστρέφει τη δομή του εδάφους λόγω της μηχανικής δράσης των ποδιών των ζώων.

3. Χημική υποβάθμιση :

1. Μείωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους.
2. Αλατοποίηση που σημαίνει αύξηση της συγκέντρωσης των αλάτων του επιφανειακού χώματος, καθιστώντας το ακατάλληλο για γεωργική χρήση.
3. Οξύνιση που προκαλείται από τα συστατικά του εδάφους είτε από υπερχρησιμοποίηση όξινων λιπασμάτων.
4. Ρύπανση από διάφορους ρύπους όπως βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, φυτοφάρμακα και άλλα.

4. Φυσική υποβάθμιση :

Είναι η κυριότερη μορφή υποβάθμισης όταν το έδαφος γίνεται συμπαγές (μειώνεται το ποσοστό του όγκου του αέρα) και όσο πιο συμπαγές είναι το χώμα, τόσο πιο δύσκολη είναι η βλάστηση των σπόρων, άρα τόσο πιο πολλή η απορροή του νερού και συνεπώς η διάβρωση.

1.8.2 Διάβρωση (Corrosion) και Ερημοποίηση (Desertification) του εδάφους :

1.8.2.1 Γενικά

Η εδαφική διάβρωση αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μορφές εδαφικής υποβάθμισης και προκαλεί δυσμενή αποτελέσματα στη φυτική παραγωγή γιατί χάνεται το πιο γόνιμο τμήμα του εδάφους. Διάβρωση σε γενικές γραμμές, είναι η παράσυρση του εδάφους που βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα της γήινης επιφάνειας, από το νερό της βροχής ή τον άνεμο, άρα και η απώλεια αυτού. Εξαρτάται από το είδος του εδάφους, την κλίση του και την μορφολογία του, από την ένταση των βροχών και των ανέμων της περιοχής και από το είδος της βλάστησης.

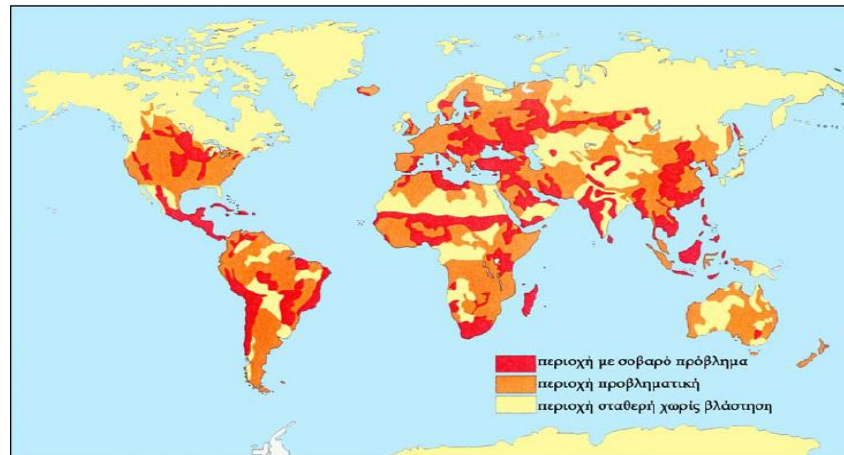
Σύμφωνα με έρευνες, η διάβρωση του γεωργικού εδάφους είναι 12,5 φορές μεγαλύτερη από την διάβρωση που υφίσταται στο ίδιο χρονικό διάστημα ένας βοσκότοπος, 200 φορές μεγαλύτερη από την διάβρωση που υφίσταται έδαφος φυλλοβόλων και 100 φορές μεγαλύτερη από το έδαφος με δάσος πεύκων. Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι καταστρεπτικές, διότι απομακρύνεται το επιφανειακό έδαφος που έχει τις καλύτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες και χάνονται τα θρεπτικά συστατικά, ιδίως το ασβέστιο, το κάλιο και το μαγνήσιο.

Η ερημοποίηση εδαφών, όπως έχει οριστεί στην Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής του Περιβάλλοντος το 1992, είναι η υποβάθμιση της γης στις ξηρές, ημίξηρες και ύφυγρες περιοχές, η οποία προκύπτει από την δράση πολλών παραγόντων στους οποίους περιλαμβάνονται οι κλιματικές μεταβολές και οι ανθρωπίνες δραστηριότητες και ο όρος ερημοποίηση δεν θα πρέπει να συγχέεται με την δημιουργία ερήμων. Είναι ένα γενικότερο φαινόμενο κατά το οποίο μεγάλες περιοχές γης υποβαθμίζονται και μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις (δημιουργώντας κηλίδες απογυμνωμένων περιοχών), από έλλειψη νερού, υπερβολική καλλιέργεια εδαφών που προέκυψαν από εκκαθάριση δασών, επικλινείς εκτάσεις που δεν προστατεύονται με αναχώματα, και εκκαθάριση θάμνων, δέντρων 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 να υποβαθμίζεται και πολύ γρήγορα να μετατρέπονται σε άγονες αμμώδεις εκτάσεις.

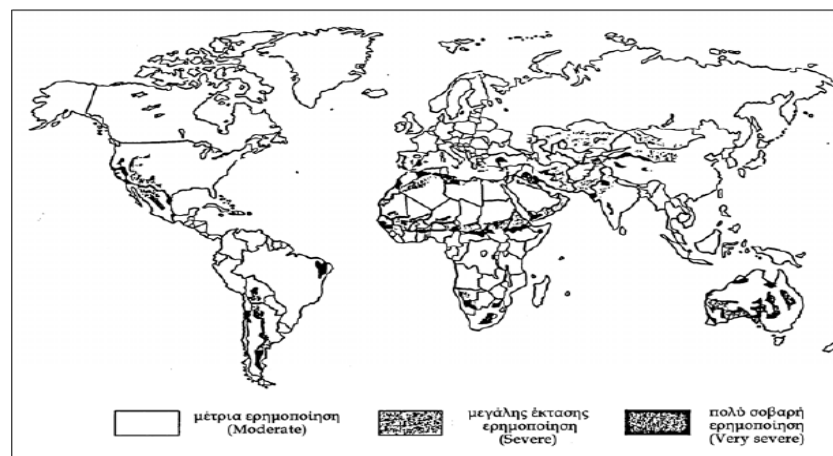
Βασικές αιτίες όλου αυτού είναι ο υπερπληθυσμός και η εξάπλωση των πόλεων και των κατοικημένων περιοχών, η ανάπτυξη οδικών αρτηριών και άλλων εγκαταστάσεων, που διασπά την γεωμορφολογία πολλών περιοχών. Οι άνεμοι και οι βροχές εκπλύνουν τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους και η σύσταση του αλλοιώνεται σε τέτοιο βαθμό, που δεν μπορεί να διατηρήσει πλέον την υφή του και την συνεκτικότητα των εδαφικών του συστατικών. Επίσης η υπερβολική άρδευση προκαλεί την απώλεια πολύτιμων υδατίνων 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 των ερημοποιημένων περιοχών. Ο Διεθνής Οργανισμός - Συνασπισμός μεταξύ των κρατών του κόσμου Ο.Η.Ε (Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών ή Ηνωμένα Έθνη), έχει διεξάγει πολλές μελέτες και προώθησε το 1994 την διεθνή σύμβαση για την καταπολέμηση της ερημοποίησης, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Στο Σχήμα 1.14 που ακολουθεί, παρουσιάζουμε τον παγκόσμιο χάρτη που δείχνει με μεγάλη ευκρίνεια όλες εκείνες τις περιοχές που έχουν υποστεί την διάβρωση και την ερημοποίηση στα εδάφη τους και ποια απο αυτά τα εδάφη έχουν τα σοβαρά τα προβλήματα, σε σχέση πάντα και με τα υπόλοιπα τα οποία χρωματίζονται κατάλληλα. Στο Σχήμα 1.15 επίσης, δείχνουμε Παγκόσμια στον χάρτη, την διαβάθμιση της ρύπανσης των εδαφών κατά την ερημοποίησή τους, σε μέτρια ερημοποίηση, μεγάλης έκτασης και σε πολύ σοβαρή. Αναφέρεται πως οι δύο αυτοί χάρτες πάρθηκαν σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του Διεθνούς Περιβαλλοντολογικού Οργανισμού Ερευνών (U.N.E.P - United Nations Environment Programme) και του Παγκόσμιου Ινστιτούτου Πόρων (W.R.I - World Resources Institute).



Σχήμα 1.14 : Διάβρωση και Ερημοποίηση των Εδαφών σε Παγκόσμια κλίμακα σύμφωνα με το U.N.E.P και το W.R.I

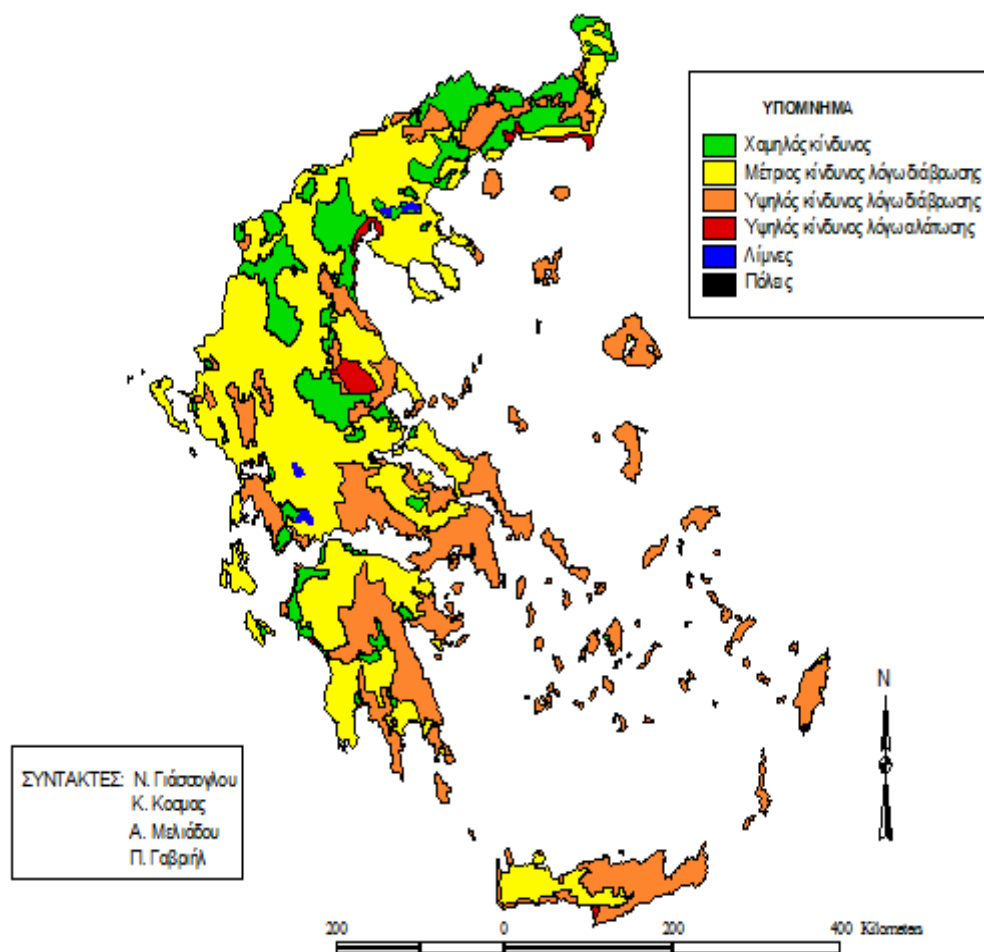


Σχήμα 1.15 : Διαβάθμιση της Ρύπανσης των Εδαφών σε Παγκόσμια Κλίμακα, κατά την ερημοποίησή τους σύμφωνα με το U.N.E.P

1.8.2.2 Σημερινή κατάσταση ερημοποίησης στην Ελλάδα

Η ερημοποίηση θεωρείται σήμερα ως μια σημαντική απειλή υποβάθμισης της γης των Μεσογειακών χωρών. Περισσότερο από το ένα τρίτο του Ελλαδικού χώρου βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης ή έχει ερημοποιηθεί. Οι περιοχές υψηλού κινδύνου ερημοποίησης είναι η Δυτική Στερεά Ελλάδα, το μεγαλύτερο μέρος της Πελοποννήσου, η ορεινή ζώνη των Ιονίων νήσων, η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου, η Εύβοια και μέρος της Ηπείρου, Θεσσαλίας και Θράκης.

Όπως προκύπτει από πρόσφατες μελέτες, το 35% του Ελλαδικού χώρου βρίσκεται σε υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης ή έχει ήδη ερημοποιηθεί, ενώ το 49% θεωρείται ότι βρίσκεται σε μέτριο κίνδυνο ερημοποίησης. Για πιο κατανοητή παρουσίαση του κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας παραθέτουμε τον πιο κάτω χάρτη (Σχήμα 1.16), σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Εθνικής Επιτροπής κατά της Ερημοποίησης :



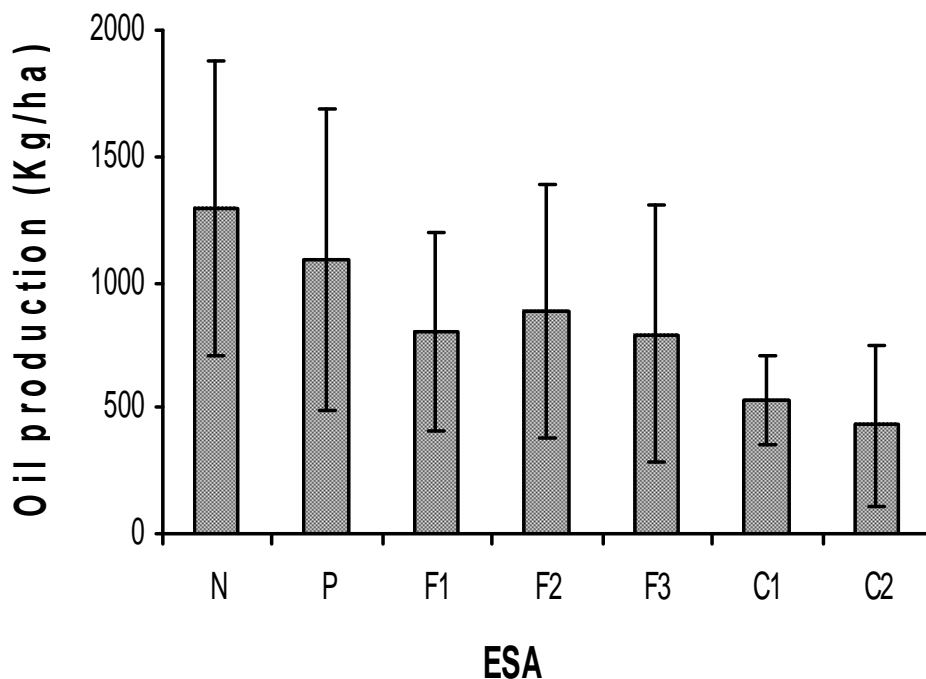
Σχήμα 1.16 : Χάρτης δυνητικού κινδύνου ερημοποίησης της Ελλάδας

Η Ελλάδα λόγω του ορεινού της χαρακτήρα, παρουσιάζει απότομες υψομετρικές διαφορές, που σχηματίζουν επιφάνειες με ισχυρές κλίσεις σε μεγάλο τμήμα της χώρας. Συγκεκριμένα, κλίσεις που υπερβαίνουν το 10% καλύπτουν το 50% της συνολικής έκτασης. Οι ισχυρές κλίσεις προκαλούν έντονες επιφανειακές

απορροές των όμβριων υδάτων και έντονες διαβρώσεις των εδαφών εκεί όπου δεν υπάρχει επαρκής φυτοκάλυψη. Οι διαδικασίες αυτές αποτελούν τις κύριες αιτίες της ερημοποίησης στην χώρα.

Ένας σημαντικότερος επίσης παράγοντας ερημοποίησης για την Ελλάδα είναι οι δασικές πυρκαγιές. Στατιστικές της δασικής υπηρεσίας δείχνουν ότι οι δασικές πυρκαγιές τις τελευταίες δεκαετίες έχουν τετραπλασιαστεί. Κατά την περίοδο 1964 - 1975, ο μέσος όρος των καμένων εκτάσεων ήταν 129.000 στρέμματα ανά χρόνο ενώ κατά την περίοδο 1976 - 1986 ήταν 378.000 στρέμματα για να αυξηθεί σε 520.000 στρέμματα την δεκαετία 1986 - 1995. Παρόλο που η πυρκαγιά θεωρείται ότι μπορεί να επιφέρει αναγέννηση της φυσικής βλάστησης όταν δεν προηγηθεί έντονη διάβρωση, η μεγάλη συχνότητα εμφάνισής τους τα τελευταία χρόνια, έχει έντονα υποβαθμίσει μεγάλο ποσοστό των δασικών μας εκτάσεων. Όταν η συχνότητα πυρκαγιών στις ίδιες εκτάσεις είναι μεγάλη και αυτές συνοδεύονται από βόσκηση, η καταστροφή είναι ανεπανόρθωτη για το έδαφος και την βλάστηση. Ακολουθεί ένα παράδειγμα των επιπτώσεων της ερημοποίησης στην Λέσβο :

Οι ελαιώνες βρίσκονται συνήθως σε κλιματική και υψομετρική ζώνη που είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην ερημοποίηση. Όπως φαίνεται στο πιο κάτω Σχήμα 1.17, η παραγωγή ελαιολάδου στη Λέσβο μειώθηκε περίπου στο ένα τρίτο με την αύξηση του βαθμού υποβάθμισης και ερημοποίησης της γης. Η μειωμένη παραγωγή σε συνδυασμό με τις χαμηλές τιμές αγοράς του προϊόντος, οδηγεί στην εγκατάλειψη της γης και την μετανάστευση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα ή άλλες γεωργικές περιοχές όπου εξασφαλίζεται καλύτερη ποιότητα ζωής. Η μετανάστευση αυτή ασκεί ευρύτερες κοινωνικές και οικονομικές πιέσεις στους χώρους μετανάστευσης, με συνέπεια την αλματώδη οικιστική επέκταση των πόλεων, την ρύπανση και άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, την ανεργία και τις ακραίες συμπεριφορές.



Σχήμα 1.17 : Μεταβολή της παραγωγής του ελαιολάδου με την κατάσταση υποβάθμισης και ερημοποίησης της γης

και όπου : ESA = περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές στην ερημοποίηση

N = μη απειλούμενες περιοχές

P = δυνητικά απειλούμενες περιοχές

F1, F2, F3 = ευαίσθητες περιοχές στην ερημοποίηση

C1, C2 = κρίσιμες περιοχές στην ερημοποίηση

Ανάλογα με την ένταση των παραγόντων ερημοποίησης, η υποβάθμιση μπορεί να είναι μια αντιστρεπτή διαδικασία, δηλαδή να υπάρχει δυνατότητα ανάκαμψης, εάν ένας από τους παράγοντες ερημοποίησης αρθεί. Η ερημοποίηση είναι αντιστρεπτή όταν για παράδειγμα το διαθέσιμο νερό έχει περιοριστεί κάτω από ένα οριακό επίπεδο για την ανάπτυξη φυτών, αλλά το βάθος του εδάφους δεν είναι οριακό. Επίσης αντιστρεπτή μπορεί να είναι η διαδικασία ερημοποίησης, όταν η υπερβόσκηση προκαλέσει μείωση της βιοποικιλότητας και φυτοκάλυψη μιας περιοχής. Αντιστρεπτή τέλος, είναι η υποβάθμιση των εδαφών που προκύπτει από αλάτωση. Δηλ. οι κατάλληλες διαχειριστικές παρεμβάσεις μπορούν να αντιστρέψουν την πορεία ερημοποίησης.

Αντίθετα μη αντιστρεπτή ερημοποίηση, παρατηρείται όταν το οικοσύστημα υποστεί μόνιμες και ανεπανόρθωτες επιδράσεις. Αυτό μπορεί να είναι το τελικό στάδιο μιας έντονης διεργασίας διάβρωσης. Μόνιμη ερημοποίηση προκαλείται όταν το βάθος του ριζοστρώματος μειωθεί κάτω από ένα επιτρεπτό όριο για την ανάπτυξη των φυτών. Άμεση συνέπεια είναι ότι η υδατοχωρητικότητα του εδάφους μειώνεται σημαντικά ώστε ελάχιστα φυτικά είδη να μπορούν να επιβιώσουν.

Η πρόληψη και η αντιμετώπιση της ερημοποίησης θα επιτευχθεί με τη λήψη, αφενός μεν, ορισμένων μέτρων γενικής εφαρμογής που αφορούν σε ολόκληρο τον πληθυσμό της χώρας και τέμνουν πολλούς επί μέρους τομείς δραστηριοτήτων, αφετέρου δε, με ειδικά μέτρα που αφορούν συγκεκριμένα φυσικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά σε τοπικό επίπεδο. Τα γενικά μέτρα, λοιπόν, όπως αυτά προτείνονται στο Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την καταπολέμηση της ερημοποίησης είναι :

1. Προσδιορισμός των απειλούμενων περιοχών.
2. Ενημέρωση και ευαισθητοποίηση κοινωνικών φορέων και φορέων διοίκησης.
3. Καθορισμός φορέων εφαρμογής και παρακολούθησης μέτρων.
4. Σχεδιασμός και εφαρμογή χρήσης των γαιών.
5. Ορισμός πιλοτικών περιοχών.
6. Αναβάθμιση ερημοποιημένων περιοχών.
7. Εξεύρεση απαιτούμενων πόρων.
8. Σύναψη διεθνών συνεργασιών και ανάπτυξη της έρευνας.

2. ΡΥΠΑΝΣΗ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Αυτή είναι μία έννοια φορτισμένη με οικονομικά και πολιτικά συμφέροντα. Από την αρχή που παρουσιάστηκε το φαινόμενο της ρύπανσης του περιβάλλοντος με την βιομηχανική ανάπτυξη και την ανάπτυξη εργοστασίων κ.λ.π, όλοι διακήρυξαν ότι θα πρέπει να προστατευτεί το περιβάλλον και να ληφθούν μέτρα για αυτό. Για την ρύπανση υπάρχουν πολλοί ορισμοί. Ένας πρώτος ορισμός είναι ο ακόλουθος :

Ρύπανση είναι οι εκπομπές και τα προϊόντα των πάσης φύσεως ανθρώπινων δραστηριοτήτων που προκαλούν βλάβη στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Συνδέθηκε δηλαδή η ρύπανση με την βλάβη. Γρήγορα όμως ο ορισμός αυτός εγκαταλείφθηκε, αφού η σύνδεση αυτή σήμαινε πρακτικά ότι θα πρέπει να εξαλειφθούν εντελώς οι ρύποι δηλαδή όλες αυτές οι εκπομπές και τα προϊόντα που προξενούν την βλάβη, πράγμα δύσκολο ως και ακατόρθωτο, αφού σήμαινε κόστος και επενδύσεις, χωρίς άμεσο αντίκρισμα για τις επιχειρήσεις.

Έτσι στην έννοια της βλάβης προστέθηκε η έννοια του κινδύνου βλάβης για τον άνθρωπο και το περιβάλλον, δηλ. οι εκπομπές και τα προϊόντα των πάσης φύσεως ανθρώπινων δραστηριοτήτων που προκαλούν κίνδυνο βλάβης στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έγινε δηλαδή σύνδεση της ρύπανσης με τον κίνδυνο. Κίνδυνος είναι η αυξημένη πιθανότητα να συμβεί η βλάβη. Αυτή η διακινδύνευση είναι αφηρημένη διότι οι παράμετροί της δεν είναι ορισμένοι, δηλ. δεν έχουν οριστεί ούτε το πλαίσιο χρόνου που ενδέχεται να συμβεί η βλάβη, αλλά ούτε και το περιεχόμενο της βλάβης. Ούτε και αυτός ο ορισμός μπόρεσε να σταθεί για πολύ, αφού πρακτικά σήμαινε ότι οι επιχειρήσεις θα έπρεπε να καταβάλλουν μεγάλα ποσά για την μεγάλη μείωση των ρύπων.

Έτσι μετά προστέθηκε η λέξη άμεσος κίνδυνος βλάβης και αμέσως μετά προσδιορίστηκαν και τα έννομα αγαθά που διακυβεύονται από την βλάβη αυτή που είναι η ζωή και η υγεία των πολιτών. Αυτά τα δύο, η ζωή και η υγεία, είναι δύο ατομικά δικαιώματα , τα οποία μαζί με άλλα , όπως η ανάπτυξη της προσωπικότητας, η ελευθερία, η ασφάλεια, η εκπαίδευση, η εργασία κ.λ.π, κατοχυρώνονται στο σύνταγμα μας, τον ανώτατο νόμο κάθε κράτους, όπως άλλωστε και σε όλα τα συντάγματα όλων των δημοκρατικών πολιτειών του κόσμου. Τα ατομικά δικαιώματα του πολίτη ή ανθρώπινα δικαιώματα, έχουν σαν συνέπεια την υποχρέωση του κράτους να τα προστατεύει και να τα κάνει σεβαστά και αυτόματα την αξίωση των πολιτών, να γίνονται σεβαστά από το κράτος.

Μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο, μία μεγάλη κατάκτηση ήταν η κατοχύρωση σε όλα τα Ευρωπαϊκά συντάγματα και το δικό μας το σύνταγμα του 1975, στην παρ.1 του άρθρου 2, της αρχής της ανθρώπινης αξιοπρέπειας. Η αρχή αυτή είναι γενική και καλύπτει όλα τα ατομικά δικαιώματα του πολίτη. Καλύπτει δηλαδή και τα ατομικά δικαιώματα που δεν αναφέρονται ή δεν εννοούνται σε μία διάταξη που προστατεύει το περιβάλλον από την ρύπανση.

Με την κρατούσα άποψη και τον ορισμό που δίνει στην ρύπανση, συνδέθηκε η ρύπανση με την προσβολή συγκεκριμένων ενόμων αγαθών και οι ρύποι χωρίστηκαν σε επικίνδυνους και μη επικίνδυνους ρύπους. Μεταξύ των δύο αυτών κατηγοριών υπάρχει το όριο επιφυλακής, όπου το κράτος πρέπει να λαμβάνει μέτρα. Αυτή η φόρμουλα, κατά την εκτίμηση μου, είναι αντισυνταγματική, αφού έρχεται σε ευθεία αντίθεση με την αρχή της ανθρώπινης αξιοπρέπειας που αναφέραμε πιο πάνω, διότι ο διαχωρισμός αυτός των ρύπων, δεν λαμβάνει υπόψη του ότι κάποιοι πολίτες έχουν κάποια προβλήματα υγείας και δεν ανήκουν στον μέσο όρο. Έτσι είναι δυνατόν κάποιοι μη επικίνδυνοι ρύποι, να είναι για αυτούς τους πολίτες βλαπτικοί. Για να γίνει αντιληπτή η διαφορά μεταξύ της αφηρημένης διακινδύνευσης και της συγκεκριμένης διακινδύνευσης, αναφέρουμε ένα παράδειγμα :

Είναι γνωστή η οικολογική καταστροφή που προκάλεσε η έκρηξη του αντιδραστήρα του Τσέρνομπιλ στην Ουκρανία της τότε Σοβιετικής Ένωσης. Ένα μεγάλο νέφος ραδιενέργειας υψώθηκε πάνω από τον αντιδραστήρα και ο κίνδυνος βλάβης της υγείας και της ζωής των πολιτών ήταν άμεσος και η οικολογική καταστροφή βεβαία. Εδώ έχουμε άμεσο κίνδυνο, δηλαδή συγκεκριμένη διακινδύνευση για την υγεία και την ζωή των πολιτών του Κιέβου και των περιοχών κοντά στο Τσέρνομπιλ, συγχρόνως όμως αφηρημένη διακινδύνευση για όλους τους κατοίκους των κρατών της Ευρώπης που κινδύνευαν όχι άμεσα, όμως σε κάποιο χρονικό διάστημα που δεν μπορούσαμε να προσδιορίσουμε εκ των προτέρων, από το νέφος και την φορά του ανέμου. Με την κρατούσα αντίληψη ότι μέτρα λαμβάνονται μόνο στην περίπτωση της συγκεκριμένης διακινδύνευσης, δεν λήφθηκαν μέτρα για τους κατοίκους των άλλων Ευρωπαϊκών χωρών, αλλά οι κρατικές αρχές έκαναν μετρήσεις, ώστε αν παρατηρούσαν αύξηση στα όρια της ραδιενέργειας, να πάρουν μέτρα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μολυνθούν από την ραδιενέργεια πολλές περιοχές της Ευρώπης, ακόμη και η Ελλάδα.

Προσωπικά πιστεύω ότι θα πρέπει να παραμείνουμε στην έννοια του αφηρημένου κινδύνου βλάβης του ανθρώπου και του περιβάλλοντος. Άλλωστε αυτές οι διακρίσεις κατέστρεψαν τον πλανήτη μας, αφού είναι διαπιστωμένο ότι οι πηγές ρύπανσης που ευθύνονται για την κατάσταση αυτήν την στιγμή στον πλανήτη μας, λειτουργούν σε καθεστώς πλήρους νομιμότητας και με περιβαλλοντικές μελέτες που ήδη έχουν εγκριθεί από την διοίκηση. Ο πλανήτης μας όμως δεν άντεξε και ήδη είναι κοινή ομολογία ότι έχει υποστεί ανεπανόρθωτες βλάβες.

Η ξέφρενη ανάπτυξη της τεχνολογίας την τελευταία πεντηκονταετία είχε και έχει σαν επακόλουθο εκτεταμένες οικολογικές καταστροφές, που προέρχονται από την ρύπανση και μόλυνση του περιβάλλοντος. Ο όρος περιβάλλον περιλαμβάνει το έδαφος, το υπέδαφος, τα νερά, υπόγεια και επιφανειακά (λίμνες και ποτάμια), την θάλασσα, την ατμόσφαιρα, τα φυτά και τα ζώα, τους φυσικούς πόρους και τα δημιουργήματα του πολιτισμού. Όλα αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους διαμορφώνοντας οικοσυστήματα. Τα οικοσυστήματα λοιπόν, είναι σύνολα ζώντων οργανισμών που ζουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή καθώς και ο βιότοπος στον οποίον κατοικούν και αναπτύσσονται. Παραδείγματα οικοσυστημάτων είναι τα δάση, τα έλη, οι λίμνες κ.λ.π. Όλα τα στοιχεία ενός οικοσυστήματος, επικοινωνούν μεταξύ τους με τρόπο ώστε να διατηρείται ισορροπία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων (ζώντων και αβιοτικών) που το αποτελούν.

Ξεκαθαρίζοντας λοιπόν, λέγοντας ρύπανση, εννοούμε την, με οποιονδήποτε τρόπο εισαγωγή (διάθεση) στο περιβάλλον, ουσιών (χημικών ενώσεων, μικροοργανισμών (φυσικών ή τροποποιημένων) κ.α.) ή ενέργειας (θόρυβος, θερμότητα, ακτινοβολία), σε ρυθμούς και ποσότητες ανώτερες από την αφομοιωτική ικανότητα (assimilation capacity), που προκαλούν την ποιοτική και αισθητική

υποβάθμισή του (με συνέπεια δηλ. την «μετρήσιμη τροποποίηση των φυσικών οικοσυστημάτων») και υποβιβάζουν την ποιότητα ζωής του ανθρώπου (οι επιπτώσεις της ρύπανσης στον άνθρωπο αφορούν κυρίως την υγεία του). Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται σε φυσικές διεργασίες (εκρήξεις ηφαιστειών, πυρκαγιές κ.λ.π.) και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η ανθρωπογενής ρύπανση είναι αποτέλεσμα της βιομηχανικής δραστηριότητας, των διαφόρων αστικών δραστηριοτήτων, κυρίως όπου υπάρχει συσσωρευμένος ανθρώπινος πληθυσμός, στις γεωργικές καλλιέργειες, στα διάφορα συγκοινωνιακά μέσα και στα διάφορα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας όπως εκρήξεις σε πυρηνικά ή χημικά εργοστάσια, διαρροές σε δεξαμενόπλοια, που δημιουργούν μεγάλης έκτασης ανεξέλεγκτη ρύπανση.

2.2 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΑΙΤΙΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ :

Η εδαφική ρύπανση μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες, όμως το έδαφος, μαζί με τα υδάτινα συστήματα, είναι ο κυριότερος αποδέκτης της ανθρωπογενούς ρύπανσης. Οι κυριότεροι παράγοντες οι οποίοι ρυπαίνουν σε μεγάλο βαθμό το έδαφος, αναφέρονται παρακάτω και είναι :

1. Οι Φυσικές Διεργασίες (διάλυση αλάτων κατά τη διήθηση υπόγειων υδάτων διαμέσου των πετρωμάτων, λόγω της εξατμισοδιαπνοής που συμβαίνει σε αβαθείς υδροφορείς και οδηγεί στην αύξηση των αλάτων στο υπόγειο νερό. Τέτοιοι τύποι ρύπανσης μπορεί να αναφέρονται στην αύξηση της συγκέντρωσης χλωριόντων, θειικών, νιτρικών, ιόντων σιδήρου, ασβεστίου κ.λπ, στο έδαφος και στο υπόγειο νερό).
2. Η διάθεση αποβλήτων στο έδαφος (είτε απευθείας είτε μετά από κατάλληλη επεξεργασία), από τον άνθρωπο (Βιομηχανικές, Εμπορικές και Βιοτεχνικές δραστηριότητες, π.χ διάθεση βιομηχανικών υγρών και στερεών αποβλήτων, αστικών απορριμμάτων και νοσοκομειακών λυμάτων που διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής και αποτέφρωσης σε υψηλές θερμοκρασίες, στερεών και υγρών παραπροϊόντων εκμετάλλευσης ορυκτών πόρων π.χ μεταλλεία, ορυχεία και λατομεία, βαρέων μετάλλων που προέρχονται από χημικές βιομηχανίες, καύση στερεών και υγρών ορυκτών καυσίμων και άλλες διεργασίες εμπλουτισμού ή καθαρισμού μεταλλευμάτων, ρύπανση από την εκμετάλλευση του πετρελαίου, λιπαντικών υλών και ελαστικών τροχοφόρων καθώς και διάθεση αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων).
3. Λοιπές ανθρώπινες δραστηριότητες (ανθρώπινες δραστηριότητες που συνδέονται με φυτοφάρμακα και γεωργικές εκμεταλλεύσεις, νιτρορύπανση, ατυχήματα κατά την μεταφορά ή αποθήκευση ρύπων, αστοχία τεχνικών έργων, ανεξέλεγκτη απόρριψη αποβλήτων στο έδαφος λόγω άγνοιας της επικινδυνότητας ή έλλειψη παιδείας και τυχούσες διαφυγές ρύπων από αποθηκευτικούς χώρους αποβλήτων).

Το έδαφος δέχεται όλες αυτές τις τοξικές και επικίνδυνες χημικές ουσίες από τις Βιομηχανικές Εγκατ/σεις (αλογονομένες ουσίες, Π.Α.Υ, τοξικούς διαλύτες, βαρέα

μέταλλα, κ.λ.π) και παρασκευάσματα ή απόβλητα, τα οποία ανάλογα με τη γεωμορφολογία του εδάφους και άλλες εξωγενείς συνθήκες, ρυπαίνουν τοπικά το έδαφος και τα βιολογικά συστήματα ή διασκορπίζονται σε άλλα περιβαλλοντικά διαμερίσματα (π.χ. υπόγεια νερά), ή εκπλύνονται στα διάφορα υδάτινα συστήματα.

Αναλυτικότερα, τα υγρά και στερεά απόβλητα, αρχικά εναποτίθενται και επεξεργάζονται σε χερσαίες εγκαταστάσεις, καθώς επίσης γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, λιπάσματα και φυτοφάρμακα, ρυπαίνουν τις καλλιεργημένες εκτάσεις. Τα υγρά απόβλητα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό μεταλλαξιγόνου δράσης, παρόμοια επίσης, γονοτοξική δράση, παρουσιάζουν και οι στάχτες των αποβλήτων που έχουν κατεργαστεί με πυρολυτική καύση σε αποτεφρωτήρες. Τα απόβλητα και η διαχείριση όλων αυτών, αποτελεί μεγάλο περιβαλλοντικό πρόβλημα σε πολλές αναπτυγμένες χώρες, ιδιαίτερα για την ποιότητα των εδαφών και τις τοξικές δράσεις σε ζωντανούς οργανισμούς. Για τα στερεά απόβλητα θα έχουμε :

1. Τα αστικά απορρίμματα που αποτελούνται από ετερογενή μείγματα αποβλήτων οικιακών ή εμπορικών δραστηριοτήτων (ένα μικρό ποσοστό τους ανήκει στα επικίνδυνα απόβλητα). Έχει απαγορευτεί η ταφή και διάθεση υγρών βιομηχανικών αποβλήτων σε χώρους σχεδιασμένους για στερεά αστικών αποβλήτων.
2. Τα απόβλητα ορυχείων τα οποία προέρχονται από τη διάθεση προϊόντων έκπλυσης ορυκτών πόρων. Πριν την απόρριψή τους στο έδαφος, γίνεται διαχωρισμός σε χονδρόκοκκο κλάσμα και σε υδαρές λεπτόκοκκο κλάσμα, τα οποία και διατίθενται ξεχωριστά. Στην Ελλάδα τέτοια προβλήματα αντιμετωπίζονται στη Μεγαλόπολη και την Πτολεμαΐδα όπου έχουμε τα λιγνιτωρυχεία.
3. Τα βιομηχανικά απόβλητα τα οποία αποτελούνται από απόβλητα χημικών βιομηχανιών, γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό τους (γύρω στο 15%), ανήκει στα επικίνδυνα ή τοξικά απόβλητα και μάλιστα τα τελευταία χρόνια, έχει απαγορευτεί η ταφή τέτοιου είδους αποβλήτων σε υγρή κατάσταση.
4. Άλλα επικίνδυνα απόβλητα όπου σε αυτή την κατηγορία ανήκουν ανόργανα απόβλητα σε αιώρηση ή διάλυση εντός ύδατος, οργανικά υδατοδιαλυτά απόβλητα, οργανικά μη - υδατοδιαλυτά απόβλητα (τα οποία επιπλέον, διακρίνονται σε ελαφρότερα του νερού που επιπλέουν στην επιφάνεια υδροφορέων και βαρέα που βυθίζονται και εξαπλώνονται), απόβλητα με μορφή παχύρρευστων υγρών και τα νοσοκομειακά απόβλητα.

Στην περίπτωση της χρήσης λιπασμάτων (νιτρικό και θειικό αμμώνιο, ουρία, φωσφορικά άλατα, άλατα καλίου), ναι μεν το έδαφος εμπλουτίζεται με θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, αλλά απ' την άλλη αυτά, 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 να αλλοιώνεται και η συγκράτηση του νερού στο έδαφος να μειώνεται. Με την μείωση του νερού, αυξάνεται η απώλεια θρεπτικών συστατικών και μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους. Η προσπάθεια δηλ. των γεωργών να αυξήσουν την απόδοση (χωρίς την σωστή διαχείριση του προβλήματος), οδηγεί στην αύξηση της τοξικότητας των νιτρικών και άλλων λιπασμάτων στο έδαφος και στα νερά.

Επίσης παρόμοια προβλήματα ρύπανσης, δημιουργούν και ορισμένα από τα φυτοφάρμακα και οι μεταβολίτες τους. 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.

Όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα, αν και οι χαμηλές συγκεντρώσεις τους μπορούν να γίνουν αποδεκτές από ορισμένα φυτά χωρίς να προκαλούν τοξικές βλάβες, οι υψηλές συγκεντρώσεις τους, 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 (για τις τοξικολογικές αυτές δοκιμασίες έχουν δημιουργηθεί ειδικά πρωτόκολλα πειραματικών τεχνικών), ως ευαίσθητοι βιοδείκτες για βαρέα μέταλλα, φυτοφάρμακα και άλλους τοξικούς ρύπους.

Ατυχήματα και διαρροές πετρελαίου ρυπαίνουν επίσης σε επικίνδυνο βαθμό τα εδάφη και καλούμαστε στην παρούσα μελέτη να αναλύσουμε περαιτέρω ότι αφορά τον τομέα αυτό. Πιο κάτω θα αναφερθούμε συγκεκριμένα στο πετρέλαιο και πως αυτό ρυπαίνει τα εδάφη.

Επίπλεον των όσων έχουν προαναφερθεί, αξίζει να πούμε και για το έδαφος, το οποίο γίνεται αποδέκτης και των ατμοσφαιρικών ρύπων που κατακρημνίζονται με αργούς ρυθμούς, απορροφούνται από το έδαφος και μεταφέρονται στα διάφορα εδαφικά περιβαλλοντικά διαμερίσματα με την 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, την 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. Διάφορες μελέτες για τις συγκεντρώσεις τους και τους μηχανισμούς τοξικότητας γίνονται κατά καιρούς, απο εξειδικευμένα κέντρα και οργανισμούς, χρησιμεύοντας έτσι στην εκτίμηση του κινδύνου για το περιβάλλον των ζωντανών οργανισμών και την υγεία του ανθρώπου.

2.2.1 Ρύπανση της ακόρεστης ζώνης του υπεδάφους

Ένα οργανικό υγρό που απελευθερώνεται στην ακόρεστη ζώνη σε επαρκή ποσότητα για να διαποτίσει το χώμα (για να γεμίσει όλους τους ανοιχτούς χώρους μεταξύ των εδαφολογικών μορίων), τείνει να βυθιστεί προς τη στάθμη του υπόγειου νερού από τη βαρύτητα, ανεξάρτητα από την πυκνότητά του. Το υγρό ακολουθεί τις ζώνες της υψηλότερης διαπερατότητας και τείνει να διαδοθεί πλευρικά στα λιγότερο διαπερατά στρώματα. Δεδομένου ότι το υγρό μεταναστεύει μέσω της ακόρεστης ζώνης, κάποια ποσότητα από αυτό παγιδεύεται από τριχοειδείς δυνάμεις στους εδαφολογικούς πόρους. Το ποσό του υγρού που παραμένει, αναφέρεται ως κορεσμένο ίζημα και εκφράζεται γενικά ως ποσοστό επί τοις εκατό του κενού μέρους

του χώματος που καταλαμβάνεται από το υγρό. Το κορεσμένο ίζημα αυξάνεται γενικά, όσο μειώνεται το μέγεθος της μάζας πετρωμάτων και πόρων.

Η μετανάστευση μολυσματικών παραγόντων στο υπέδαφος μετά π.χ από μία διαρροή, μπορεί να χαρακτηριστεί από τρεις διαδοχικές διαδικασίες :

1. Διήθηση μέσω της ακόρεστης ζώνης.
2. Παρέισφρηση και διάδοση στη διαποτισμένη ζώνη.
3. Διάλυση στη διαποτισμένη ζώνη.

Ανάλογα με το βάθος της στάθμης των υπόγειων νερών κάτω από την περιοχή διαρροής, τον όγκο διαρροής, τη φύση των κάτω από την επιφάνεια υλικών, και το ιξώδες του προϊόντος υδρογονανθράκων, η μόλυνση μπορεί γρήγορα να φτάσει στη διαποτισμένη ζώνη. Εάν η στάθμη νερού εμφανίζεται σε μεγάλο βάθος κάτω από την περιοχή διαρροής (ή / και ο όγκος διαρροής είναι χαμηλός), οι υδρογονάνθρακες μπορούν να παγιδευτούν στην ακόρεστη ζώνη, πριν φτάσουν στη στάθμη νερού.

Δεδομένου ότι οι υδρογονάνθρακες μεταναστεύουν προς τα κάτω, μέσω της ακόρεστης ζώνης, μερική ποσότητα από αυτό μπορεί να εξατμιστεί και να σχηματίσει ατμό γύρω από τον υγρό πυρήνα. Εάν όλα τα υγρά υπολείμματα παγιδεύονται στο χώμα ως μάζα κορεσμού και δεν φτάνουν στο επίπεδο του υπόγειου νερού (όπως είναι κοινό με μια μικρή διαρροή), οι ατμοί μπορούν να συνεχίσουν να μεταναστεύουν και να διαλύονται στα υπόγεια νερά, μολύνοντας τα. Επιπλέον, η επανατροφοδότηση μπορεί να διαλύσει τις υπόλοιπες οργανικές ουσίες και να επιτρέψει την διήθησή τους στην στάθμη του υπόγειου νερού.

Η μακροχρόνια διάρκεια καθαρισμού πολλών προγραμμάτων επανόρθωσης και επεξεργασίας υπόγειων νερών έχει χρεωθεί, εν μέρει, την αποτυχία να αφαιρέσει τους υπολειμματικούς ρύπους από τη διαποτισμένη ακόρεστη ζώνη. Τα διορθωτικά μέτρα για την απορρύπανση μολυσμένων εδαφών, περιλαμβάνουν ανασκαφή και εξωτερική εναπόθεση, ανασκαφή και επί τόπου επανόρθωση, και τεχνικές όπως η εξαγωγή ατμού. Η ανασκαφή και η εξωτερική εναπόθεση είναι μια προσφιλή τεχνική, όταν η μόλυνση είναι «ρηχή» και οφείλεται σε υδρογονάνθρακες όπως ντίζελ ή καύσιμα αεριωθούμενων. Οι πιο πρόσφατες έρευνες έχουν τεκμηριώσει τη δυνατότητα των φρεατίων διεξόδων ατμού στο να υποβιβάζουν βιολογικά αυτά τα προϊόντα καυσίμων.

2.2.1.1 Διάχυτη ρύπανση υπεδάφους και των υπόγειων νερών

Τα υπόγεια νερά, αποτελούν αναπόσπαστο στοιχείο του υδρολογικού κύκλου. Για παράδειγμα το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην γήινη επιφάνεια, μέσω βροχοπτώσεων και χιονοπτώσεων, τροφοδοτώντας ποτάμια ή διαπερνώντας το έδαφος και τροφοδοτώντας τους ταμειυτήρες υπογείων νερών (κορεσμένη ζώνη). Η εξατμηση επαναφέρει το νερό στην ατμόσφαιρα κ.ο.κ. Από την άλλη πλευρά, υπάρχει συνεχής αλληλεπίδραση επιφανειακών (ποτάμια, λίμνες) και υπογείων νερών. Όμως, τα υπόγεια νερά, έχουν κάποιες ιδιόζουσες διαφορές σε σχέση με τα επιφανειακά :

1. Δεν μπορούν να παρατηρηθούν άμεσα.

2. Μπορεί να ρυπανθούν χωρίς αυτό να γίνει αντιληπτό από τον αίτιο ή τον χρήστη.
3. Δεν έχουν ιδιότητες αυτοκαθαρισμού.
4. Εφόσον ρυπανθούν είναι δύσκολο να επιστρέψουν στην προηγούμενη κατάσταση.

Τα παραπάνω έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα των επιφανειακών νερών όταν τα υπόγεια νερά, εισέρχονται στο σύστημα των επιφανειακών και όταν χρησιμοποιούνται σαν πηγή πόσιμου νερού ή για άρδευση. Εν γένει η μεταφορά ρύπων δια μέσου της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης του υπεδάφους, εξαρτάται από την τοπική υδρογεωλογία, την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους, καθώς και από τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υπό διερεύνηση ρύπων.

Από την άλλη πλευρά, η τελική κατάληξη των ρύπων που εισέρχονται στο υπέδαφος, είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης ενός σημαντικού αριθμού φυσικών, χημικών, βιολογικών διεργασιών όπως είναι η ελεύθερη ροή λόγω βαρύτητας ή εξαναγκασμένη ροή με το νερό της βροχής, ρόφηση στην οργανική φάση της στερεάς επιφάνειας των κόκκων του υπεδάφους, διαλυτοποίηση και υδροδυναμική διασπορά στη ρέουσα υδατική φάση του ταμιευτήρα και στο νερό διείσδυσης της ακόρεστης ζώνης (infiltrating water), εξάτμιση, βιοχημική αποικοδόμηση με την παρουσία συμφύων βακτηρίων, χημική αποικοδόμηση μέσω αβιοτικής υδρόλυσης, κ.τ.λ.

2.2.2 Τα πετρελαιοειδή ως αιτία ρύπανσης των εδαφών

Τα τελευταία χρόνια, σημαντικό πρόβλημα ρύπανσης των εδαφών (αλλά και των υπόγειων νερών) 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 παλιές εγκαταστάσεις διυλιστηρίων, τα πρατήρια υγρών καυσίμων και τα διάφορα ατυχήματα σε εγκαταστάσεις άντλησης πετρελαίου. Μάλιστα οι επιχειρήσεις προσθέτουν τώρα συστήματα καταγραφής των αποθεμάτων των δεξαμενών, έτσι ώστε οι διαφυγές να μπορούν να εντοπιστούν πριν να συμβεί σημαντική περιβαλλοντική καταστροφή.

Η τοξικότητα του πετρελαίου λόγω της ύπαρξης αδιάλυτων υδρογονανθράκων, πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων (Π.Α.Υ) και πτητικών αρωματικών ενώσεων (Β.Τ.Ε.Χ κ.λ.π), καθιστά τη ρύπανση επικίνδυνη για τους χερσαίους οργανισμούς, την χλωρίδα και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Σε πολλές χώρες, υπάρχουν μάλιστα και αυστηρές προδιαγραφές για τις εγκαταστάσεις διύλισης πετρελαίου και προγράμματα καθαρισμού εδαφών που έχουν ρυπανθεί από παλαιές εγκαταστάσεις.

Υπό κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, αυτά τα προϊόντα εμφανίζονται ως υγρά δηλ. σε υγρή φάση. Επειδή οι ενώσεις σε αυτά τα καύσιμα έχουν χαμηλά σημεία βρασμού, μπορούν επίσης να εμφανιστούν ως ατμοί δηλ. σε αέρια φάση. Επειδή πολλές οργανικές ενώσεις που περιλαμβάνονται στα προϊόντα καυσίμων υδρογονανθράκων είναι διαλυτές στο νερό, μπορούν επίσης να εμφανιστούν σε υδατοδιαλυτή κατάσταση δηλ. υδατική φάση. Εντούτοις, η διαλυτότητα αυτών των ενώσεων είναι περιορισμένη. Εάν για παράδειγμα, ένα

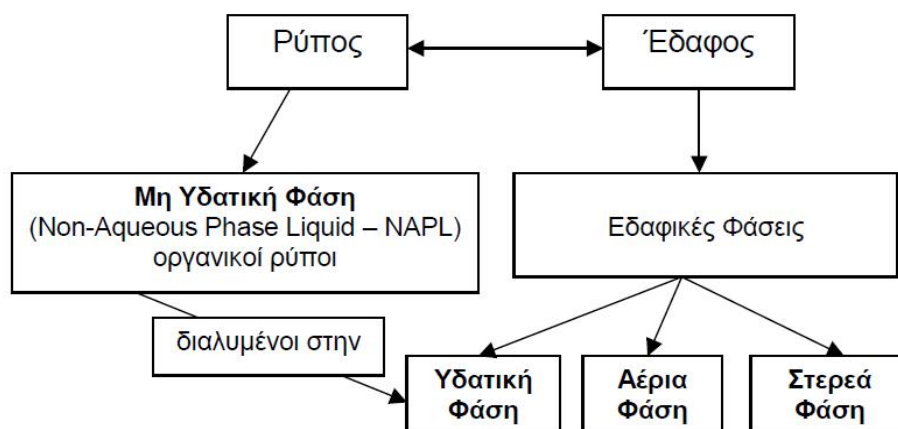
σημαντικό ποσό υδρογονάνθρακα έρθει σε επαφή με το νερό, θα διαλυθεί μόνο ένα μέρος. Το υπόλοιπο θα παραμείνει ως ξεχωριστό υγρό, σε επαφή με το νερό αλλά όχι αναμειγμένο με αυτό. Το χωριστό αυτό υγρό αναφέρεται ως N.A.P.L. Εάν το N.A.P.L έχει μια υψηλότερη πυκνότητα από το νερό (π.χ οι περισσότεροι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες), αναφέρεται κι αυτό ως πυκνό D.N.A.P.L. Ομοίως, L.N.A.P.L όπως η βενζίνη, το ντίζελ, τα καύσιμα αεριωθούμενων κ.λ.π, συνίστανται από ενώσεις ελαφρύτερες από το νερό. Περισσότερη ανάλυση των N.A.P.L's γίνεται στο Κεφάλαιο 3.

Τα σοβαρά προβλήματα περιβαλλοντικής ρύπανσης και οι επιπτώσεις σε ευαίσθητα οικοσυστήματα που προκαλεί το πετρέλαιο, αποτελούν θέματα περιβαλλοντικής τοξικολογίας, όπως επίσης και ο καθαρισμός των ρυπασμένων εδαφών από πετρέλαιο με διάφορες τεχνικές, έχουν αποτελέσει ειδικό κλάδο της περιβαλλοντικής επιστήμης και διαχείρισης των αποβλήτων (Περιβαλλοντική Γεωτεχνική). Σημειώνεται ότι στον τομέα αυτό έχουν γίνει και γίνονται σημαντικές έρευνες και τις οποίες θα παρουσιάσουμε στο επόμενο Κεφάλαιο 3.

2.2.2.1 Αλληλεπίδραση ρύπων - πετρελαιοειδών με το έδαφος

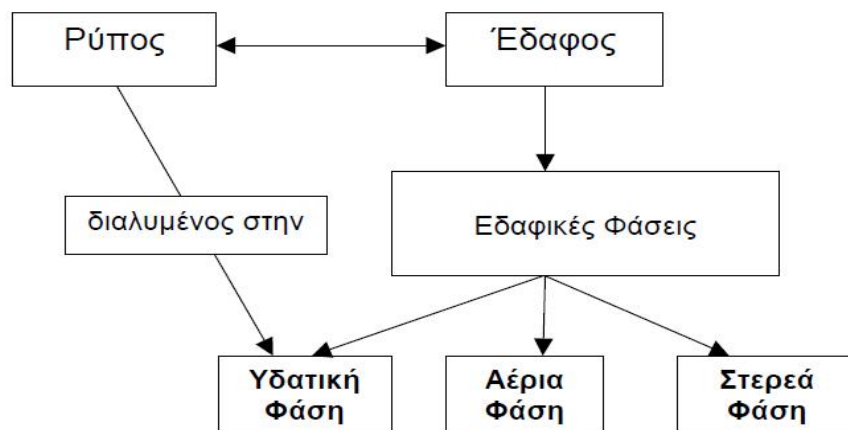
Το αντικείμενο της αλληλεπίδρασης των ρύπων με το έδαφος είναι θεμελιώδης γνώση, που απαιτείται για να απαντηθούν ερωτήματα που ενδιαφέρουν σε πραγματικά προβλήματα προστασίας και αποκατάστασης του υπεδάφους. Ένα τέτοιο ποιοτικό ερώτημα είναι το πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι για ένα ρύπο να μεταφερθεί από το υπόγειο νερό στον αέρα της ακόρεστης ζώνης. Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα, ενδιαφέρει για να εκτιμήσουμε αν πρέπει να λάβουμε υπόψη μεταφορά του ρύπου και στην υγρή και στην αέρια φάση (δηλ. και στην κορεσμένη και στην ακόρεστη ζώνη, αντίστοιχα). Αυτή η απάντηση, επίσης ενδιαφέρει και για την επιλογή μεθόδου απορρύπανσης, καθώς αρκετές τεχνολογίες αποκατάστασης του υπεδάφους, βασίζονται στην μεταφορά πτητικών ρύπων από την υγρή στην αέρια φάση.

Για να μελετήσουμε την αλληλεπίδραση μεταξύ του εδάφους και ενός ρύπου (στην περίπτωση μας πετρελαιοειδή), είναι απαραίτητο να διαχωρίσουμε τις φάσεις του κάθε ενός, όπως στο Σχήμα 2.1 που ακολουθεί :



Σχήμα 2.1 : Οι φάσεις του εδάφους και του ρύπου που χρειάζεται να μελετηθούν στην πιο γενική περίπτωση ρύπανσης και αποκατάστασης του υπεδάφους

Το Σχήμα 2.1, αντιστοιχεί σε περιπτώσεις διαρροής στην ακόρεστη ζώνη, οργανικών ρύπων που δεν αναμειγνύονται με το νερό, (όπως π.χ πετρελαιοειδή, βενζίνη κ.λ.π), για τους οποίους έχει επικρατήσει ο αγγλικός όρος nonaqueous phase liquids ή N.A.P.L's (τους αναλύουμε διεξοδικά στο Κεφάλαιο 3). Στην ακόρεστη ζώνη, όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 1, διαχωρίζουμε τρεις εδαφικές φάσεις, την στερεά, την υγρή και την αέρια. Όσον αφορά τον οργανικό ρύπο, διαχωρίζουμε περιπτώσεις όπου αυτός έχει διαρρεύσει ως ξεχωριστή φάση (π.χ. διαρροή από υπόγεια δεξαμενή πρατηρίου καυσίμων), όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, ή ως υδατικό διάλυμα (π.χ. διαρροή υγρών αποβλήτων χημικής διεργασίας, τα οποία περιέχουν κάποια ποσότητα ρύπου πλήρως διαλυμένου σε νερό), όπως βλέπουμε στο πιο κάτω Σχήμα 2.2 :



Σχήμα 2.2 : Οι φάσεις του εδάφους και του ρύπου που χρειάζεται να μελετηθούν σε περιστατικά διαρροής υδατικού διαλύματος ρύπου

Από τη στιγμή που ο ρύπος θα διαρρεύσει στο υπέδαφος, είτε ως ξεχωριστή φάση ή ως υδατικό διάλυμα, θα κατανομηθεί σε όλες τις εδαφικές φάσεις και η κατανομή αυτή στις διάφορες φάσεις, περιγράφεται από φυσικοχημικούς νόμους. Η βασική αρχή από την οποία απορρέουν αυτοί οι νόμοι, είναι ότι ο ρύπος θα «μοιραστεί» ανάμεσα στις φάσεις ώσπου να επιτευχθεί χημική ισορροπία. Η κατανομή ενός συγκεκριμένου ρύπου περιγράφεται από τις φυσικοχημικές του ιδιότητες, οι οποίες εκφράζουν τις σχετικές «προτιμήσεις» του ρύπου ανάμεσα στις φάσεις.

Η μελέτη της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ρύπων και του εδάφους απαιτεί συστηματική κατασήμανση της κάθε φάσης και των συστατικών της και γι' αυτόν το λόγο, χρησιμοποιούμε δείκτες, για να διακρίνουμε μεταξύ όλων, την αέρια (α), την υδατική (w), την στερεά (s) και, στη γενική περίπτωση, την μη υδατική υγρή φάση (n).

Παράδειγμα, για συγκεκριμένο ρύπο (A), θα διακρίνουμε μεταξύ των ατμών του ρύπου, οι οποίοι θα χαρακτηρίζονται από τη συγκέντρωσή τους (C) στην αέρια φάση ($CA\alpha$ - μάζα ρύπου A ανά όγκο της αέριας φάσης στους εδαφικούς πόρους), του διαλυμένου ρύπου σε συγκέντρωση (CAw - μάζα ρύπου A ανά όγκο νερού στους εδαφικούς πόρους), και του εισροφημένου ρύπου (Cas - μάζα ρύπου A ανά ξηρή μάζα εδαφικών στερεών). Έτσι για να υπολογίσουμε τη μάζα ενός ρύπου στο έδαφος, θα πρέπει να προσδιορίσουμε τις προαναφερθείσες συγκεντρώσεις στις

τρεις εδαφικές φάσεις και να πολλαπλασιάσουμε με την αντίστοιχη ποσότητα αναφοράς.

Η αναλογία των εδαφικών φάσεων δίνεται από τα εδαφομηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως το πορώδες ($n = \text{όγκος εδαφικών πόρων} / \text{όγκος εδαφικού δείγματος}$), την ξηρή πυκνότητα του εδάφους ($\rho_d = \text{μάζα εδαφικών στερεών} / \text{όγκος εδαφικού δείγματος}$) και τον βαθμό κορεσμού για το νερό ($S_w = \text{όγκος νερού στους εδαφικούς πόρους} / \text{όγκος εδαφικών πόρων}$). Για τον υπολογισμό της συνολικής μάζας στην περίπτωση οργανικού ρύπου που δεν αναμειγνύεται με το νερό, θα πρέπει επίσης να ξέρουμε αν υπάρχει στο υπέδαφος και μη υδατική υγρή φάση, η ποσότητα της οποίας μπορεί να υπολογιστεί με τον βαθμό κορεσμού για την μη υδατική φάση ($S_n = \text{όγκος μη υδατικής φάσης στους εδαφικούς πόρους} / \text{όγκος εδαφικών πόρων}$) και την πυκνότητα του μη υδατικού ρύπου.

2.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η συνεχής υποβάθμιση της ποιότητας ζωής που οφείλεται στην ρύπανση του περιβάλλοντος, καθιστά αναγκαία την λήψη μέτρων για τον περιορισμό της καθώς και την αποκατάσταση των ήδη ρυπασμένων περιοχών. Τα μέτρα αυτά προστασίας του περιβάλλοντος αφορούν :

1. Την διατήρηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των νερών, της ατμόσφαιρας και του εδάφους.
2. Την ανάπτυξη τεχνολογιών και δημιουργία εγκαταστάσεων για τον καθαρισμό ή και την αξιοποίηση υγρών και στερεών αποβλήτων, αστικής και βιομηχανικής προέλευσης.
3. Την προστασία του φυσικού πλούτου και των πολιτιστικών μνημείων μιας περιοχής.
4. Την προστασία των πολιτών από τον θόρυβο.
5. Την προστασία από ακτινοβολίες κ.λ.π.

Τις τεχνολογίες αντιμετώπισης των ρύπων τις κατατάσσουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

1. Τεχνολογίες αντιρρύπανσης που αναφέρονται στην αντιμετώπιση της ρύπανσης που έχει ήδη εισαχθεί ή εισάγεται στο περιβάλλον από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές (δηλ. με σκοπό την αντιμετώπιση της ρύπανσης).
2. Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες των οποίων ο σχεδιασμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται η δημιουργία ρύπων (δηλ. με σκοπό την πρόληψη - αποφυγή της ρύπανσης).

Πράγματι τα τελευταία χρόνια γίνονται μεγάλες προσπάθειες προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης και της εφαρμογής αντιρρυπαντικών τεχνολογιών σε

βιομηχανικό, αστικό, συγκοινωνιακό κ.λ.π επίπεδο, με σκοπό την σταδιακή αντικατάσταση συμβατικών ρυπογόνων τεχνολογιών.

Για τον περιορισμό της ρύπανσης όλες οι χώρες εισάγουν και εφαρμόζουν διάφορα νομοθετικά μέτρα και συνάπτουν μεταξύ τους διακρατικές συμφωνίες, τα οποία και αναλύουμε στο Κεφάλαιο 6. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα της ρύπανσης παραμένει οξύτατο ειδικά σε περιοχές ή οικοσυστήματα με χρόνια επιβάρυνση.

2.3.1 Πλαίσιο εργασίας για την επιλογή μεθόδων απορρύπανσης

Η σωστή επιλογή της κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης που θα εφαρμοστεί σε μια μολυσμένη περιοχή, είναι μια αρκετά δύσκολη διαδικασία. Η διαχείριση των μολυσμένων περιοχών στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, βασίζεται σε μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί και υιοθετηθεί με βάση το είδος της μόλυνσης. Ποιο συγκεκριμένα κατά την διαδικασία επιλογής μιας μεθόδου απορρύπανσης, για να έχει η εφαρμογή της τα βέλτιστα αποτελέσματα, θα πρέπει να μελετούνται οι εξής παράγοντες :

1. Οι αρχές και οι αιτίες εφαρμογής καθώς και οι στόχοι της μεθόδου απορρύπανσης.
2. Η εκτίμηση της επικινδυνότητας της ρύπανσης ή ανάλυση διακινδύνευσης (εδώ σημειώνεται πως στην επόμενη υποενότητα 2.3.2, θα αναλυθούν περαιτέρω οι μεθόδοι ανάλυσης διακινδύνευσης, καθώς αποτελούν ένα πολύ σημαντικό και χρήσιμο εργαλείο, αφενός μεν για την αξιολόγηση και ποσοτικοποίηση των κινδύνων (σε ότι αφορά την υγεία των ανθρώπων και την ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος) και αφετέρου, για την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων αποκατάστασης).
3. Η βιομηχανική και οικονομική ανάπτυξη (υποφερτή ανάπτυξη).
4. Οι απόψεις των ανθρώπων που επηρεάζονται από την εφαρμογή της μεθόδου απορρύπανσης.
5. Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.
6. Η τεχνική αποτελεσματικότητα της μεθόδου.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι λόγοι εφαρμογής μιας μεθόδου απορρύπανσης είναι ένας από τους παρακάτω :

1. Να προστατευτεί η ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Έτσι στις περισσότερες χώρες η νομοθεσία επιβάλλει άμεση απορρύπανση των περιοχών που παρουσιάζουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία ή απειλούν άλλους αποδέκτες της περιοχής.
2. Να διευκολυνθεί η ανάπτυξη των ήδη κατεστραμμένων περιοχών, που πραγματοποιείται κυρίως για οικονομικούς λόγους.

3. Να αυξήσει την αξία μιας μολυσμένης περιοχής μέσω της καθαρότητας του εδάφους.

Αυτά τα σενάρια απευθύνονται σε περιοχές που είναι ήδη μολυσμένες και επιβάλλεται άμεση απορρύπανση. Σήμερα κύριος στόχος δεν είναι μονάχα η απορρύπανση μιας μολυσμένης περιοχής, αλλά κυρίως η πρόληψη και η αποφυγή της ανάπτυξης μόλυνσης, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, στις κατηγορίες αντιμετώπισης των ρύπων.

Η αξιολόγηση και η διαχείριση των κινδύνων μιας μολυσμένης περιοχής βασίζεται στο πρότυπο του «δεσμού μόλυνσης» και αυτό περιλαμβάνει τρεις συνιστώσες :

1. Τις αιτίες της μόλυνσης (πηγή).
2. Τους αποδέκτες (δέκτης).
3. Την πορεία με την οποία ο αποδέκτης έρχεται σε επαφή με τις ουσίες της μόλυνσης (μονοπάτι).

Στις περισσότερες χώρες ο έλεγχος της επικινδυνότητας γίνεται σπάζοντας την αλυσίδα της μόλυνσης. Αυτό είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με την μείωση ή την τροποποίηση της πηγής ρύπανσης, σπάζοντας το μονοπάτι ή μετριάζοντας την έκθεση του αποδέκτη σε μολυσματικές ουσίες. Οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να μελετούνται στην λήψη μιας απόφασης σχετικά με την μέθοδο διαχείρισης μιας μολυσμένης περιοχής είναι οι εξής τρεις :

1. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου απορρύπανσης.
2. Οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις της μεθόδου.
3. Οι σχετικές οικονομικές, πολιτικές και κοινωνικές αξίες.

Οι γενικότερες περιβαλλοντικές επιδράσεις της εφαρμογής μιας μεθόδου απορρύπανσης, είναι διαφορετικές από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με το είδος και το μέγεθος της μόλυνσης. Κατά την διάρκεια εφαρμογής μια μεθόδου απορρύπανσης, μπορεί να υπάρχουν πολλές προσωρινές αρνητικές επιπτώσεις, (όπως για παράδειγμα δημιουργία προβλημάτων συγκοινωνίας, ελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα, θόρυβος κ.α) αλλά και πολλές μόνιμες αρνητικές επιπτώσεις (π.χ απελευθέρωση ευσταθών ενώσεων). Αρκετές φορές όμως, η εφαρμογή κατάλληλης μεθόδου απορρύπανσης, οδηγεί σε θετικά αποτελέσματα (π.χ βελτίωση της ποιότητας του εδάφους και γενικότερα του οικοσυστήματος, κ.α).

Συνεπώς η σωστή διαχείριση του κινδύνου που αφορά μια μολυσμένη περιοχή, απαιτεί την δημιουργία μιας λίστας, η οποία θα περιλαμβάνει όλους τους πιθανούς τρόπους απορρύπανσης, οι οποίοι με τη σειρά τους θα πρέπει να μελετηθούν, να αξιολογηθούν και να συγκριθούν μεταξύ τους, ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη και αποτελεσματικότερη.

Απο την εφαρμογή όμως μιας οποιασδήποτε μεθόδου απορρύπανσης, δεν γίνεται να μην είχαμε και την άμεση επίδραση των ανθρώπων της περιοχής που απορρυπαίνεται. Οπότε αυτοί οι οποίοι επηρεάζονται από την εφαρμογή της μεθόδου απορρύπανσης μιας περιοχής είναι συνήθως οι παρακάτω :

1. Οι κάτοχοι της περιοχής.
2. Οι διοικητικές αρχές της περιοχής.
3. Η οικονομική κοινότητα (τράπεζες, δανειστές, ασφαλιστές κ.α).
4. Οι γείτονες της περιοχής (ενοικιαστές, κάτοικοι, επισκέπτες).
5. Οι σύμβουλοι, οι εργολάβοι, και οι πλανόδιοι πωλητές της περιοχής.
6. Οι ερευνητές (σε μερικές περιπτώσεις).

Ο καθένας από τους παραπάνω έχει τις δικές του προοπτικές και φιλοδοξίες για μια περιοχή. Η πιο κατάλληλη μέθοδος απορρύπανσης, όμως, είναι αυτή η οποία καταφέρνει να προσφέρει μια ισορροπία ανάμεσα στις ανάγκες όλων των παραπάνω, περιλαμβάνοντας επίσης την ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος.

2.3.1.1 Οικονομοτεχνική μελέτη μεθόδων απορρύπανσης

1. Οικονομική αποτελεσματικότητα :

Σκοπός της αξιολόγησης του κόστους και των πλεονεκτημάτων δηλαδή της οικονομοτεχνικής μελέτης είναι η σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων απορρύπανσης (βλ. Παράρτημα II, στο τέλος της μελέτης). Η ανάλυση του κόστους και των πλεονεκτημάτων κάθε μεθόδου, περιλαμβάνει την μελέτη των επιδράσεων των διαφόρων μεθόδων απορρύπανσης, οι οποίες τις περισσότερες φορές διαφέρουν. Οι επιδράσεις αυτές έχουν να κάνουν με την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την χρήση της γης κ.α.

Τα μέλη της ομάδας τα οποία είναι υπεύθυνα για την λήψη απόφασης για την πιο κατάλληλη (ανάμεσα στις μεθόδους) απορρύπανσης, για μια συγκεκριμένη περιοχή, είναι κυρίως οι κάτοχοι της γης και οι διοικητικές αρχές, δηλαδή αυτοί που άμεσα επηρεάζονται από την εφαρμογή μιας μεθόδου απορρύπανσης. Όλοι οι υπόλοιποι μπορεί μεν να επηρεάζονται από την εφαρμογή της αλλά τις περισσότερες φορές δεν λαμβάνονται υπ' όψη.

Κατά την επιλογή μιας μεθόδου απορρύπανσης, κύριος στόχος είναι η όσον το δυνατόν πιο οικονομική εφαρμογή της μεθόδου, η οποία θα επιτύχει τα επιθυμητά αποτελέσματα και θα αυξήσει την αξία της γης στην οποία εφαρμόζεται.

2. Τεχνική αποτελεσματικότητα :

Η κατάλληλη τεχνολογία απορρύπανσης μια περιοχής, είναι αυτή που είναι σε αρμονία με τα τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια της περιοχής. Παρόλα αυτά όμως, πολλές φορές είναι δυνατόν μια προτεινόμενη λύση να είναι κατάλληλη αλλά να μην είναι εφαρμόσιμη. Γενικά είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα η αποτελεσματικότητα των καινοτόμων προσεγγίσεων. Τις περισσότερες φορές αυτές οι προσεγγίσεις είναι σε θέση να επιτύχουν αειφόρο ανάπτυξη, και συνήθως έχουν μικρές αρνητικές επιπτώσεις.

Για την μελέτη της καταλληλότητας διαφορετικών μεθόδων απορρύπανσης και προσεγγίσεων για μια συγκεκριμένη περιοχή χρησιμοποιείται το παρακάτω ερωτηματολόγιο :

1. Τι πραγματικά προσδοκούμε από την εφαρμογή μιας μεθόδου απορρύπανσης σε σχέση με τον έλεγχο του μονοπατιού της μόλυνσης και την προστασία του αποδέκτη της μόλυνσης;
2. Από αυτά που προσδοκούμε, τι είναι εφικτό να πραγματοποιηθεί; Για παράδειγμα πολλές φορές είναι αδύνατο να εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη μέθοδος λόγω των χαρακτηριστικών της περιοχής.
3. Ποιες είναι οι γενικότερες επιπτώσεις από την εφαρμογή της μεθόδου;
4. Ποια κριτήρια κατά την διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου θα καθορίσουν την ενδεχόμενη επιτυχία ή αποτυχία της μεθόδου;
5. Με το πέρας της εφαρμογής της μεθόδου μπορούμε να επιβεβαιώσουμε την επιτυχία της; Ποιες διαδικασίες έλεγχου και αποτίμησης απαιτούνται;

Η χρήση των παραπάνω ερωτήσεων παρέχει ένα πλαίσιο εργασίας με το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί :

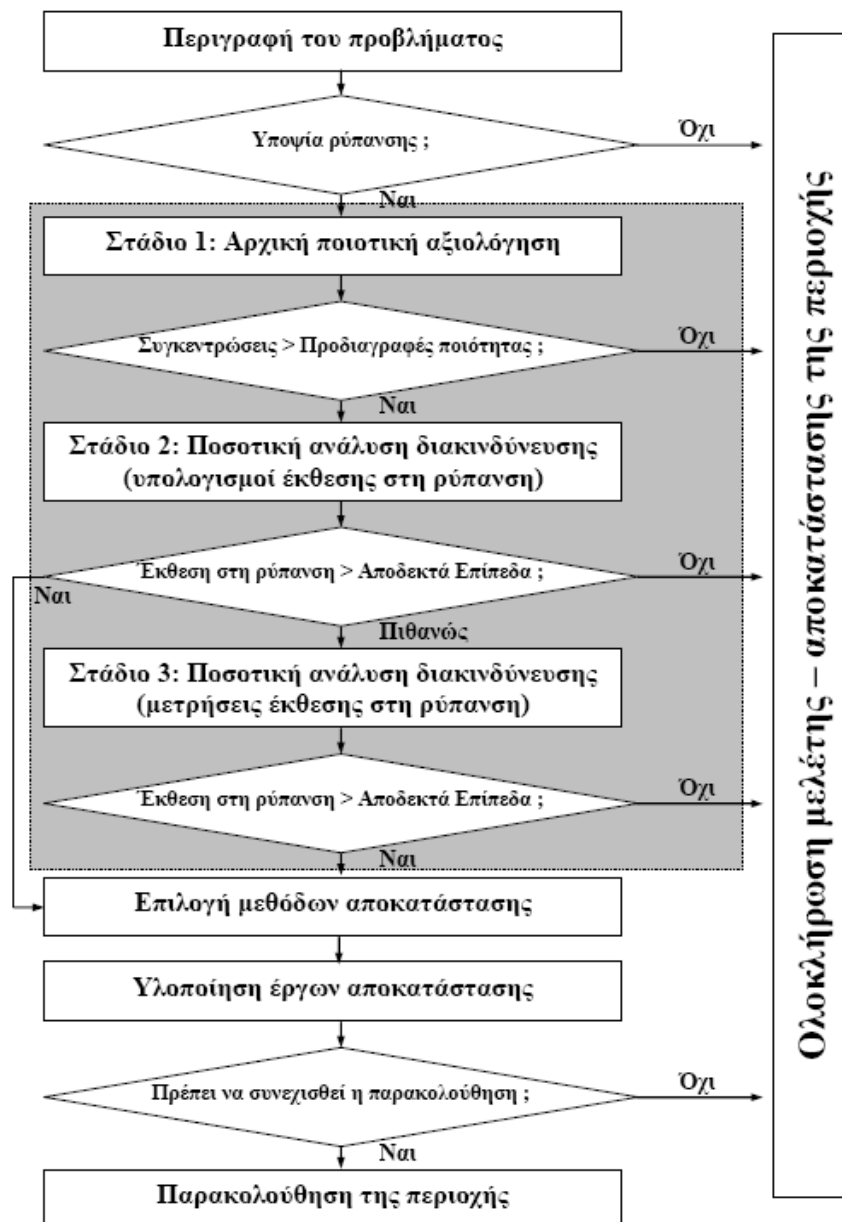
1. Πότε μια μέθοδος απορρύπανσης μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά σε μια μολυσμένη περιοχή.
2. Τι τεχνικές προφύλαξης μπορεί να χρειάζεται να συμπεριληφθούν στην εφαρμογή της μεθόδου.
3. Που υπάρχουν σημαντικά κενά γνώσεων, τα οποία επηρεάζουν την απόδοση της μεθόδου απορρύπανσης.
4. Που υπάρχουν κενά γνώσεων που αφορούν τις τεχνικές επιτόπιας εφαρμογής της μεθόδου (in situ), την αποτίμηση και τον έλεγχο. Σημειώνεται εδώ πως οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την απορρύπανση των εδαφών, γίνονται επιτόπου στην περιοχή μόλυνσης (δηλ. in - situ), ή μετά απο εκσκαφή τμήματος του μολυσμένου εδάφους και η μετέπειτα μεταφορά - επεξεργασία του στα εργαστήρια (δηλ. ex - situ), για εξέταση της καταλληλότερης μεθόδου απορρύπανσης του. Όλες οι τεχνικές αυτές αναλύονται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4.

2.3.2 Μέθοδοι ανάλυσης διακινδύνευσης και μαθηματικά μοντέλα

Η ανάλυση διακινδύνευσης, εντάσσεται μέσα σε μια γενικότερη διαδικασία λήψης αποφάσεων, όσον αφορά την διαχείριση περιοχών στις οποίες υπάρχουν υποψίες ρύπανσης. Τα γενικότερα στάδια αυτής της διαδικασίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.3 πιο κάτω.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, η ανάλυση διακινδύνευσης, λαμβάνει χώρα μετά την αρχική περιγραφή του προβλήματος, η οποία συνίσταται στην συγκέντρωση και αξιολόγηση των υφιστάμενων πληροφοριών για την περιοχή μελέτης. Οι

πληροφορίες αφορούν κυρίως τις προγενέστερες χρήσεις γης στην περιοχή, οι οποίες είναι πιθανό να έχουν προκαλέσει ρύπανση του χώρου. Εάν στην αρχική διερεύνηση του προβλήματος τεκμηριωθεί το ενδεχόμενο ρύπανσης, τότε πλέον αρχίζει η συστηματική ανάλυση διακινδύνευσης στην περιοχή.



Σχήμα 2.3 : Ανάλυση διακινδύνευσης για την διαχείριση των ρυπασμένων περιοχών (SFT, 1999)

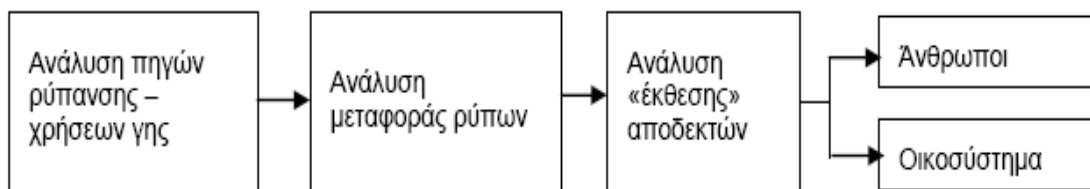
Η ανάλυση διακινδύνευσης διεξάγεται συνήθως σε τρία διαδοχικά στάδια αυξανόμενης περιπλοκότητας και λεπτομέρειας. Αυτή η προσέγγιση ακολουθείται, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η χρήση των διαθέσιμων πόρων, ανάλογα με τα προβλήματα ρύπανσης της κάθε περιοχής. Συνεπώς έχουμε :

1. Αρχική ποιοτική αξιολόγηση (βάσει γενικών προδιαγραφών ποιότητας των εδαφών) : Στο στάδιο αυτό γίνεται περιορισμένος αριθμός δειγματοληψιών στην περιοχή στην οποία υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ή υποψίες ρύπανσης (πηγή ρύπανσης). Οι συγκεντρώσεις των ρύπων στα συγκεκριμένα δείγματα συγκρίνονται με τις γενικές προδιαγραφές ποιότητας των εδαφών. Οι προδιαγραφές ποιότητας ορίζονται συνήθως λαμβάνοντας υπόψη τα επιδημιολογικά και τοξικολογικά στοιχεία, όσον αφορά τις επιπτώσεις των ρύπων στην υγεία των ανθρώπων (με βάση τα στοιχεία αυτά ορίζεται για κάθε ρύπο η Αποδεκτή Ημερήσια Πρόσληψη - Acceptable Daily Intake), όλα τα «μονοπάτια έκθεσης» (exposure pathways) των ανθρώπων στους ρύπους και τα οικοτοξικολογικά στοιχεία που αφορούν επίγειους ή υδρόβιους μικροοργανισμούς, φυτά ή ζώα.

Σημειώνεται ότι οι προδιαγραφές, ορίζονται για έναν «χαρακτηριστικό» τύπο εδαφών και με βάση γενικές ιδιότητες των ρύπων, συνθήκες οι οποίες είναι πιθανό να μην ισχύουν στην συγκεκριμένη περιοχή. Εμπεριέχουν εντούτοις μεγάλους συντελεστές ασφάλειας και θεωρούνται ασφαλή κριτήρια για το πρώτο στάδιο της ανάλυσης διακινδύνευσης.

Εάν όλα τα δείγματα έχουν συγκεντρώσεις χαμηλότερες από τις προδιαγραφές, τότε η περιοχή θεωρείται καθαρή και δεν συνεχίζεται η διαδικασία. Ένα παρατηρηθεί υπέρβαση των προδιαγραφών σε σημαντικό ποσοστό δειγμάτων, (π.χ > 10%), εφαρμόζεται το δεύτερο στάδιο της ανάλυσης. Σημειώνεται ότι ειδικά στους ανόργανους ρύπους είναι πιθανό το φυσικό γεωχημικό υπόβαθρο να είναι υψηλότερο από τις δημοσιευμένες προδιαγραφές. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται ως όριο για την αξιολόγηση της ρύπανσης το ίδιο το φυσικό υπόβαθρο.

2. Ποσοτική ανάλυση διακινδύνευσης (υπολογισμοί έκθεσης στη ρύπανση) : Στο δεύτερο στάδιο ανάλυσης διακινδύνευσης, λαμβάνονται υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής, όπως η τρέχουσα και μελλοντική χρήση γης, οι οδοί έκθεσης των ανθρώπων στους ρύπους όπως εξειδικεύονται στην περιοχή, το ενδεχόμενο μεταφοράς της ρύπανσης σε άλλους ευαίσθητους αποδέκτες, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εδάφους και των ρύπων, κ.λ.π. Τα επιμέρους στοιχεία της ανάλυσης στο δεύτερο στάδιο παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.4 :



Σχήμα 2.4 : Τα επιμέρους στοιχεία της ποσοτικοποιημένης ανάλυσης διακινδύνευσης

Η ανάλυση πηγών ρύπανσης - χρήσεων γης, περιλαμβάνει την λεπτομερή περιγραφή των περιοχών υψηλής ρύπανσης (με συμπληρωματικές αν χρειαστεί δειγματοληψίες), τον προσδιορισμό των κρίσιμων ρύπων και την ταυτοποίηση των

ευαίσθητων αποδεκτών που πρέπει να προστατευτούν. Οι αποδέκτες της ρύπανσης εξαρτώνται από υπάρχουσα ή προβλεπόμενη χρήση γης στην περιοχή που μελετάται ή στην ευρύτερη περιοχή που μπορεί να επηρεάζεται από τη ρύπανση.

Η ανάλυση μεταφοράς ρύπων στηρίζεται στα αποτελέσματα μαθηματικών μοντέλων ή και μετρήσεων, που περιγράφουν τη μεταφορά των ρύπων από την πηγή ρύπανσης προς όλα τα πιθανά σημεία έκθεσης των ευαίσθητων αποδεκτών. Για την ανάλυση αυτή χρειάζονται στοιχεία που αφορούν τα ειδικά γεωχημικά, γεωτεχνικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των εδαφών της περιοχής. Στην ανάλυση έκθεσης αποδεκτών προσδιορίζονται όλα τα πιθανά «μονοπάτια έκθεσης» (exposure pathways) των αποδεκτών στους ρύπους, με βάση την υφιστάμενη ή την προβλεπόμενη χρήση γης, και υπολογίζεται η συνολική πρόσληψη ρύπων από τους ευαίσθητους αποδέκτες (η υπολογιζόμενη αυτή πρόσληψη ρύπων, συγκρίνεται με τα υφιστάμενα τοξικολογικά και οικοτοξικολογικά στοιχεία).

Εάν τα αποτελέσματα αυτού του σταδίου υποδείξουν ότι υπάρχουν σημαντικοί κίνδυνοι για τους ανθρώπους ή το οικοσύστημα, ολοκληρώνεται η διαδικασία ανάλυσης διακινδύνευσης και αρχίζει η διαδικασία επιλογής των μεθόδων αποκατάστασης. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες τα συμπεράσματα δεν είναι σαφή. Για παράδειγμα μπορεί τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη της μεταφοράς των ρύπων σε ένα γειτονικό πηγάδι υδροληψίας, να δείχνουν ότι η συγκέντρωση ενός ρύπου θα είναι υψηλή και επικίνδυνη για την υγεία των ανθρώπων, ενώ η απευθείας μέτρηση στο νερό του πηγαδιού δείχνει πολύ χαμηλές και ασφαλείς συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει διότι τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σ' αυτό το στάδιο, απλοποιούν την πραγματικότητα. Για παράδειγμα δεν λαμβάνεται υπόψη πιθανή φυσική βιοδιάσπαση των οργανικών ρύπων. Σ' αυτή την περίπτωση διεξάγεται και το τρίτο στάδιο της ανάλυσης διακινδύνευσης.

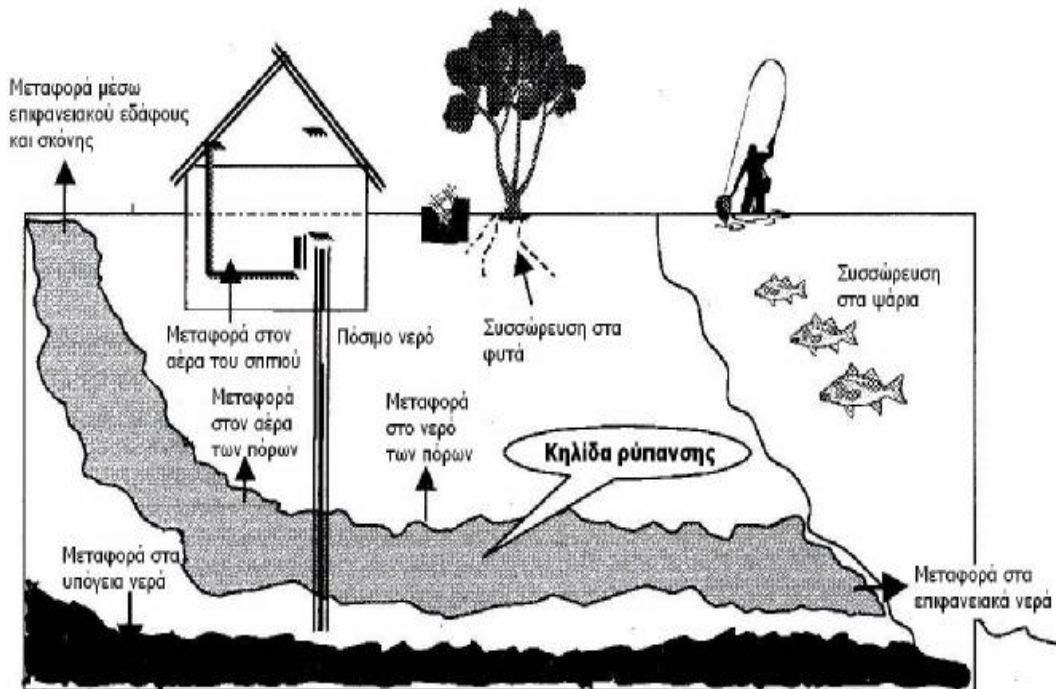
3. Ποσοτική ανάλυση διακινδύνευσης με μετρήσεις στα σημεία έκθεσης : Το στάδιο αυτό στηρίζεται λιγότερο στα δεδομένα των μαθηματικών μοντέλων και περισσότερο σε ένα συστηματικό πρόγραμμα δειγματοληψιών και μετρήσεων, σε όλα τα πιθανά σημεία έκθεσης. Στη φάση αυτή πραγματοποιούνται πολλές μετρήσεις πεδίου και εργαστηριακές δοκιμές, για την κατανόηση των μηχανισμών που συμβάλλουν στη μέτρηση χαμηλότερων ή και υψηλότερων συγκεντρώσεων των ρύπων στα κρίσιμα σημεία έκθεσης, π.χ έδαφος στις αυλές των σπιτιών, πόσιμο νερό, βρώσιμα φυτά, κ.λ.π.

Εάν η ανάλυση αυτού του σταδίου δείξει ότι υπάρχουν φυσικοί μηχανισμοί που μειώνουν σε ασφαλή επίπεδα την συγκέντρωση των ρύπων, σ' όλα τα πιθανά σημεία έκθεσης, τότε η διαδικασία ολοκληρώνεται και η περιοχή χαρακτηρίζεται ως ασφαλής (για την συγκεκριμένη βέβαια) χρήση γης. Εάν η ανάλυση υποδείξει ότι μπορεί μελλοντικά να παρουσιαστούν σοβαροί κίνδυνοι, τότε αρχίζει η επόμενη φάση της επιλογής των μεθόδων αποκατάστασης.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται στο δεύτερο στάδιο της ανάλυσης διακινδύνευσης, δηλαδή τα μοντέλα μεταφοράς των ρύπων και τα μοντέλα έκθεσης των αποδεκτών.

1. Μεταφορά ρύπων : Στο Σχήμα 2.5 παρακάτω, δίνεται η αναπαράσταση των δρόμων μεταφοράς των ρύπων από μια πηγή ρύπανσης προς πιθανά σημεία έκθεσης των ανθρώπων στην ρύπανση, π.χ υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται ως πόσιμα, επιφανειακά νερά που χρησιμοποιούνται για αλιεία, ατμοσφαιρικός

αέρας που εισπνέεται, ψάρια και φυτά που χρησιμοποιούνται στη διατροφή. Επίσης, θα παρουσιάσουμε απλούς μαθηματικούς αλγόριθμους, με τους οποίους μπορεί να υπολογιστεί η συγκέντρωση σ' αυτά τα σημεία έκθεσης.



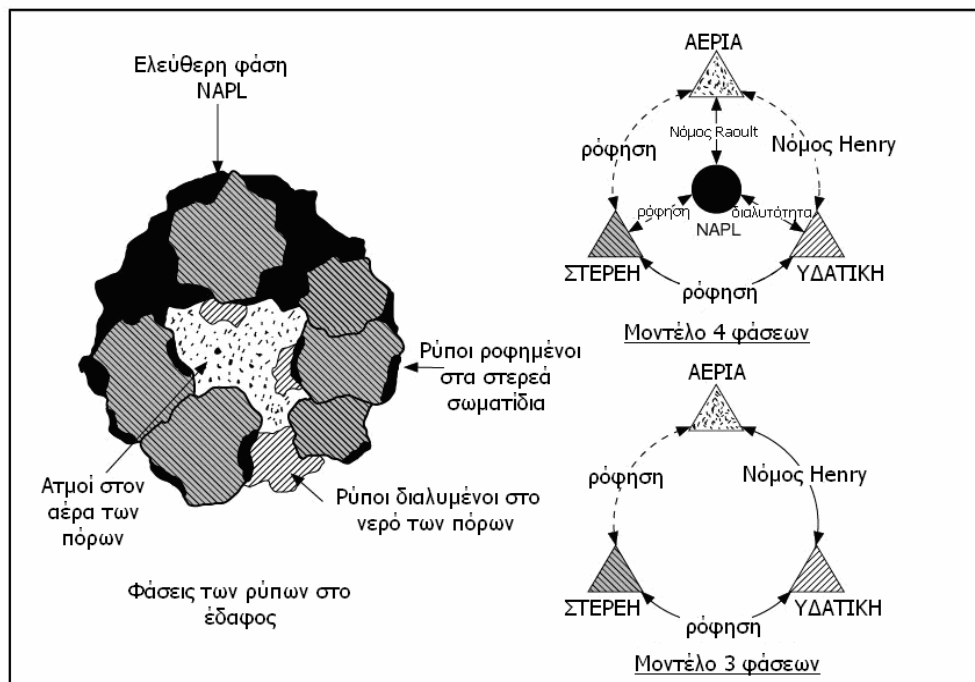
Σχήμα 2.5 : Αναπαράσταση των δρόμων μεταφοράς των ρύπων από μια πηγή ρύπανσης, προς πιθανά σημεία έκθεσης των ανθρώπων στην ρύπανση (SFT, 1999)

Επίσης, υπάρχουν και βασικές εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για την ποσοτική εκτίμηση της κατανομής ενός ρύπου στις επιμέρους φάσεις (κατανομή φάσεων δηλ.), όταν έχουμε προσδιορίσει με την διενέργεια σχετικών δειγματοληψιών και χημικών αναλύσεων, την ολική συγκέντρωση (C_i) του ρύπου στο έδαφος, και τις οποίες συνοψίζουμε και παρουσιάζουμε πιο κάτω.

Στο Σχήμα 2.6 που ακολουθεί, δίνεται σχηματική αναπαράσταση της κατανομής φάσεων των οργανικών ρύπων στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους και στον Πίνακα 2.1, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά, οι εξισώσεις υπολογισμού της κατανομής για τις δύο περιπτώσεις παρουσίας ή μη, ελεύθερης οργανικής φάσης (N.A.P.L).

Πρέπει να αναφερθεί ότι στην περίπτωση των ανόργανων ρύπων, οι οποίοι κατά κανόνα δεν παρουσιάζουν πτητικότητα στις συνήθεις περιβαλλοντικές συνθήκες, λαμβάνονται συνήθως υπόψη μόνο οι ισορροπίες μεταξύ των δύο φάσεων, δηλ. της υδατικής φάσης και των στερεών σωματιδίων. Οι μηχανισμοί που καθορίζουν την κατανομή των ανόργανων ρύπων μεταξύ της υδατικής φάσης και των στερεών σωματιδίων, είναι περίπλοκοι και συνδυάζουν φαινόμενα όπως ιονοανταλλαγή, ειδική προσρόφηση, καταβύθιση, συγκαταβύθιση, κ.ο.κ. Είναι συνήθως δύσκολο να περιγραφεί με ικανοποιητική ακρίβεια το σύνολο αυτών των φαινομένων. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζονται απλούστερα εμπειρικά

μοντέλα ρόφησης, όπως το γραμμικό μοντέλο (με τον σταθερό συντελεστή K_d) ή τα μοντέλα Langmuir, Freundlich κ.λ.π (αντίστοιχα δηλαδή με αυτά που εφαρμόζονται και για τους οργανικούς ρύπους). Σε διάφορα εγχειρίδια, τα οποία παρουσιάζουν τιμές ιδιοτήτων για τους οργανικούς ρύπους, προτείνονται ορισμένες φορές τιμές K_d και για χαρακτηριστικούς ανόργανους ρύπους. Οι τιμές αυτές πρέπει να χρησιμοποιούνται με επιφυλακτικότητα και μόνο, εφόσον δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθούν άμεσες μετρήσεις εκχυλισιμότητας των ανόργανων ρύπων στο συγκεκριμένο εδαφικό υλικό. Ακολουθεί το Σχήμα 2.6 και ο Πίνακας 2.1(σημειώνεται πως τα βέλη με την συνεχόμενη γραμμή στα μοντέλα τριών και τεσσάρων φάσεων, αντιστοιχούν στις ισορροπίες που λαμβάνονται υπόψη στον Πίνακα 2.1) :



Σχήμα 2.6 : Κατανομή των οργανικών ρύπων στις διάφορες φάσεις στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους

Πίνακας 2.1 : Βασικές εξισώσεις και δεδομένα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της κατανομής φάσεων των οργανικών ρύπων στο έδαφος

Όταν υπάρχει μη υδατική υγρή φάση στο έδαφος (με N.A.P.L)	Όταν δεν υπάρχει μη υδατική υγρή φάση στο έδαφος (χωρίς N.A.P.L)
(2.1) $C_t = C_s + (n_w C_w + n_a C_a + n_n C_n) / \rho_d$	(2.7) $C_t = C_s + (n_w C_w + n_a C_a) / \rho_d$
(2.2) $C_a = P^0 \cdot X \cdot MW / (RT)$	(2.8) $C_a = H_C / (RT) \cdot C_w$
(2.3) $C_n = m \cdot \rho_n \cdot 10^6$	(2.9) $C_s = K_{oc} \cdot f_{oc} \cdot C_w$
(2.4) $C_w = S \cdot X$	(2.10) $n_t = n_w + n_a$
(2.5) $C_s = K_{oc} \cdot f_{oc} \cdot C_w$	
(2.6) $n_t = n_w + n_a + n_n$	

Απο την επίλυση του συστήματος των ανωτέρω εξισώσεων του Πίνακα 2.1 υπολογίζονται οι εξής άγνωστες τιμές :

1. C_s = συγκέντρωση ρύπων στα στερεά σωματίδια (σε mg/kg).
2. C_w = συγκέντρωση ρύπων στο νερό των πόρων (σε mg/l).
3. C_a = συγκέντρωση ρύπων στην αέρια φάση των πόρων (σε mg/l).
4. C_n = συγκέντρωση του οργανικού ρύπου στην μη υδατική φάση N.A.P.L (σε mg/l).
5. n_a = όγκος του πορώδους που καταλαμβάνεται από την αέρια φάση (σε l/l).
6. n_n = όγκος του πορώδους που καταλαμβάνεται απο την μη υδατική υγρή φάση (N.A.P.L) (σε l/l).

βάση των δεδομένων :

1. MW = μοριακό βάρος (σε g/mol).
2. P^o = τάση ατμών (σε mmHg).
3. S = διαλυτότητα στο νερό (σε mg/l).
4. H_c = σταθερά του Henry (σε $\text{atm}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$).
5. K_{oc} = συντελεστής διαχωρισμού (κατανομής) μεταξύ του οργανικού άνθρακα των εδαφικών σωματιδίων και της υδατικής φάσης(σε l/Kg).

με τις εξής σταθερές και συνθήκες θερμοκρασίας :

1. C_t = ολική ποσότητα του ρύπου ανά κιλό ξηρού βάρους (σε mg/kg).
2. ρ_n = πυκνότητα του μείγματος N.A.P.L (σε kg/l).
3. m = κλάσμα μάζας του ρύπου στο μείγμα N.A.P.L.
4. X = γραμμομοριακό κλάσμα του ρύπου στο μείγμα N.A.P.L.
5. R = η παγκόσμια σταθερά των αερίων = $8,205 \times 10^{-5} \text{ atm}\cdot\text{m}^3/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ή R = $0,0624 \text{ mmHg}\cdot\text{m}^3/(\text{mol}\cdot\text{K})$.
6. T = θερμοκρασία σε Kelvin (K).
7. ρ_d = ξηρή φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους (σε kg/l).

8. n_t = ολικό πορώδες του εδάφους (σε l/l).
9. n_w = πορώδες του εδάφους που καταλαμβάνεται από το νερό (σε l/l) ($n_w = S_w n_t$, όπου S_w ο βαθμός κορεσμού του εδάφους ως προς το νερό).
10. f_{oc} = κλάσμα του οργανικού άνθρακα.

Από τις παραμέτρους που υπεισέρχονται στις εξισώσεις του Πίνακα 2.1, τα ρ_d , n_w , n_a και f_{oc} , αποτελούν χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου εδάφους που πρέπει να προσδιοριστούν σ' αυτό το στάδιο της ανάλυσης διακινδύνευσης. Στα επιφανειακά εδάφη, η φαινόμενη υγρή πυκνότητα :

$$\rho_b = (M_s + M_w + M_n) / V \quad (2.11)$$

προσδιορίζεται με επιτόπιες μετρήσεις. Η φαινόμενη ξηρή πυκνότητα :

$$\rho_d = M_s / V \quad (2.12)$$

καθώς και οι παράμετροι n_w , n_a , προσδιορίζονται με την εργαστηριακή μέτρηση της υγρασίας και της σωματιδιακής πυκνότητας του εδάφους :

$$\rho_s = M_s / [(1 - n_t) V] \quad (2.13)$$

Για τη μέτρηση του f_{oc} υπάρχουν διάφορες μέθοδοι. Μία από αυτές στηρίζεται στην αναγωγή των Cr_2O_7 από τον οργανικό άνθρακα. Στην απλούστερη περίπτωση που δεν υπάρχει ελεύθερη οργανική φάση, μπορεί να υπολογιστεί εύκολα η συγκέντρωση στο νερό των πόρων (C_w) αντικαθιστώντας τις συγκεντρώσεις C_s και C_a στην εξίσωση 2.7 :

$$C_w = C_t / [K_{oc} f_{oc} + n_w / \rho_d + n_a H_C / (RT \rho_d)] \quad (2.14)$$

Στη συνέχεια υπολογίζονται τα C_s και C_a μέσω των εξισώσεων (2.5) και (2.8) :

2.3.2.1 Μεταφορά προς κρίσιμα σημεία έκθεσης :

Υπάρχουν τέσσερις δρόμοι μεταφοράς προς κρίσιμα πιθανά σημεία έκθεσης των ανθρώπων στην ρύπανση, οι οποίοι παρουσιάζονται απο διάφορες εξισώσεις :

1. Μεταφορά των πτητικών ρύπων στον αέρα του σπιτιού.
2. Μεταφορά στα υπόγεια νερά.
3. Μεταφορά στα επιφανειακά νερά (π.χ ποτάμια).
4. Μεταφορά στα φυτά.

Στην παρούσα μελέτη εξετάζουμε μόνο τον πρώτο «δρόμο» ως εξής :

1. Μεταφορά πτητικών ρύπων στον αέρα του σπιτιού (βλ. Σχήμα 2.5, πιο πάνω) :
Μια απλή εξίσωση η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης των πτητικών ρύπων στον αέρα του σπιτιού, στηρίζεται στις ακόλουθες βασικές υποθέσεις :
 1. Η εστία ρύπανσης βρίσκεται Z μέτρα κάτω από το σπίτι.
 2. Οι πτητικοί ρύποι μεταφέρονται απο το βάθος Z προς το σπίτι μόνο με διάχυση, μέσα από την αέρια φάση του εδάφους.
 3. Αέρας των πόρων, που προέρχεται από επιφάνεια A (m²), διεισδύει μέσα στο σπίτι με μία ογκομετρική ροή L, (σε m³ / d).
 4. Ο συνολικός αέρας του σπιτιού ανανεώνεται με ρυθμό Q, (σε m³ /d).

Η μεταφορά μιας πτητικής ουσίας με διάχυση, περιγράφεται από τον νόμο του Fick :

$$J = -D_v \frac{dC}{dz} \quad (2.15)$$

όπου : J = η ροή μάζας του πτητικού συστατικού ανά μονάδα επιφάνειας (σε mg/(m² ·d)).

D_v = ο συντελεστής διάχυσης του συστατικού στο έδαφος (σε m² /d).

dC/dz = η μεταβολή της συγκέντρωσης στην κατεύθυνση της διάχυσης.

Θεωρώντας γραμμική την μεταβολή της συγκέντρωσης στην κατεύθυνση της διάχυσης, η συνολική διείσδυση του πτητικού συστατικού στο σπίτι περιγράφεται από την εξίσωση (2.16) :

$$L.C_{ao} = J.A = A.D_v \frac{C_a - C_{ao}}{Z} \quad (2.16)$$

και όπου : C_a = η συγκέντρωση του πτητικού συστατικού στον αέρα των πόρων σε βάθος Z (σε mg/m^3)

C_{ao} = η συγκέντρωση του πτητικού συστατικού στον αέρα πόρων που διεισδύει στο σπίτι (σε mg/m^3)

Από την εξίσωση (2.16) υπολογίζεται :

$$C_{ao} = \frac{D_v A}{ZL + D_v A} . C_a \quad (2.17)$$

Η συγκέντρωση των ρύπων μέσα στο σπίτι C_{ia} υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την αραίωση λόγω συνολικής ανανέωσης του αέρα του σπιτιού, με ρυθμό Q (σε m^3/d) :

$$C_{ai} = \frac{L}{Q} . C_{ao} = \frac{L}{Q} . \frac{D_v A}{ZL + D_v A} . C_a \quad (2.18)$$

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η διάχυση αέριων συστατικών μέσα από το πορώδες του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη (vadose), είναι πολύ βραδύτερη σε σύγκριση με την διάχυση στον ελεύθερο αέρα. Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις διόρθωσης του συντελεστή διάχυσης, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Συχνά χρησιμοποιείται η εξίσωση των Millington - Quirk (LaGrega et al., 1994) :

$$D_v = D_o \frac{n_a^{10/3}}{n_t^2} \quad (2.19)$$

και όπου : D_o = ο συντελεστής διάχυσης του συστατικού στον ελεύθερο αέρα (σε m^2/d).

n_t = το ολικό πορώδες : $n_t = n_w + n_a$ (όταν δεν υπάρχει οργανική υγρή φάση που να καταλαμβάνει μέρος του πορώδους).

3. ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα διάφορα προϊόντα του πετρελαίου, παρέχουν περισσότερο απο το 60 % της συνολικής ενέργειας στον πλανήτη, χρησιμοποιούνται για την κίνηση των μέσων μεταφοράς, για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και για θέρμανση. Επίσης προϊόντα του πετρελαίου χρησιμοποιούνται ως λιπαντικά, διαλύτες, αδιάβροχα υλικά και αποτελούν τις πρώτες ύλες για την παραγωγή πλαστικών και άλλων ειδών προϊόντων, τα οποία γενικά ονομάζονται πετροχημικά προϊόντα. Δεν θα ήταν λοιπόν υπερβολή να αναφερθεί ότι ο δυτικός τρόπος ζωής στηρίζεται στο πετρέλαιο και τα προϊόντα του.

Το αργό πετρέλαιο, το αρχικό υλικό για όλα τα πετρελαιοειδή, είναι ένα σκουρόχρωμο καφέ ή μαύρο εύφλεκτο υγρό και βρίσκεται σε φυσικές δεξαμενές κάτω απο την επιφάνεια της γής. Πλήρως δεν έχει περιγραφεί ο τρόπος λειτουργίας του αργού πετρελαίου στη φύση, όμως σε γενικές γραμμές, γίνεται αναφορά ότι αυτό προέρχεται απο θαλάσσια ζώα ή φυτά, τα οποία εγκλωβίστηκαν κάτω απο την επιφάνεια της γής σε συνθήκες εξαιρετικά υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Το αργό πετρέλαιο περιέχει κυριολεκτικά χιλιάδες ενώσεις που αποτελούνται απο :

1. Υδρογονάνθρακες (δηλ. ενώσεις που περιέχουν μόνο άνθρακα και υδρογόνο) : Είναι το κυριότερο συστατικό του αργού πετρελαίου αλλά και των πετρελαιοειδών που προκύπτουν απο την διύλιση του. Οι υδρογονάνθρακες που απαντώνται στο πετρέλαιο είναι αλκάνια δηλ. παραφίνες (n – αλκάνια, διακλαδισμένα αλκάνια, κυκλοαλκάνια) και αρωματικές ενώσεις (μονοαρωματικές ενώσεις, πολυκυκλικό αρωματικοί υδρογονάνθρακες – Π.Α.Υ).
2. Ετεροκυκλικές ενώσεις : Στο μείγμα του πετρελαίου υπάρχουν σε μικρότερες συγκεντρώσεις και διάφορες κυκλικές ενώσεις αρωματικές και μη που περιέχουν ετεροάτομα, με κυριότερες αυτές που περιέχουν θείο, άζωτο και οξυγόνο.
3. Οργανομεταλλικές ενώσεις και ανόργανα άλατα.

Υπάρχουν στο αργό πετρέλαιο σε μικροποσότητες και διάφορα μέταλλα όπως νάτριο, ασβέστιο, σίδηρος, μαγνήσιο, βανάδιο, νικέλιο τα οποία μπορεί και να εμφανίζονται υπό μορφή ανόργανων αλάτων, όπως το χλωριούχο νάτριο ή μαγνήσιο ή ως οργανομεταλλικές ενώσεις, όπως π.χ το βανάδιο και το νικέλιο στις πορφυρίνες. Παρόλο που οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στο αργό πετρέλαιο είναι εξαιρετικά χαμηλές, εντούτοις η απομάκρυνση τους είναι απαραίτητη, αφού τα περισσότερα απο αυτά μπορούν να δηλητηριάσουν διάφορους καταλύτες ή να σχηματίσουν διαβρωτικά προϊόντα κατά την διύλιση του πετρελαίου.

Ωστόσο τα ποσοστά κάθε συστατικού του αργού πετρελαίου στο μείγμα του, διαφέρουν πάρα πολύ, ανάλογα με την περιοχή απο την οποία προέρχεται. Το αργό

πετρέλαιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας ως καύσιμο, εξαιτίας της πολύπλοκης σύστασης του αλλά και της παρουσίας διαφόρων προσμίξεων. Για τον λόγο αυτό υφίσταται διαδικασίες διύλισης κατά τις οποίες το αρχικό μείγμα, διαχωρίζεται σε απλούστερα κλάσματα, με βάση το σημείο ζέσεως των ενώσεων που περιέχονται, τα οποία στην συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν ως καύσιμα, λιπαντικά και πρώτες ύλες στην βιομηχανία πετροχημικών προϊόντων. Κατά την διάρκεια των διεργασιών διύλισης του πετρελαίου, τα προϊόντα του, εμπλουτίζονται με υδρογονάνθρακες, ενώ μειώνεται η περιεκτικότητά τους σε άλλες ενώσεις όπως είναι τα ανόργανα συστατικά και οι οργανομεταλλικές ενώσεις.

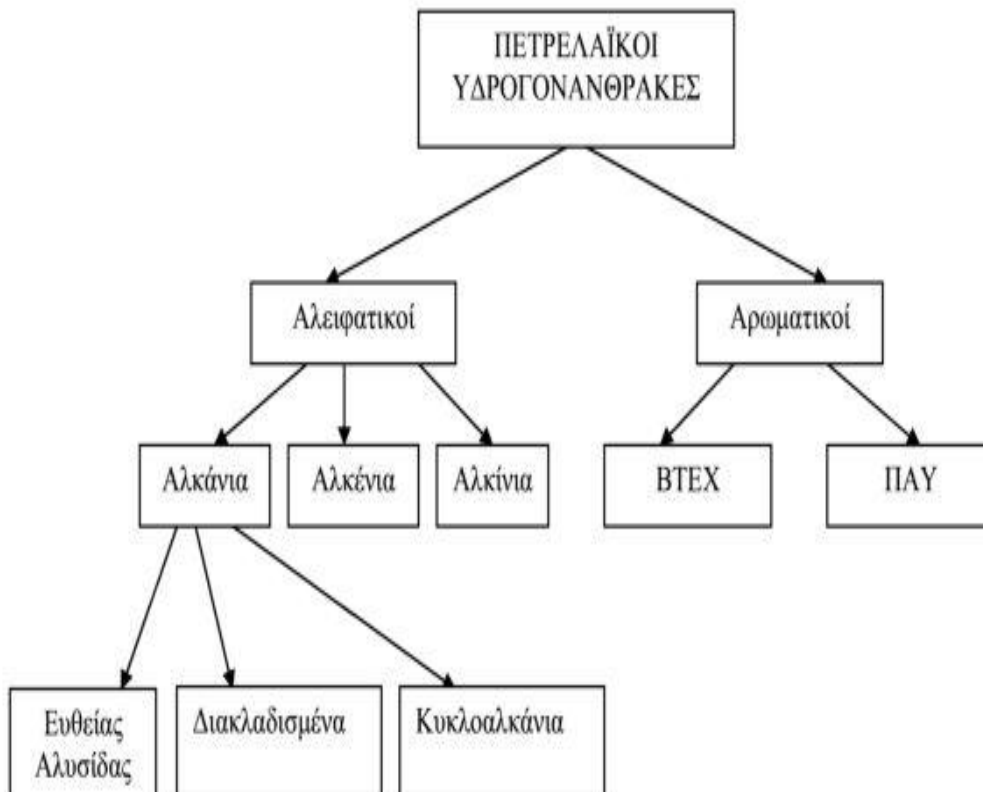
Τα προϊόντα αυτά της διύλισης του πετρελαίου, αποτελούν είτε κλάσματα που προκύπτουν από την διύλιση είτε μείγματα των κλασμάτων διύλισης, από συνεχώς τροφοδοτούμενες ροές επεξεργασίας και είναι πολύπλοκα μείγματα εκατοντάδων ενώσεων, που περιέχουν από χαμηλού μοριακού βάρους πτητικούς (ευθείας ανθρακικής αλυσίδας) έως μεγάλου μοριακού βάρους μη – πτητικούς (μεγάλης ανθρακικής αλυσίδας) διακλαδισμένους υδρογονάνθρακες. Η ακριβής σύσταση των πετρελαιοειδών, εξαρτάται από την πηγή του αργού πετρελαίου και τις διαδικασίες διύλισης που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους. Τα πιο συνηθισμένα προϊόντα του πετρελαίου είναι τα εξής πιο κάτω :

1. Η βενζίνη των αυτοκινήτων (gasoline - petrol - benzene) : Μείγμα υδρογονανθράκων χαμηλού σημείου ζέσεως.
2. Η νάφθα / διαλύτες (naphtha) : Χαρακτηρίζεται κυρίως ως το ακάθαρτο πετρέλαιο και είναι κλάσμα της απόσταξης του αργού πετρελαίου που βρίσκεται μεταξύ της βενζίνης και της κηροζίνης, είδη νάφθας εξ'ολοκλήρου αρωματικά, εξ'ολοκλήρου αλειφατικά ή συνδυασμός αρωματικών και αλειφατικών υδρογονανθράκων.
3. Η βενζίνη αεροπλοίας (aviation gasoline) : Έχει αυστηρά καθορισμένα όρια σύστασης υδρογονανθράκων με τον μέγιστο αριθμό οκτανίων σ' ένα συγκεκριμένο εύρος σημείων βρασμού.
4. Τα καύσιμα των αεροσκαφών (jet fuels) : Είναι ελαφρά κλάσματα διύλισης του πετρελαίου και πληρούν εξαιρετικά συγκεκριμένες προδιαγραφές, αποτελούνται κυρίως από μείγμα υδρογονανθράκων, νάφθας, βενζίνης και κηροζίνης.
5. Η κηροζίνη (kerosene) : Αποτελεί κλάσμα της διύλισης του αργού πετρελαίου και αντιστοιχεί στο ίδιο εύρος σημείων βρασμού με τα καύσιμα των αεροσκαφών και γι' αυτό τον λόγο έχει την ίδια σύσταση υδρογονανθράκων μ' αυτά, διαφέροντας όμως ως προς τις προδιαγραφές.
6. Το ντίζελ (diesel) : Παρασκευάζεται συνήθως από μείγματα κλασμάτων διύλισης του αργού πετρελαίου με φυσικό αέριο και τα κυριότερα συστατικά του είναι αυτά που υπάρχουν και στο αργό πετρέλαιο, με λίγο μεγαλύτερο ποσοστό αρωματικών ενώσεων.
7. Τα καύσιμα έλαια (fuel oils) : Σε γενικές γραμμές περιέχουν υδρογονάνθρακες (αλειφατικούς, ακόρεστους, αρωματικούς και Π.Α.Υ), άλλες ενώσεις που δεν είναι υδρογονάνθρακες και έχουν παρόμοια σύσταση με το ντίζελ, με διαφορές όμως στα πρόσθετα τους και στην πολυπλοκότητα της σύστασης τους.

8. Τα λιπαντικά (lubricants) : Περιέχουν υδρογονάνθρακες, αρωματικές ενώσεις, Π.Α.Υ και άλλες ενώσεις που δεν είναι υδρογονάνθρακες και έχουν εξαιρετικά υψηλά σημεία βρασμού.

3.2 ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΕΙΔΗ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το κυριότερο συστατικό του πετρελαίου και των προϊόντων που προέρχονται από αυτό, είναι όπως είπαμε προηγουμένως οι υδρογονάνθρακες και ανάλογα με το πετρελαιοειδές, το ποσοστό των υδρογονανθράκων ποικίλει και μπορεί να φτάσει έως και το 98 %. Βάση αυτού στην συνέχεια κάθε αναφορά σε ρύπανση από πετρελαιοειδή, θα εννοεί ρύπανση από πετρελαιοειδή υδρογονάνθρακες (mineral oils). Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί, δείχνουμε την σύσταση των υδρογονανθράκων του πετρελαίου και των προϊόντων του :



Σχήμα 3.1 : Υδρογονάνθρακες του πετρελαίου

Οι υδρογονάνθρακες μπορούν να βρεθούν στο περιβάλλον από διάφορες πηγές, σε αντίθεση με άλλες κατηγορίες ρυπαντικών ενώσεων όπως π.χ τα εντομοκτόνα, οι πετρελαιοειδή υδρογονάνθρακες δεν χρησιμοποιούνται για κάποιο σκοπό στα εδάφη και η οποιαδήποτε ρύπανση από αυτούς, είναι στην ουσία

αποτέλεσμα (όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 2) ατυχήματος ή λανθασμένης χρήσης. Υψηλά ποσοστά υδρογονανθράκων μπορούν να βρεθούν σε :

1. Σταθμούς αποθήκευσης και πώλησης υγρών καυσίμων : Οι υδρογονάνθρακες που εμφανίζονται σε εδάφη κοντά σε σταθμούς αποθήκευσης και πώλησης υγρών καυσίμων, είναι κυρίως χαμηλού μοριακού βάρους και προέρχονται από διαρροές βενζίνης και πετρελαίου κίνησης - θέρμανσης.
2. Σημεία ανεφοδιασμού ή λίπανσης : Τέτοια σημεία είναι π.χ τα αεροδρόμια στα σημεία ανεφοδιασμού των αεροπλάνων όπου συναντώνται συνήθως, χαμηλού και μέσου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες, καθώς και οι σιδηροδρομικοί σταθμοί στους οποίους εμφανίζονται υδρογονάνθρακες, υψηλότερου μοριακού βάρους.
3. Ατυχήματα κατά την μεταφορά καυσίμων : Τέτοιου είδους ρύπανση επιβαρύνει το περιβάλλον με υδρογονάνθρακες χαμηλού μοριακού βάρους, όταν πρόκειται για ατύχημα κατά την μεταφορά βενζίνης ή μέσου μοριακού βάρους, όταν πρόκειται για ατύχημα κατά την μεταφορά πετρελαίου.
4. Διαρροές σε αγωγούς καυσίμων ή ατυχήματα κατά την μεταφορά αργού πετρελαίου : Κατά τις διαρροές σε αγωγούς καυσίμων ρυπαίνονται τα εδάφη, ενώ στην άλλη περίπτωση, των ατυχημάτων κατά την μεταφορά αργού πετρελαίου, συνήθως επιβαρύνεται το θαλάσσιο οικοσύστημα, με υδρογονάνθρακες όλων των μοριακών βαρών ιδιαίτερα όμως των μεγαλύτερου μοριακού βάρους ενώσεων.
5. Σημεία αποθήκευσης αργού πετρελαίου και διυλιστήρια : Στις περιοχές των διυλιστηρίων, τα εδάφη ρυπαίνονται από υδρογονάνθρακες κυρίως των υψηλότερου μοριακού βάρους ενώσεων.
6. Φυσικές πηγές : Κατά κύριο λόγο η παρουσία υδρογονανθράκων στο έδαφος οφείλεται στον άνθρωπο, εντούτοις υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η ρύπανση του εδάφους με υδρογονάνθρακες, προέρχεται από φυσικές πηγές και αυτές θα είναι οι διαρροές από τις φυσικές δεξαμενές πετρελαίου καθώς και η αποσύνθεση οργανικού υλικού. Υπάρχουν επίσης και ενδείξεις για την ικανότητα κάποιων ανώτερων φυτών να συνθέτουν υδρογονάνθρακες, οι οποίοι μπορούν στην συνέχεια να μετακινηθούν προς το έδαφος. Η ρύπανση από αυτές τις πηγές αποτελείται από υψηλότερου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες.

3.2.1 Συμπεριφορά πετρελαικών υδρογονανθράκων στο έδαφος

Όταν οι πετρελαιοειδή υδρογονάνθρακες βρεθούν στο έδαφος, υφίστανται μια σειρά από φυσικοχημικές διεργασίες (βλ. Σχήμα 3.2 που ακολουθεί) και έχουν σχέση με τις ιδιότητες του κάθε υδρογονάνθρακα που υπάρχει στο μείγμα του πετρελαιοειδούς. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν εξάτμιση, προσρόφηση, στράγγιση δηλ. διάλυση σε υδατική φάση, βιοαποδόμηση και χημική οξείδωση. Το αποτέλεσμα αυτών των φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών τις οποίες υφίστανται οι υδρογονάνθρακες είναι :

1. Μια μεταβολή στη σύσταση του μείγματος των υδρογονανθράκων που βρέθηκε αρχικά στο έδαφος και ονομάζεται αλλοίωση (weathering) του πετρελαιοειδούς.
2. Η μεταφορά συγκεκριμένων κλασμάτων του σε άλλα περιβαλλοντικά τμήματα δημιουργώντας πρόβλημα στην ανάλυση και στον χαρακτηρισμό του ρυπασμένου εδάφους.

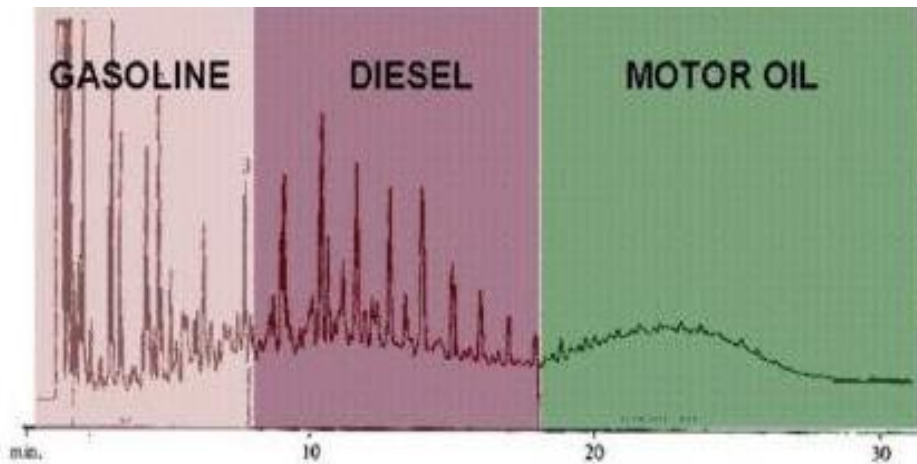


Σχήμα 3.2 : Βιολογικές και φυσικοχημικές διεργασίες που υφίστανται οι υδρογονάνθρακες στο έδαφος

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό η πιο απλή προσέγγιση είναι αυτή που βασίζεται στην τάση ατμών των ενώσεων, γίνεται λοιπόν διαχωρισμός των συνολικών πετρελαικών υδρογονανθράκων με βάση την πτητικότητα τους σε τρία επιμέρους κλάσματα :

1. Πτητικό κλάσμα το οποίο αναφέρεται και ως οργανικές ενώσεις της περιοχής βενζίνης (Gasoline Range Organics – G.R.O).
2. Ημιπτητικό κλάσμα το οποίο αναφέρεται και ως οργανικές ενώσεις της περιοχής ντίζελ (Diesel Range Organics – D.R.O).
3. Μη πτητικό κλάσμα που αποτελείται από υδρογονάνθρακες ορυκτελαίων.

Όπως είναι αναμενόμενο οι περισσότερο πτητικοί και διαλυτοί υδρογονάνθρακες, θα είναι οι πιο επιρρεπείς σε εξάτμιση, αντίδραση, βιοαποδόμηση και έκπλυση. Στο Σχήμα 3.3 παρακάτω, φαίνεται ο διαχωρισμός των τριών αυτών κλασμάτων με χρήση αέριας χρωματογραφίας (Gas Chromatography - GC), όπως και περαιτέρω επεξήγηση της τεχνικής αυτής :



Σχήμα 3.3 : Διαχωρισμός των υδρογονανθράκων του πετρελαίου με βάση την πτητικότητα τους, με χρήση αέριας χρωματογραφίας

Η διαδικασία εξάτμισης επηρεάζει άμεσα την παλαίωση των περισσότερων πτητικών κλασμάτων (των ενώσεων δηλ. της περιοχής βενζίνης) και παίζει τον σημαντικότερο ρόλο στην απομάκρυνση τους από το έδαφος.

Γενικά οι τρέχουσες μέθοδοι για την ανίχνευση - αναγνώριση μολυσμένων εδαφών, με υπολείμματα βενζίνης και ντίζελ, περιλαμβάνουν την ανάλυση βενζόλιου, τολουόλιου, ξυλόλιου, και αιθυλικού βενζόλιου (B.T.E.X) και την ανάλυση για τους συνολικούς υδρογονάνθρακες πετρελαίου (T.P.H). Και οι δύο μέθοδοι απαιτούν την εργαστηριακή ανάλυση με χρωματογραφία αερίου (βλ. Σχήμα 3.4) και μακρές χρονικές περιόδους παρακολούθησης. Όσον αφορά τους T.P.H, οι τέσσερις πιο κοινές μέθοδοι για την ανίχνευση τους, περιλαμβάνουν, πέραν της αέριας χρωματογραφίας, την φασματοσκοπία υπέρυθρου, τις σταθμικές μεθόδους και την χρήση αντιγόνων, καμία όμως μέθοδος δεν δίνει μια σαφή και ακριβή μέτρηση τους.

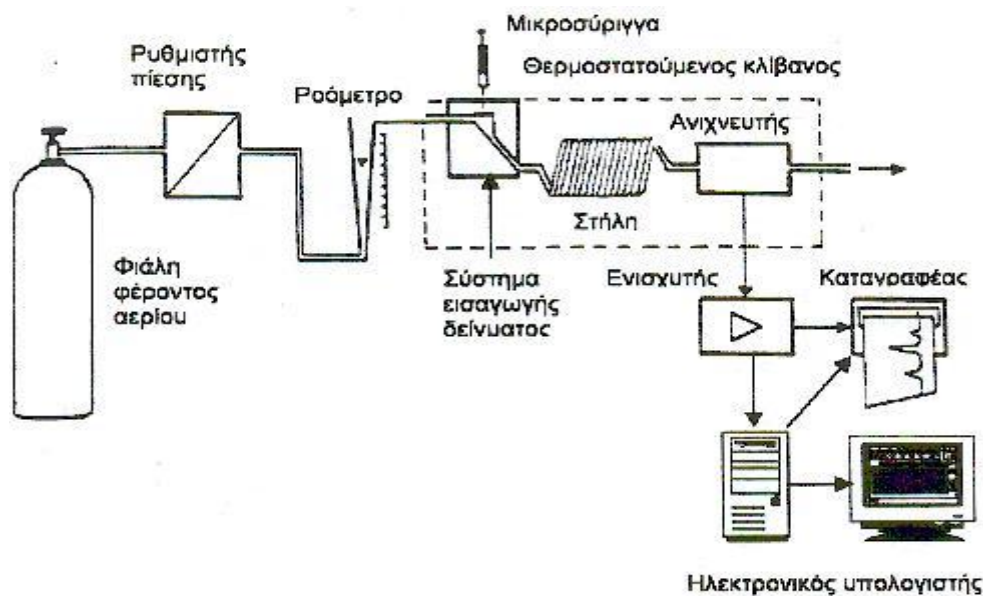
Εμείς θα παρουσιάσουμε ορισμένα παραδείγματα εξάτμισης δείγματος βενζίνης και αποδόμησης δείγματος ντίζελ, με χρήση αέριων χρωματογράφων Shimadzu και Varian (υψηλής ευκρίνειας Χρωματογραφία Αερίου με την Ανίχνευση Ιονισμού Φλόγας – GC / FID και την υψηλής ευκρίνειας Χρωματογραφία Αερίου με την ανίχνευση Μαζικής Φασματομετρίας – GC / MS). Ως αναλυτική τεχνική, αναπτύχθηκε τα τελευταία σαράντα χρόνια), και μπορεί και ανιχνεύει ένα ευρύ φάσμα υδρογονανθράκων με μεγάλη ευαισθησία και εκλεκτικότητα, μπορώντας επιπλέον, να χρησιμοποιηθεί εξίσου αποτελεσματικά, τόσο για την ταυτοποίηση των υδρογονανθράκων όσο και για την ποσοτικοποίηση τους.

Διάφορες Εργαστηριακές μέθοδοι ανάλυσης και μέτρησης ρυπογόνων ουσιών της E.P.A - Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (με χρήση αέριας χρωματογραφίας), έχουν χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των υπόγειων νερών και έχουν τροποποιηθεί, για να μετρήσουν τους συνολικούς ανακτήσιμους υδρογονάνθρακες πετρελαίου από το έδαφος. Αυτές οι μέθοδοι, χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν :

1. την μόλυνση στα περιβαλλοντικά δείγματα (νερού και εδάφους).
2. την επικινδυνότητα.
3. την περιβαλλοντική αποκατάσταση.

και είναι οι εξής πιο κάτω :

1. E.P.A 418.1 : συνολικά ανακτήσιμοι υδρογονάνθρακες πετρελαίου από υπέρυθρη φασματοσκοπία.
2. E.P.A 602, 624 και 8240 : για την ανάλυση των πτητικών υδρογονανθράκων είναι επαρκώς ευαίσθητες μέθοδοι, αλλά προσδιορίζουν μόνο ένα περιορισμένο αριθμό ενώσεων του πετρελαίου, καθιστώντας κατά συνέπεια δύσκολο το να προσδιοριστεί η πηγή ρύπανσης.
3. E.P.A GC/MS 8270, 625 : μέθοδοι για τον προσδιορισμό ημιπτητικών ουσιών που συχνά χρησιμοποιούνται in - situ σε τόπους διαρροών πετρελαίου, αλλά στερούνται ευαισθησίας, καθώς επίσης και επιλεκτικότητας στον προσδιορισμό κατάλοιπων πετρελαίου στα περιβαλλοντικά δείγματα.



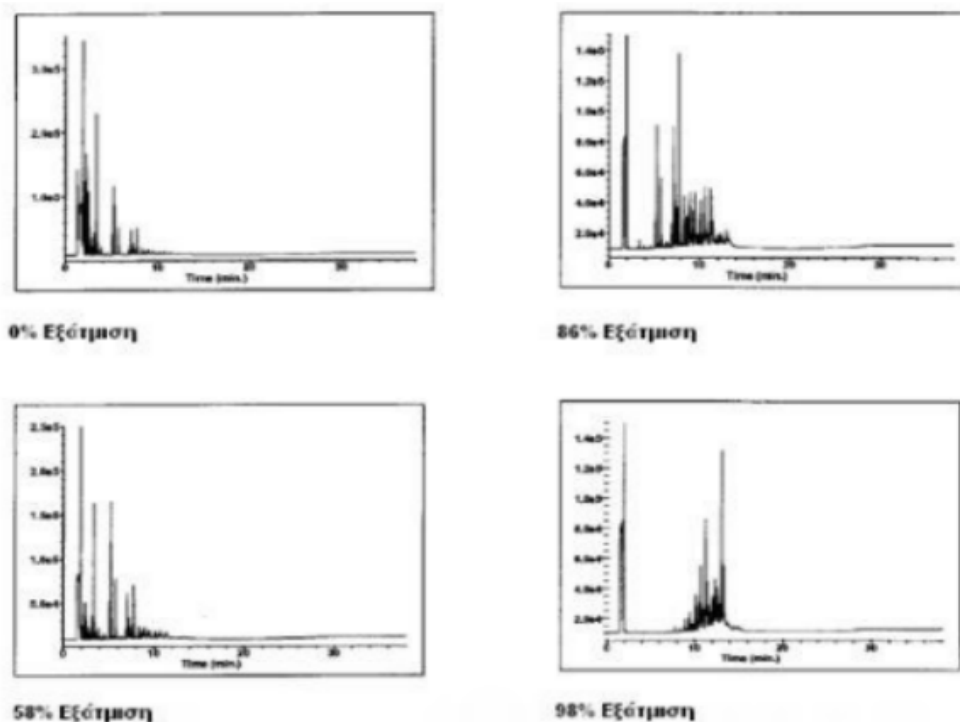
Σχήμα 3.4 : Διάταξη αέριου χρωματογράφου

Πληροφορίες όμως, λένε πως έχουν χρησιμοποιηθεί συσκευές ανάλυσης ατμού υδρογονανθράκων επιτόπου, για να καθορίσουν εάν ένα εδαφολογικό δείγμα πρέπει να ληφθεί για εργαστηριακή ανάλυση, αλλά έχει αποδειχτεί ότι τα αποτελέσματα των συσκευών αυτών, ελάχιστα σχετίζονται με τα εργαστηριακώς παραγόμενα αποτελέσματα. Μερικοί λοιπόν, από τους παράγοντες που επιδρούν στη μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων, αφορούν το χρόνο της απόκρισης των οργάνων, την ευαισθησία, τις διαδικασίες βαθμονόμησης, τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την επιρροή της ηλικίας του δείγματος. Για αυτόν τον λόγο, οι συσκευές ανάλυσης ατμού δεν συστήνονται για επιβεβαίωση της απουσίας εδαφολογικής μόλυνσης. Επιπλέον, οι συσκευές ανάλυσης ατμού υδρογονανθράκων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το ντίτζελ, λόγω των σχετικά χαμηλών ποσών περιεχόμενων αρωματικών υδρογονανθράκων.

Τα προβλήματα αυτά λύνει η εισαγωγή και χρήση της ανοσολογικής δοκιμής για την ανάλυση μολυσμένων από πετρέλαιο δειγμάτων νερού και χώματος. Αν και μέθοδοι όπως η χρωματογραφία αερίου θα παραμείνουν ένα κρίσιμο εργαλείο για την εξέταση δειγμάτων που μολύνονται από πετρελαιοειδή, οι ανοσολογικές αναλύσεις έχουν σπουδαίες και μοναδικές ιδιότητες.

Η μέθοδος της ανοσολογικής δοκιμής βασίζεται στην εξειδικευμένη ανάπτυξη αντισωμάτων μέσω ενζυμικής σύζευξης που εμφανίζουν ορισμένοι μικροοργανισμοί, αντιδρώντας έτσι στην παρουσία συγκεκριμένων ενώσεων από κατάλοιπα πετρελαιοειδών στο υπέδαφος. Οι αναλύσεις αυτές παρουσιάζουν μεγάλο βαθμό εξειδίκευσης στις αρωματικές και πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις. Προσφέρουν διακριτικότητα και ευαισθησία, είναι γρήγορες και σχετικά ανέξοδες. Επιπλέον, μπορούν να εκτελεστούν χωρίς πολύπλοκες προετοιμασίες των δειγμάτων και είναι εύκολα προσαρμόσιμες στις επί τόπου δοκιμές .

Στην συνέχεια, στο Σχήμα 3.5, απεικονίζονται διάφορα στάδια παλαίωσης δείγματος εδάφους ρυπασμένου με βενζίνη, όπου οι δραματικές αλλαγές παρατηρούνται στη σύσταση της βενζίνης που έχει προκαλέσει την ρύπανση, από το αρχικό δείγμα, στο δείγμα στο οποίο η βενζίνη έχει εξατμιστεί κατά 98% :



Σχήμα 3.5 : Χρωματογραφήματα από διαφορετικά στάδια εξάτμισης δείγματος βενζίνης

Οι διαδικασίες στράγγισης μπορούν να εισαγάγουν υδρογονάνθρακες στην υδατική φάση, διαλυτοποιώντας ή συμπαρασύροντας το πετρελαιοειδές. Οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες και ιδιαίτερα οι βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο και ξυλόλια (BTEX), εκτός από πτητικοί, είναι και αρκετά υδατοδιαλυτοί και για τον λόγο αυτό, υπόγεια ύδατα ρυπασμένα με πετρελαιοειδή, τείνουν να εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις αρωματικών υδρογονανθράκων. Επίσης κάποιοι άλλοι,

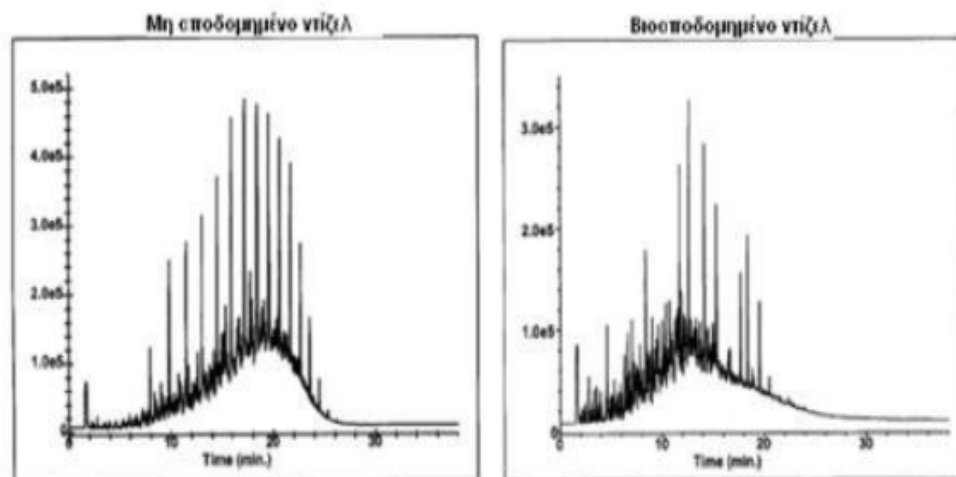
αδιάλυτοι στο νερό υδρογονάνθρακες, παρασύρονται προσροφημένοι πάνω σε σωματίδια πετρωμάτων που βρίσκονται σε αυτό, ρυπαίνοντας μ' αυτόν τον τρόπο τους υδροφόρους ορίζοντες. Το χρωματογράφημα που λαμβάνεται από την εκχύλιση υπόγειου ύδατος ρυπασμένου από πετρελαιοειδή, είναι συνδυασμός του χρωματογραφήματος του προϊόντος, με αυξημένα ποσοστά των υδατοδιαλυτών αρωματικών ενώσεων.

Οι διαδικασίες βιοαποδόμησης μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκες, το μέγεθος συγκεκριμένα της βιοαποδόμησης, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι :

1. Η ποσότητα και το είδος των αυτόχθονων μικροοργανισμών του εδάφους.
2. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες δηλ. οξυγόνο, υγρασία, θερμοκρασία κ.λ.π.
3. Το είδος των υδρογονανθράκων που προκαλεί την ρύπανση.
4. Η βιοδιαθεσιμότητα των υδρογονανθράκων που προκαλούν την ρύπανση.

Από διάφορες έρευνες και μελέτες που έγιναν, προέκυψε πως ο πλέον σημαντικός παράγοντας, είναι η σύσταση του μείγματος που προκαλεί την ρύπανση. Κυκλοαλκάνια με πολλαπλούς δαχτυλίους π.χ αποδομούνται δύσκολα, οι Π.Α.Υ σε διάφορα ποσοστά, οι κορεσμένοι κυκλικοί και τα διακλαδισμένα αλκάνια σχετικά αργά ενώ τα αλκάνια ευθείας αλυσίδας ακαριαία.

Στο Σχήμα 3.6, απεικονίζεται το χρωματογράφημα ενός πρόσφατα ρυπασμένου με πετρέλαιο κίνησης εδάφους, καθώς και αυτού που προκύπτει μετά από διαδικασίες βιοαποδόμησης :

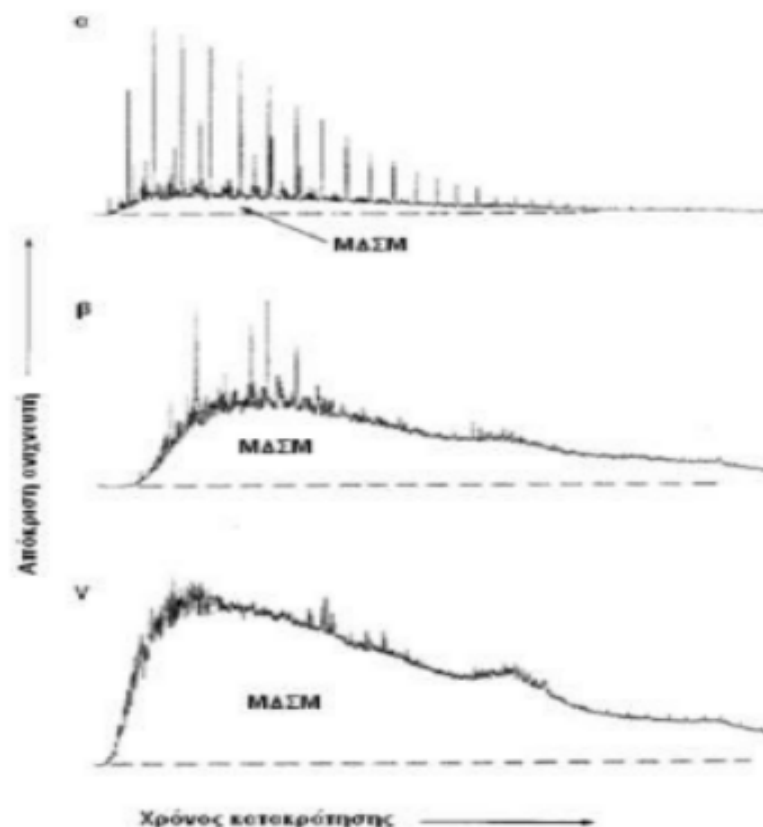


Σχήμα 3.6 : Χρωματογραφήματα βιοαποδομημένου και μη αποδομημένου δείγματος ντίζελ

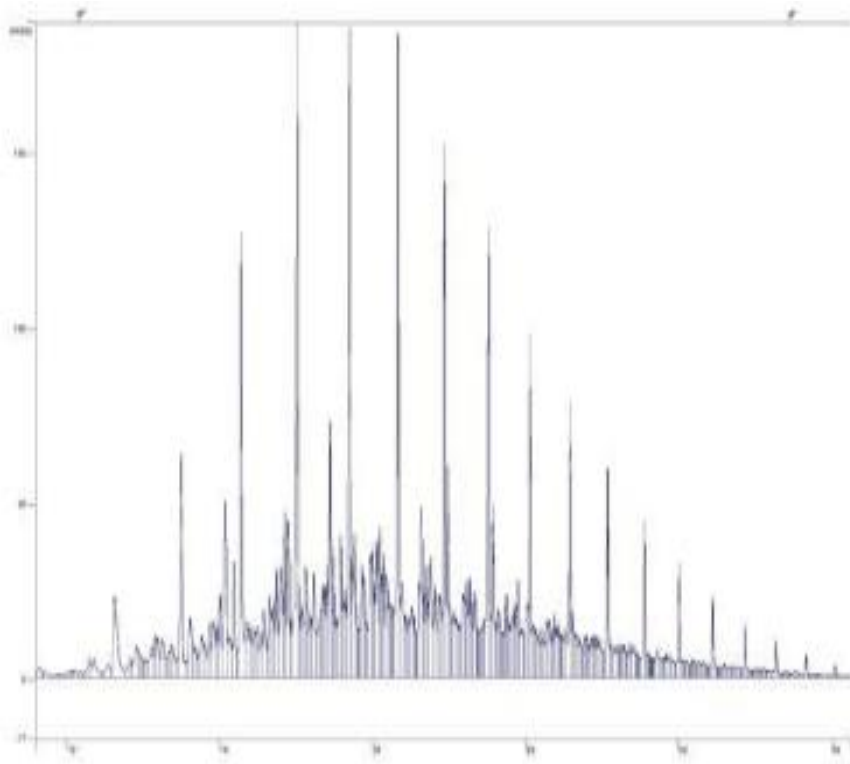
Σύμφωνα με το Σχήμα 3.6, παρατηρούμε πως όσο προχωρά η βιοαποδόμηση του πετρελαιοειδούς, αρχικά εξαφανίζονται πλήρως οι κορυφές που αντιστοιχούν στα επιμέρους n – αλκάνια, ενώ συνεχίζουν να διακρίνονται οι κορυφές των διακλαδισμένων αλκανίων.

Συνεχίζοντας, παραθέτουμε το Σχήμα 3.7, το οποίο απεικονίζει τα χρωματογραφήματα τριών σταδίων παλαίωσης ενός πετρελαιοειδούς (α - μη αποδομημένο, β - ελαφρά αποδομημένο και γ - ιδιαίτερα αποδομημένο). Βλέποντας το σχήμα αυτό, παρατηρούμε πως η εξαφάνιση των n – αλκάνιων ακολουθείται από την εξαφάνιση των διακλαδισμένων αλκανίων και γενικότερα όλων των διαχωρισμένων ενώσεων, ενώ αυξάνεται το Μη Διαχωρισμένο Σύνθετο Μείγμα – Μ.Δ.Σ.Μ (Unresolved Complex Mixture – U.C.M). Η ύπαρξη του Μ.Δ.Σ.Μ στα χρωματογραφήματα των πετρελαιοειδών, οφείλεται στην σύσταση τους αφού στην πραγματικότητα, είναι εξαιρετικά πολύπλοκα μείγματα που περιέχουν μεγάλο αριθμό ισομερών (ιδιαίτερα με αριθμό ατόμων άνθρακα μεγαλύτερο των οκτώ), που έχουν παρόμοια σημεία ζέσεως, με αποτέλεσμα να εκλούνται ταυτόχρονα από την στήλη και να μην είναι δυνατόν να διαχωριστούν με συμβατικές μεθόδους αέριας χρωματογραφίας. Το αποτέλεσμα αυτής της ταυτόχρονης έκλουσης των διαφορετικών ισομερών που περιέχονται στο πετρέλαιο, είναι η εμφάνιση του «ώμου» κάτω από τις κορυφές, που αντιστοιχούν σε διαχωρισμένες ενώσεις.

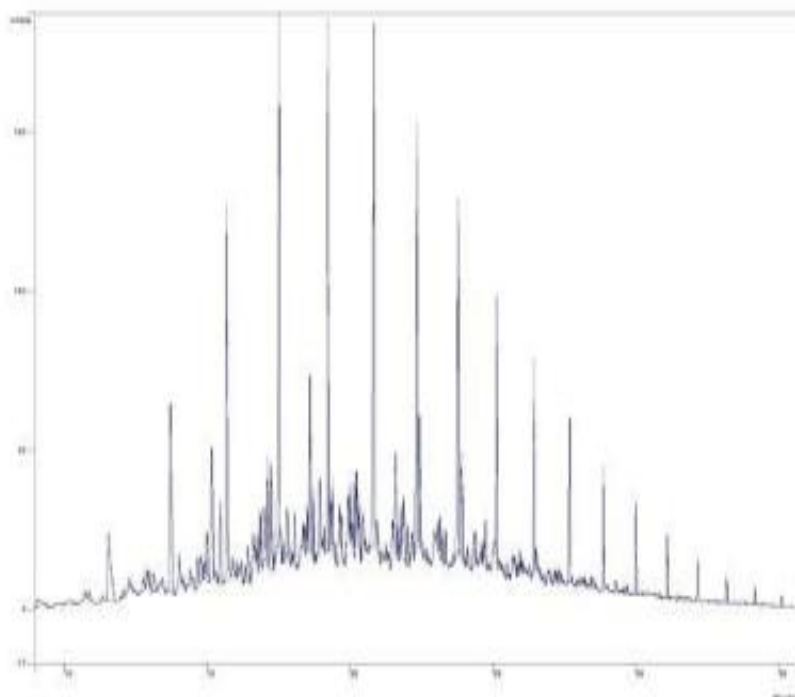
Επομένως το Μ.Δ.Σ.Μ, δημιουργεί πρόβλημα, καθότι πρέπει να υπολογίζεται στην μέτρηση των συνολικών πετρελαιοικών υδρογονανθράκων, εκτός κι αν ο προσδιορισμός, αναφέρεται σε συγκεκριμένες ενώσεις. Γι' αυτόν τον λόγο κατά την ανάλυση των συνολικών πετρελαιοικών υδρογονανθράκων, πρέπει να χρησιμοποιείται ολοκλήρωση βάσης (βλ. Σχήμα 3.8) για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων και όχι μια ολοκλήρωση από κορυφή σε κορυφή (βλ. Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.7 : Χρωματογραφήματα πετρελαιοειδών με διαφορετικό ποσοστό παλαίωσης



Σχήμα 3.8 : Ποσοτικοποίηση με ολοκλήρωση βάσης του χρωματογραφήματος



Σχήμα 3.9 : Ποσοτικοποίηση με ολοκλήρωση του χρωματογραφήματος απο κορυφή σε κορυφή

3.3 ΠΟΛΥΚΥΚΛΙΚΟΙ ΑΡΩΜΑΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΕΣ (Π.Α.Υ ή Ρ.Α.Η's)

3.3.1 Οι Π.Α.Υ στο περιβάλλον

Οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες ή αλλιώς πολυπυρηνικοί υδρογονάνθρακες, είναι μια ειδική κατηγορία ανομοιογενών ρυπαντικών ενώσεων, που αποτελεί συστατικό του αργού πετρελαίου και των παραγώγων του, ιδιαίτερα των βαρύτερων κλασμάτων, οι οποίοι επίσης σχηματίζονται και εκλύονται κατά την ατελή καύση οργανικής ύλης ή απο πυρολυτικές διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας (οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν ορυκτά καύσιμα και άλλα οργανικά υλικά ή γενικότερα υλικά που περιέχουν C και H). Το σημείο τήξης τους εξαρτάται από την ιδιαιτερότητα της ένωσης, αλλά γενικά είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία δωματίου (χαρακτηρίζονται δηλ. από υψηλό σημείο τήξης). Το σημείο βρασμού τους είναι επίσης μεγάλο (είναι στερεά) και συγκεκριμένα > 100 °C. Έχουν χαμηλή τάση ατμών, και πολύ χαμηλή διαλυτότητα στο νερό, που μειώνεται καθώς αυξάνεται το μοριακό βάρος, η τάση ατμού επίσης μειώνεται με την αύξηση του μοριακού βάρους.

Οι Π.Α.Υ δεν βρίσκονται σε συνθετικά προϊόντα και είναι δευτερεύοντα για την ανάπτυξη των ζωντανών κυττάρων. Παρουσιάζουν επίσης και ποικίλες ιδιότητες, όπως φωτοευαισθησία, αντίσταση στην θερμότητα, αγωγιμότητα, αντίσταση στην διάβρωση και αντίσταση στην βιολογική οξειδωση.

Αν και υπάρχουν στο περιβάλλον φυσικές πηγές εκπομπής Π.Α.Υ ή αλλιώς μη ανθρωπογενείς (π.χ πυρκαγιές δασών, ηφαιστειακή δραστηριότητα και διάφορα άλλα γεωλογικά φαινόμενα, παραγωγή τους απο φυτά, βακτήρια, άλγη κι άλλους μικροοργανισμούς), η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα, είναι κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων (π.χ κυκλοφορία οχημάτων, γεωργικό κάψιμο, καύση στερεών, υγρών και αερίων καυσίμων δηλ. πετρέλαιο, υγραέριο, φυσικό αέριο, ξύλο κ.τ.λ) για παροχή ενέργειας στην βιομηχανική όπως και για οικιακή χρήση, σε διάφορες παραγωγικές διαδικασίες στην βιομηχανία (όπως για παράδειγμα στην παραγωγή χάλυβα, ασφάλτου, κώκ, για διύλιση πετρελαίου κ.τ.λ) καθώς και στην αποτέφρωση απορριμμάτων και άλλα πολλά.

Βάση όσων προείπαμε, αναφέρουμε τις κυριότερες βιομηχανικές δραστηριότητες που οδηγούν σ'αυτή την ρύπανση των εδαφών με Π.Α.Υ, για καλύτερη κατανόηση και ξεκαθάριση του μεγέθους του προβλήματος. Οπότε έχουμε τα εξής :

1. Αεριοποίηση / Υγροποίηση των ορυκτών καυσίμων (εργοστάσια παραγωγής αερίου).
2. Παραγωγή κωκ και καυστήρες κωκ, λιθανθρακόπισσας, συντηρητικών ξυλείας και ασφάλτου.
3. Βιομηχανίες επεξεργασίας ξυλείας.
4. Επεξεργασία καυσίμων, καθαρισμός πετρελαίου.
5. Πετρελαιοκίνητες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.
6. Χυτήρια παραγωγής αλουμινίου, σιδήρου και χάλυβα.

7. Αποτεφρωτήρες αποβλήτων.

Όπως βλέπουμε, το πρόβλημα είναι τεράστιο κι όλο και χειροτερεύει. Μεγάλες βιομηχανίες πλέον, ασχολούνται με βασικούς τομείς επίλυσης αναγκών του σύγχρονου τρόπου ζωής μας, ρυπαίνοντας αλόγιστα, όλο και περισσότερο τα εδάφη μας με Π.Α.Υ.

Δεκαέξι απο τους Π.Α.Υ που ανιχνεύονται σε περιβαλλοντικά δείγματα αποτελούν σύμφωνα με την U.S Environmental Protection Agency (U.S.E.P.A), ρύπους άμεσης προτεραιότητας (βλ. Πίνακα 3.1) :

Πίνακας 3.1 : Οι δεκαέξι Π.Α.Υ που σύμφωνα με την U.S.E.P.A αποτελούν ρύπους άμεσης προτεραιότητας

ΠΑΥ (Σύντμηση)	Δομή	Μοριακός τύπος	Μοριακό βάρος
Ναφθαλίνο, Np		C ₁₀ H ₈	128
Ακεναφθυλένιο, Acy		C ₁₂ H ₈	152
Ακεναφθένιο, Ace		C ₁₂ H ₁₀	154
Φλουορένιο, F		C ₁₃ H ₁₀	166
Φαινανθρένιο, Ph		C ₁₄ H ₁₀	178
Ανθρακένιο, An		C ₁₆ H ₁₀	178
Φλουορανθένιο, Fl		C ₁₆ H ₁₀	202
Πυρένιο, Py		C ₁₆ H ₁₂	202
Βενζο[α]ανθρακένιο, B[a]An		C ₁₈ H ₁₂	228
Χρυσένιο, Chry		C ₁₈ H ₁₂	228
Βενζο[β]φλουορανθένιο, B[b]Fl		C ₂₀ H ₁₂	252
Βενζο[κ]φλουορανθένιο, B[k]Fl		C ₂₀ H ₁₂	252
Βενζο[α]πυρένιο, B[a]Py		C ₂₀ H ₁₂	252
Διβενζο[α,h]ανθρακένιο, dB[α,h]An		C ₂₂ H ₁₄	278
Βενζο[ghi]περυλένιο, B[ghi]Pe		C ₂₂ H ₁₂	276
Ινδενο[1,2,3-cd]πυρένιο, I[1,2,3-cd]Py		C ₂₂ H ₁₂	276

Σήμερα είναι γνωστό ότι πολλοί Π.Α.Υ υπάρχουν σε διάφορα τρόφιμα, όπως π.χ σε μαργαρίνες, ψάρια, φυσικά έλαια και λοιπά, εξάλλου έχει διαπιστωθεί ότι το τηγάνισμα, το ψήσιμο και κυρίως το κάπνισμα των τροφών (κρεάτων ή ψαριών), αποτελούν τις σημαντικότερες διεργασίες σχηματισμού του βενζοπυρενίου μιας καρκινογόνου ουσίας και πιο συγκεκριμένα ενός απο τους πιο γνωστούς

καρκινογόνους υδρογονάνθρακες της ατμόσφαιρας. Το βενζοπυρένιο περιέχεται στην λιθανθρακόπισσα, στα καυσαέρια των αυτοκινήτων και των βιομηχανιών, καθώς και στον καπνό του τσιγάρου (1000 περίπου Π.Α.Υ μαζί με αζωτούχα και ετεροκυκλικά παράγωγα τους έχουν ανιχνευτεί στον καπνό του τσιγάρου). Το μεγαλύτερο ποσοστό του βενζοπυρενίου που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, προέρχεται από την καύση ορυκτού άνθρακα και σε μικρότερα ποσοστά από την καύση βενζίνης του πετρελαίου, από την εξάτμιση της ασφάλτου των δρόμων και από άλλες αιτίες.

Αναλυτικότερα οι Π.Α.Υ είναι άχρωμα, λευκά ή κιτρινοπράσινα στερεά και αποτελούνται από βενζολικούς δακτυλίους που είναι συμπιεσμένοι είτε σε ευθεία γραμμή είτε υπό γωνία ή σε συσσωματώματα και περιλαμβάνουν εξ' ορισμού, μόνο άτομα άνθρακα - C και υδρογόνου - H, όπως προαναφέραμε. Ωστόσο άτομα θείου, αζώτου και οξυγόνου, μπορούν να εισέλθουν στον δακτύλιο και να οδηγήσουν στο σχηματισμό ετεροκυκλικών αρωματικών ενώσεων, που ανήκουν στην ίδια κατηγορία ενώσεων με τους Π.Α.Υ (ο πιο απλός και μικρός Π.Α.Υ π.χ είναι το ναφθαλένιο – C₁₀H₈, άσπρο κρυστάλλινο στερεό με δύο συμπιεσμένους βενζολικούς δακτυλίους και μπορεί να βρεθεί υπό μορφή ινών, σφαιρών ή σκόνης, έχει ισχυρή αρωματική μυρωδιά που συνδέεται με τη ναφθαλίνη που χρησιμοποιείται για την απώθηση του σκόρου, επίσης το πενταλένιο και το ινδένιο είναι απ' τα απλούστερα Π.Α.Υ). Στο αργό πετρέλαιο, αλλά και στα υπολείμματα που προκύπτουν από την διύλιση του, περιέχονται σε μεγάλο ποσοστό Π.Α.Υ (με διάφορες δομές και μοριακά βάρη), καθώς και ετεροκυκλικές ενώσεις όπως και μεθυλιωμένα παράγωγα τους. Βάση αυτού μπορούμε να πούμε ότι οι Π.Α.Υ διακρίνονται σε :

1. Ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους (ναφθαλίνη, φλουορένια, ανθρακένια και φαινανθρένια), που περιέχουν δύο με τρεις αρωματικούς δακτυλίους.
2. Ενώσεις υψηλού μοριακού βάρους (χρυσιοκορονένιο) με τέσσερις έως επτά αρωματικούς δακτυλίους.

Αξίζει εδώ να πούμε ότι η θέση των δακτυλίων καθώς κι ο αριθμός τους, η θέση και η φύση των υποκατάστατων που μπορεί να υπάρχουν στο βασικό κυκλικό σύστημα, επηρεάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες των Π.Α.Υ, την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά και τις αλληλεπιδράσεις τους με τα βιολογικά συστήματα.

Γενικά, οι Π.Α.Υ είναι λιπόφιλες ενώσεις που παρουσιάζουν υψηλή συγγένεια με το οργανικό υλικό. Εντούτοις τα μεμονωμένα μόρια των Π.Α.Υ, διαφέρουν ουσιαστικά στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Αυτό διαπιστώνεται εύκολα, παρατηρώντας τον Πίνακα 3.2 που ακολουθεί, όπου βλέπουμε ιδιότητες όπως π.χ η διαλυτότητα στο νερό και η τάση ατμών, να διαφέρουν κατά πέντε και δώδεκα τάξεις μεγέθους αντίστοιχα, καθώς προχωράμε από δύο σε έξι βενζολικούς δακτυλίους στα μόρια των Π.Α.Υ. Κατά συνέπεια οι χαμηλού μοριακού βάρους (L.M.W) Π.Α.Υ, είναι περισσότερο υδατοδιαλυτοί και πτητικοί από τους αντίστοιχους υψηλότερου μοριακού βάρους (H.M.W). Η διαφορά υδροφοβικότητας φαίνεται επίσης από τον συντελεστή κατανομής $n - \text{oktanóλης νερού}$ (K_{ow}) που παρουσιάζεται επίσης στον Πίνακα 3.2, στην τελευταία στήλη. Αυτές οι φυσικοχημικές ιδιότητες καθορίζουν κατά ένα μεγάλο μέρος την περιβαλλοντική συμπεριφορά των Π.Α.Υ και υποδεικνύουν πως, τόσο η μεταφορά όσο και η μετατροπή, θα είναι ταχύτερες για τους Π.Α.Υ μικρού μοριακού βάρους απ' ότι για τους βαρύτερους Π.Α.Υ.

Πίνακας 3.2 : Φυσικοχημικές ιδιότητες των Π.Α.Υ

Όνομα	Αριθμός Δακτυλίων	Μοριακό βάρος	Διαλυτότητα στο νερό (mg/l)	Τάση ατμών (Pa)	Log K _{ow}
Ναφθαλίνο	2	128	31	1.0x10 ⁻²	3.37
Ακεναφθένιο	3	152	3.8	3x10 ⁻¹	3.92
Ακεναφθυλένιο	3	154	16	9x10 ⁻¹	4.00
Φλουορένιο	3	166	1.9	9.0x10 ⁻²	4.18
Φαινανθρένιο	3	178	1.1	2.0x10 ⁻²	4.57
Ανθρακένιο	3	178	0.045	1x10 ⁻³	4.54
Φλουορανθένιο	4	202	0.26	1.2x10 ⁻³	5.22
Πυρένιο	4	202	0.13	6.0x10 ⁻⁴	5.18
Βενζο[a]ανθρακένιο	4	228	0.011	2.8x10 ⁻⁵	5.91
Χρυσένιο	4	228	0.006	5.7x10 ⁻⁷	5.91
Βενζο[b]φλουορανθένιο	5	252	0.0015	-	5.8
Βενζο[k]φλουορανθένιο	5	252	0.0008	5.2x10 ⁻⁸	6.00
Βενζο[a]πυρένιο	5	252	0.0038	7.0x10 ⁻⁷	5.91
Διβενζο[a,h]ανθρακένιο	6	278	0.0006	3.7x10 ⁻¹⁰	6.75
Βενζο[g,h,i]περιλένιο	6	276	0.00026	1.4 x 10 ⁻⁸	6.50
Ινδενο[1,2,3-c,d]πυρένιο	6	276	0.00019	-	6.50

Η ημιπτητική φύση των Π.Α.Υ χαμηλού μοριακού βάρους, σημαίνει πως αυτοί είναι δυνατό να εξατμιστούν απο το έδαφος στην ατμόσφαιρα και είναι επομένως ιδιαίτερα ευαίσθητοι σε ατμοσφαιρικές διαδικασίες αποδόμησης. Ομοίως, οι Π.Α.Υ χαμηλού μοριακού βάρους, διαλύονται εν μέρει στο νερό, με συνέπεια να είναι περισσότερο διαθέσιμοι σε διαδικασίες βιολογικής ή χημικής αποδόμησης που γίνονται στην υδατική φάση. Οι μεγαλύτερου μοριακού βάρους Π.Α.Υ, συνδέονται με σωματίδια πρωτίστως στην ατμόσφαιρα και το νερό και επομένως είναι λιγότερο διαθέσιμοι σε διαδικασίες αποδόμησης, ενώ ταυτόχρονα είναι και προσροφημένοι σε σωματίδια και μ' αυτόν τον τρόπο, μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις στην ατμόσφαιρα, ρυπαίνοντας έτσι, περιοχές μακριά απο την κύρια εστία της ρύπανσης.

3.3.2 Οι Π.Α.Υ στα εδάφη

Οι σημαντικότερες πηγές και κυριότερες, επιβάρυνσης των εδαφών με Π.Α.Υ, είναι ανθρωπογενούς προέλευσης και προκύπτει μετά απο ατμοσφαιρική απόθεση, διάθεση αποβλήτων, διαρροή πετρελαιοειδών, κίνηση αυτοκινήτων, αστικά στερεά απορρίμματα, έκπλυση δρόμων, αποτέφρωση αστικών απορριμμάτων και χρήση ενός συντηρητικού που χρησιμοποιείται στην ξυλεία και φέρει την ονομασία κρεοζοτέλαιο. Μεγαλύτερες σχετικά συγκεντρώσεις, παρατηρούνται σε περιοχές με αυξημένη βιομηχανική δραστηριότητα και μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού.

Πέραν αυτών, υπάρχουν και οι φυσικές πηγές προέλευσης των Π.Α.Υ, που είναι η σύνθεση τους κατά τις μεταβολικές πορείες των φυτών, ο σχηματισμός τους κατά την μετατροπή της βιομάζας (βιομάζα ορίζεται ως η ύλη που έχει βιολογική – οργανική προέλευση, πρακτικά στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα απο τον φυτικό κόσμο) σε πετρέλαιο, οι εκρήξεις ηφαιστειών και οι πυρκαγιές των δασών.

Οι συγκεντρώσεις των Π.Α.Υ, γενικά είναι υψηλότερες κοντά στις πηγές εκπομπής, έτσι λοιπόν έχουν προσδιοριστεί αυξημένες συγκεντρώσεις τους σε αστικά εδάφη και σε εδάφη στην άκρη δρόμων πυκνής κυκλοφορίας, ενώ για ρυπασμένες περιοχές, έχουν αναφερθεί πολύ υψηλές έως εξαιρετικά υψηλές τιμές συγκέντρωσης και συγκεκριμένα >10000 mg/Kg εδάφους. Αυτό συμβαίνει δια τον λόγο οτι οι πλήστες δραστηριότητες σ' αυτές τις περιοχές, περιλαμβάνουν συνήθως παραγωγή ή χρήση ορυκτών καυσίμων ή προϊόντων που προέρχονται απο την διύλιση του πετρελαίου όπως λιθανθρακόπισσα και κρεοζοτέλαιο.

Στο έδαφος οι περισσότεροι Π.Α.Υ, προσροφούνται έντονα στο οργανικό υλικό, γεγονός που μειώνει την διαθεσιμότητα τους σε διαδικασίες αποδόμησης. Επομένως μπορούν να παραμείνουν στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα αποτελώντας μακροπρόθεσμη απειλή για το περιβάλλον, αν και οι χαμηλού μοριακού βάρους (L.M.W) Π.Α.Υ, απομακρύνονται μερικώς μέσω διαδικασιών αποδόμησης, εξάτμισης και αποστράγγισης. Η επίδραση αυτής της προσρόφησης, αυξάνεται γενικά καθώς αυξάνει ο αριθμός βενζολικών δακτυλίων στο μόριο του Π.Α.Υ, καθώς αυτό σημαίνει μεγαλύτερη λιποφιλικότητα. Επίσης έχει αποδειχτεί πως η αποδόμηση και η ικανότητα εξαγωγής οργανικών ενώσεων απο το έδαφος, μειώνεται με τον χρόνο επαφής με το έδαφος (ένα φαινόμενο που αναφέρεται ως γήρανση ή διάβρωση και είναι κυρίως αποτέλεσμα της αργής διάχυσης στο οργανικό υλικό του εδάφους, υπάρχουν όμως και άλλοι εμπλεκόμενοι μηχανισμοί που περιλαμβάνουν τον σχηματισμό δεσμευμένου υπολοίπου – non extractable residue, καθώς και την φυσική παγίδευση μέσα σε μικροπόρους του εδάφους). Οι διαδικασίες προσρόφησης και ρύπανσης απο την μια περιορίζουν την διαθεσιμότητα αποδόμησης, απο την άλλη όμως, οι διαδικασίες αυτές, μειώνουν την τοξικότητα των ρυπαντικών ενώσεων του εδάφους, αφού μειώνουν το ποσοστό που είναι διαθέσιμο στους ζώντες οργανισμούς.

3.3.3 Κίνδυνοι για την Δημόσια Υγεία – Κανόνες Ασφαλείας

Η έκθεση των ανθρώπων στους Π.Α.Υ είναι καθημερινή, είτε σε εσωτερικούς χώρους, είτε έξω από αυτούς, είτε στον εργασιακό χώρο. Χαρακτηριστικά, η έκθεση δεν γίνεται σε ένα μεμονωμένο Π.Α.Υ, αλλά σε ένα μείγμα αυτών. Στο περιβάλλον, η έκθεση σε Π.Α.Υ είναι συνυφασμένη με την σκόνη και άλλα μόρια στον αέρα που προέρχεται σε καθημερινή βάση από τον καπνό των τσιγάρων, τις εξατμίσεις των οχημάτων, τους δρόμους κ.ά.

Τα επίπεδα των Π.Α.Υ στον αέρα, είναι 0,02 – 1,2 ng ανά κυβικό μέτρο (ng/m³) σε αγροτικές περιοχές και 0,15 – 19,3 ng/m³ στις αστικές περιοχές, οι επιπτώσεις όμως και τα αποτελέσματα από την έκθεση αυτή σε υψηλές συγκεντρώσεις Π.Α.Υ, μέσω της αναπνοής, δεν έχουν μελετηθεί. Ακόμα στο πόσιμο νερό, κυμαίνονται από 4 έως 24 nanograms ανά λίτρο (ng/L) σύμφωνα με το Agency for Toxic Substances and Disease Registry – A.T.S.D.R.,1995). Στους εσωτερικούς χώρους, τα Π.Α.Υ προέχονται από τον καπνό του τσιγάρου, από την καύση των ξύλων στο τζάκι, τα ξύλινα προϊόντα, τα δημητριακά, το σιτάρι, το αλεύρι, το ψωμί, τα

λαχανικά, τα φρούτα, το κρέας, τα επεξεργασμένα ή παστωμένα τρόφιμα, το μολυσμένο γάλα της αγελάδας κ.α. Σε υψηλές θερμοκρασίες επίσης, το μαγειρεμένο κρέας ή άλλα τρόφιμα, κατά τη διάρκεια του ψησίματος, αυξάνουν το ποσοστό τους σε Π.Α.Υ. Ενημερωτικά, τα επίπεδα των Π.Α.Υ στη διατροφή των κατοίκων των Η.Π.Α, είναι λιγότερο από 2 ppm, ή λιγότερο από 2 μικρογραμμάρια ανά κιλό τροφής.

Εντούτοις, οι Π.Α.Υ μπορούν να συνδεθούν με τη σκόνη ή την τέφρα, προκαλώντας πνευμονικά προβλήματα, η επαφή με το δέρμα μπορεί να προκαλέσει κνησμούς, φουσκάλες, και ξεφλουδίσματα και λοιπά. Οι ακόλουθες επιπτώσεις στην υγεία μπορούν να εμφανιστούν μετά από αρκετά χρόνια έκθεσης σε Π.Α.Υ :

1. Καρκίνος : Το βενζοπυρένιο, έχει αποδειχτεί ότι έχει προκαλέσει καρκίνο των πνευμόνων και του δέρματος σε πειραματόζωα. Άλλοι Π.Α.Υ δεν είναι γνωστοί να έχουν αυτήν την ιδιότητα, η έκθεση όμως σε διάφορους τύπους καπνού που περιέχουν Π.Α.Υ, προκάλεσαν όγκο στους πνεύμονες διαφόρων πειραματόζωων. Επίσης είναι ύποπτοι και για τερατογενέσεις.
2. Αναπαραγωγικά προβλήματα : Τα αναπαραγωγικά προβλήματα και τα προβλήματα στην ανάπτυξη των αγέννητων μωρών, έχουν εμφανιστεί σε πειραματόζωα που εκτέθηκαν στο βενζοπυρένιο. Άλλοι Π.Α.Υ δεν έχουν μελετηθεί αρκετά να καθορίσουν εάν προκαλούν τέτοιου είδους προβλήματα.
3. Επίδραση στα ανθρώπινα όργανα : Οι πνεύμονες, το συκώτι, το δέρμα, και τα νεφρά ενός ατόμου μπορούν να παρουσιάσουν βλάβες από την έκθεση σε Π.Α.Υ.

Γενικά, οι χημικές ουσίες, έχουν επιπτώσεις στα ίδια συστήματα οργάνων σε όλους τους ανθρώπους που εκτίθενται. Εντούτοις, η σοβαρότητα των αποτελεσμάτων μπορεί να ποικίλει από άτομο σε άτομο. Η αντίδραση ενός ατόμου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, συμπεριλαμβανομένης της υγείας, της κληρονομικότητας, την προηγούμενη έκθεση σε χημικές ουσίες συμπεριλαμβανομένων των φαρμάκων, και τις προσωπικές συνήθειες όπως το κάπνισμα και το ποτό. Είναι επίσης σημαντικό να εξεταστεί η διάρκεια της έκθεσης στη χημική ουσία, η ποσότητα της χημικής ουσίας άλλα και αν το άτομο ήρθε σε επαφή με αυτή μέσω εισπνοής, αγγίγματος ή κατάποσης.

Οι Π.Α.Υ όπως προαναφέραμε, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες ουσίες και ιδιαίτερες προφυλάξεις πρέπει να λαμβάνονται κατά τη χρήση τους σε βιομηχανικές και σε εργαστηριακές χρήσεις. Επειδή είναι τοξικά κατά την εισπνοή, ερεθιστικά του αναπνευστικού συστήματος και της επιδερμίδας, πρέπει να συνοδεύονται από την παρακάτω σήμανση (βλ. Σχήμα 3.10) :



Τοξικό



Επιβλαβές –Ερεθιστικό



Επικίνδυνο για το περιβάλλον

Σχήμα 3.10 : Σήμανση που πρέπει να συνοδεύει τους Π.Α.Υ σε βιομηχανικές και εργαστηριακές χρήσεις

3.4 NON AQUEOUS PHASE LIQUIDS (N.A.P.L'S)

Τα N.A.P.L είναι υδρογονάνθρακες οι οποίοι όταν βρίσκονται σε επαφή με το νερό ή με τον αέρα, σχηματίζουν μία ξεχωριστή φάση και δεν αναμιγνύονται με αυτά. Οι διαφορές που υπάρχουν στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού και του N.A.P.L έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας φυσικής διεπιφάνειας μεταξύ των ρευστών, που εμποδίζει την ανάμιξη τους. Τα N.A.P.L's κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες :

1. D.N.A.P.L's - Dense N.A.P.L's (έχουν πυκνότητες μεγαλύτερες του νερού, π.χ, οι περισσότεροι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες).
2. L.N.A.P.L's - Light N.A.P.L's (με πυκνότητες μικρότερες από αυτές του νερού, π.χ βενζίνη, το diesel, τα καύσιμα αεριωθούμενων κ.λπ.).

Τα L.N.A.P.L's δημιουργούν συχνά προβλήματα ρύπανσης, που σχετίζονται με την έκλυση διαφόρων πετρελαιοειδών στο έδαφος, στο υπέδαφος και στα υπόγεια νερά. Τα προϊόντα αυτά είναι συνήθως σύνθετα μείγματα οργανικών ενώσεων, οι οποίες έχουν διαφορετικές διαλυτότητες στο νερό. Ορισμένα συστατικά (π.χ. αιθέρες, αλκοόλες) χαρακτηρίζονται από υψηλές διαλυτότητες, ενώ άλλα (π.χ. βενζόλιο, τολουόλιο, αιθυλοβενζόλιο) από χαμηλές διαλυτότητες. Σε γενικές γραμμές, αντιπροσωπεύουν μία σημαντική αιτία μακροπρόθεσμης ρύπανσης των υπογείων νερών σε πολλά πεδία. Άς δούμε ορισμένα οφθαλμοφανή παραδείγματα απο παρουσία L.N.A.P.L's σε διάφορα έδαφη, στα παρακάτω Σχήματα 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 και 3.15 :

Ένδειξη
ρύπανσης:
αλλαγή
χρώματος



Σχήμα 3.11 : Παράδειγμα L.N.A.P.L

Λιμνούλα
LNAPL



Σχήμα 3.12 : Παράδειγμα L.N.A.P.L

Ένδειξη
ρύπανσης:
αλλαγή
χρώματος
σε βάθος
ως ~1m



Σχήμα 3.13 : Παράδειγμα L.N.A.P.L



Σχήμα 3.14 : Παράδειγμα L.N.A.P.L



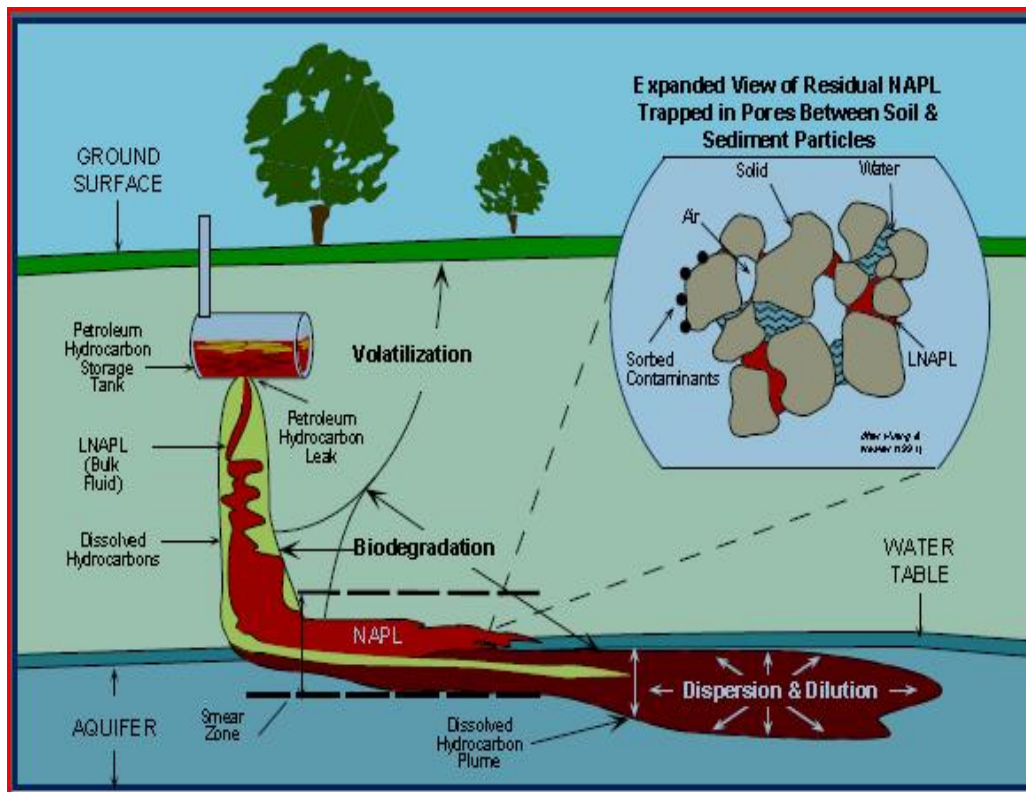
Σχήμα 3.15 : Παράδειγμα L.N.A.P.L

Το L.N.A.P.L επίσης, είναι δυνατό να υφίσταται σε οποιαδήποτε από τις τέσσερις φάσεις μέσα στο υπέδαφος. Δηλ. οι ρυπαντικές ουσίες, κατανέμονται ανάμεσα στην υδατική, στην αέρια, στην οργανική και στην στερεά φάση (π.χ. υλικά του εδάφους και του υδροφορέα). Στην ακόρεστη ζώνη οι ρυπαντικές ουσίες υφίστανται και στις τέσσερις φάσεις, ενώ στην κορεσμένη ζώνη συναντώνται στην υδατική φάση, στη στερεά και στην καθαρή συμπυκνωμένη φάση του N.A.P.L. Τα συστατικά του N.A.P.L μπορούν να κατανέμονται, αλλά και να μετακινούνται από τη μία φάση στην άλλη, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της μετατροπής, είναι η διάλυση των διαλυτών συστατικών στο υπόγειο νερό). Το ίδιο μόριο είναι δυνατό να προσροφάται σε μία στερεή επιφάνεια και στη συνέχεια να εκροφάται και να ελευθερώνεται στα υπόγεια ύδατα.

Η τάση, που παρουσιάζει μία ουσία (ρυπαντής) να κατανέμεται στις διάφορες φάσεις περιγράφεται από κάποιες εμπειρικές σταθερές κατανομής οι οποίες εξαρτώνται από τις ιδιότητες του εδάφους και του N.A.P.L, όπως είναι η σταθερά του Henry (H) για την κατανομή μεταξύ του νερού και του αέρα, η σταθερά (K_n) για την κατανομή μεταξύ του αέρα και του N.A.P.L και η σταθερά (K_d) για την κατανομή μεταξύ της στερεάς και της υδατικής φάσης.

3.4.1 Κίνηση των N.A.P.L's στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους

Η κίνηση των L.N.A.P.L's στο υπέδαφος ρυθμίζεται από διάφορες διαδικασίες. Με την έκλυση του N.A.P.L στην επιφάνεια του εδάφους, είτε αυτό είναι L.N.A.P.L ή D.N.A.P.L, αρχίζει η κίνηση του προς τα κάτω υπό την επιρροή των βαρυτικών δυνάμεων (βλ. Σχήμα 3.16).



Σχήμα 3.16 : Έκλυση N.A.P.L στο έδαφος και στα υπόγεια νερά

Στην περίπτωση που η ποσότητα, που εκλύεται είναι μικρή, το N.A.P.L θα κινηθεί μέσα στην ακόρεστη ζώνη, όπου ένα κλάσμα του θα συγκρατηθεί στους πόρους του εδάφους, υπό τη μορφή γαγγλίων από τριχοειδείς δυνάμεις. Με τον τρόπο αυτό, μειώνεται συνεχώς η ποσότητα του N.A.P.L μέχρι να σταματήσει εντελώς η κίνηση του. Στην περίπτωση, που η ποσότητα του N.A.P.L είναι άφθονη, η κίνηση του θα συνεχιστεί ώσπου να συναντήσει κάποιο φυσικό εμπόδιο (π.χ. ένα αδιαπέρατο στρώμα), ή να επηρεαστεί από τις δυνάμεις άνωσης κοντά στον υδροφόρο ορίζοντα. Όταν φτάσει στη ζώνη τριχοειδούς ανύψωσης (capillary fringe), το L.N.A.P.L αρχίζει να κινείται οριζόντια, ως μία οριζόντια ανεξάρτητη φάση κατά μήκος του ανώτερου ορίου της κορεσμένης ζώνης, που είναι αποτέλεσμα της κίνησης του υπόγειου νερού στην κορεσμένη ζώνη.

Παρόλο που η κύρια κατεύθυνση κίνησης του συνήθως είναι προς την κατεύθυνση της υδραυλικής βαθμίδας, είναι δυνατό το N.A.P.L να κινείται ταυτόχρονα και προς άλλες κατευθύνσεις. Άλλωστε μία μεγάλη συνεχής μάζα μπορεί να προκαλέσει καταβίβαση του υδροφόρου ορίζοντα και της ζώνης τριχοειδούς ανύψωσης (capillary fringe). Από τη στιγμή που θα απομακρυνθεί η πηγή ρύπανσης, το L.N.A.P.L κινείται οριζόντια, η υδροστατική πίεση του μειώνεται και σταδιακά ο υδροφόρος ορίζοντας ανακάμπτει. Αλλά κατά την κατείσδυση και την επαφή με το υπόγειο νερό θα διαλυθούν τα διαλυτά συστατικά του και θα σχηματιστεί ρύπανση, που βρίσκεται στην υδατική φάση.

Τέλος, είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι εξαιτίας της εξάτμισης θα παρατηρηθεί επιπλέον ρύπανση είτε στο νερό, που βρίσκεται εγκλωβισμένο στους πόρους του εδάφους ή στον υδροφόρο ορίζοντα.

3.4.2 Μεταφορά των L.N.A.P.L's και παράμετροι που την επηρεάζουν

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την μεταφορά του L.N.A.P.L, τόσο σε επίπεδο πόρων όσο και σε επίπεδο πεδίου, έχουν άμεση σχέση με τις ιδιότητες των υλικών του υπεδάφους. Σε επίπεδο πεδίου είναι πολύ πιο δύσκολο να προβλεφθεί η μετακίνηση του L.N.A.P.L, γεγονός που οφείλεται στην πολυπλοκότητα των παραγόντων που την επηρεάζουν, όπως είναι η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών του υπεδάφους, ωστόσο σε επίπεδο πόρων, που αποτελεί πιο απλοποιημένη περίπτωση, οι παράμετροι που επηρεάζουν την μεταφορά και την κατανομή του N.A.P.L είναι οι εξής πιο κάτω :

1. Πυκνότητα : Ορίζεται ως η μάζα μίας ουσίας ανά μονάδα όγκου. Ένας κοινός τρόπος έκφρασης της πυκνότητας είναι η ειδική πυκνότητα, η οποία είναι ο λόγος της μάζας ανά ορισμένο όγκο, σε μία ορισμένη θερμοκρασία. Η πυκνότητα των περισσότερων ρευστών μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, δεν επηρεάζει μόνο την άνωση ενός ρευστού, αλλά και την κινητικότητα στο υπέδαφος.
2. Ιξώδες : Το ιξώδες είναι ένα μέτρο της αντίστασης ενός ρευστού κατά τη ροή. Και το ιξώδες εξαρτάται από τη θερμοκρασία, έτσι μειώνεται με την αύξησή της. Όσο πιο μικρό είναι το ιξώδες, τόσο λιγότερη είναι η ενέργεια που απαιτείται για τη ροή ενός ρευστού μέσα σ' ένα πορώδες μέσο.
3. Διεπιφανειακή τάση : Όταν δύο ρευστά τα οποία δεν είναι δυνατό να αναμιχθούν, βρίσκονται σε επαφή, αναπτύσσεται μεταξύ τους μία διεπιφανειακή ενέργεια - τάση, που οδηγεί τελικά στη δημιουργία μίας φυσικής διεπιφάνειας. Η διεπιφανειακή τάση είναι η επιφανειακή ενέργεια πάνω στη διεπιφάνεια, που προκύπτει ως αποτέλεσμα των διαφορετικών δυνάμεων μοριακής έλξης μέσα στα ρευστά και στη διεπιφάνεια. Εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο πιο σταθερή είναι η διεπιφάνεια μεταξύ των υγρών. Επίσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία.
4. Διαβρεξιμότητα : Ορίζεται ως η γενική τάση ενός ρευστού να εξαπλώνεται και να επικαλύπτει σε μία στερεή επιφάνεια (προτίμηση) κατά την παρουσία ενός δεύτερου υγρού με το οποίο όμως δεν είναι αναμίξιμο. Σε ένα πολυφασικό σύστημα, το διαβρέχον ρευστό θα καλύψει τις στερεές επιφάνειες καταλαμβάνοντας τους μικρότερους πόρους, ενώ το μη διαβρέχον ρευστό θα περιοριστεί στους μεγαλύτερους πόρους. Στην ακόρεστη ζώνη, όπου συνυπάρχουν αέρας, νερό και N.A.P.L, τα υγρά και κυρίως το νερό θα καταλάβει τις στερεές επιφάνειες. Παρόλα αυτά κάτω από συνθήκες, στις οποίες υπάρχουν μόνο αέρας και N.A.P.L, το N.A.P.L είναι εκείνο που θα επικαλύψει τις ορυκτές επιφάνειες, αντικαθιστώντας τον αέρα. Στην κορεσμένη ζώνη, όπου συνυπάρχουν μόνο το νερό και το N.A.P.L, το νερό θα αποτελεί το διαβρέχον υγρό, εκτοπίζοντας το L.N.A.P.L από τους πόρους. Εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι η σύνθεση του N.A.P.L και της υδατικής φάσης, η παρουσία οργανικής ύλης, η ορυκτολογία και το ιστορικό κορεσμού του πορώδους μέσου.
5. Τριχοειδής πίεση : Η τριχοειδής πίεση είναι η διαφορά πίεσης κατά μήκος της διεπιφάνειας μεταξύ του διαβρέχοντος και του μη διαβρέχοντος υγρού και συχνά εκφράζεται με το ύψος της αντίστοιχης στήλης νερού. Καθορίζει το μέγεθος των

πόρων στους οποίους είναι δυνατό να υφίσταται μία διεπιφάνεια. Είναι ένα μέτρο της σχετικής έλξης των μορίων ενός υγρού (συνοχή) μεταξύ τους καθώς και με μία στερεή επιφάνεια. Η τριχοειδής πίεση εκφράζει την τάση ενός πορώδους μέσου να έλκει το διαβρέχον υγρό και να απωθεί το μη διαβρέχον υγρό. Επιπλέον, η τριχοειδής πίεση των μεγαλύτερων πόρων πρέπει να ξεπεραστεί, ώστε να μπορεί το μη διαβρέχον υγρό να εισέλθει στους πόρους αυτούς. Η τριχοειδής πίεση αυξάνει καθώς οι πόροι μικραίνουν, καθώς η υγρασία μειώνεται και όταν η διεπιφανειακή τάση αυξάνεται. Γενικά, μπορεί να πει κανείς ότι οι τριχοειδείς συνθήκες καθορίζουν σε σημαντικό ποσοστό τη διαμόρφωση και το μέγεθος του υπολειμματικού N.A.P.L που βρίσκεται παγιδευμένο στους πόρους του εδάφους. Πολλές παρατηρήσεις στο πεδίο οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η κίνηση του L.N.A.P.L, γίνεται κυρίως μέσα από τους μεγαλύτερους πόρους ενός πορώδους μέσου και όχι διαμέσου των μικρότερων πόρων.

6. Κορεσμός και υπολειμματικός κορεσμός : Ο κορεσμός είναι το σχετικό κλάσμα του συνολικού χώρου των πόρων, που περιέχουν ένα υγρό (π.χ. N.A.P.L) προς τον αντίστοιχο όγκο των κενών του πορώδους μέσου. Η κινητικότητα του L.N.A.P.L σχετίζεται άμεσα με τον κορεσμό στο πορώδες μέσο. Το σημείο εκείνο, στο οποίο ένα συνεχές L.N.A.P.L γίνεται ασυνεχές και ακινητοποιείται από τις τριχοειδείς δυνάμεις, ονομάζεται υπολειμματικός κορεσμός. Ο υπολειμματικός κορεσμός αντιπροσωπεύει μία πιθανή πηγή συνεχούς ρύπανσης για το υπέδαφος και τα υπόγεια ύδατα, η οποία συγκρατείται με ισχυρές δυνάμεις στους πόρους του εδάφους και δεν είναι δυνατό να αφαιρεθεί με τις σύγχρονες μεθόδους αποκατάστασης του εδάφους. Το μέγεθος του υπολειμματικού κορεσμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι τα διαφορετικά μεγέθη των πόρων, οι ιδιότητες της διαβρεξιμότητας των ρευστών και των στερεών του εδάφους, οι υδραυλικές βαθμίδες, η διεπιφανειακή τάση, οι λόγοι των ιξώδων και των πυκνοτήτων των ρευστών, η βαρύτητα, οι δυνάμεις άνωσης, τα ποσοστά ροής.
7. Σχετική διαπερατότητα : Η σχετική διαπερατότητα είναι ο λόγος της φαινόμενης διαπερατότητας ενός μέσου σε ένα ρευστό για ένα συγκεκριμένο επίπεδο κορεσμού προς τη διαπερατότητα του μέσου στο ρευστό για 100% κορεσμό. Οι τιμές της σχετικής διαπερατότητας κυμαίνονται μεταξύ του 0 και του 1. Θεωρώντας ένα υποθετικό σύστημα νερό / L.N.A.P.L, παρατηρείται ότι τα δύο υγρά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους έτσι ώστε να μειωθεί η κινητικότητα και των δύο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι υπάρχει ένα ελάχιστο επίπεδο κορεσμού, το οποίο πρέπει να επιτευχθεί ώστε η διαπερατότητα σε ένα υγρό να μην είναι μηδενική. Το όριο αυτό στην τιμή του κορεσμού ονομάζεται υπολειμματικός κορεσμός.
8. Νόμος του Darcy : Ο νόμος του Darcy χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις για να περιγράψει την κίνηση ρευστών σε πορώδες μέσο. Έτσι χρησιμοποιείται και για να περιγράψει την κίνηση του L.N.A.P.L στην περίπτωση που ο κορεσμός είναι κάτω από 100%, βάση της σχέσης :

$$n = -\left(\frac{k \cdot r \cdot g}{m}\right) \cdot \left(\frac{dh}{dl}\right) \quad (3.1)$$

και όπου : v = ταχύτητα Darcy (σε L / T)

k = διαπερατότητα (σε L^2)

ρ = πυκνότητα του N.A.P.L (σε M / L^3)

g = επιτάχυνση της βαρύτητας (σε L / T^2)

μ = δυναμικό (απόλυτο) ιξώδες (σε M / LT)

dh / dl = υδραυλική κλίση (σε L / L)

3.4.3 L.N.A.P.L's και η τύχη τους στο υπέδαφος

Γενικά, τα L.N.A.P.L's στο υπέδαφος υφίστανται διάφορες βιοτικές και αβιοτικές διεργασίες (διαλυτοποίηση και εξάτμιση), οι οποίες μπορούν να διαφοροποιήσουν την αρχική σύστασή τους. Οι διεργασίες αυτές μπορούν να τροποποιήσουν τις ιδιότητες του L.N.A.P.L και να αυξήσουν για παράδειγμα το ιξώδες, οπότε να επηρεαστεί και η κινητικότητα τους. Η τύχη των διάφορων χημικών ουσιών που απαρτίζουν τα L.N.A.P.L και κατανέμονται ανάμεσα στις τέσσερις φάσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως (αέρας, νερό, στερεά και οργανικά), καθορίζεται από :

1. Την εξάτμιση : Η εξάτμιση των οργανικών ουσιών πραγματοποιείται με δύο τρόπους, με εξάτμιση από το νερό και εξάτμιση από το L.N.A.P.L. Η σταθερά του Henry περιγράφει την κατανομή μίας οργανικής ουσίας μεταξύ των αέριων και των υδατικών φάσεων. Για σχετικά αραιά διαλύματα, ισχύει ότι η τάση των μορίων να φεύγουν από τη διαλυτή φάση και να περνούν στην αέρια είναι ανάλογη προς την συγκέντρωσή τους στο νερό. Η σχέση αυτή υποθέτει ότι υπάρχει ισορροπία μεταξύ του νερού και του αέρα και είναι χρήσιμη για τον υπολογισμό του δυναμικού, για μεταφορά των χημικών ουσιών από το νερό στον αέρα και από τους ατμούς υδρογονανθράκων στο νερό. Για πιο πυκνά διαλύματα ή για την καθαρή οργανική φάση, η εξάτμιση περιγράφεται καλύτερα από τον νόμο του Raoult, σύμφωνα με τον οποίο η πίεση των ατμών πάνω από ένα διάλυμα είναι ίση με το διαλυτό μοριακό κλάσμα επί την πίεση των ατμών του ρευστού στην καθαρή φάση. Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι τόσο ο νόμος του Henry όσο και ο νόμος του Raoult λαμβάνουν ως προϋπόθεση το γεγονός ότι το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία.
2. Την διαλυτοποίηση : Το N.A.P.L που βρίσκεται σε φυσική επαφή με το υπόγειο νερό θα διαλυθεί και θα εισέλθει στην υδατική φάση. Η διαλυτότητα ενός οργανικού συστατικού είναι η συγκέντρωση ισορροπίας του συστατικού σε ορισμένη θερμοκρασία και πίεση, η οποία αντικατοπτρίζει την μέγιστη συγκέντρωση του συστατικού στο νερό. Όμως, είναι φυσικό ότι οι διαλυτότητες των συστατικών του N.A.P.L είναι διαφορετικές και για τον σκοπό αυτό, οι συγκεντρώσεις ισορροπίας στη διαλυτή φάση, υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τη διαλυτότητα του καθαρού υγρού και το μοριακό του κλάσμα στο N.A.P.L (νόμος του Raoult). Αρκετές από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη διαλυτότητα είναι

η θερμοκρασία, η πίεση, η συνδιαλυτοποίηση με άλλα συστατικά, ο διαλυμένος οργανικός άνθρακας, τα διαλυμένα ανόργανα συστατικά και το pH. Όμως ειδικότερα για το μείγμα N.A.P.L (το οποίο αποτελείται από διάφορα συστατικά και επομένως είναι μία πιο περίπλοκη περίπτωση) οι υψηλοί ρυθμοί διαλυτοποίησης μπορούν να συνδυαστούν με υψηλές ταχύτητες του υπογείου νερού, υψηλά επίπεδα κορεσμού, μεγάλη περιοχή φυσικής επαφής του με το νερό και σημαντικό κλάσμα διαλυτών ουσιών.

3. Την ρόφηση : Η ρόφηση ορίζεται ως η αλληλεπίδραση μίας ρυπαντικής ουσίας με το έδαφος. Στα υλικά του εδάφους ή του υδροφορέα που είναι ρυπασμένα με N.A.P.L, ορισμένες ουσίες από το μείγμα που συνιστά το N.A.P.L θα κατανεμηθούν στη στερεή φάση των υλικών. Ο κυριότερος δρόμος που οδηγεί στη διαδικασία αυτή είναι μέσω της υδατικής φάσης. Με άλλα λόγια, αν εκλυθεί N.A.P.L στο υπέδαφος, αυτό αρχικά θα διαλυθεί στην υδατική φάση και στην συνέχεια θα κατανεμηθεί στην στερεή φάση των συστατικών του εδάφους. Είναι ποικίλες οι παράμετροι που επηρεάζουν τη ρόφηση σε πεδία που έχουν ρυπανθεί με επικίνδυνα απόβλητα και ορισμένες από αυτές είναι η διαλυτότητα, η πολικότητα, η ιοντική φόρτιση, το pH, το οξειδοαναγωγικό δυναμικό και η σταθερά κατανομής οκτανόλης - νερού. Γενικά, η στερεή φάση (προσροφημένο) N.A.P.L είναι συνήθως ένα μικρό κλάσμα της συνολικής μάζας του ρυπαντή στο έδαφος ή στον υδροφορέα, όπου υπάρχει N.A.P.L συνεχούς φάσης ή υπολειμματικό. Το σημαντικότερο κομμάτι της μάζας βρίσκεται στην οργανική φάση. Η εκρόφηση του ρυπαντή είναι κάποιες φορές η κυρίως υπεύθυνη για την ύπαρξη ουράς στην κατανομή της συγκέντρωσης ρύπων, που παρατηρείται σε συστήματα αποκατάστασης του εδάφους μέσω άντλησης.
4. Την βιοαποδόμηση : Πολλά από τα συστατικά του N.A.P.L υφίστανται βιολογική αποδόμηση όταν βρίσκονται στην υδατική φάση από μικροοργανισμούς, που βρίσκονται στο υπέδαφος. Η βιοαποδόμηση, όμως της καθαρής φάσης του N.A.P.L δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ, εφόσον οι μικροοργανισμοί δεν δύνανται να επιβιώσουν μέσα σ' αυτή.

3.5 ΠΤΗΤΙΚΕΣ ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΕΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΚΟΡΕΣΤΗ ΖΩΝΗ

Υπάρχουν δύο κυρίαρχοι φυσικοί μηχανισμοί με τους οποίους οι ρύποι μεταφέρονται στην αέρια φάση στην ακόρεστη ζώνη, η συναγωγή, και η αέρια διάχυση. Ο δε μηχανισμός της διάχυσης επηρεάζεται από διαλυτοποίηση και από την προσρόφηση στα στερεά. Αναλυτικότερα γι' αυτά θα έχουμε :

1. Συναγωγή : Ο μηχανισμός της συναγωγής αναφέρεται στην κίνηση ενός μορίου με την κίνηση της κύριας μάζας του ρευστού μέσα στο οποίο βρίσκεται. Κατά την μεταφορά μάζας λόγω συναγωγής όλα τα μόρια ενός αερίου παρασύρονται από την κίνηση του. Οι μηχανισμοί μεταφοράς λόγω συναγωγής παίζουν σημαντικό ρόλο στην κίνηση των αερίων στο έδαφος και το γεγονός αυτό, ενισχύεται στην περίπτωση που τα αέρια είναι κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, όπου υφίστανται ατμοσφαιρικές διακυμάνσεις ή κοντά σε κτίρια που δημιουργούν βαθμίδες πίεσης εξαιτίας θερμοκρασιακών διαφορών ή διαφορών πυκνότητας.

Λόγω της ετερογένειας των γεωλογικών υλικών, η μεταφορά μάζας λόγω συναγωγής, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά μέτωπα μεταφοράς ενός ρύπου στα διάφορα γεωλογικά στρώματα.

2. Διάχυση : Μοριακή διάχυση είναι το φαινόμενο μεταφοράς μάζας που οφείλεται στην κινητική ενέργεια των μορίων. Δηλαδή περιγράφει την μεταφορά μάζας εξαιτίας της τυχαίας θερμικής κίνησης των ατόμων και των μορίων, που είναι μία διαδικασία γνωστή και ως κίνηση Brown. Η διάχυση προκαλεί ροή μάζας που οφείλεται σε βαθμίδες συγκέντρωσης και συγκεκριμένα από σημεία υψηλής συγκέντρωσης σε σημεία χαμηλής συγκέντρωσης. Η τυχαία κατανομή των μορίων, προκαλεί αυξημένη εντροπία. Η ροή μάζας εξαρτάται από την βαθμίδα συγκέντρωσης και εκφράζεται με τους νόμους του Fick.

$$F = -D_m \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.3)$$

όπου: C = συγκέντρωση της ουσίας, M/L³

D_m = συντελεστής μοριακής διάχυσης, L²/t

X = απόσταση, L

t = χρόνος, t

F = μαζική ροή, M/L³ t

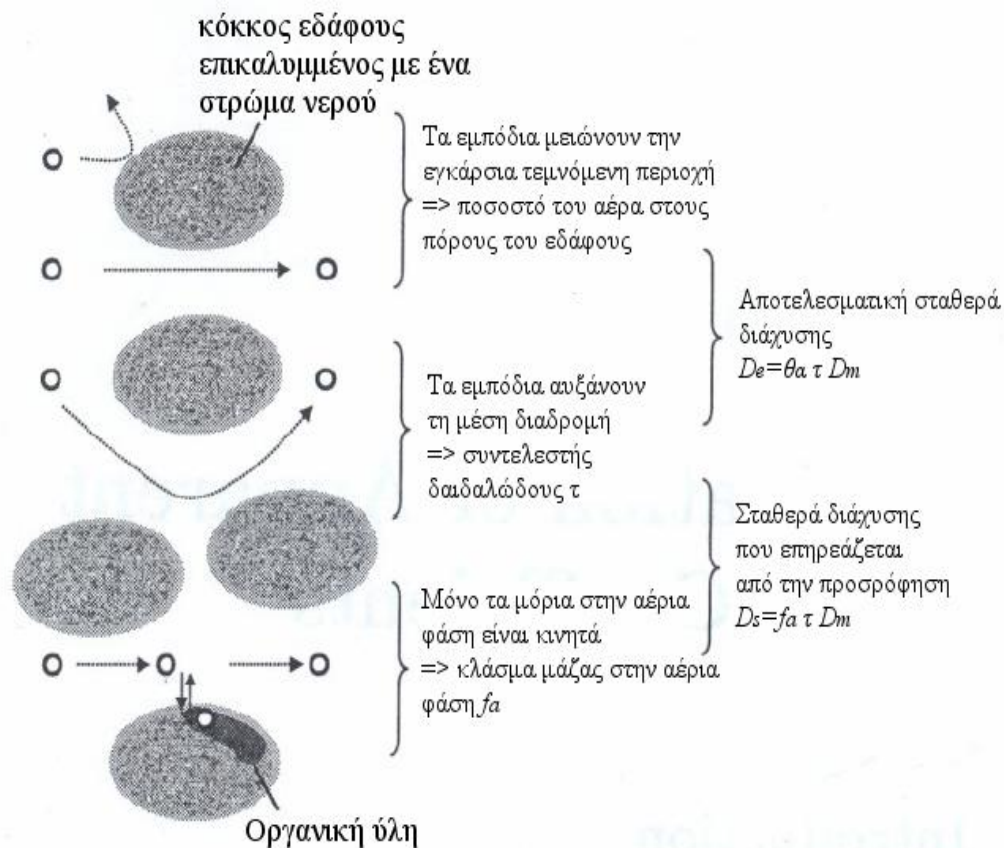
Σημειώνεται ότι οι εξισώσεις αυτές που προαναφέραμε, ισχύουν και σε τρισδιάστατο χώρο και μόνο ενδεικτικά έχουν γραφτεί ως προς την συντεταγμένη (x).

Αποτέλεσμα της διάχυσης είναι η εξάπλωση του ρύπου από το σημείο εισαγωγής του σε ένα πορώδες μέσο, ακόμη και στην περίπτωση που δεν υπάρχει ροή υπογείου ύδατος. Στην ακόρεστη ζώνη υπό φυσιολογικές συνθήκες, υπάρχουν πολύ μικρές βαθμίδες πίεσης. Επομένως η μεταφορά μάζας των αερίων συστατικών βασίζεται στην διάχυση στην αέρια φάση (που αποτελεί και τον κυρίαρχο μηχανισμό μεταφοράς των πτητικών οργανικών αερίων στην ακόρεστη ζώνη). Επειδή οι σταθερές διάχυσης στα αέρια είναι πολύ υψηλότερες από ότι στα υγρά, η ροή διάχυσης στην ακόρεστη ζώνη εξαρτάται κυρίως από τα κενά των πόρων, που εμπεριέχουν αέρα, τα οποία με τη σειρά τους εξαρτώνται από το περιεχόμενο νερό των πόρων.

Η διάχυση στην αέρια φάση στην ακόρεστη ζώνη, διαφέρει από την διάχυση στον ελεύθερο αέρα. Τα στερεά και υγρά εμπόδια μειώνουν την εγκάρσια τεμνόμενη

επιφάνεια και αυξάνουν τη μέση διαδρομή για στοιχεία που διαχέονται στο έδαφος. Κάτω από μεταβατικές συνθήκες, η διάχυση στην αέρια φάση, στην ακόρεστη ζώνη επηρεάζεται από την κατανομή του ρύπου στο νερό των πόρων, στη διεπιφάνεια νερού – αέρα και στα στερεά. Οι ουσίες που έχουν ένα μικρό κλάσμα της μάζας τους στην αέρια φάση, θα μετακινούνται πιο αργά από ό,τι τα συντηρητικά αέρια. Η δε μετακίνηση τους στο έδαφος, θα εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και τις χημικές ιδιότητες της ουσίας που διαχέεται.

Για τον υπολογισμό της ροής διάχυσης των αερίων στην ακόρεστη ζώνη χρησιμοποιούνται οι φαινόμενες σταθερές διάχυσης. Οι φαινόμενες σταθερές διάχυσης υπολογίζονται με παράγοντες αναλογίας, (proportionality factor) που λαμβάνουν υπόψη την επιρροή της φυσικής εξασθένησης και της κατανομής στις διάφορες φάσεις. Οι φαινόμενες σταθερές διάχυσης (D_e) σχετίζονται με τη μειωμένη εγκάρσια τεμνόμενη επιφάνεια και την αυξημένη διαδρομή και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ροών αερίων από τον πρώτο νόμο του Fick ή για την ερμηνεία σταθερών προφίλ αερίων συγκεντρώσεων (βλ. σχέση 3.4). Οι σταθερές διάχυσης (D_s) που επηρεάζονται από τη ρόφηση, λαμβάνουν υπόψη την αυξημένη διαδρομή και την κατανομή στις φάσεις, όπως είναι η υδατική φάση ή η στερεή. Περιγράφουν μεταβατικές συνθήκες όπως η μεταβολή των προφίλ συγκέντρωσης σε συνάρτηση με τον χρόνο (βλ. σχέση 3.5). Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο Σχήμα 3.17 :



Σχήμα 3.17 : Οι σταθερές διάχυσης των πτητικών ενώσεων φαίνεται να επηρεάζονται από τα διάφορα χαρακτηριστικά του εδάφους

Ακολουθούν οι σχέσεις υπολογισμού για τις φαινόμενες σταθερές διάχυσης (σχέση 3.4) και τις σταθερές διάχυσης που επηρεάζονται από την ρόφηση (σχέση 3.5) :

$$D_e = q_a \cdot t \cdot D_m \quad (3.4)$$

$$D_s = f_a \cdot t \cdot D_m \quad (3.5)$$

Όπου : θ_a = αέριο πορώδες

τ = συντελεστής δαιδαλώδους (tortuosity)

f_a = κλάσμα της μάζας που βρίσκεται σε αέρια φάση

Παρατηρείται ότι στα πορώδη μέσα, όπου χρησιμοποιούνται οι νόμοι του Fick, υπεισέρχεται στον συντελεστή D και ο συντελεστής δαιδαλώδους τ (tortuosity). Ο παράγοντας δαιδαλώδους (tortuosity) είναι μία συνάρτηση του κορεσμού στην υγρή φάση και μπορεί να έχει εύρος αρκετές τάξεις μεγέθους σε ιζήματα της ακόρεστης ζώνης. Ωστόσο, δεν υπάρχουν καθολικές σχέσεις που να ορίζουν την παράμετρο αυτή, εξαιτίας της πολυπλοκότητας, που εμφανίζουν τα φυσικά ιζήματα, εντούτοις μια γενική σχέση που δίνεται για τον υπολογισμό του είναι η (3.6). Η τιμή του (τ) είναι πάντοτε μικρότερη της μονάδας και δύναται να προσδιοριστεί με πειράματα διαχύσεως ενώ σε σύγκριση με τη συναγωγή, η διάχυση αποτελεί μία βραδεία διαδικασία μεταφοράς μάζας.

$$\tau = \frac{q_f^{7/3}}{q^2} \quad (3.6)$$

και όπου : θ_f = ποσοστό του πορώδους που εμπεριέχει υγρό

θ_t = ολικό πορώδες

3. Κατανομή : Εξαιτίας των διαφορετικών μοριακών δομών των οργανικών ενώσεων, αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων διαφορετικές διαμοριακές αντιδράσεις. Αυτές οι διαφορετικές διαμοριακές αντιδράσεις ελέγχουν την κατανομή των οργανικών ενώσεων στις διάφορες φάσεις. Έστω (i) μία οργανική ένωση και έστω οι φάσεις 1 και 2. Η κατανομή στο εσωτερικό φάσεων περιγράφεται με την παρακάτω αντίδραση (3.7), ενώ η κατανομή σε μια διεπιφάνεια μεταξύ δύο φάσεων με την αντίδραση (3.8) :



Πώς θα κατανεμηθεί τελικά η οργανική ένωση εξαρτάται από :

1. Τις χαρακτηριστικές ομάδες (π.χ. $-\text{OH}$) της οργανικής ένωσης, αλλά και του υλικού, που αποτελεί την κάθε φάση.
2. Τις διαμοριακές αντιδράσεις, δηλαδή την ισχύ των δεσμών, που σπάνε ή δημιουργούνται.
3. Τον αριθμό των αντιδράσεων.
4. Τα σημεία επαφής των μορίων.

Μεταξύ των μορίων οργανικών ενώσεων, δημιουργούνται γενικές και ειδικές αντιδράσεις. Οι γενικές αντιδράσεις μεταξύ μορίων είναι ανεξάρτητες του συντακτικού τύπου και ονομάζονται δυνάμεις Van der Waals. Είναι διαμοριακές δυνάμεις, που αναπτύσσονται όταν τα μόρια έρχονται πολύ κοντά, γεγονός που παρατηρείται κατά τη διάρκεια συγκρούσεων. Οι δυνάμεις Van der Waals είναι πιο ασθενείς από τους χημικούς δεσμούς, ενώ είναι δυνατόν να διασπαστούν από την θερμική κίνηση σε θερμοκρασία δωματίου. Υπάρχουν επίσης οι εξής δυνάμεις :

1. Οι δυνάμεις London, που είναι μεταβαλλόμενες με τον χρόνο και οφείλονται σε τυχαία ανισοκατανομή των ηλεκτρονίων μέσα στην ένωση.
2. Οι δυνάμεις Debye, που είναι δυνάμεις μεταξύ διπόλου και ασθενούς διπόλου.
3. Οι δυνάμεις Keesom, που είναι μεταξύ διπόλου και άλλου διπόλου και πρόκειται για ετερώνυμες έλξεις.

Η διαφορά μεταξύ των υπολοίπων δυνάμεων και των δυνάμεων London, δεν έγκειται μόνο στο γεγονός ότι παρουσιάζονται σε όλες τις περιπτώσεις έλξης μεταξύ μορίων, αλλά και ότι αποτελούν τις ισχυρότερες δυνάμεις μεταξύ μορίων. Αντίθετα, οι δυνάμεις Debye και οι δυνάμεις Keesom, εμφανίζονται στις περιπτώσεις όπου τα μόρια συνίστανται από μόνιμα δίπολα. Ειδικότερα οι δυνάμεις London, προέρχονται από τη διαρκή κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στο μόριο, η οποία συνεπάγεται τη δημιουργία προσωρινών και μεταβαλλόμενων διπόλων. Το προσωρινό αυτό δίπολο με τη σειρά του, έλκει τα μη πολικά μόρια μετατρέποντας τα σε νέα προσωρινά (επαγωγικά) δίπολα. Η πολικότητα και των δύο μορίων είναι δυνατόν να αντιστραφεί, παρόλο που η έλξη μεταξύ τους διατηρείται. Καθ' όσον τα μόρια βρίσκονται σε μικρή απόσταση, οι πολικότητες και των δύο θα συνεχίσουν να μεταβάλλονται, αλλά σε συγχρονισμό, ώστε να διατηρείται η έλξη.

Οι ειδικές αντιδράσεις δημιουργούνται εξαιτίας ειδικών μοριακών δομών. Πρόκειται για δυνατές τοπικές έλξεις μεταξύ σημείων, που είτε είναι φτωχές σε ηλεκτρόνια (δέκτες ηλεκτρονίων) ή πλούσιες σε ηλεκτρόνια (δότες ηλεκτρονίων).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο δεσμός υδρογόνου. Ειδικές αντιδράσεις εμφανίζονται μεταξύ πολικών οργανικών ενώσεων, δηλ. διπόλων (ενώσεις με χαρακτηριστικές ομάδες -NH_2 , -OH , -COOH).

Οι γενικές αντιδράσεις εμφανίζονται μεταξύ μη πολικών οργανικών ενώσεων, δηλ. πρόκειται για οργανικές ενώσεις άπολες και μονόπολες. Δηλ :

1. Άπολες (π.χ αλκάνια, χλωριωμένο βενζόλιο, όπου εμφανίζονται μόνο δυνάμεις Van der Waals.
2. Μονόπολες (ενώσεις με χαρακτηριστικές ομάδες -C-O-C- ή >C=O).

Τα οργανικά πτητικά αέρια V.O.C's (Volatile Organic Compounds), που είναι μη πολικές οργανικές ενώσεις, εμφανίζουν κατά κύριο λόγο τις δυνάμεις Van der Waals κατά την κατανομή τους στις διάφορες φάσεις της ακόρεστης ζώνης. Οι φάσεις στις οποίες κατανέμονται είναι οι εξής τέσσερις :

1. Η υδατική φάση των πόρων.
2. Η διεπιφάνεια μεταξύ του νερού και του αέρα.
3. Τα ανόργανα και τα οργανικά συστατικά του εδάφους πάνω στα οποία προσροφάται το αέριο.
4. Η τριχοειδής συμπύκνωση εντός ενδομοριακού μικροπορώδους, για υψηλές τιμές πιέσεων εξάτμισης (όχι περιοχή Henry).

4. ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ – ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ – ΣΥΛΛΟΓΗ ΡΥΠΑΝΤΗ ΑΠΟ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Οι συνθήκες του πεδίου, όπως π.χ η θέση, η φύση του υπεδάφους, η κλίση της επιφάνειας και η ποσότητα της διαρροής του πετρελαίου, επηρεάζουν σημαντικά τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ενεργειών αντιμετώπισης της ρύπανσης αυτής. Ωστόσο υπάρχουν ορισμένοι γενικοί κανόνες, οι οποίοι έχουν γενικευμένη ισχύ και πρέπει να ακολουθούνται. Οι κανόνες αυτοί έχουν ως εξής :

1. Βασικότερη επιδίωξη αποτελεί η άμεση επέμβαση.
2. Ο περιορισμός και έλεγχος της διαρροής επιδιώκεται όσο το δυνατό πλησιέστερα στο σημείο διαφυγής. Εφόσον αυτό είναι αδύνατο, επιλέγεται άλλο σημείο ελέγχου κατάντη της επιφανειακής κίνησης της διαρροής.
3. Ελαχιστοποιείται η πιθανότητα ανάφλεξης ή έκθεσης του προσωπικού σε περαιτέρω κινδύνους.
4. Παρεμποδίζεται η μεταφορά του διαρρεύσαντος ρυπαντή σε επιφανειακά και υπόγεια νερά ή ευαίσθητους περιβαλλοντικά αποδέκτες.
5. Λαμβάνονται μέτρα για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και των παρακείμενων υποδομών.
6. Όπου είναι δυνατό, χρησιμοποιούνται φυσικά υλικά για τον περιορισμό και έλεγχο της κίνησης της διαρροής.
7. Αποφεύγεται η κίνηση οχημάτων πάνω από επιφάνειες κορεσμένες σε υδρογονάνθρακες, εκτός αν έχει ελεγχθεί από πλευράς ασφαλείας για την μη πρόκληση ανάφλεξης.
8. Απαγορεύεται η διάθεση της ρύπανσης στα αποχετευτικά συστήματα εκτός και αν προβλέπεται η λειτουργία τους για το σκοπό αυτό.

Πέραν αυτών των γενικών κανόνων, όμως, για να μπορέσει να γίνει ένας σωστός προσδιορισμός του μεγέθους της ρύπανσης, της σοβαρότητας της κατάστασης κ.λ.π, έτσι ώστε να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα για την εξυγίανση – απορρύπανση του εδάφους, εφαρμόζονται οι ακόλουθες γενικές φάσεις σ' ένα τέτοιο έργο :

1. Προκαταρκτική έρευνα (Preliminary Assessment) : Περιλαμβάνει την συλλογή όλων των υφιστάμενων στοιχείων για την περιοχή και τον εντοπισμό των πιθανών ρυπαντών που μπορεί να ανιχνευτούν στην περιοχή όπως και τον εντοπισμό πιθανών ρυπασμένων υποπεριοχών). Τα στοιχεία που συλλέγονται βοηθούν

στην επιλογή των σημείων διερεύνησης του υπεδάφους και του υπόγειου νερού στην επόμενη φάση.

2. Περιβαλλοντική διερεύνηση πεδίου (Site investigation) : Περιλαμβάνει την δειγματοληψία εδάφους και νερών από διαφορετικά βάθη και την πραγματοποίηση χημικών αναλύσεων και φυσικοχημικών μετρήσεων για την καταγραφή της πραγματικής κατάστασης του υπεδάφους. Τα στοιχεία που συλλέγονται, βοηθούν στην αρχική επιλογή των τεχνικών απορρύπανσης για το συγκεκριμένο πεδίο.
3. Διερεύνηση Πεδίου Εξυγίανσης (Remedial investigation) : Αποτελεί μια εκτεταμένη περιβαλλοντική διερεύνηση πεδίου με δειγματοληψία εδαφών, νερών, υλικών, αποβλήτων, μπαζών που ανευρίσκονται μέσα στα όρια του ρυπασμένου πεδίου και αποσκοπεί στην τελική χαρτογράφηση της υφιστάμενης ρύπανσης στο υπέδαφος, όπως και στην εκτίμηση της πιθανότητας διασποράς και διαφυγής της ρύπανσης σε κοντινούς αποδέκτες. Τα στοιχεία που συλλέγονται, βοηθούν στον τελικό σχεδιασμό των μέτρων απορρύπανσης.
4. Σχεδιασμός μέτρων απορρύπανσης και καθορισμός ορίων απορρύπανσης (Remediation design & clean up levels) : Περιλαμβάνει τον αναλυτικό σχεδιασμό του έργου απορρύπανσης και όλων των απαραίτητων ενεργειών που θα εγγυηθούν την δημόσια υγεία και ασφάλεια και την προστασία του περιβάλλοντος όπως και τον καθορισμό των τελικών ορίων απορρύπανσης με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, σε συνεργασία με τις αρμόδιες περιβαλλοντικές αρχές.
5. Εφαρμογή μέτρων εξυγίανσης (Remedial actions) : Περιλαμβάνει την εφαρμογή των μέτρων εξυγίανσης όπως περιγράφονται στον αναλυτικό σχεδιασμό και το χρονοδιάγραμμα εργασιών με την αντίστοιχη επίβλεψη των έργων.
6. Παρακολούθηση της κατάστασης του υπεδάφους (Post remediation monitoring) : Περιλαμβάνει την συστηματική και περιοδική παρακολούθηση της κατάστασης του εδάφους και του υπόγειου νερού για μια συγκεκριμένη περίοδο, τουλάχιστον πέντε ετών μετά την ολοκλήρωση των έργων απορρύπανσης.

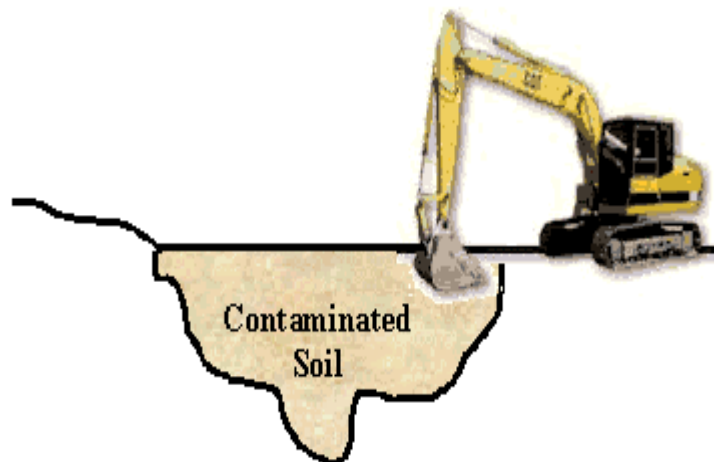
Όσον αφορά τα μέτρα απορρύπανσης, σύμφωνα και με όσα προαναφέραμε στο σημείο 4 και 5 (σχεδιασμός και εφαρμογή τους), συνολικά υπάρχουν τέσσερις μεγάλες κατηγορίες τέτοιων μέτρων, περιορισμού και συλλογής των πετρελαιοειδών απο το έδαφος (πολλές φορές τα μέτρα εξυγίανσης που εφαρμόζονται σε ένα ρυπασμένο πεδίο, προέρχονται και από τις τέσσερις κατηγορίες, ως ένας βέλτιστος συνδυασμός, λαμβάνοντας υπόψη τις εκάστοτε οικονομοτεχνικές συνθήκες που το χαρακτηρίζουν) και τις οποίες παρουσιάζουμε ως εξής :

1. Ολική εκσκαφή του εδάφους, επεξεργασία του, αδρανοποίηση, επαναχρησιμοποίηση ή τελική διάθεση και καταστροφή σε ειδικούς χώρους διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων.
2. Επεξεργασία με φυσικοχημικές και βιολογικές μεθόδους in situ (δηλ. επιτόπια χωρίς εκσκαφή), ή ex situ (δηλ. on site disposal : στο πεδίο ή off site disposal : απομακρυσμένη διάθεση σε άλλο ειδικό χώρο εκτός πεδίου) και επανατοποθέτηση του εδάφους στην αρχική του θέση.

3. Γεωτεχνικά Συστήματα (Geotechnical Systems) : Εγκλωβισμός - συγκράτηση της ρύπανσης (κάλυψη του χώρου ταφής (Landfill Cap, Brownfields Cap) με αδιαπέρατο κάλυμμα της ρυπασμένης περιοχής και των εγκαταστάσεων αποθήκευσης, κατασκευή υδραυλικών η διάφορων αδιαπέρατων φραγμάτων, ώστε να μειωθεί η κινητικότητα των μολυσματικών παραγόντων και να αποτραπεί η είσοδος των όμβριων νερών στο απόβλητο, με αποτέλεσμα την δημιουργία στραγγισμάτων).
4. Φυσική απομείωση (Physical - Natural attenuation) : Απλή παρακολούθηση της φυσικής βιοαποικοδόμησης των ρυπαντών με ταυτόχρονο περιορισμό των ρυπογόνων δραστηριοτήτων δηλ. επιτρέπει στη φύση απο μόνη της να μειώσει ή να αφαιρέσει το επίπεδο των μολυσματικών παραγόντων στο έδαφος (π.χ V.O.C's, B.T.E.X). Μερικά παραδείγματα της φυσικής απομείωσης είναι η βιοδιάσπαση, η διάλυση, η διασπορά ή η προσρόφηση στο χώμα. Κατά την ανάλυση αυτής της μεθόδου, απαιτείται συνεχής καταγραφή των ρύπων και των παραπροϊόντων της.

Αναλυτικότερα :

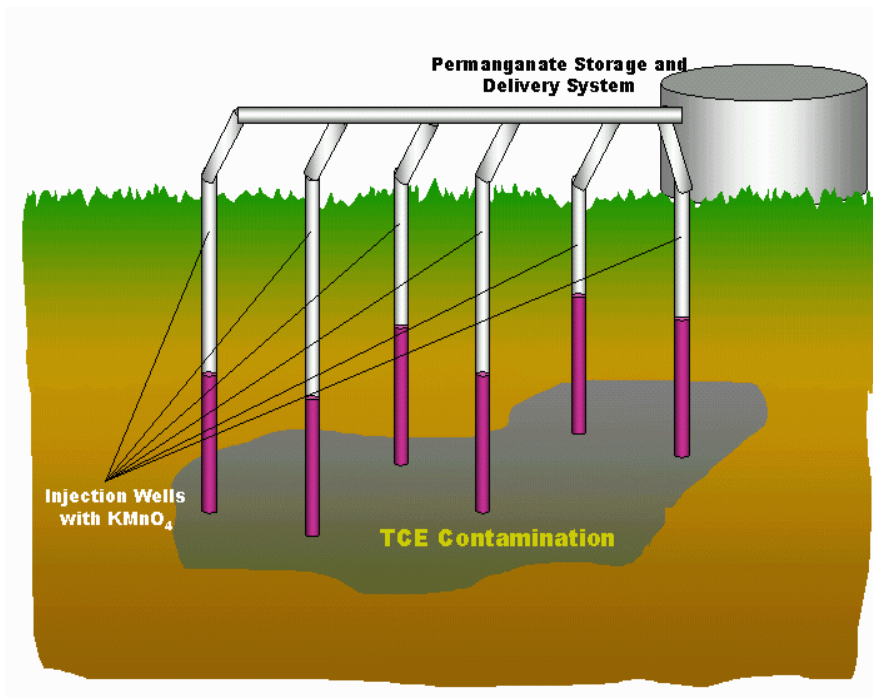
1. Η Ολική εκσκαφή (βλ. Σχήμα 4.1) του ρυπασμένου εδάφους, εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις όπου ο βαθμός και ο τύπος της ρύπανσης δεν απαιτούν πολύπλοκες και χρονοβόρες διαδικασίες επεξεργασίας, είτε υπάρχει μεγάλος χρονικός περιορισμός στην αποκατάσταση του πεδίου (άμεση αποκατάσταση) και φυσικά υπάρχει η δυνατότητα τελικής διάθεσης σε ειδικό χώρο διάθεσης ειδικών αποβλήτων. Επίσης η ολική εκσκαφή είναι συνήθως πραγματοποιήσιμη και οικονομικά συμφέρουσα όταν ο όγκος του ρυπασμένου εδάφους είναι σχετικά μικρός.



Σχήμα 4.1 : Παράδειγμα ολικής εκσκαφής ρυπασμένου εδάφους (contaminated soil)

2. Η επεξεργασία (βλ. Σχήμα 4.2), για την απορρύπανση του ρυπασμένου εδάφους, αποτελεί την πιο πλήρη αντιμετώπιση του προβλήματος. Ανάλογα με τις οικονομοτεχνικές συνθήκες που ισχύουν σε κάθε πεδίο ρυπασμένης γης, η

επεξεργασία μπορεί να εφαρμοστεί τόσο in situ όσο και ex situ (on site ή off site). Η επεξεργασία του ρυπασμένου εδάφους με φυσικοχημικές και βιολογικές μεθόδους, στοχεύει στην πλήρη εξάλειψη του ρυπαντή, είτε στην μείωση της συγκέντρωσης του σε επίπεδα που δεν αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και για το περιβάλλον. Αποτελούν συνήθως την πιο ολοκληρωμένη λύση για την εξυγίανση ενός ρυπασμένου πεδίου και τις περισσότερες φορές, αποτελεί την οικονομικότερη λύση από αυτή της εκσκαφής.



Σχήμα 4.2 : Παράδειγμα επεξεργασίας ρυπασμένου εδάφους με τριχλωροαιθυλένιο (TCE Contamination)

Πλεονεκτήματα της in - situ επεξεργασίας και αντιστοίχως μειονεκτήματα της ex – situ επεξεργασίας είναι : Σχετικά με τις ex - situ τεχνολογίες, οι in - situ τεχνολογίες, είναι οικονομικά πιο προσιτές και πιο αποδοτικές σε μολυσμένα χώματα, ιζήματα και υπόγεια νερά. Η ανασκαφή μολύνει το υλικό, καθώς επίσης η λειτουργία και η διατήρηση των εγκαταστάσεων για τις ex - situ επεξεργασίες, οδηγούν συχνά σε υψηλότερες δαπάνες για την επεξεργασία στην επιφάνεια. Σε αντίθεση με τις ex - situ τεχνολογίες, οι τεχνολογίες in - situ μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ελάχιστη παρέμβαση στο οικοσύστημα, δεν απαιτούν βαρύ εξοπλισμό για την ανασκαφή, ούτε μεγάλες υπέργειες περιοχές επιφάνειας για τις εγκαταστάσεις, για τον εξοπλισμό τεχνολογίας επεξεργασίας.

Επειδή εφαρμόζονται στην περιοχή που είναι ήδη μολυσμένη, ελαχιστοποιείται η έκθεση των ανθρώπων και του περιβάλλοντος σε μολυσματικούς παράγοντες. Αντίθετα, η μεταφορά στην επιφάνεια των μολυσμένων υλικών, αυξάνει τον κίνδυνο έκθεσης για τους ίδιους δέκτες.

Για τους λόγους που δόθηκαν προηγουμένως, καθώς επίσης και για άλλους όπως η ανικανότητα εκσκαφής του μολυσμένου υλικού, η πολιτική ή δημόσια γνώμη

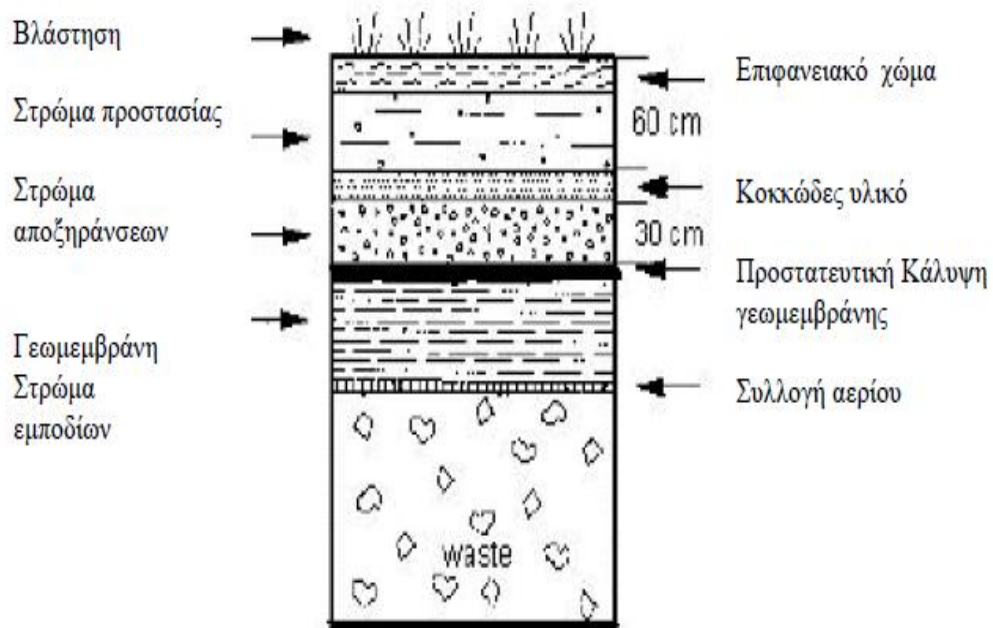
για τις επεξεργασίες ex – situ κ.λ.π, οδηγεί τις περισσότερες φορές στην εφαρμογή των τεχνολογιών in - situ.

Μειονεκτήματα της in – situ επεξεργασίας και αντιστοίχως πλεονεκτήματα της ex – situ επεξεργασίας είναι : Παρά τα πλεονεκτήματά τους, οι in - situ τεχνολογίες απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο επεξεργασίας, έχουν τεχνικούς περιορισμούς και μερικές φορές είναι μη αποτελεσματικές επί μολυσμένων τόπων, που περιέχουν δύσκολα επεξεργάσιμους ρύπους. Οι συνθήκες της κάθε περιοχής όπως η χαμηλή διαπερατότητα, η ετερογένεια, η κατανομή των ρύπων, οι παρεμποδίσσεις στις ζώνες επεξεργασίας καθώς και οι περιορισμοί στον έλεγχο της διεργασίας, επηρεάζουν την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας. Η χαμηλή διαπερατότητα έχει ως αποτέλεσμα την δυσκολία μεταφοράς αερίων μέσα στο χώμα (π.χ οξυγόνο). Επίσης, η ετερογένεια της επιφάνειας, ωθεί τα ρευστά επεξεργασίας να διατρέξουν κατά προτίμηση τις ζώνες υψηλότερης διαπερατότητας, με αποτέλεσμα οι ζώνες χαμηλής διαπερατότητας, να μην επεξεργάζονται καθόλου. Βέβαια υπάρχουν τεχνολογίες που υπερνικούν αυτό τον περιορισμό.

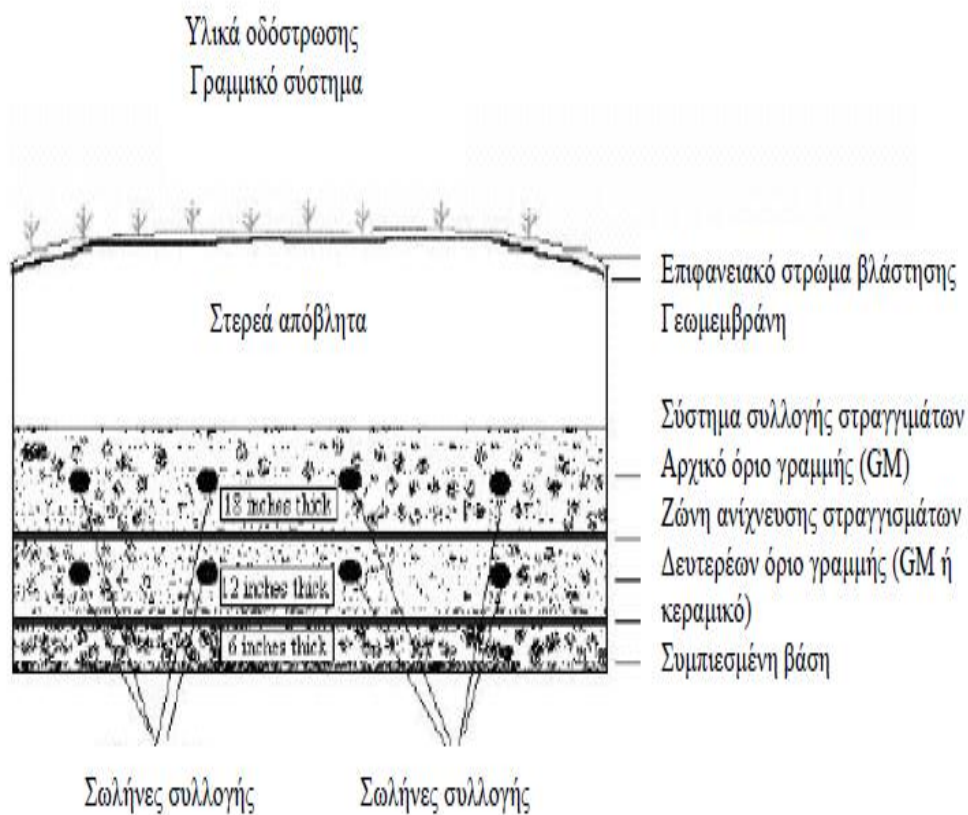
Η φύση των μολυσματικών παραγόντων, όπως η παρουσία ή απουσία του L.N.A.P.L ή του D.N.A.P.L, καθορίζει και ποια in - situ επεξεργασία θα εφαρμοστεί. Όταν τα L.N.A.P.L's είναι παρόντα, αντλούνται συνήθως στην επιφάνεια παρά να μεταχειρίζονται επί τόπου. Εντούτοις, in - situ επεξεργασίες μπορούν να είναι αποτελεσματικές και για μολυσματικούς παράγοντες που είναι διαλυμένοι στα υπόγεια νερά. Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, τα L.N.A.P.L's είναι ο πρώτος μολυντής που αφαιρείται.

Οι παρεμποδίσσεις στην επιφάνεια ή στην υποεπιφάνεια, μπορούν να περιορίσουν την πρόσβαση στις ζώνες της μόλυνσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορεί να μην είναι δυνατό να εφαρμοστούν οι in - situ τεχνολογίες αποτελεσματικά. Είναι δύσκολο να ελεγχθούν επειδή το μολυσμένο υλικό δεν μπορεί να προσεγγιστεί από όλες τις πλευρές για την επεξεργασία. Κατά συνέπεια, το μολυσμένο υλικό δεν μπορεί να εξυγιανθεί ομοιόμορφα. Οι ex - situ επεξεργασίες όμως, δεν έχουν αυτόν τον περιορισμό.

3. Ο εγκλωβισμός της ρύπανσης (βλ. Σχήμα 4.3 και 4.4), εφαρμόζεται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα μέτρα επεξεργασίας ρυπασμένου εδάφους έτσι ώστε κατά την διάρκεια των μέτρων αυτών να διασφαλίζεται η μη περαιτέρω διασπορά της ρύπανσης προς ευαίσθητους αποδέκτες π.χ μέσω του αέρα, είτε μέσω της κίνησης του υπόγειου νερού. Ο εγκλωβισμός αυτός και η κάλυψη της ρυπασμένης περιοχής, γίνεται με τρεις σημαντικούς τύπους καλυμμάτων και οι οποίοι είναι : η κάλυψη τύπου RCRA C για επικίνδυνα απόβλητα, η κάλυψη τύπου RCRA D που χρησιμοποιείται στους χώρους υγειονομικής ταφής και ο τελευταίος τύπος κάλυψης που είναι άσφαλτος, σκυρόδεμα κ.α. Επίσης παρόμοια μέτρα απομόνωσης της ρύπανσης, εφαρμόζονται και μεμονωμένα σε περιοχές όπου η προβλεπόμενη μελλοντική χρήση τους όπως και η χρήση στις γειτονικές περιοχές, δεν απαιτεί υψηλά περιβαλλοντικά όρια, αναφορικά με την κατάσταση του υπεδάφους (Βιομηχανικές περιοχές). Ακόμη εφαρμόζονται στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν οι απαιτούμενοι οικονομικοί πόροι για την πλήρη εξυγίανση με επεξεργασία, τότε λαμβάνονται αρχικά μέτρα εγκλωβισμού - απομόνωσης της ρύπανσης, ανάλογα με το εύρος της κάλυψης. Μειονέκτημα της όμως, είναι ότι δεν μειώνει τον όγκο ή την τοξικότητα ή την κινητικότητα των μολυσματικών παραγόντων. Επίσης για την αποφυγή μείωσης των υπόγειων νερών, απαιτούνται κάθετοι τοίχοι, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι δαπάνες, υπάρχει όμως και κίνδυνος ρήγματος της κάλυψης με την πάροδο του χρόνου.

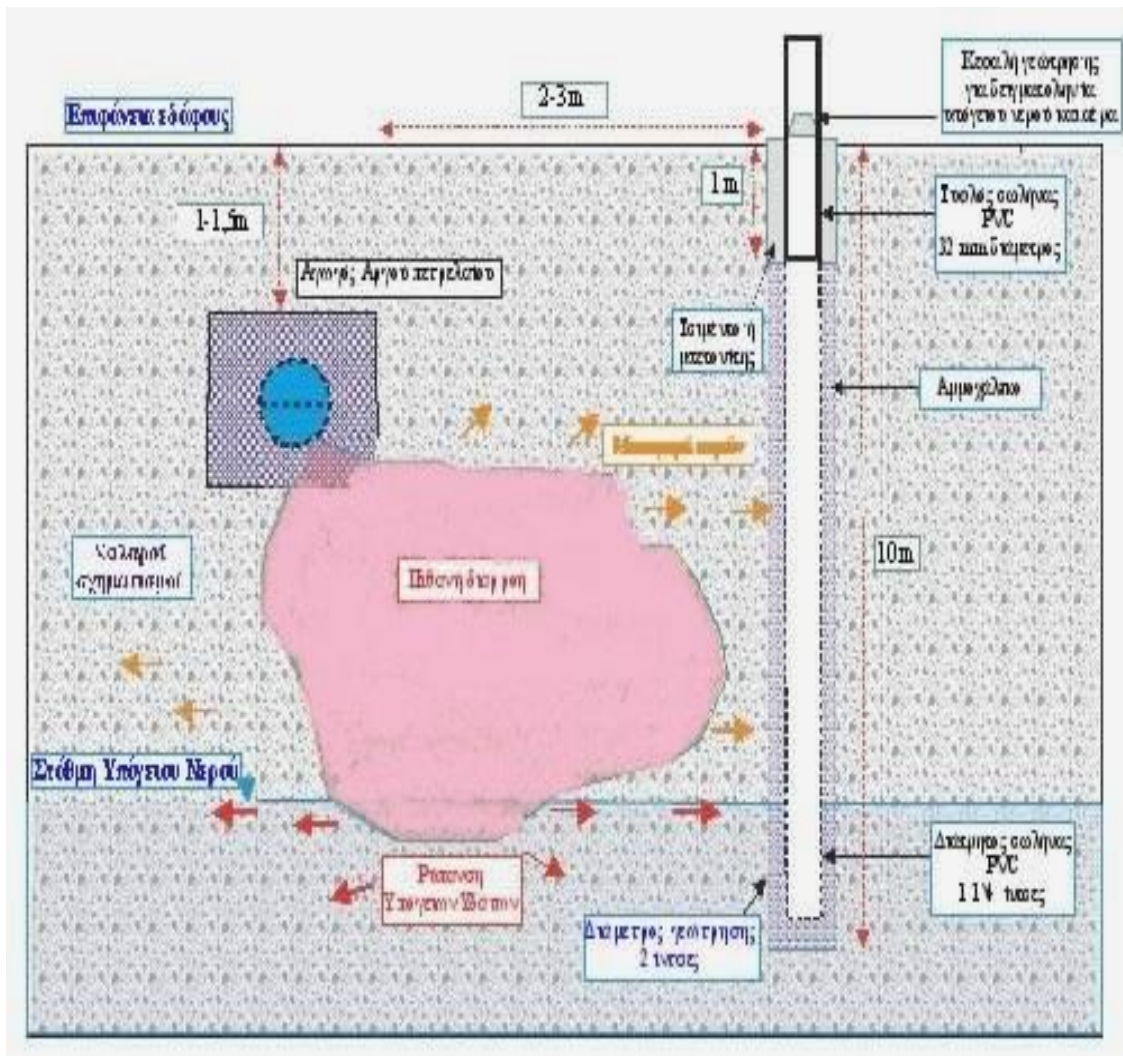


Σχήμα 4.3 : Παράδειγμα εγκλωβισμού - απομόνωσης της ρύπανσης

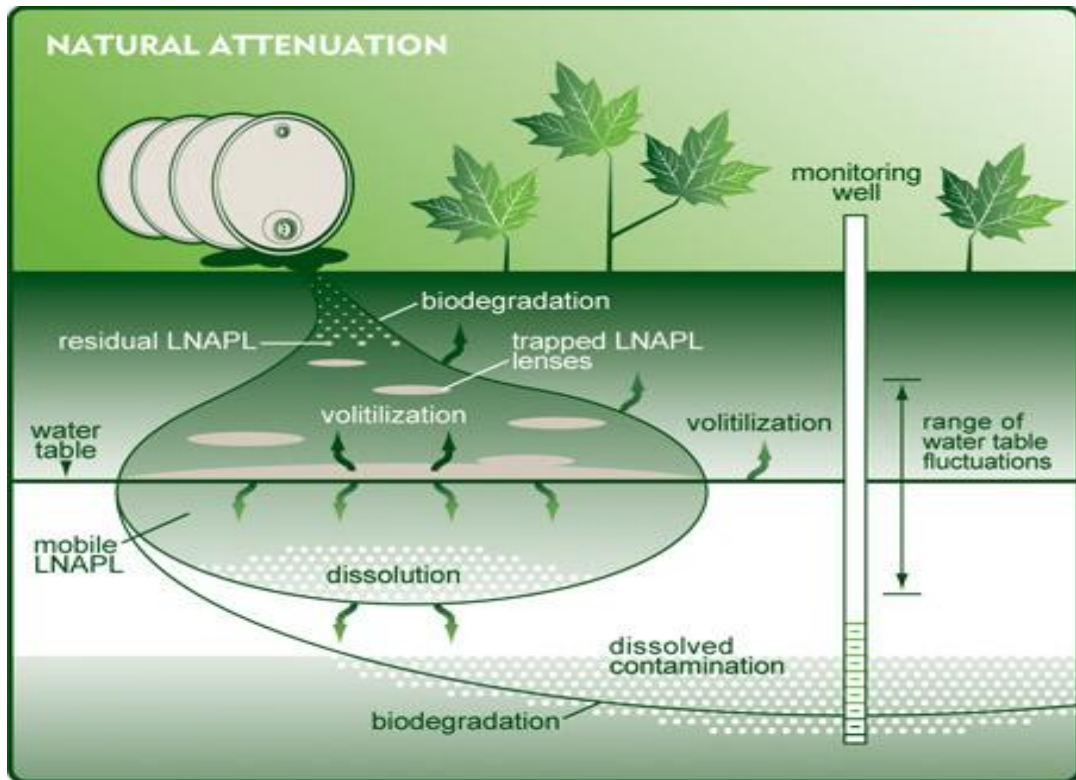


Σχήμα 4.4 : Παράδειγμα κάλυψης χώρου ταφής (Landfill Cap, Brownfields Cap)

4. Η απλή παρακολούθηση της κατάστασης (βλ. Σχήμα 4.5), περιορίζοντας σημαντικά ή εξαλείφοντας, αν αυτό είναι εφικτό, τις πηγές ρύπανσης σε ένα ρυπασμένο πεδίο, αποτελεί την τελευταία δυνατότητα παρέμβασης σε ένα ρυπασμένο πεδίο. Η απλή παρακολούθηση είναι η πιο παθητική λύση μεταξύ των υπολοίπων, αφού στηρίζεται αποκλειστικά και μόνο στις φυσικές διαδικασίες αποικοδόμησης (βλ. Σχήμα 4.6), των οργανικών κυρίως ρυπαντών, διατηρώντας έτσι τον περιβαλλοντικό κίνδυνο για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτά τα μέτρα αντιμετώπισης, εφαρμόζονται σε πεδία για τα οποία η ρύπανση δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη, οι ρυπαντές είναι βιοαποικοδομήσιμοι, και δεν υπάρχει άμεσος κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία και το οικολογικό περιβάλλον. Επίσης είναι το ελάχιστο μέτρο που πρέπει να εφαρμόζεται σε ρυπασμένες περιοχές όταν οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι είναι περιορισμένοι (απαιτεί δηλ. χαμηλή συντήρηση και χαμηλότερα κόστη). Μειονεκτήματα της όμως είναι η χαρακτηριστικά αργή διαδικασία, ο μακροπρόθεσμος έλεγχος της περιοχής που απαιτείται καθώς και μπορεί να απαιτηθεί εκτενής καταγραφή των ρύπων.



Σχήμα 4.5 : Παράδειγμα παρακολούθησης της κατάστασης της ρύπανσης σε ένα ρυπασμένο πεδίο



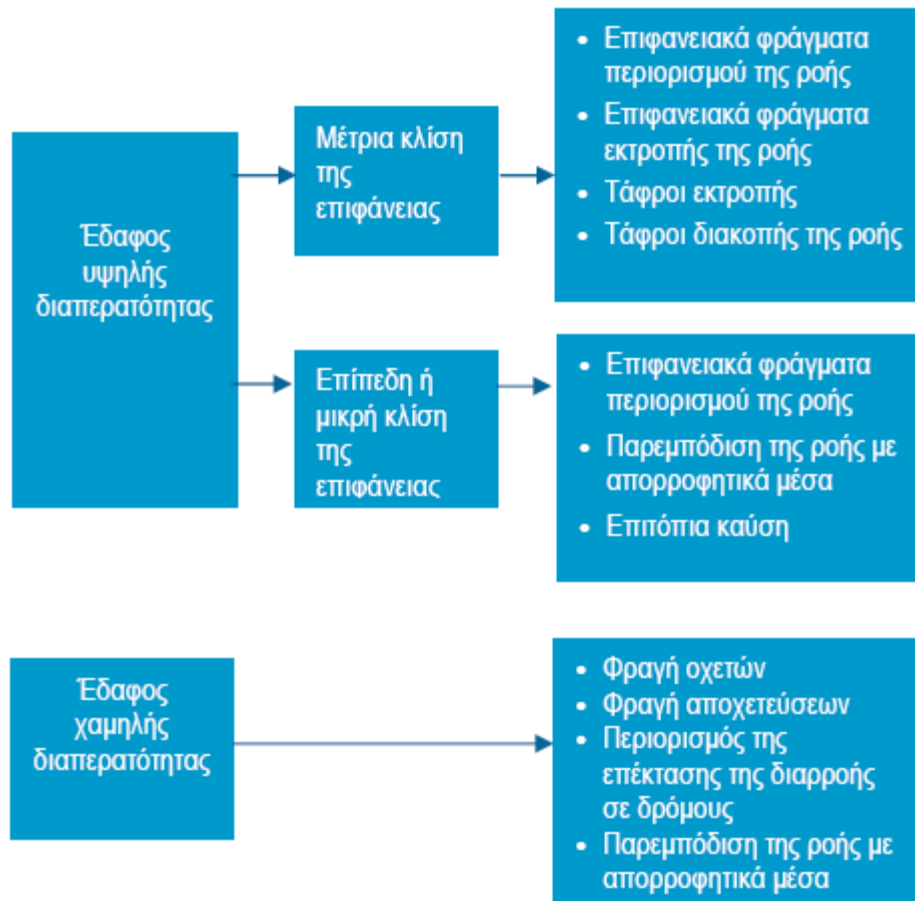
Σχήμα 4.6 : Παράδειγμα φυσικής απομείωσης (Natural attenuation)

Γενικά σε καμία περίπτωση ρύπανσης υπεδάφους, μια και μόνο τεχνική απορρύπανσης, δεν μπορεί να εξυγιάνει εξ'ολοκλήρου ένα ρυπασμένο πεδίο. Συνήθως έπεται συνδυασμός σε περισσότερες από μία τεχνικές και εφαρμόζονται σταδιακά είτε ταυτόχρονα σε μια ρυπασμένη περιοχή, έτσι ώστε να δημιουργήσουν μια ακολουθία μέτρων απορρύπανσης (γνωστό και ως treatment train). Για παράδειγμα ένα σύστημα ανάκτησης ρυπασμένου υπεδάφιου αέρα - S.V.E (όπως αναλυτικότερα θα αναφερθούμε πιο κάτω), μπορεί να συνδυαστεί με ένα σύστημα αεροδιασποράς (Air sparging), για να εξυγιάνει πλήρως ένα ρυπασμένο έδαφος από υδρογονάνθρακες. Οι in situ και on site τεχνικές απορρύπανσης εδαφών, είναι πάντα οικονομικά σημαντικά πιο συμφέρουσες από την εκσκαφή και διαχείριση των ρυπασμένων υλικών ως επικίνδυνων αποβλήτων και αποτελεί έτσι την πιο ιδανική λύση αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων.

4.1.1 Ενέργειες περιορισμού της ρύπανσης

Σε περίπτωση διαρροής πετρελαίου στην επιφάνεια του εδάφους, κατά την εφαρμογή των τεχνικών περιορισμού, κοινό στόχο θα αποτελούσε η συγκέντρωση του διαρρέυσαντος πετρελαίου σε περιφραγμένη έκταση, η οποία έχει κατάλληλα διαμορφωθεί ή φέρει αδιαπέραστη τεχνητή επικάλυψη στον πυθμένα, ώστε να εμποδίζεται η περαιτέρω ρύπανση του υποκείμενου ή του περιβάλλοντος εδάφους.

Το διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.7), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως γενικός οδηγός για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου απορρύπανσης, ανάλογα με την διαπερατότητα και την κλίση του εδάφους :



Σχήμα 4.7 : Οδηγός επιλογής μεθόδου απορρύπανσης σύμφωνα με την διαπερατότητα και κλίση του εδάφους

Σε κάθε μία από τις τεχνικές που παρουσιάζονται στο πιο πάνω διάγραμμα (Σχήμα 4.7), υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που περιορίζουν την εφαρμογή τους. Οι σημαντικότεροι αυτοί περιοριστικοί παράγοντες είναι οι εξής πέντε :

1. Η δύσκολη πρόσβαση στο πεδίο.
2. Ο μεγάλος χρόνος εφαρμογής των μεθόδων.
3. Το ανώμαλο ή βραχώδες έδαφος πεδίου.
4. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις περιπτώσεις εκσκαφής.
5. Η ύπαρξη φυσικής ροής νερού.

Σύμφωνα με τα πιο πάνω, για την περίπτωση δημιουργίας επιφανειακών φραγμάτων (βλ. Σχήμα 4.7), σημαντικά πλεονεκτήματα παρουσιάζει η τεχνική φραγμάτων με ιξώδη ρευστά. Για την εφαρμογή αυτής της τεχνικής, χρησιμοποιούνται, συγκεκριμένα, ρευστά όπως colloidal silica και polysiloxane, τα οποία υφίστανται σημαντική αύξηση του ιξώδους τους όταν αναμιγνύονται με

διάφορα, ειδικού τύπου πρόσθετα και έτσι κατά την έγχυσή τους στο υπέδαφος, τα ιξώδη αυτά ρευστά σχηματίζουν αδιαπέραστα φράγματα. Τα φράγματα με ιξώδη ρευστά μπορούν να εφαρμοστούν και σε ετερογενή εδάφη τα οποία αποτελούνται από στρώματα άμμου, ιλύος και αργίλου. Επίσης η εγκατάσταση τους είναι γρήγορη, δεν απαιτείται εκσκαφή, η διάταξη τους μπορεί να γίνει σε διάφορους σχηματισμούς και τέλος είναι εφικτός ο περιορισμός του πλουμίου σε περιπτώσεις που οι συμβατικές μέθοδοι κρίνονται ανεπαρκείς.

4.1.2 Ενέργειες ανάκτησης της ρύπανσης

Οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση του διαρρευσαντος προϊόντος είναι :

1. Χρησιμοποίηση μηχανικών μέσων και φορηγών για την εκσκαφή και απομάκρυνση των ρυπασμένων υλικών και εδάφους.
2. Άντληση του αργού που λιμνάζει ή έχει συγκεντρωθεί μετά από τις ενέργειες περιορισμού σε διαμορφωμένες εκτάσεις ή λεκάνες συλλογής με βυτία κενού και αντλίες.
3. Ανάκτηση με χειρωνακτικά μέσα.
4. Απορρόφηση με τεχνητά ή φυσικά υλικά.
5. Πλημμύρισμα πεδίου με νερό με στόχο την επίπλευση του πετρελαίου, όταν αυτό έχει απορροφηθεί από υπάρχοντα στρώματα βλάστησης.
6. Πλύση πεδίου (π.χ βράχων ή ογκόλιθων) με χρήση νερού υπό πίεση.

Όλες οι τεχνικές αυτές που προαναφέραμε, πέραν των όσων προσφέρουν, δύνανται να προκαλέσουν και σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως διατάραξη τοπικής βλάστησης, παραγωγή μεγάλου όγκου αποβλήτων προς επεξεργασία και διάθεση (δηλ. μολυσμένο χώμα από εκσκαφή, απορροφητικά υλικά), προώθηση ρύπανσης σε σημεία που δεν έχουν προσβληθεί λόγω κυκλοφορίας οχημάτων κ.λ.π.

4.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗΣ - ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ

Οι υγροί ρύποι που απελευθερώνονται από σημειακές πηγές ρύπανσης (π.χ διαρροή υδρογονανθράκων), όπως αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια, μετακινούνται στο υπέδαφος, με αποτέλεσμα να ρυπαίνουν τόσο την ακόρεστη (νερό - αέρα) όσο και την κορεσμένη (νερό) ζώνη. Συγκεκριμένα η ρύπανση του υπεδάφους, όπως νωρίτερα αναφέραμε στο Κεφάλαιο 3, είναι δυνατό να προκληθεί είτε μετά από κατακόρυφη διείδυση επιφανειακής ρύπανσης είτε λόγω υπόγειας διαδρομής της αρχικής διαρροής από αγωγό. Στην πρώτη περίπτωση της

κατακόρυφης διείσδυσης, πρέπει να προηγούνται οι ενέργειες περιορισμού της ρύπανσης και ανάκτησης του ελεύθερου προϊόντος στην επιφάνεια του εδάφους.

Ανάλογα λοιπόν, με τον τύπο των ρύπων, την έκταση της ρύπανσης και τους στόχους της αποκατάστασης ενός χώρου (δηλ. την μακροπρόθεσμη εκτίμηση κινδύνου για το οικοσύστημα και τον άνθρωπο), είναι δυνατόν να υιοθετηθούν οικονομικά βιώσιμες τεχνολογίες για την αποκατάσταση του υπεδάφους, τις οποίες και καλούμαστε στο κεφάλαιο αυτό να αναπτύξουμε. Η εφαρμογή αυτών των τεχνικών (ή αλλιώς τεχνολογιών), της Γεωτεχνικής Μηχανικής, σε θέματα περιορισμού - προστασίας της ρύπανσης στο γεω - περιβάλλον (δηλ. σε έδαφος, υπέδαφος και υπόγεια νερά που συναντώνται εντός των υδροφορέων), που μπορεί να οφείλεται είτε σε φυσικές είτε σε ανθρώπινες επιρροές, αποτελεί αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής. Κατά συνέπεια, στο αντικείμενο της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, δεν περιλαμβάνονται θέματα που αφορούν τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των επιφανειακών υδάτων, τα οποία εξετάζονται από άλλους κλάδους των περιβαλλοντικών επιστημών.

Σύμφωνα με αυτό, η προστασία του γεω - περιβάλλοντος από τη ρύπανση (ή την υποβάθμιση), περιλαμβάνει :

1. Τις μεθόδους μέτρησης της ρύπανσης και τις τεχνολογίες περιορισμού της επέκτασης της ρύπανσης εδαφών και υδροφορέων (π.χ. μέσω τεχνολογιών εγκιβωτισμού).
2. Τις μεθόδους απορρύπανσης εδαφών και υδροφορέων, και γενικότερα την περιβαλλοντική επανένταξη και χρησιμοποίηση περιοχών όπου το έδαφος ή / και τα υπόγεια νερά έχουν ρυπανθεί.
3. Τις μεθόδους μέτρησης και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή των συνεπειών από την υπερεκμετάλλευση και την υποβάθμιση της ποιότητας των υπογείων υδροφορέων.
4. Την περιβαλλοντική ένταξη (από γεωτεχνικής απόψεως) των μεγάλων τεχνικών έργων, με σκοπό την αποφυγή (κατά το δυνατόν) των δυσμενών συνεπειών τους στο περιβάλλον.

Η γένεση της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, μπορεί να αναζητηθεί στις Η.Π.Α περί τις αρχές της δεκαετίας του 1970, με αφορμή την ανάπτυξη της τεχνολογίας κατασκευής πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (σύμφωνα με την τότε ισχύουσα νομοθεσία, για την κατασκευή ενός πυρηνικού σταθμού απαιτείτο η σύνταξη μιας «μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων» - environmental impact statement). Εκτός από αυτό όμως, το κυριότερο γεγονός που συντέλεσε στην επιβολή γεω - περιβαλλοντικών απαιτήσεων νομοθετικής φύσεως στα έργα Πολιτικού Μηχανικού (και συνεπώς συνετέλεσε στην ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας προστασίας του γεω - περιβάλλοντος), ήταν το θέμα του Love Canal στις Η.Π.Α.

Το Love Canal ήταν μια προσπάθεια του William Love (κυβερνήτη της πολιτείας της Νέας Υόρκης, το 1896) να συνδέσει με μια διώρυγα ναυσιπλοΐας το ανάντη και το κατόντη τμήμα του ποταμού Νιαγάρα στην θέση των γνωστών καταρρακτών. Λόγω τεχνικών και οικονομικών δυσχερειών, το έργο τελικώς εγκαταλείφθηκε, αφήνοντας μια ημιτελή διώρυγα μήκους περίπου 3.000 m, η οποία το 1942 αγοράστηκε από μια τοπική χημική βιομηχανία για να χρησιμοποιηθεί ως χώρος απόθεσης των αποβλήτων της. Στο διάστημα 1947 - 1952 απορρίφθηκαν και

τάφηκαν στη θέση αυτή περί τους 22.000 τόννους στερεών και υγρών αποβλήτων. Τελικά, το 1953 ο χώρος σκεπάστηκε και πωλήθηκε στην πόλη του Νιαγάρα (αντί της τιμής του ενός δολαρίου). Αξίζει να σημειωθεί ότι στο συμβόλαιο της μεταβίβασης, η πωλήτρια εταιρεία είχε περιλάβει ως όρο ότι στη θέση αυτή δεν θα έπρεπε να κατασκευαστούν κτίρια (προφανώς για να καλυφθεί από πιθανές διεκδικήσεις σε περίπτωση δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων).

Παρόλα αυτά μέχρι το 1977 στη συγκεκριμένη θέση είχαν κατασκευαστεί αρκετές εκατοντάδες σπίτια και ένα σχολείο, όπου απο εκεί και έπειτα, είχαν αρχίσει διάφορα έντονα συμπτώματα ανεξήγητων ασθενειών στον πληθυσμό της περιοχής. Το ζήτημα απετέλεσε κύριο θέμα στις Η.Π.Α (κατά το 1978), με αποτέλεσμα να εκκενωθεί η περιοχή, ενώ η σχετική γεωτεχνική έρευνα που εκτελέστηκε, αποκάλυψε την παρουσία 248 ρύπων σε υψηλές συγκεντρώσεις, όπως βενζόλιο, τετραχλωράνθρακα, χλωριούχο βινύλιο, διχλωροαιθάνιο, εξαχλωροβενζόλιο, τριχλωροφαινόλες, τολουόλιο κ.λ.π. Με κύριο έναυσμα το γεγονός αυτό, αλλά και αρκετές παρόμοιες περιπτώσεις ρύπανσης του εδάφους που αποκαλύφθηκαν στη συνέχεια, αναλήφθηκαν στις Η.Π.Α νομοθετικές πρωτοβουλίες (τις οποίες και παραθέτουμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 6) για τον έλεγχο της απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων και τον καθαρισμό των περιοχών που είχαν ήδη ρυπανθεί.

Οι υπάρχουσες τεχνολογίες απορρύπανσης, λοιπόν, μπορούν να χωριστούν χονδρικά σε δύο κατηγορίες : η πρώτη περιλαμβάνει τις συμβατικές τεχνολογίες, για την αποτελεσματικότητα των οποίων έχουν πια συγκεντρωθεί τα απαραίτητα στοιχεία (πρόκειται για τεχνολογίες που πετυχαίνουν περιορισμένα αλλά σίγουρα αποτελέσματα, με κόστος όχι ιδιαίτερα χαμηλό και κάτω από συνθήκες όχι ιδιαίτερα αντίξοες) και η δεύτερη κατηγορία η οποία για πιο φιλόδοξους στόχους εξυγίανσης, ή για την επιτυχή αντιμετώπιση των προαναφερθέντων περίπλοκων περιστατικών, δίνει την επιλογή μεταξύ καινοτόμων τεχνολογιών (π.χ plasma treatment), που βρίσκονται όμως σε διαφορετικά στάδια ωρίμανσης και από αυτές θα γίνει στη συνέχεια αναφορά σε κάποιες, που πετυχαίνουν υψηλό λόγο ωφέλειας – κόστους).

Ας σημειωθεί ότι, σχετικά προσιτά, θεωρούνται τα περιστατικά όπου το έδαφος είναι σχετικά ομοιογενές, με την προϋπόθεση, ότι οι ρύποι έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά (π.χ. οργανικές πτητικές ενώσεις, όχι μείγματα οργανικών - ανόργανων ουσιών), και εφόσον τυχόν οργανικοί ρύποι χαμηλής διαλυτότητας (N.A.P.L's), βρίσκονται μόνο διαλυμένοι στο νερό, δεν αποτελούν δηλαδή ξεχωριστή φάση, π.χ. πετρελαιοκηλίδα στον υπόγειο ορίζοντα.

Ως συμβατικές χαρακτηρίζονται οι τεχνικές που αποσκοπούν στον περιορισμό εξάπλωσης του ρύπου με χαμηλής διαπερατότητας επιφανειακά εδαφικά καλύμματα ή κατακόρυφα περιμετρικά διαφράγματα. Κατ' εξοχήν συμβατικές θεωρούνται επίσης και οι μέθοδοι που συνδυάζουν δύο στάδια : εκσκαφή χώματος και επεξεργασία και πρόκειται για τις πιο δοκιμασμένες μεθόδους απορρύπανσης, οι οποίες, μετά την απομάκρυνση του ρύπου με εκσκαφή του χώματος, ανάγουν το πρόβλημα της ρύπανσης του υπεδάφους στο παλαιότερο και πιο καλά μελετημένο πρόβλημα της επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων.

4.2.1 Κατηγορίες τεχνολογιών αποκατάστασης

Στα πρώτα περιστατικά επεμβάσεων σε ρυπασμένους χώρους, διεθνώς, εφαρμόστηκαν δάνειες τεχνολογίες από γειτονικές τεχνολογικές περιοχές. Τέτοια παραδείγματα είναι π.χ η εκσκαφή του εδάφους σε συνδυασμό με την επεξεργασία του ρυπασμένου μέσου, καθώς επίσης και ο μερικός εγκιβωτισμός του ρυπασμένου

χώρου ή με επιφανειακά καλύμματα, είτε με περιμετρικά αργιλικά διαφράγματα χαμηλής περατότητας. Με τον καιρό, όμως, αναπτύχθηκαν τεχνολογίες ειδικές για περιστατικά ρύπανσης του υπεδάφους τις οποίες και αναλύουμε παρακάτω.

Για τις περισσότερες τεχνολογίες αποκατάστασης, δύο είναι τα κύρια προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν. Το πρώτο είναι η διαχείριση του ρυπασμένου μέσου, δηλαδή του εδάφους. Οι τεχνολογίες που δεν εφαρμόζονται επί τόπου, προαπαιτούν πρόσβαση στο ρυπασμένο μέσο με εκσκαφή, ενώ κάποιες επί τόπου τεχνολογίες προϋποθέτουν υδραυλικό έλεγχο σε μεγαλύτερο (πχ εισπίεση ουσιών για να επιτευχθεί διάσπαση των ρύπων) ή μικρότερο βαθμό (πχ παρεμβολή στην κατεύθυνση εξάπλωσης του ρύπου ενός περατού διαφράγματος, το οποίο περιέχει συστατικά κατάλληλα για να αντιδράσει ο ρύπος εντός του διαφράγματος και να εξέλθει σε μικρότερη, αποδεκτή συγκέντρωση). Το δεύτερο πρόβλημα είναι η διαχείριση του ρύπου, δηλαδή ο εντοπισμός και εφαρμογή των διεργασιών με τις οποίες ο ρύπος μπορεί να ακινητοποιηθεί, να απομακρυνθεί από το ρυπασμένο μέσο ή να διασπαστεί.

Έτσι οι τεχνολογίες καθαρισμού – αποκατάστασης του ρυπασμένου εδάφους, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με το βαθμό επέμβασης ως επί τόπου ή μη, ή/και σύμφωνα με τη διεργασία απομάκρυνσης ή διάσπασης στην οποία βασίζονται ως φυσικές, θερμικές, χημικές ή βιολογικές. Με κάποιες εξαιρέσεις (πχ θερμικές μέθοδοι), οι διεργασίες που επηρεάζουν την εξέλιξη της κατανομής του ρύπου είναι οι ίδιες στις οποίες βασιζόμαστε για την αποκατάσταση των ρυπασμένων χώρων. Για παράδειγμα, πολλές μέθοδοι βιολογικής αποκατάστασης, βασίζονται στην επιτάχυνση των ενδογενών διαδικασιών βιολογικής αποδόμησης του ρύπου, στις οποίες βασίζεται εν μέρει η φυσική εξασθένιση.

Συνεπώς οι διάφορες τεχνικές απορρύπανσης – αποκατάστασης εδάφους που έχει ρυπανθεί με πετρελαιοειδή, αναφέρονται στις επόμενες υποενότητες και είναι οι εξής :

4.2.2 Καλλιέργεια – Απόθεση των ρυπασμένων εδαφών (Land Farming)

Η μέθοδος land farming, γνωστή και ως land treatment ή land application, εφαρμόζεται σε ρυπασμένο επιφανειακό έδαφος, με ανάδευση ή αερισμό του εδάφους, για ενίσχυση των βιολογικών δραστηριοτήτων και της υποβάθμισης και χρησιμοποιείται για τη μείωση της συγκέντρωσης των συστατικών του πετρελαίου ουσιαστικά μέσω της βιοδιάσπασης (biodegradation). Η βιοδιάσπαση βασίζεται στην επιτάχυνση των φυσικών ρυθμών διάσπασης, βοηθώντας έτσι να πολλαπλασιαστούν οι «γηγενείς μικροοργανισμοί» στο υπέδαφος, οι οποίοι χρησιμοποιούν τους ρύπους σαν πηγή ενέργειας ή και σαν τροφή, επιτυγχάνοντας την απαιτούμενη μείωση της μάζας στον επιθυμητό χρονικό ορίζοντα.

Ουσιαστικά το έδαφος εκσκάφεται, μεταφέρεται και αποτίθεται σε άλλες περιοχές, σ' ένα λεπτό στρώμα. Σε κάποιες περιπτώσεις είναι δυνατόν να γίνει προσθήκη θρεπτικών υλικών ή και μικροοργανισμών, ενώ ο αερισμός του εδάφους γίνεται με συνηθισμένο αγροτικό εξοπλισμό. Η τεχνική αυτή, δεν θεωρείται πλέον περιβαλλοντικά αποδεκτή, όμως συνεχίζει να χρησιμοποιείται ως τεχνική διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος και των αποβλήτων, από την διύλιση του πετρελαίου σε πολλές περιοχές του πλανήτη, εξαιτίας του μικρού σχετικά κόστους. Αρχικά μεγάλες εκτάσεις ρυπαίνονται με την ιλύ που προκύπτει από την κατεργασία του πετρελαίου και στην συνέχεια, βιοαποδομούνται από τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Η βιοαποδόμηση λαμβάνει χώρα κυρίως στην επιφάνεια μέχρι βάθος 20 cm και για

αυτό τον λόγο είναι απαραίτητη η συχνή ανάδευση του εδάφους. Η παρουσία ιδιαίτερα πτητικών υδρογονανθράκων, αποτελεί ένα πρόβλημα, αφού συνήθως εξατμίζονται πριν αποδομηθούν, επιβαρύνοντας έτσι την ατμόσφαιρα.

Στην τελευταία δεκαπενταετία, εμπειρίες από πλήθος περιστατικών έχουν αυξήσει σημαντικά τις γνώσεις των επιστημόνων για τους μικροοργανισμούς και για τις συνθήκες κάτω από τις οποίες μπορούν αυτοί να διασπάσουν τους ρύπους. Συγκεκριμένα, είναι πια γνωστό πως κάποιοι ρύποι βιοαποδομούνται πιο αποτελεσματικά σε αερόβιες συνθήκες, π.χ. πετρελαιοειδή, κάποιοι άλλοι σε αναερόβιες, π.χ. πολυχλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, ενώ η βιοαποδόμηση ανόργανων ουσιών, που αρχικά εθεωρείτο αδύνατη, τώρα μοιάζει απλώς λιγότερο συχνή. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου, φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.8 καθώς πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της, φαίνονται στο Σχήμα 4.9 :



Σχήμα 4.8 : Παράδειγμα εφαρμογής land farming

Πλεονεκτήματα

- ✓ Απλός σχεδιασμός και εφαρμογή
- ✓ Απαιτεί σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα εφαρμογής: συνήθως 6 μήνες έως 2 έτη υπό βέλτιστες συνθήκες
- ✓ Οικονομικά ανταγωνιστική μέθοδος
- ✓ Αποτελεσματική για οργανικές ενώσεις με χαμηλούς ρυθμούς βιοδιάσπασης

Μειονεκτήματα

- Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν μειώσεις μεγαλύτερες από 95%.
- Η παρουσία βαρέων μετάλλων σε υψηλές συγκεντρώσεις (> 2500 ppm) μπορεί να είναι απαγορευτική για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών
- Τα πτητικά συστατικά τείνουν να εξατμίζονται και όχι να βιοδιασπώνται κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου
- Απαιτείται μεγάλη επιφάνεια εδάφους για την εφαρμογή της
- Η δημιουργία ατμών και σκόνης κατά τον αερισμό είναι δυνατό να προκαλέσει προβλήματα αέριας ρύπανσης
- Μπορεί να απαιτηθεί η τοποθέτηση στεγανού υποστρώματος, εάν υπάρχει πιθανότητα διαφυγής των πετρελαιοειδών

Σχήμα 4.9 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του land farming

4.2.3 Δημιουργία βιοστοιβάδων (Biopiling)

Η τεχνική των βιοστοιβάδων (biopiles, bioheaps ή biomounds) χρησιμοποιείται για τη μείωση της συγκέντρωσης των συστατικών του πετρελαίου μέσω της βιοδιάσπασης, σε εδάφη που έχουν εκχλωματωθεί. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου, φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.10 καθώς πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της, φαίνονται στο Σχήμα 4.11 :



Σχήμα 4.10 : Παράδειγμα εφαρμογής biopiling

Πλεονεκτήματα

- ✓ Απλός σχεδιασμός και εφαρμογή
- ✓ Απαιτεί σχετικά μικρά χρονικά διαστήματα εφαρμογής: συνήθως 6 μήνες έως 2 έτη υπό βέλτιστες συνθήκες
- ✓ Οικονομικά ανταγωνιστική μέθοδος
- ✓ Αποτελεσματική για οργανικές ενώσεις με χαμηλούς ρυθμούς βιοδιάσπασης
- ✓ Απαιτεί μικρότερες επιφάνειες εδάφους σε σχέση με τη μέθοδο της καλλιέργειας εδάφους

Μειονεκτήματα

- Είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν μειώσεις μεγαλύτερες από 95%
- Μπορεί να μην είναι αποτελεσματική σε υψηλές συγκεντρώσεις πετρελαιοειδών
- Η παρουσία βαρέων μετάλλων σε υψηλές συγκεντρώσεις (> 2500 ppm) μπορεί να είναι απαγορευτική για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών
- Τα πτητικά συστατικά τείνουν να εξατμίζονται και όχι να βιοδιασπώνται κατά τη διάρκεια εφαρμογής της μεθόδου
- Απαιτεί μεγάλη επιφάνεια εδάφους για την εφαρμογή της (παρότι μικρότερη από τη μέθοδο του landfarming)
- Η δημιουργία αιμών κατά τον αερισμό μπορεί να απαιτήσει διεργασίες επεξεργασίας πριν την τελική διάθεσή τους
- Είναι πιθανό να χρειάζεται η τοποθέτηση στεγανού στρώματος στη βάση της βιοστοιβάδας, εάν υπάρχει πιθανότητα διαφυγής των πετρελαιοειδών

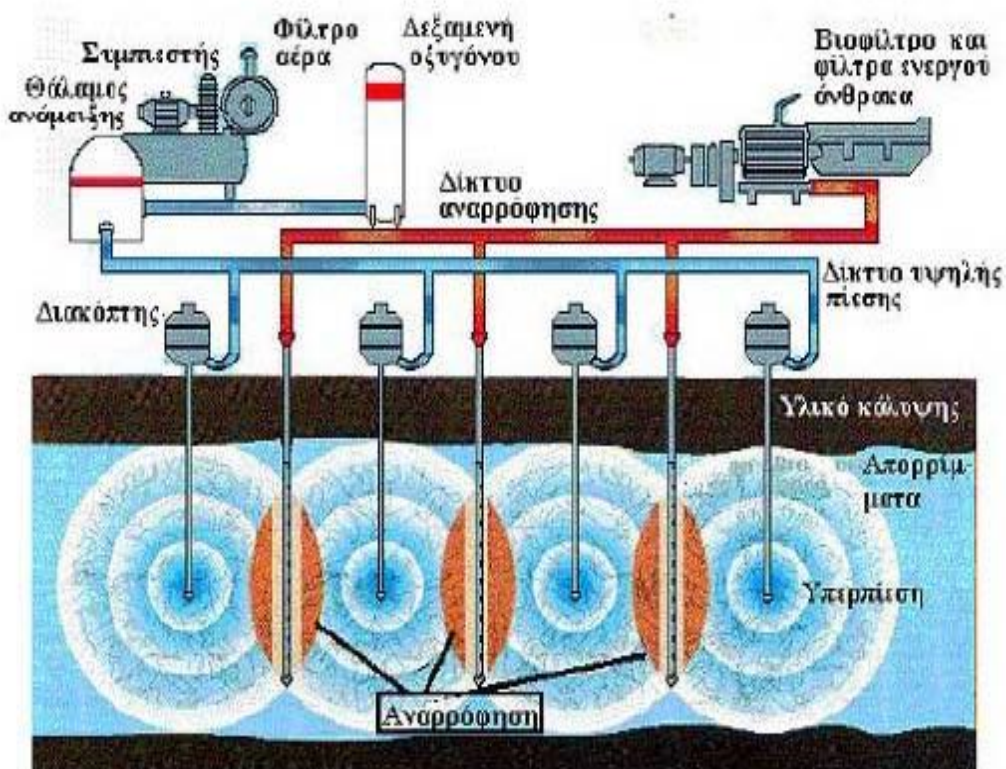
Σχήμα 4.11 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του biopiling

4.2.4 Βιοαερισμός (Bioventing)

Η μέθοδος του βιοαερισμού (bioventing), χρησιμοποιεί τους μικροοργανισμούς που οποίοι ενυπάρχουν στο υπέδαφος, για τη βιοδιάσπαση των οργανικών συστατικών που έχουν απορροφηθεί στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους (δηλ. το τμήμα μεταξύ της γης και της στάθμης των υπόγειων υδάτων), και εφαρμόζεται βάση κατάλληλων προϋποθέσεων που είναι :

1. Ύπαρξη μικροοργανισμών που αναπτύσσονται παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων.
2. Ύπαρξη ειδικών μικροοργανισμών.
3. Ύπαρξη υδατοδιαλυτών θρεπτικών ουσιών.
4. Υπολογισμός ποσοστού υγρασίας και pH του υπεδάφους.

Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου, φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4.12, πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της, φαίνονται στο Σχήμα 4.13 καθώς και η παρακολούθηση του φαινομένου στο Σχήμα 4.14, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία που παρουσίασε ο Δρ. Θρασύβουλος Μανιός, στο Τ.Ε.Ι Κρήτης :



Σχήμα 4.12 : Παράδειγμα εφαρμογής bioventing

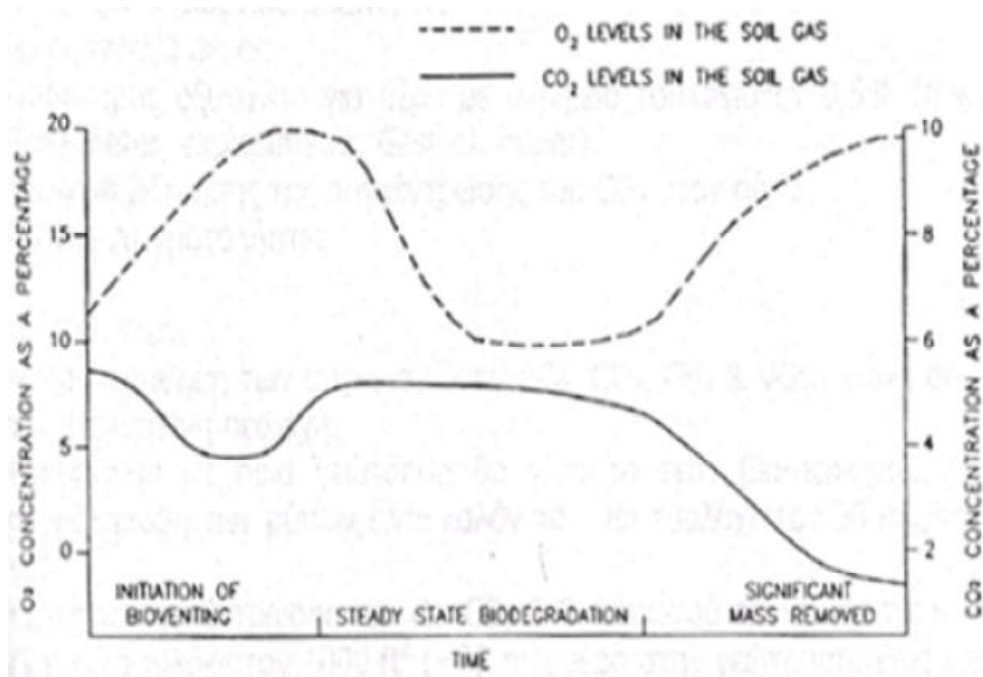
Πλεονεκτήματα

- ✓ Απαιτεί εύκολα διαθέσιμο εξοπλισμό, εύκολη εγκατάσταση
- ✓ Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σημεία με δύσκολη πρόσβαση (π.χ. κάτω από κτίρια)
- ✓ Απαιτεί μικρά χρονικά διαστήματα εφαρμογής: 6 μήνες έως 2 έτη υπό βέλτιστες συνθήκες
- ✓ Οικονομικά ανταγωνιστική μέθοδος

Μειονεκτήματα

- Οι υψηλές συγκεντρώσεις συστατικών του πετρελαίου μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς κατά την έναρξη εφαρμογής της μεθόδου
- Δεν είναι εφαρμόσιμη σε όλες τις συνθήκες (π.χ. χαμηλή διαπερατότητα εδάφους, υψηλό ποσοστό ιλύος, ανεπαρκής γνώση της δομής του υπεδάφους)
- Δεν επιτυγχάνονται πάντα μεγάλοι βαθμοί καθαρισμού
- Εφαρμόζεται μόνο στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους. Μπορεί να απαιτηθεί η εφαρμογή άλλων μεθόδων για τον καθαρισμό της κορεσμένης ζώνης και των υπόγειων υδάτων

Σχήμα 4.13 : Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του bioventing



Σχήμα 4.14 : Διάγραμμα παρακολούθησης του φαινομένου

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των προαναφερόμενων μεθόδων που εφαρμόζονται στο πεδίο είναι ότι κατά την ανάπτυξή τους παρατηρείται μικρή δημιουργία ελαιωδών αποβλήτων και επομένως οι ανάγκες περαιτέρω μεταφοράς και διάθεσης είναι περιορισμένες. Επίσης οι προηγούμενες τεχνικές απαιτούν εκτεταμένες περιόδους λειτουργίας και τα αποτελέσματά τους δεν είναι ομοιόμορφα σε όλη την έκταση εφαρμογής κυρίως λόγω της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών του υπεδάφους.

Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνικής εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο (π.χ γεωμορφολογικά στοιχεία). Βάση αυτού, διακρίνονται τρεις περιπτώσεις :

1. Η απόσταση ανάμεσα στο μέτωπο της ρύπανσης που έχει διεισδύσει στο έδαφος και της στάθμης του υπόγειου νερού, να είναι μικρότερη από 1m : Οπότε γίνεται εκσκαφή και απομάκρυνση - μεταφορά του εδάφους σε κατάλληλους χώρους που έχουν άδεια υποδοχής, εφόσον το μέγεθος της διαρροής είναι μικρό, ή η περιεκτικότητα των ολικών υδρογονανθράκων στο έδαφος, είναι μεγαλύτερη από 50.000 ppm. Γίνεται επίσης, εφαρμογή της τεχνικής βιοαποικοδόμησης του ρυπασμένου εδάφους (land farming), εφόσον είναι διαθέσιμη η απαιτούμενη έκταση και αν το βάθος του ρυπασμένου εδάφους είναι μικρότερο του 1 m, τότε είναι δυνατή η εφαρμογή της τεχνικής αυτής χωρίς εκσκαφή. Αν υπάρχουν περιορισμοί όμως για την εφαρμογή της τεχνικής land farming, επιλέγεται η υλοποίηση της βιοαποικοδόμησης του ρυπασμένου εδάφους με τη συγκέντρωση του σε σωρούς (biopiling), οι οποίοι κατασκευάζονται κατάλληλα πάνω σε μη διαπερατό υλικό.
2. Η απόσταση ανάμεσα στο μέτωπο του πετρελαίου που έχει διεισδύσει στο έδαφος και της στάθμης του υπόγειου νερού να είναι 1 - 3 m : Σ' αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται η τεχνική της βιοαποικοδόμησης του ρυπασμένου εδάφους (bioventing), με την κατασκευή φρεατίων έγχυσης του αέρα (injection wells), έχοντας ως αναγκαία προϋπόθεση, την μερική απομάκρυνση του εδάφους, όπου το επίπεδο συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων ξεπερνά τα 50.000 ppm. Η επιτυχία της τεχνικής αυτής είναι περιορισμένη σε εδάφη χαμηλής διαπερατότητας όπως επίσης απαιτείται και συνεχής παρακολούθηση του μετώπου διείσδυσης του πετρελαίου στο έδαφος.
3. Η απόσταση ανάμεσα στο μέτωπο του πετρελαίου που έχει διεισδύσει στο έδαφος και της στάθμης του υπόγειου νερού να είναι μεγαλύτερη από 3 m : Εδώ εφαρμόζεται η τεχνική της βιοαποικοδόμησης του ρυπασμένου εδάφους (bioventing), με την κατασκευή φρεατίων εξαγωγής αέρα (extraction wells). Η μερική απομάκρυνση του εδάφους είναι κι εδώ αναγκαία, όπου το επίπεδο συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων ξεπερνά τα 50.000 ppm. Η επιτυχία της τεχνικής αυτής, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, είναι περιορισμένη σε εδάφη χαμηλής διαπερατότητας.

4.2.5 Βιοαποκατάσταση, Βιοαποδόμηση (Bioremediation, Biodegradation)

Ανήκει στις φιλικές προς το περιβάλλον, μη συμβατικές (εναλλακτικές), τεχνικές επεξεργασίας, που εφαρμόζονται επί αρκετές δεκαετίες, είτε επιτόπου, είτε μετά απο

ανασκαφή και αναμόχλευση και είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος καθώς τα τελευταία χρόνια αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένων μελετών.

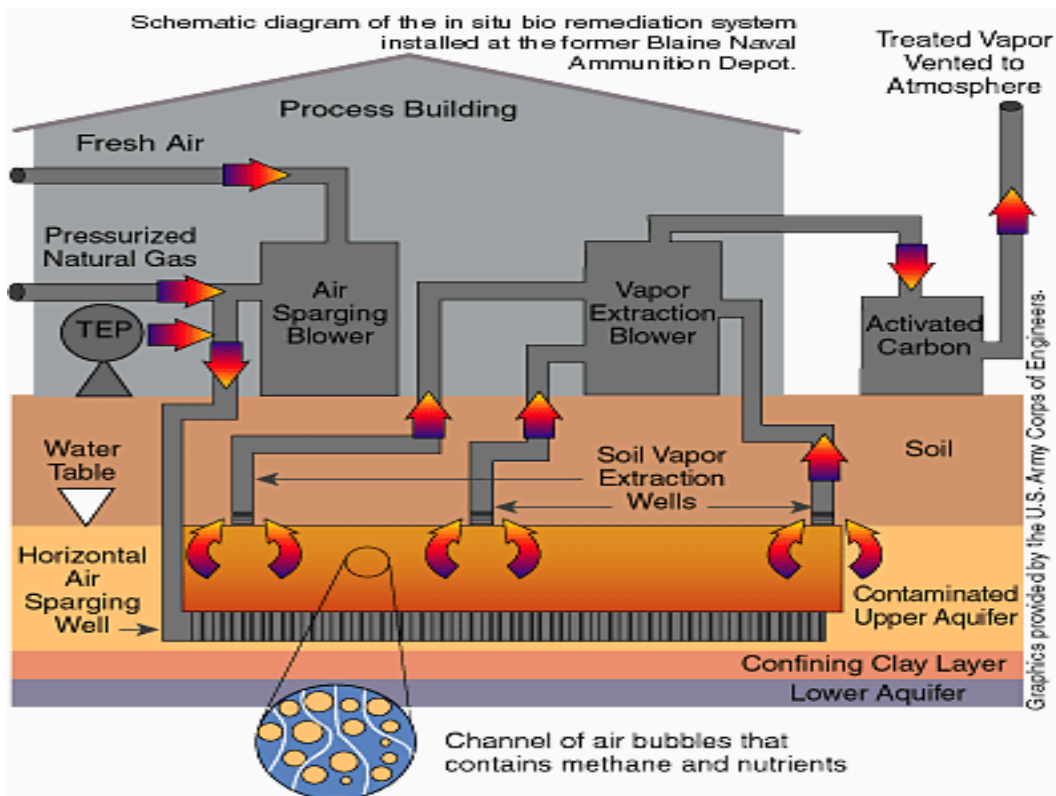
Στηρίζεται στην αποδόμηση - αποσύνθεση των οργανικών ουσιών με τη δράση μικροοργανισμών (απλών μονοκύτταρων οργανισμών όπως π.χ βακτήρια, μύκητες), οι οποίοι αναπτύσσονται χρησιμοποιώντας τον άνθρακα ή / και την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τον μεταβολισμό (αποσύνθεση) των οργανικών ουσιών και την τελική μετατροπή τους σε ανόργανες αβλαβείς ουσίες δηλ. CO₂, H₂O, H₂S, CH₄, νιτρικά και θειικά άλατα. Κατά την τελευταία δεκαπενταετία, η μέθοδος αυτή, έχει χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση εδαφών από πολυαρωματικούς υδρογονάνθρακες (polyaromatic hydrocarbons - P.A.H's), απλούς αλειφατικούς υδρογονάνθρακες (L.N.A.P.L's - Light Non Aqueous Phase Liquids – πετρέλαιο Diesel, κηροζίνη, βενζίνη), πτητικές οργανικές ουσίες όπως το γνωστό BTEX5 (VOC's – Volatile Organic Compounds), χλωριούχους οργανικούς ρύπους (όπως ο τετραχλωράνθρακας, οι πενταχλωροφαινόλες - PCP και τα επίσης γνωστά PCBs6) και άλλες διάφορες οργανικές ενώσεις.

Η αποσύνθεση μεταβάλλει τη μοριακή δομή των οργανικών ενώσεων και ανάλογα με το βαθμό της αλλαγής έχουμε βιομετασχηματισμό ή ανοργανοποίηση. Ο βιομετασχηματισμός αφορά τη μετατροπή της αρχικής ένωσης σε ένα απλούστερο οργανικό μόριο, ενώ κατά την ανοργανοποίηση, έχουμε την πλήρη αποσύνθεση της οργανικής ένωσης σε CO₂ και νερό. Βασικό κριτήριο για την εφαρμογή της μεθόδου αποτελεί η επιδεκτικότητα του ρυπαντή στη βιοδιάσπαση από τους μικροοργανισμούς που ενδημούν ή εισάγονται στη θέση της ρύπανσης.(Attewell P.W. 1993). Οι μικροοργανισμοί αποσυνθέτουν τις οργανικές ενώσεις χρησιμοποιώντας ως καταλύτες κατάλληλα ένζυμα (πρωτεΐνες), που παράγουν οι ίδιοι. Η δράση των μικροοργανισμών εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα της μικροβιακής κοινότητας, καθώς και τις συνθήκες που ευνοούν ή αναστέλλουν την ανάπτυξή τους (τοξικότητα, pH, θερμοκρασία κ.ά).

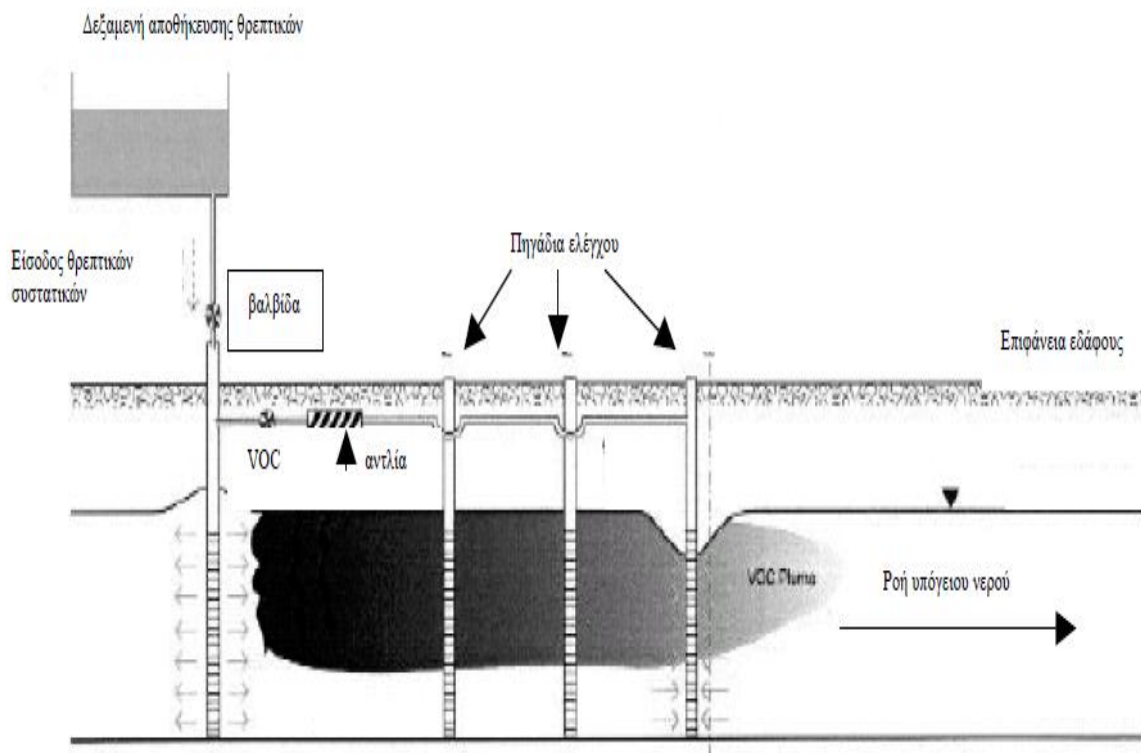
Στις περισσότερες περιπτώσεις, απαιτείται η τεχνητή δημιουργία συνθηκών που θα εξασφαλίσουν τα απαραίτητα υλικά για τροφή και παροχή ενέργειας στους μικροοργανισμούς (μηχανική βιοαποκατάσταση - engineered bioremediation) δηλ. για να γίνει αερόβια αποσύνθεση, διαβιβάζεται αέρας μέσω βαθιών γεωτρήσεων. Η μέθοδος έχει μικρό κόστος και για να είναι πιο αποτελεσματική χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους απορρύπανσης. Αν η βιοαποκατάσταση γίνεται χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου, ονομάζεται ειδική βιοαποκατάσταση - intrinsic bioremediation). Η μηχανική είναι ταχύτερη από την ειδική. Κύριο μειονέκτημα της μεθόδου όμως, είναι η πιθανή απόφραξη (clogging) των γεωτρήσεων από την συγκέντρωση των μικροοργανισμών σε μια θέση. Για την αντιμετώπιση της απόφραξης, χρησιμοποιούνται πρωτόζωα, τα οποία καταστρέφουν τα βακτήρια ή γίνεται χρήση υπεροξειδίου του υδρογόνου αντί οξυγόνου.

Η μέθοδος δεν απαιτεί μεγάλη συντήρηση και 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 σχετικώς χονδρόκοκκα εδάφη επειδή και πάλι σε αυτά είναι ευχερής ο αερισμός (συνήθως χρησιμοποιείται σε εδάφη με διαπερατότητα $k > 10^{-3}$ cm/sec). Στα μειονεκτήματα της όμως είναι η αύξηση των μικροοργανισμών που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ενώ μπορεί να παραχθούν και τοξικά μεταβολικά παραπροϊόντα.

Παρακάτω παρατίθεται σχηματική διάταξη της μεθόδου αυτής στο Σχήμα 4.15 και 4.16, για περαιτέρω κατανόηση :



Σχήμα 4.15 : Εφαρμογή πλήρους αυτοματοποιημένης κινητής μονάδας βιοαποκατάστασης



Σχήμα 4.16 : Βιοαποικοδόμηση ή Βιοαποκατάσταση

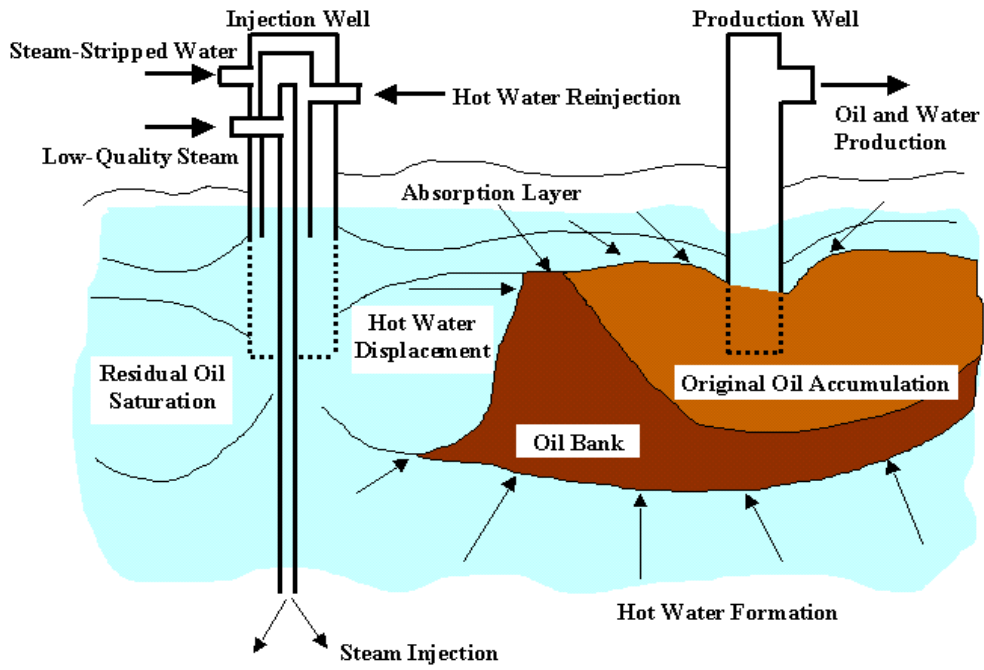
Βελγική εταιρεία, ανέπτυξε μία νέα τεχνολογία βιολογικής αποκατάστασης μολυσμένων ακόρεστων εδαφών, συνδυάζοντας διάφορες διεργασίες, όπως διάχυση αέρα, βιοεξαερισμός (bioventing) και εισαγωγή βακτηριδίων και θρεπτικών, μέσω ενός πλήρως αυτοματοποιημένου κινητού συστήματος. Καθώς είναι πλήρως αυτοματοποιημένη, δίνει εγγυημένα αποτελέσματα με μικρότερο κόστος, σε σύγκριση με υπάρχουσες τεχνολογίες. Η εταιρεία δραστηριοποιείται κυρίως στο Βέλγιο, όπου η συγκεκριμένη τεχνολογία βιολογικής αποκατάστασης, έχει ήδη εγκριθεί από τις υπεύθυνες αρχές που ασχολούνται με τέτοιου είδους περιβαλλοντικά ζητήματα (Flemish Environment Authorities - VMM)

Μέχρι τώρα, η βιολογική αποκατάσταση δεν ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής στην αποκατάσταση των μολυσμένων εδαφών, λόγω ανομοιογένειας και συνεπώς αβέβαιων αποτελεσμάτων απορρύπανσης. Η νέα τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί όμως, αυξάνει σημαντικά την απόδοση και την αξιοπιστία της βιολογικής επεξεργασίας έχοντας και επιπλέον, την δυνατότητα πραγματοποίησης όλης της διεργασίας εξ' αποστάσεως. Στηρίζεται στις διαδοχικές εγχύσεις νερού κορεσμένου με οξυγόνο, ή αέρα και επιλεγμένων βακτηριδίων και προσαρμοσμένων θρεπτικών ουσιών. Το νερό αντλείται και ανακυκλώνεται στη μονάδα απορρύπανσης και η βιολογική αποικοδόμηση, προκύπτει τόσο μέσα στη μονάδα, όσο και μέσα στο έδαφος. Πλεονεκτήματα λοιπόν, που προκύπτουν με την χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι τα εξής έξι :

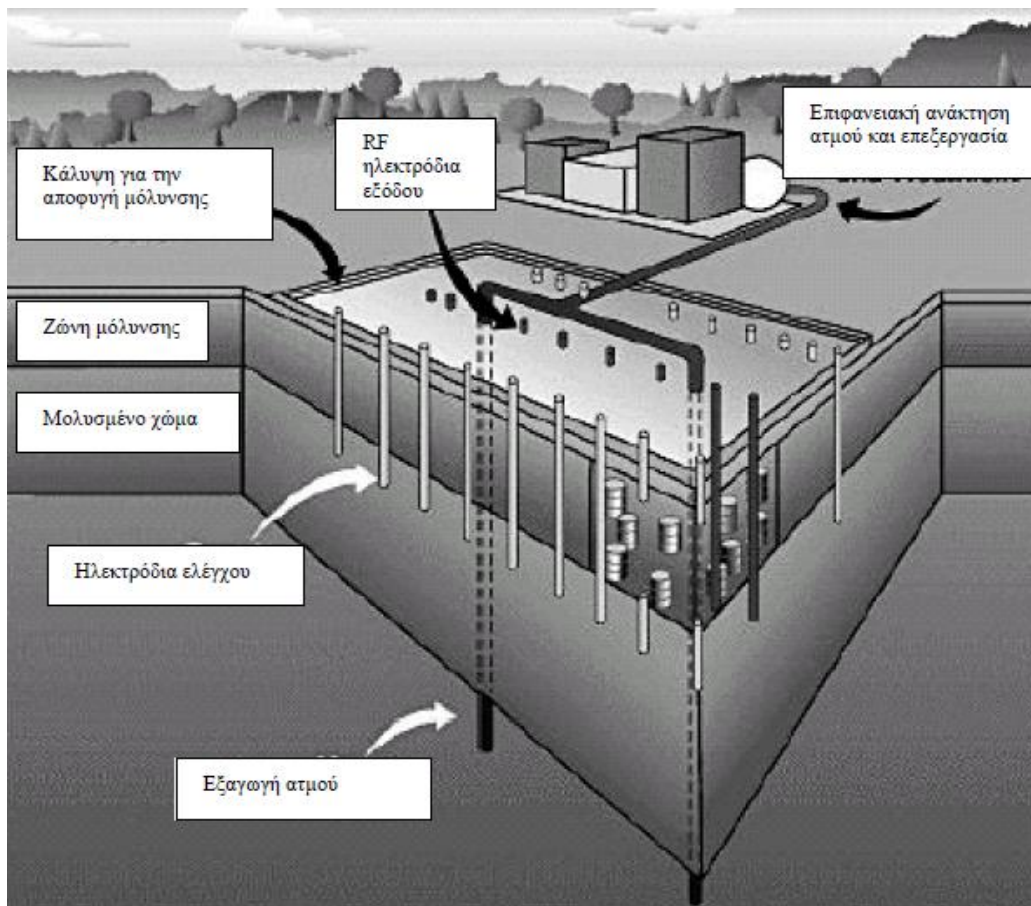
1. Κινητές βιομηχανικές μονάδες, πλήρως αυτοματοποιημένες.
2. Δυνατότητα επεξεργασίας 12.000 m³ (ανά μονάδα) μολυσμένου εδάφους μέσα σε 6 ή 20 μήνες (ανάλογα με τη φύση του εδάφους και την συγκέντρωση της μόλυνσης).
3. Σύστημα εξ' αποστάσεως ελέγχου.
4. Επί τόπου αποκατάσταση χωρίς την εκσκαφή εδάφους, αποφυγή περαιτέρω ρύπανσης με την μη μεταφορά μολυσμένου εδάφους σε άλλα σημεία.
5. Δυνατότητα επεξεργασίας δυσπρόσιτων περιοχών, π.χ κάτω από κτίρια ή δρόμους.
6. Μειωμένο κόστος επεξεργασίας με εγγυημένα αποτελέσματα.

4.2.6 Θερμική Επεξεργασία - Εκρόφηση (Thermal Treatment - Desorption)

Η θερμική επεξεργασία του εδάφους (βλ. Σχήμα 4.17 και 4.18), γίνεται με 2 τρόπους : Μια μορφή της είναι η εκσκαφή εδάφους και η μετέπειτα μεταφορά - επεξεργασία του σε κλιβάνους (ex - situ) με σκοπό την αφαίρεση των πτητικών ρύπων σε αυξημένη θερμοκρασία (π.χ. πετρελαιοειδή, κυανιούχα, πολυκυκλικές αρωματικές ενώσεις, αμίαντος κ.λ.π). Εάν η θερμοκρασία αυξηθεί σημαντικά προκαλείται καύση (incineration) των περισσότερων οργανικών ουσιών. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί και για την απορρύπανση εδαφών ρυπανθέντων με PCB's. Ο τρόπος θέρμανσης θα πρέπει να ελέγχεται απόλυτα επειδή υπό ορισμένες συνθήκες, είναι δυνατόν να παραχθούν δηλητηριώδη αέρια (π.χ. αέρια που περιέχουν διοξίνες) και να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 4.17 : Εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας



Σχήμα 4.18 : Εφαρμογή θερμικής επεξεργασίας

Μια άλλη μορφή της είναι (in – situ) η παροχή - διοχέτευση υπέρθερμου ατμού, ηλεκτρικής θέρμανσης αντίστασης ή θέρμανσης ραδιοσυχνότητας (RF - Radiofrequency) στο έδαφος (steam stripping), θερμοκρασίας 200 °F μέχρι 1000 °F (ανάλογα με τον μολυσματικό παράγοντα που ατμοποιείται), μέσω γεωτρήσεων. Με τον τρόπο αυτό :

1. Εξατμίζονται οι πτητικοί ρύποι που έχουν χαμηλό σημείο βρασμού και συλλέγονται με άλλες γεωτρήσεις, στις οποίες ασκείται αναρρόφηση.
2. Οι ρύποι διαλύονται στο νερό του ατμού και αφαιρούνται μαζί με το νερό με σύστημα αποστράγγισης.

Η θερμική εκρόφηση αποτελεί μόνο μια ενίσχυση στον μολυσματικό παράγοντα για αυτό και π.χ χρησιμοποιείται από κοινού με την τεχνολογία S.V.E, που αναλύουμε στο επόμενο κεφάλαιο, προκειμένου να αυξηθεί το ποσό μολυσματικών παραγόντων που αφαιρούνται από το χώμα και γενικότερα η απόδοση του συστήματος. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι η έγχυση ατμού αφαιρεί αποτελεσματικά τους υδρογονάνθρακες πετρελαίου (B.T.E.X) καθώς και η ηλεκτρική θέρμανση έχει καλά αποτελέσματα σε λεπτά κοκκώδη χώματα. Είναι επίσης αποτελεσματική στον χωρισμό των οργανικών ουσιών από τα απόβλητα πίσσας άνθρακα, απόβλητα εγκαταστάσεων καθαρισμού, απόβλητα επεξεργασίας ξύλου, απόβλητα χρωμάτων και τα συνθετικά απόβλητα από λάστιχα. Μειονεκτήματα της όμως είναι ότι η πλήρης αποκατάσταση του μολυσματικού παράγοντα μπορεί να είναι δύσκολη, μπορεί να μην δουλεύει και καλά σε ετερογενή χώματα, είτε με υψηλή υγρασία και απαιτεί επεξεργασία των απαερίων.

Βελγική εταιρεία προσφέρει μία τεχνολογία αποτελεσματικής in - situ και ex - situ θερμικής επεξεργασίας μολυσμένων εδαφών με οργανικά και επικίνδυνα απόβλητα (όλοι οι οργανικοί ρυπαντές με Σημείο Ζέσεως - Σ.Ζ κάτω από 550 °C, όπως π.χ. T.P.H, P.A.H, κ.λ.π), με τη χρησιμοποίηση ενός batch συστήματος θερμικής εκρόφησης, μπορώντας το σύστημα να επεξεργαστεί, από χαμηλά έως πολύ υψηλά επίπεδα οργανικών ρυπαντών.

Η μέθοδος αποτελείται από σωληνώσεις οι οποίες φέρουν θερμό αέριο (η πίεση των σωληνώσεων ρυθμίζεται μέσω βαλβίδων, οι οποίες επιτρέπουν τόσο συνθήκες υπερπίεσης όσο και συνθήκες υποπίεσης) και τοποθετούνται μέσα στο έδαφος προκειμένου να το θερμάνουν μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας και έτσι η θερμότητα που αναπτύσσεται, προκαλεί την εξάτμιση των ρυπαντών. Ο ρυθμός μεταφοράς αυτής της θερμότητας, είναι δυνατόν να αυξηθεί με την επέκταση της επιφάνειας των σωληνώσεων μέσω πτερυγίων ή άλλων συστημάτων.

Οι σωληνώσεις αυτές που χρησιμοποιούνται είναι διάτρητες και μέσα από τις τρύπες, επιτρέπεται η συγκέντρωση των ατμών των ρυπαντών λόγω των συνθηκών υποπίεσης που είναι δυνατόν να δημιουργηθούν. Επίσης η υποπίεση επιτρέπει στον αέρα να εισέλθει μέσα στο έδαφος προκειμένου για την θέρμανσή του αλλά και για έναρξη καύσης των ρυπαντών και τυχόν άλλων εύφλεκτων ουσιών. Πιθανόν να είναι απαραίτητη η προσθήκη καταλύτη από εύφλεκτα υλικά (π.χ γαιάνθρακας) σε εδάφη περιορισμένης ρύπανσης. Τα αέρια που παράγονται από την καύση συλλέγονται και οξειδώνονται με αέρα ή οξυγόνο και στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται για την επαναθέρμανση του εδάφους. Η συγκεκριμένη τεχνολογία απαιτεί τρεις έως οκτώ ημέρες λειτουργίας για την πλήρη εξυγίανση του εδάφους. Πλεονεκτήματα που προκύπτουν με την χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι τα εξής τρία :

1. Ανακύκλωση της ενέργειας που περιέχεται μέσα στο έδαφος, ή προέρχεται από τα αέρια καύσης και χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του εδάφους.
2. Οι ίδιες σωληνώσεις χρησιμοποιούνται τόσο για τη θέρμανση του εδάφους, όσο και για την συλλογή των εκροφούμενων αερίων, μειώνοντας έτσι την καταναλισκόμενη ενέργεια και το συνολικό κόστος της επεξεργασίας.
3. Μετά την θερμική επεξεργασία το έδαφος είναι επαναχρησιμοποιήσιμο για οποιαδήποτε δραστηριότητα.

4.2.7 Αεροδιασπορά - Αεροδιασκορπισμός (Air sparging, in situ Air stripping)

Κατά την αεροδιασπορά (ή αλλιώς αεριοποίηση), ο ρυπαντής εξαerώνεται και απομακρύνεται μετά από διαβίβαση - εισπίεση αέρα κάτω από το χαμηλότερο σημείο ρύπανσης, με την βοήθεια ειδικού αεροσυμπιεστή (στην ουσία είναι μια τεχνολογία που μειώνει τις συγκεντρώσεις των πτητικών συστατικών στα πετρελαιοειδή που προσροφώνται στα χώματα και διαλύονται στα υπόγεια νερά, με την έγχυση αερίου κάτω από την επιφάνεια της διαποτισμένης ζώνης, επιτρέποντας την αλλαγή φάσης των υδρογονανθράκων από την υγρή στην αέρια – η αέρια φάση αερίζεται περαιτέρω μέσω της ακόρεστης ζώνης). Η διαβίβαση αέρα γίνεται μέσα από κατακόρυφο σωλήνα στην κορεσμένη και ακόρεστη ζώνη του εδάφους.

Πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ταυτόχρονη απορρύπανση της κορεσμένης και ακόρεστης ζώνης του εδάφους καθώς και το ότι είναι γνωστή σαν τεχνολογία με σχετικά χαμηλότερο κόστος όταν συγκρίνεται με άλλες τεχνολογίες. Λοιπά άλλα χαρακτηριστικά της είναι :

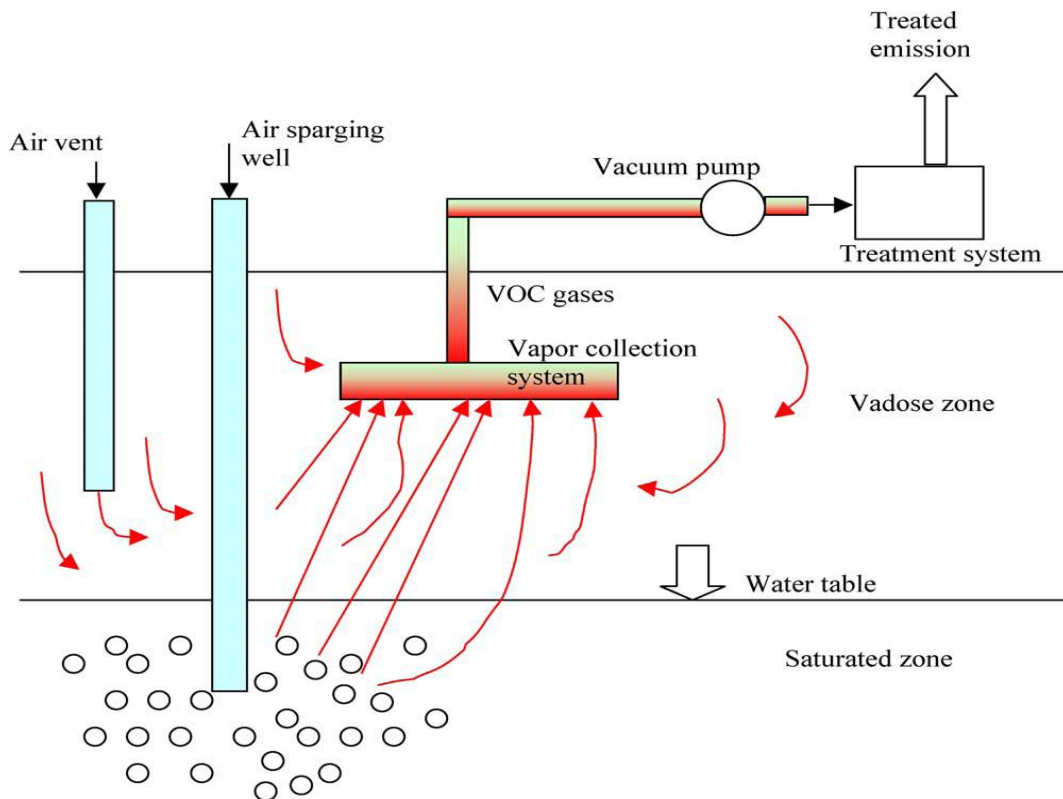
1. Καθώς ο εισπνεζόμενος αέρας κινείται προς τα πάνω, απομακρύνει τους πτητικούς ρύπους.
2. Κατάλληλη για ρύπους με υψηλές τιμές σταθεράς Henry και τάσης ατμών.
3. Κατάλληλη για διαρροή ρύπου διαλυμένου στο νερό ή μη υδατικής φάσης.
4. Εφαρμόζεται σε περατά εδάφη.
5. Πρέπει να συνδυαστεί με συλλογή ατμών στην ακόρεστη ζώνη (και επεξεργασία).

Μειονεκτήματα της είναι :

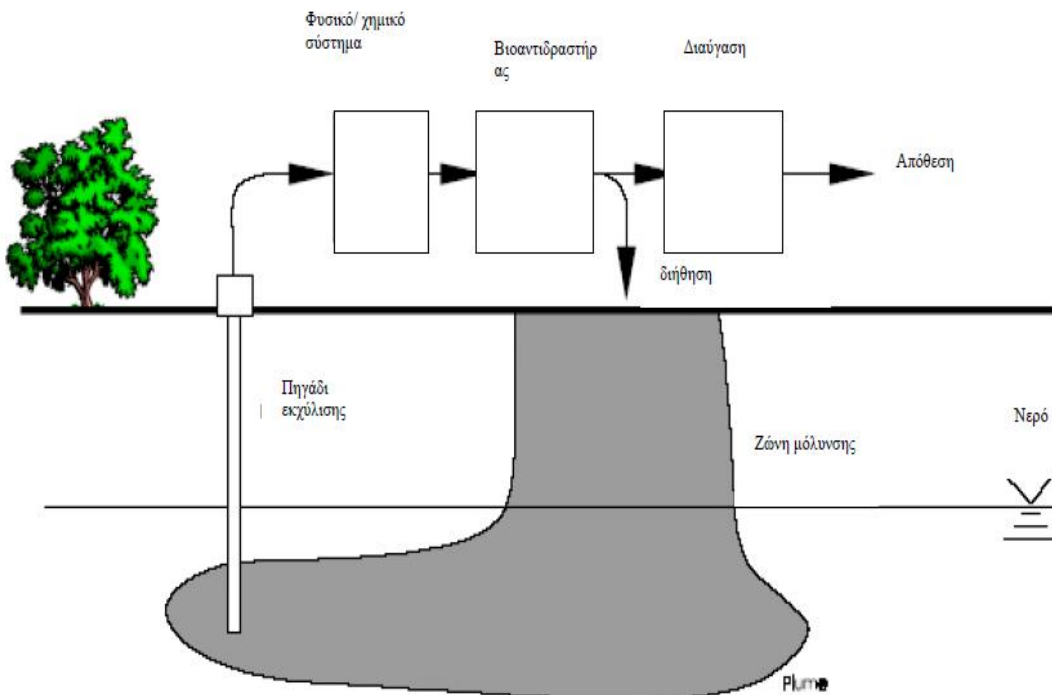
1. Οι υψηλές ενεργειακές δαπάνες.
2. Η επεξεργασία αέριων αποβλήτων.
3. Η αποδοτικότητα μπορεί να επηρεαστεί από τον κρύο καιρό.

Ακολουθεί σχηματική διάταξη της μεθόδου της αεροδιασποράς στο Σχήμα 4.19 και 4.20, στο 4.19 είναι αεριοποίηση σε συνδυασμό με την εκχύλιση υψηλού κενού (Soil Vapor Extraction – S.V.E - τεχνολογία που θα αναλύσουμε διεξοδικά σε

επόμενη ενότητα και που αποτελεί βασικό κομμάτι αυτής μας της μελέτης και στο 4.20 παράδειγμα αεριοποίησης χωρίς τον συνδυασμό S.V.E :



Σχήμα 4.19 : Εφαρμογή αεριοποίησης σε συνδυασμό με την εκχύλιση κενού



Σχήμα 4.20 : Αεριοποίηση

4.2.8 Φυτοεξυγίανση - Φυτοαποκατάσταση (Phytoremediation)

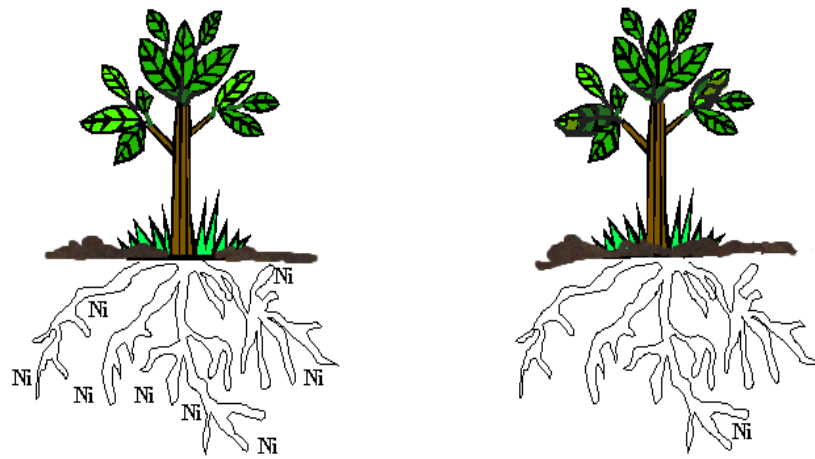
Η φυτοαποκατάσταση (γνωστή επίσης και ως πράσινη αποκατάσταση, βοτανο - αποκατάσταση, αγρο - αποκατάσταση και φυτική αποκατάσταση), είναι η ονομασία που έχει δοθεί σε μία ομάδα από τεχνολογίες που χρησιμοποιούν φυτά και δέντρα και τους σχετιζόμενους με αυτά μικροοργανισμούς, για την επί τόπου μερική ή πλήρη αποκατάσταση - εξυγίανση ρυπασμένων εδαφών, ιλύων, ιζημάτων και υπόγειων νερών μέσω των ριζών τους, μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται φυτοεκχύλιση. Το φιλτράρισμα γίνεται μέσω των ριζών και περιλαμβάνει φυτά που αναπτύσσονται σε ένα θερμοκήπιο χρησιμοποιώντας το μολυσμένο νερό ως πηγή νερού. Προτιμάται τα φυτά να εκτελούν τη φυτοεκχύλιση σε ένα θερμοκήπιο, παρά επιτόπου, για έλεγχο των συνθηκών.

Η φυτοδιάσπαση διασπά τους οργανικούς μολυσματικούς παράγοντες από ένζυμα που εκκρίνονται από τα φυτά. Στη συνέχεια μέσω των φυτών, οι μολυσματικοί παράγοντες εξατμίζονται στην ατμόσφαιρα. Οι τεχνολογίες φυτοαποκατάστασης εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση, τόσο οργανικών όσο και ανόργανων ρύπων. Στους ρύπους αυτούς συμπεριλαμβάνονται πολυκυκλικό αρωματικοί υδρογονάνθρακες, χλωριωμένες ενώσεις (χλωριωμένοι διαλύτες), φυτοφάρμακα, εκρηκτικές ουσίες, βαρέα μέταλλα, μεταλλοειδή και ραδιενεργά υλικά, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, απορρυπαντικά, θρεπτικά συστατικά (π.χ φωσφορικά, νιτρικά), που προκαλούν ευτροφισμό επιφανειακών υδάτων.

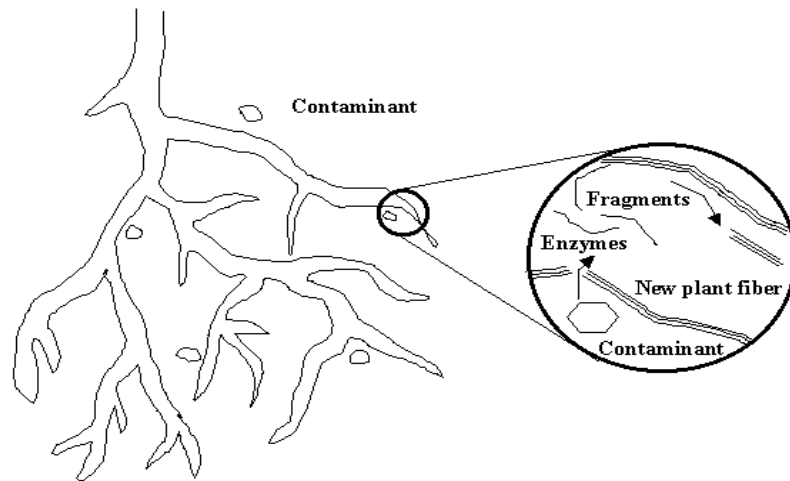
Η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται τη φυσική ιδιότητα πολλών φυτικών ειδών να απορροφούν, να συσσωρεύουν και σε μερικές περιπτώσεις να μεταβολίζουν συστατικά του εδάφους. Μερικά φυτά έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν σε μεγάλες συγκεντρώσεις ακόμη και μέταλλα, που δεν τους είναι χρήσιμα για την ανάπτυξή τους. Εφαρμόζεται κυρίως σε περιπτώσεις, όπου η ρύπανση είναι :

1. Ευρείας έκτασης (σε επιφάνεια).
2. Βρίσκεται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους (μέχρι 1 m βάθος) ή του υδροφόρου ορίζοντα (μέχρι 3 m βάθος).
3. Έχει σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα ρυπαντών έτσι ώστε η εκσκαφή του μολυσμένου εδάφους και η ακόλουθη επεξεργασία τους να καθίσταται αντιοικονομική.

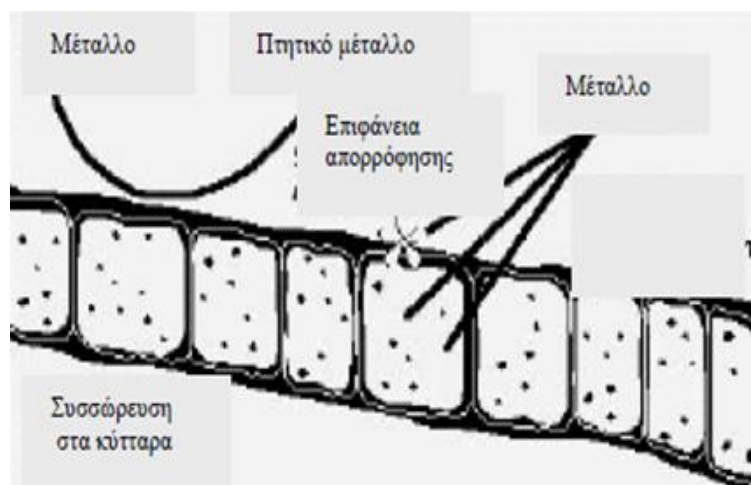
Παρακάτω στα σχήματα 4.21 και 4.22, δείχνουμε ένα οπτικό παράδειγμα φυτοαποκατάστασης καθώς και την λεπτομέρεια της μεθόδου και στα δύο επόμενα σχήματα 4.23 και 4.24, δείχνουμε αντίστοιχα τους μηχανισμούς φυτοαποκατάστασης περιλαμβάνοντας την διάσπαση, συγκράτηση, ή μεταφορά των υδρογονανθράκων πετρελαίου στο χώμα, μέσω των αλληλεπιδράσεων με τα φυτά και τους μικροοργανισμούς και ένα παράδειγμα διάσπασης του πετρελαίου από τα φυτά :



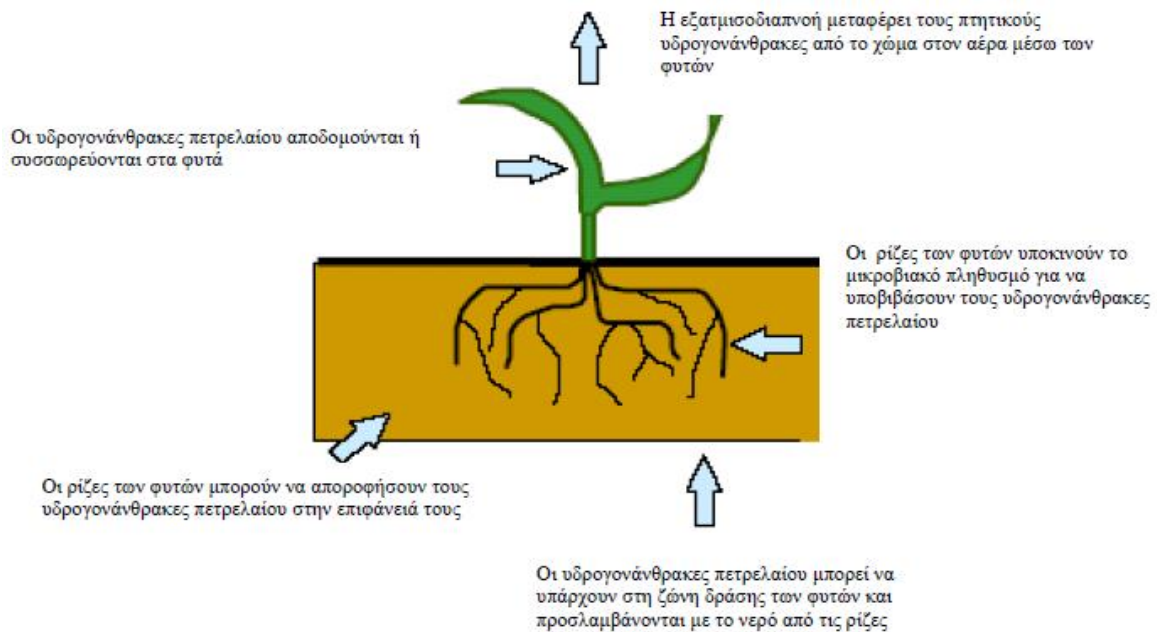
Σχήμα 4.21 : Παράδειγμα φυτοαποκατάστασης



Σχήμα 4.22 : Λεπτομέρεια της μεθόδου



Σχήμα 4.23 : Μηχανισμοί φυτοαποκατάστασης



Σχήμα 4.24 : Παράδειγμα διάσπασης του πετρελαίου απο τα φυτά με την χρήση της φυτοαποκατάστασης

Πλεονεκτήματα της φυτοεξυγίανσης είναι :

1. Το βασικότερο προτέρημα της μεθόδου αυτής είναι ότι παράγονται λιγότερα δευτερογενή απόβλητα από ότι σε άλλες τεχνολογίες.
2. Η φυτοεξυγίανση εφαρμόζεται επί τόπου και δεν είναι αναγκαία μία εκσκαφή ή άντληση για περαιτέρω επεξεργασία. Για αυτό το λόγο δε διαταράσσεται καθόλου το φυσικό τοπίο της μολυσμένης περιοχής.
3. Είναι οικονομική επεξεργασία ιδιαίτερα για μεγάλους όγκους χώματος ή νερού, που είναι μολυσμένα με μικρές ποσότητες τοξικών ρυπαντών.
4. Επιτυγχάνεται η συγκέντρωση των τοξικών ουσιών σε πολύ μικρούς όγκους.
5. Τα φυτά και τα δέντρα είναι οπτικά δελεαστικά.

καθώς και μειονεκτήματα της φυτοεξυγίανσης είναι :

1. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται οι ιδιαίτερα αργοί ρυθμοί φυτοεξυγίανσης, οι οποίοι συμπεριλαμβάνουν μερικές συνεχόμενες περιόδους καλλιέργειας των φυτών μέχρι να εξυγιανθεί τελείως το περιβάλλον από τους ρυπαντές.
2. Η φυτοεξυγίανση φέρνει μόνο αποτελέσματα, όταν το βάθος της μόλυνσης δεν ξεπερνά το 1m στο έδαφος και τα 3m στον υδροφόρο ορίζοντα δηλ. οι διεργασίες γίνονται σε μικρά βάθη (βάθος ρίζας).
3. Μειονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα να μεταδοθούν οι τοξικές ουσίες στην τροφική αλυσίδα, μετά από πιθανή βρώση των φυτών από ζώα.

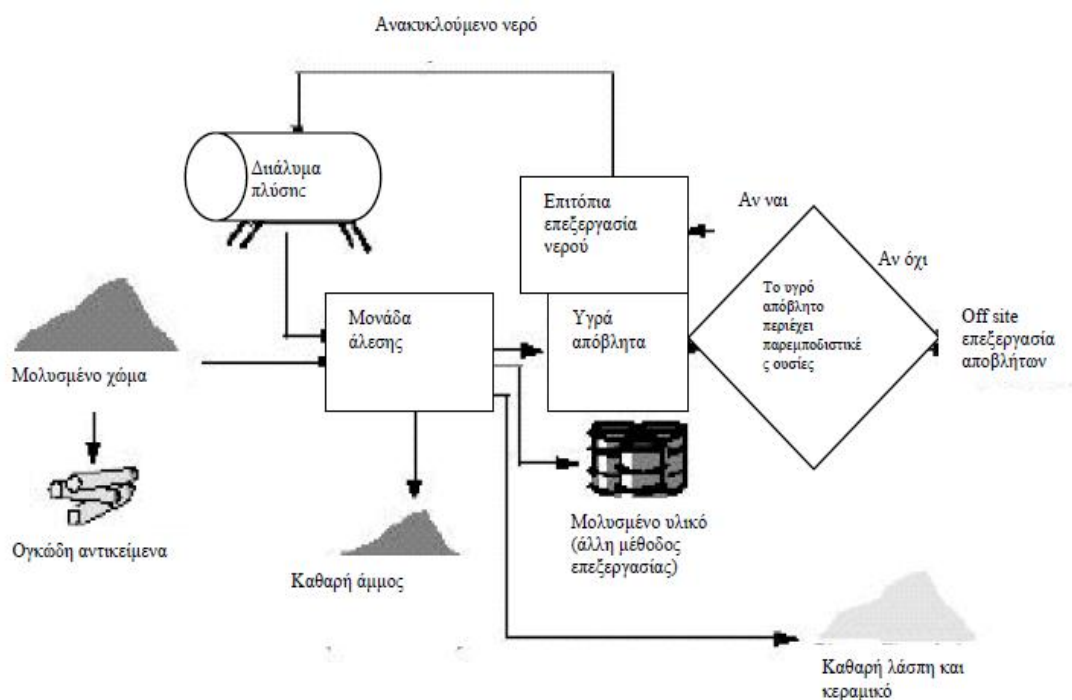
4. Οι κλιματικές ή οι υδρολογικές συνθήκες στην μολυσμένη περιοχή μπορεί να μην επιτρέπουν την καλλιέργεια και ανάπτυξη των κατάλληλων για την φυτοεξυγίανση φυτών.

4.2.9 Έκπλυση εδάφους (Soil washing, Chemical Extraction, Leaching)

4.2.9.1 Γενικά βασικά στοιχεία

Η έκπλυση του εδάφους είναι μία τεχνολογία φυσικού η / και χημικού διαχωρισμού και γίνεται ως συνήθως με νερό υπο πίεση, το οποίο, για ενίσχυση, συχνά περιέχει οξέα, βάσεις ή απορρυπαντικά για να διαλύσει ή να διασπάσει τους ρύπους (ρύπους όπως S.V.O.C's, V.O.C's, πολυχλωριωμένες φαινόλες - P.C.B's, P.A.H's, βαριά μέταλλα, ραδιονουκλίδια, κυανιούχα, αρωματικές ενώσεις, φυτοφάρμακα, πετρελαιοειδή, κ.α). Κατά την επεξεργασία απαιτείται έντονη ανασκαφή - αναμόχλευση του εδάφους ώστε οι ρύποι να εκπλυθούν. Το κυριότερο πρόβλημα της μεθόδου είναι οι μεγάλες ποσότητες νερού που προκύπτουν ως παραπροϊόντα της έκπλυσης και περιέχουν σημαντικό ρυπαντικό φορτίο. Το νερό αυτό πρέπει να υποστεί ειδική επεξεργασία για την αφαίρεση των ρύπων και στην συνέχεια να ανακυκλωθεί. Επίσης υπάρχει κίνδυνος διήθησης του νερού στο υπέδαφος και επέκτασης της ρύπανσης, Συχνά αντί για νερό χρησιμοποιούνται οργανικοί διαλύτες οι οποίοι όμως γενικώς είναι τοξικοί, εύφλεκτοι και επικίνδυνοι και συνεπώς απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην χρήση τους (Attwell P.W. 1993). Το καθαρισμένο χώμα μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί σε χωματουργικές εφαρμογές.

Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου και βασικά χαρακτηριστικά της, φαίνονται στα δύο παρακάτω σχήματα που ακολουθούν 4.25 και 4.26, βλέποντας συγκεκριμένα πως γίνεται η απορρύπανση κυρίως των υδρογονανθράκων (hydrocarbons decontamination), που είναι και το αντικείμενο της μελέτης αυτής :



Σχήμα 4.25 : Σχηματική απεικόνιση της εδαφικής πλύσης

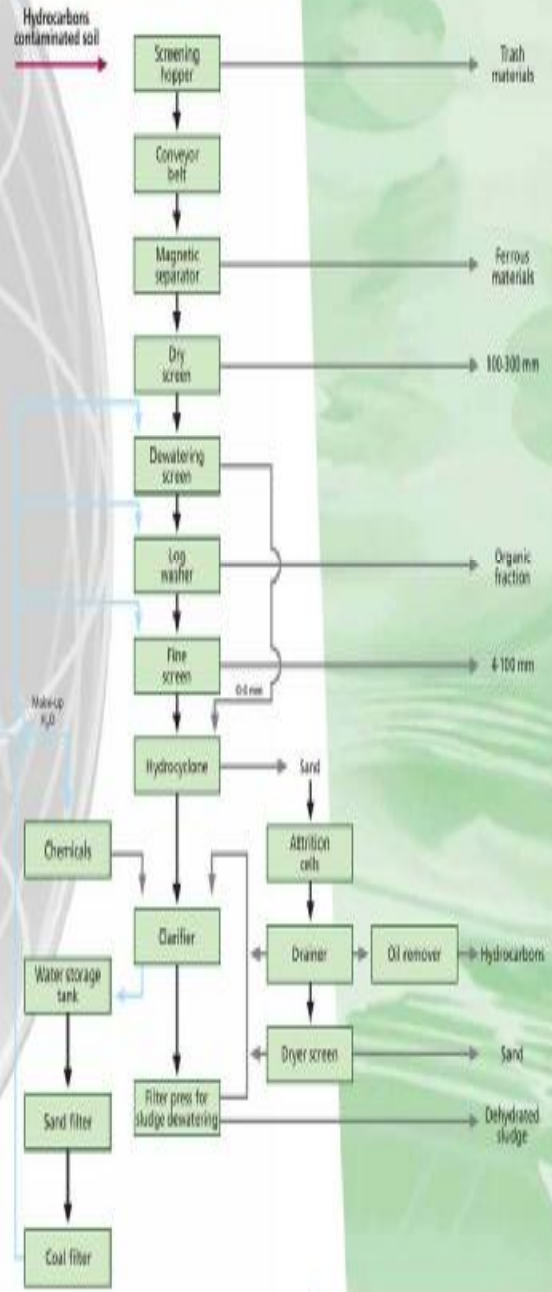
SOIL WASHING

Soil Washing Plants : Diemme Know-how

Flowchart : Heavy Metals decontamination



Flowchart : Hydrocarbons decontamination



Σχήμα 4.26 : Βασικά χαρακτηριστικά της εδαφικής πλύσης

Αναλυτικότερα η έκπλυση του εδάφους απομακρύνει τους ρύπους με τους παρακάτω δύο τρόπους :

1. Συγκεντρώνοντας τους σε μικρότερο όγκο εδάφους, με εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας μεταλλευμάτων.
2. Διαλύοντας τους στο διάλυμα έκπλυσης.

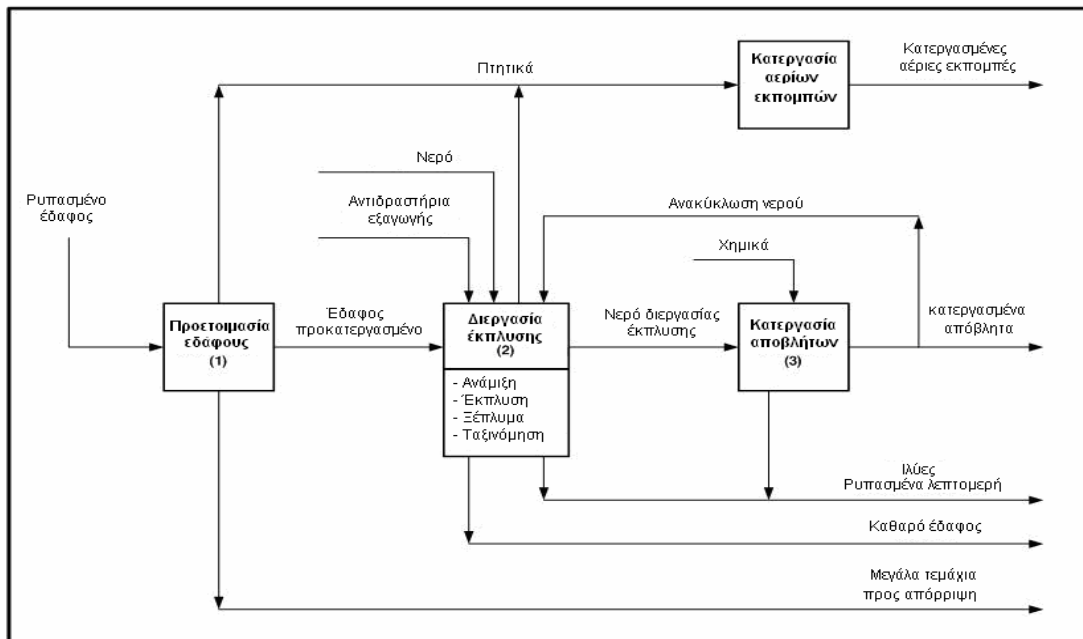
Με τον πρώτο τρόπο, τα σωματίδια καθαρού και ρυπασμένου εδάφους διαχωρίζονται, εκμεταλλευόμενοι τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως η επιλεκτική τους ρόφηση στα λεπτομερή τεμάχια αργίλου του εδάφους, διαφοροποιήσεις στο ειδικό βάρος, τις μαγνητικές και επιφανειακές ιδιότητές τους κ.λ.π. Επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι ένα μεγάλο ποσοστό της ρύπανσης του εδάφους, ιδιαίτερα από οργανικές ενώσεις (πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες – P.A.H 's), σχετίζεται ή συγκρατείται από τα πολύ μικρά σωματίδια του εδάφους (άργιλος και ιλύς). Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ένας φυσικός διαχωρισμός των μεγάλων σωματιδίων π.χ άμμος και χαλίκια από την ιλύ, την άργιλο και τα χουμικά υλικά, συγκεντρώνει ικανοποιητικά τους ρύπους στο λεπτομερές κλάσμα.

Η δεύτερη τεχνική έκπλυσης, περιλαμβάνει τη χημική επεξεργασία με τη χρήση νερού ή χημικών αντιδραστηρίων και στοχεύει στην επιλεκτική εκχύλιση των ρύπων από τα σωματίδια του εδάφους, ή την ολική διαλυτοποίηση των ρυπασμένων σωματιδίων. Η χημική επεξεργασία εφαρμόζεται κυρίως για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων με τη χρήση διαφορετικών αντιδραστηρίων εκχύλισης, όπως ανόργανα οξέα (υδροχλωρικό οξύ, θειικό οξύ, $pH < 2$), οργανικά οξέα (οξικό, γαλακτικό, κιτρικό οξύ, $pH \geq 4$), αντιδραστήρια συμπλοκοποίησης όπως EDTA, και Νιτριλοτριοξικό οξύ (NTA), και συνδυασμός αυτών των αντιδραστηρίων. Στην περίπτωση όμως των οργανικών ρύπων, που είναι και το αντικείμενο αυτής της μελέτης, η χρήση αντιδραστηρίων επιφανειακής ενεργοποίησης θα πρέπει να γίνεται με προσοχή αφού τα αντιδραστήρια αυτά, αυξάνουν τη διαλυτότητα των οργανικών στα υδατικά διαλύματα.

Γενικότερα η διαδικασία της έκπλυσης του εδάφους περιλαμβάνει τρεις κύριες εργασίες :

1. Εντατική ανάμιξη του ρυπασμένου εδάφους με το υγρό έκπλυσης.
2. Διαχωρισμός των καθαρών σωματιδίων εδάφους.
3. Επεξεργασία της υδατικής φάσης που περιέχει τους διαλελυμένους ή εν αιωρήσει ρύπους.

Ένα γενικό διάγραμμα ροής μίας μεθόδου έκπλυσης εδάφους, παρουσιάζεται στο Σχημα 4.27 που ακολουθεί. Αρχικά, το ρυπασμένο έδαφος κοσκινίζεται για να απομακρυνθούν μεγάλα κομμάτια ξύλου, ρίζες, πέτρες, κ.λπ που μπορεί να υπάρχουν. Το μέγιστο επιτρεπόμενο μέγεθος εξαρτάται από τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί και κυμαίνεται από 10 έως 50 mm.



Σχήμα 4.27 : Τυπικό διάγραμμα ροής κυκλωματος έκπλυσης ρυπασμένων εδαφών

Το κύριο στάδιο έκπλυσης του εδάφους, περιλαμβάνει την ανάμιξη, την έκπλυση, το ξέπλυμα και την ταξινόμηση του υλικού. Στο στάδιο της έκπλυσης του εδάφους, λαμβάνουν χώρα δύο κύριοι μηχανισμοί. Ο πρώτος είναι η διασπορά των λεπτομερών ρυπασμένων σωματιδίων, τα οποία υπάρχουν ως συσσωματώματα ή καλύπτουν την επιφάνεια των σωματιδίων εδάφους. Για καλύτερη διασπορά, χρησιμοποιούνται υδροξείδιο του νατρίου και άλλα αντίστοιχα αντιδραστήρια ή υλικά. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι η διαλυτοποίηση των ρύπων στο υδατικό διάλυμα, η οποία μπορεί να ενταθεί με την προσθήκη των κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων όπως ανόργανα ή οργανικά οξέα, μέσα συμπλοκοποίησης και τροποποιητικά επιφανειακών ιδιοτήτων ή συνδιαλυτικά, εξαρτώμενη από τον τύπο των ρύπων.

Η έντονη επαφή μεταξύ των κόκκων εδάφους και του διαλύματος έκπλυσης έχει ως αποτέλεσμα τη διαλυτοποίηση των ρύπων του εδάφους και τη διασπορά τους στο νερό, μετά όμως από ανάμιξη για κατάλληλο χρονικό διάστημα, τα καθαρά σωματίδια του εδάφους και το νερό έκπλυσης το οποίο περιέχει τους διαλυμένους ρυπαντές διαχωρίζονται. Βασικά, οι τεχνικές διαχωρισμού στα συστήματα έκπλυσης εδάφους είναι όμοια με αυτά που εφαρμόζονται στη βιομηχανία επεξεργασίας μεταλλευμάτων. Οι πιο κοινές από αυτές, τεχνικές διαχωρισμού είναι αυτές που ακολουθούν :

1. Υδροκυκλώνες : Ο διαχωρισμός σωματιδίων στους υδροκυκλώνες στηρίζεται στην αρχή της φυγόκεντρου δύναμης. Ο πολφός που περιέχει το καθαρό έδαφος και τα ρυπασμένα σωματίδια διαχωρίζεται σε ένα ρεύμα κατερχόμενης ροής, στο οποίο συλλέγεται το χονδρομερές κλάσμα και ένα ρεύμα υπερχειλίσσης στο οποίο περιέχεται το λεπτομερές κλάσμα. Για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος, μπορούν να τοποθετηθούν πολλοί υδροκυκλώνες σε σειρά. Είναι επίσης δυνατός ο επιλεκτικός διαχωρισμός για σωματίδια με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 10 - 20 μm.
2. Σύστημα διαχωρισμού ρευστοστερεάς κλίνης : Το συγκεκριμένο σύστημα διαχωρισμού βασίζεται στη διαφορετική βαρυτομετρική ταχύτητα καθίζησης

μεταξύ των λεπτομερών ρυπασμένων σωματιδίων και του χονδρομερούς κλάσματος των καθαρών σωματιδίων του εδάφους. Ο πολφός που περιέχει τα ρυπασμένα και καθαρά σωματίδια εδάφους, τροφοδοτείται από το ανώτερο σημείο μίας κατακόρυφης στήλης αντίθετα προς τη ροή του διαλύματος εκχύλισης. Ο ρυθμός έγχυσης του διαλύματος στη στήλη, ρυθμίζεται ώστε να είναι δυνατή η καταβύθιση των χονδρομερών σωματιδίων του εδάφους και το διάλυμα έκπλυσης που περιέχει τα ρυπασμένα σωματίδια απομακρύνεται από το ανώτερο τμήμα της στήλης. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται ο επιλεκτικός διαχωρισμός για σωματίδια με μέγεθος κόκκων μεγαλύτερο από 50 μm.

3. Βαρυτομετρικά συστήματα διαχωρισμού : όπως υδροσυγκεντρωτές, δονούμενες τράπεζες, σπειροειδείς συγκεντρωτές τύπου Humphrey, κ.λ.π.
4. Επίπλευση : Σε αρκετές περιπτώσεις, οι ρύποι που προσροφώνται στην επιφάνεια σωματιδίων αργίλου, ή ρύποι που είναι διακριτοί στο έδαφος, παρουσιάζουν διαφορετικές επιφανειακές ιδιότητες σε σχέση με τα καθαρά σωματίδια εδάφους. Με την προσθήκη ειδικών χημικών ουσιών, είναι δυνατή η δημιουργία υδρόφοβης επιφάνειας στα ρυπασμένα σωματίδια και έχει ως αποτέλεσμα ο αερισμός του πολφού, την προσάρτηση των υδρόφοβων ρυπασμένων σωματιδίων στην επιφάνεια των σχηματιζόμενων φυσαλίδων αέρα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η επιλεκτική επίπλευση των συγκεκριμένων σωματιδίων. Σε αντίθεση με τις μεθόδους βαρυτομετρικού διαχωρισμού, η επίπλευση παρέχει τη δυνατότητα διαχωρισμού ρυπασμένων και μη ρυπασμένων σωματιδίων του ίδιου μεγέθους κόκκων και της ίδιας πυκνότητας αλλά διαφορετικών επιφανειακών ιδιοτήτων.

Μετά από το στάδιο διαχωρισμού και όλα όσα προαναφέραμε με τις διάφορες τεχνικές, το χονδρομερές κλάσμα του εδάφους, διαβρέχεται με καθαρό νερό για την απομάκρυνση τυχόν ρύπων που παραμένουν σε αυτό ή λεπτομερών σωματιδίων εδάφους τα οποία μπορεί να είναι προσκολλημένα.

Η έκπλυση του εδάφους όμως, δεν αποτελεί τις περισσότερες φορές μία μέθοδο που εφαρμόζεται ανεξάρτητα. Στην πραγματικότητα, τόσο το λεπτομερές κλάσμα του εδάφους (άργιλος και ιλύς), όσο και το νερό μετά την έκπλυση, υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία και απόθεση, με τον καταλληλότερο τρόπο, για να ολοκληρωθεί ο καθαρισμός. Για την απογύμνωση του διαλύματος έκπλυσης, το οποίο περιέχει τους διαλελυμένους ρυπαντές και τεμάχια λεπτομερούς ρυπασμένου εδάφους, εφαρμόζονται μία σειρά από φυσικές και χημικές μεθόδους. Οι διαλελυμένοι ρυπαντές, μπορεί να απομακρυνθούν με την εφαρμογή χημικών μεθόδων όπως για παράδειγμα εξουδετέρωση, καταβύθιση, ιονταλλαγή, κ.λ.π ενώ τα εν αιωρήσει σωματίδια που έχουν προκύψει από το ρυπασμένο έδαφος και έχουν παραχθεί κατά τη διάρκεια της κατεργασίας του διαλύματος έκπλυσης, μπορεί να απομακρυνθούν με την εφαρμογή φυσικών τεχνικών όπως κροκίδωση, πάχυνση και διήθηση. Το σύνολο, ή ένα μέρος του διαυγασμένου νερού ανακυκλώνεται στο στάδιο έκπλυσης του εδάφους.

Η λάσπη που παράγεται από το στάδιο απογύμνωσης του διαλύματος έκπλυσης, αφυδατώνεται σε φυγόκεντρο, φιλτρόπρεσα ή ταινιόπρεσα και η ποσότητα της παραγόμενης λάσπης, αποτελεί έναν καθοριστικό παράγοντα για την εκτίμηση του κόστους και της αποτελεσματικότητας της έκπλυσης του εδάφους. Η λάσπη αυτή αποτελείται κυρίως από σωματίδια αργίλου και παρά το γεγονός ότι το κλάσμα των ρυπασμένων συστατικών είναι σχετικά χαμηλό, η ολική συγκέντρωση

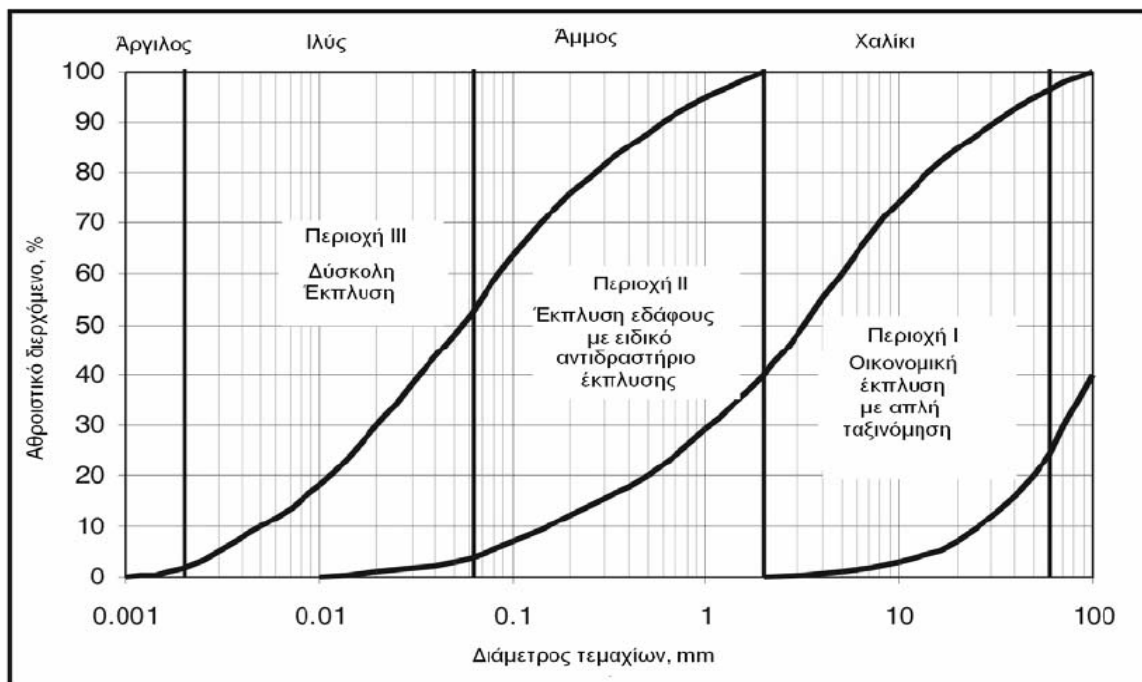
των ρύπων είναι σχετικά υψηλή, με αποτέλεσμα η λάσπη να χαρακτηρίζεται συνήθως ως επικίνδυνο απόβλητο. Η τελική της διαχείριση μπορεί να περιλαμβάνει είτε διάθεση σε χώρο απόθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, η περαιτέρω επεξεργασία με τη χρήση θερμικών τεχνικών καθώς και τεχνικών σταθεροποίησης.

Στην μέθοδο έκπλυσης του εδάφους που περιγράφηκε αξίζει να αναφερθεί πως μπορεί και να παραχθούν παράπλευρα ρεύματα, π.χ εκπομπές αέρα, χρησιμοποιημένα διαλυτικά, εξαντλημένες ρητίνες, κ.α, που να χρήζουν κατάλληλης διαχείρισης.

4.2.9.2 Παράμετροι σχεδιασμού

Οι παράμετροι που κυρίως επηρεάζουν την οικονομικότητα της έκπλυσης του εδάφους περιλαμβάνουν τις φυσικοχημικές παραμέτρους του εδάφους δηλ. κοκκομετρία, ικανότητα ανταλλαγής ιόντων, ποσοστό αργίλου, ιλύος ή οργανικού υλικού και τον τύπο και την συγκέντρωση των ρυπαντών.

Τα εδάφη που χαρακτηρίζονται από υψηλά ποσοστά άμμου και χαλικιού, ανταποκρίνονται καλύτερα στην έκπλυση από τα λεπτομερή εδάφη. Υψηλά ποσοστά αργίλου και ιλύος μειώνουν την ικανότητα απομάκρυνσης. Πρακτικά, η έκπλυση του εδάφους είναι καταλληλότερη για εδάφη που περιέχουν τουλάχιστον 50% άμμο - χαλίκι, δηλ. παραθαλάσσια και παραποτάμια εδάφη και εδάφη με πλειστοκαινικές αποθέσεις, όμως τα εδάφη που είναι πλούσια σε άργιλο και ιλύ, αποδεικνύονται στην πράξη ως ανεπαρκή για έκπλυση. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος έχουν εξεταστεί σε εργαστηριακή κλίμακα, τροποποιημένες τεχνικές έκπλυσης εδαφών πλούσια σε άργιλο και ιλύ, όμως δεν είναι ακόμα αποδεδειγμένη η εφαρμοσιμότητά τους σε κλίμακα πεδίου. Παρακάτω στο Σχήμα 4.28, δείχνουμε την αποτελεσματικότητα των τεχνικών έκπλυσης για διάφορους τύπους εδαφών :



Σχήμα 4.28 : Αποτελεσματικότητα τεχνικών έκπλυσης για διάφορους τύπους εδαφών

Η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων (Cation Exchange Capacity - C.E.C) υπολογίζει την τάση του εδάφους να ανταλλάσει ασθενώς δεσμευμένα κατιόντα στα σωματίδια του εδάφους, με κατιόντα που περιέχονται στο διάλυμα έκπλυσης. Εδάφη με σχετικά χαμηλές τιμές C.E.C (μικρότερες από 50 έως 100 meq/kg, όπου meq = milliequivalent) ανταποκρίνονται καλύτερα στην έκπλυση από εδάφη με υψηλότερες τιμές C.E.C. Επιπλέον, η υψηλή περιεκτικότητα χουμικών στο έδαφος δυσκολεύει σημαντικά το διαχωρισμό των ρυπαντών. Τα χουμικά δημιουργούνται από την αποσύνθεση απορριμμάτων και υπολειμμάτων φυτικών και ζωικών οργανισμών και παρέχουν θέσεις δέσμευσης για τη συσσώρευση τόσο οργανικών ενώσεων όσο και μετάλλων. Ένας αρχικός χαρακτηρισμός αυτών των παραμέτρων και της μεταβλητότητά τους, παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για μία αρχική εκτίμηση της έκπλυσης του εδάφους ως εναλλακτικής μεθόδου επεξεργασίας.

Άλλοι παράγοντες που θα πρέπει να διερευνηθούν περιλαμβάνουν τις χημικές και φυσικές ιδιότητες του ρύπου. Η διαλυτότητα στο νερό (ή και σε άλλα υγρά έκπλυσης), είναι ένα από τα σημαντικότερα φυσικά χαρακτηριστικά. Οι υδρόφοβοι ρύποι μπορεί να είναι δύσκολο να διαχωριστούν από τα σωματίδια του εδάφους σε ένα υδατικό διάλυμα έκπλυσης. Η αντιδραστικότητα με το διάλυμα έκπλυσης, σε κάποιες περιπτώσεις, μπορεί επίσης να αποτελέσει ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς και άλλα χαρακτηριστικά του ρύπου όπως η πτητικότητα και η πυκνότητα μπορεί να είναι σημαντικά για το σχεδιασμό των μελετών επιλογή της μεθόδου αποκατάστασης και των σχετικών συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων.

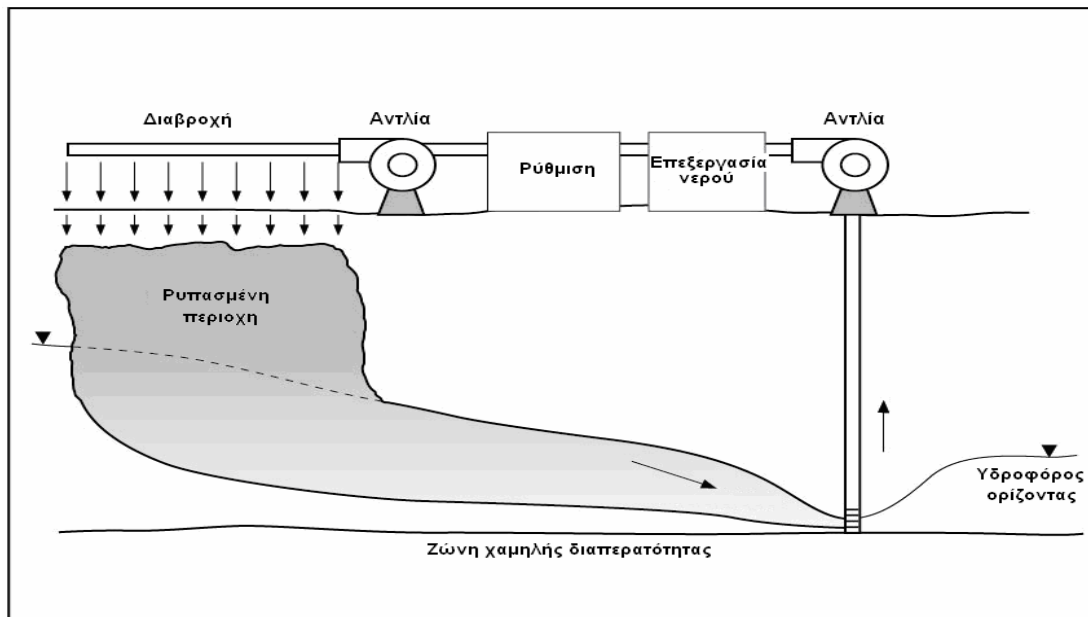
Πολύπλοκα μείγματα ρυπαντών στο έδαφος, όπως για παράδειγμα μείγμα μετάλλων, μη πτητικών οργανικών, ημιπτητικών οργανικών, κ.λπ, δυσκολεύουν την επιλογή ενός μοναδικού διαλύματος έκπλυσης το οποίο θα απομακρύνει όλα τα διαφορετικά είδη ρυπαντών από το έδαφος. Έτσι συνήθως απαιτούνται σταδιακές εκπλύσεις με τη χρήση διαφορετικών προσθέτων. Στην πραγματικότητα, κάθε είδος ρυπασμένου εδάφους απαιτεί και μία ειδική μέθοδο επεξεργασίας, η οποία καθορίζεται με τη διεξαγωγή εργαστηριακών ή πιλοτικών δοκιμών (όπως προαναφέραμε σε προηγούμενη ενότητα), προκειμένου να προσδιοριστούν οι πιθανές τροποποιήσεις του συστήματος και οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας.

Οι συχνές αλλαγές στο είδος του ρύπου και την συγκέντρωσή του στο προς επεξεργασία έδαφος, μπορεί να περιορίσει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας έκπλυσης. Για να αντιμετωπιστούν οι αλλαγές στη χημική ή φυσική σύνθεση του προς επεξεργασία εδάφους, απαιτούνται διαφοροποιήσεις στη σύνθεση του διαλύματος έκπλυσης και τις συνθήκες λειτουργίας. Εναλλακτικά, μπορεί να απαιτηθεί η ανάμιξη εδαφών πριν από την επεξεργασία, προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη τροφοδοσία υλικού όσον αφορά τη συγκέντρωση των ρύπων.

4.2.9.3 Επιτόπου έκπλυση εδάφους (in situ flushing)

Η επί τόπου έκπλυση είναι η έγχυση ή η διήθηση ενός υδατικού διαλύματος στη ρυπασμένη ζώνη του εδάφους, ακολουθούμενη από άντληση του υπόγειου νερού και του διαλύματος που περιέχει τους απομακρυνόμενους ρυπαντές, επεξεργασία του στην επιφάνεια του εδάφους και απόρριψη ή επαναέγχυσή του. Μία σχηματική αναπαράσταση της επί τόπου έκπλυσης του εδάφους δίνεται στο Σχήμα 4.29, πιο κάτω. Ο στόχος της επί τόπου έκπλυσης είναι η προώθηση των συμβατικών μεθόδων άντλησης και επεξεργασίας, υποβοηθώντας ταυτόχρονα την

διαλυτότητα και κινητικότητα των ρύπων, επιταχύνοντας έτσι τη διαδικασία της αποκατάστασης του εδάφους.



Σχήμα 4.29 : Σχηματική παράσταση επιτόπου έκπλυσης εδαφών

Η εισαγωγή του διαλύματος έκπλυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους (vadose zone), στην κορεσμένη ζώνη ή και στις δύο. Τα διαλύματα έκπλυσης αποτελούνται μόνο από νερό, ή νερό με προσθήκη surfactants (δηλ. επιφανειοδραστικών ουσιών – ενώσεων που έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την επιφανειακή τάση ενός υγρού, επιτρέποντας έτσι την ευκολότερη εξάπλωση του στον χώρο), συνδιαλυτικών μέσων (Cosolvents), οξέων, βάσεων, οξειδωτικών μέσων, διαλυτών και χηλικών ενώσεων (τα σύμπλοκα των μετάλλων με πολυσιχιδείς υποκαταστάτες χαρακτηριστικά ονομάζονται χηλικές ενώσεις – chelates και πηγάζει από την ελληνική λέξη «χηλή» δηλ. δαγκάνα). Το εισαγόμενο διάλυμα έκπλυσης διηθείται από το έδαφος και οι διαλυτές ενώσεις που είναι παρούσες στο έδαφος διαλυτοποιούνται. Το διάλυμα εξαγωγής αντλείται από τον πυθμένα της ρυπασμένης ζώνης και κατεργάζεται σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων για την απομάκρυνση των ρύπων. Η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου οι παραμένουσες συγκεντρώσεις των ρύπων στο έδαφος ικανοποιούν τα θεσμοθετημένα όρια.

Για την επαφή του διαλύματος έκπλυσης με τη ρυπασμένη ζώνη και τη συλλογή του διαλύματος εξαγωγής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλία διατάξεων που περιλαμβάνουν πηγάδια έγχυσης, οριζόντια πηγάδια, τάφρους, κανάλια διήθησης, επιφανειακά συστήματα διαβροχής, πηγάδια εξαγωγής, ανοικτά χαντάκια ή υπόγεια συστήματα συλλογής απορροών.

Η παρούσα τεχνική της επί τόπου έκπλυσης, εφαρμόζεται σε μία ποικιλία οργανικών και ανόργανων ρυπαντών. Οργανικές ενώσεις όπως, υγρά μη υδατικής φάσης (Nonaqueous phase liquids, N.A.P.L's), πτητικές οργανικές ενώσεις (Volatile organic compounds V.O.C's), ημιπτητικές οργανικές ενώσεις (Semivolatile organic compounds, S.V.O.C's), πολύχλωριωμένες διφαινόλες (Polychlorinated biphenyls, P.C.B's), αλογονούχα φυτοφάρμακα, διοξίνες - φουράνες (dioxins - furans), και διαβρωτικά, και ανόργανες ενώσεις που περιλαμβάνουν πτητικά ή μη πτητικά

μέταλλα, κυανιούχα και ραδιενεργούς ρύπους μπορούν δυνητικά να απομακρυνθούν με επί τόπου έκπλυση. Η αποτελεσματικότητα απομάκρυνσης των ρύπων εξαρτάται από τον ρύπο καθώς και από τον τύπο του εδάφους. Οι αλογονούχες πτητικές ενώσεις, οι μη αλογονούχες ημιπτητικές ενώσεις και τα μη πτητικά μέταλλα είναι μεταξύ των χημικών συστατικών που μπορούν επίσης να επεξεργαστούν με επιτυχία, με επί τόπου έκπλυση.

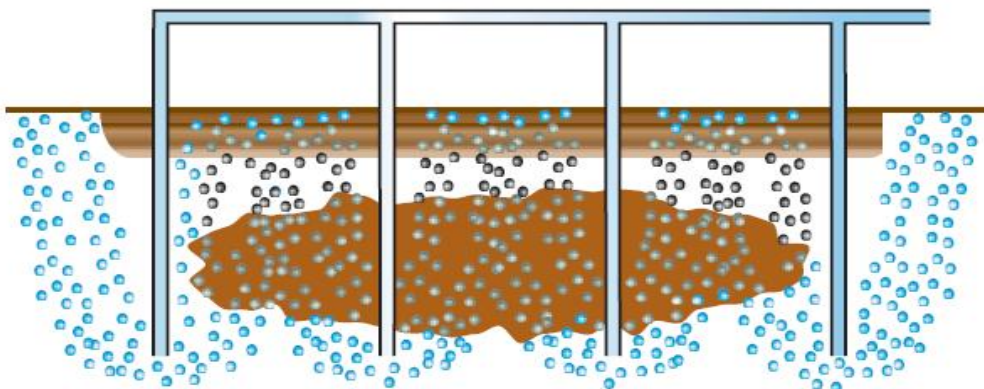
1. Παράμετροι σχεδιασμού (Design Considerations) : Οι κρίσιμες παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την εφαρμογή της επί τόπου εκχύλισης περιλαμβάνουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες της ρυπασμένης περιοχής, το είδος και τις ιδιότητες των ρύπων, τις ιδιότητες των προσθέτων, και τη δυνατότητα χρήσης του διαλύματος έκπλυσης.
2. Συνθήκες της περιοχής : Όσον αφορά τις υδραυλικές ιδιότητες του ρυπασμένου εδάφους, προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η υψηλή διαπερατότητα του. Ιδανικά, η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $1,0 \times 10^{-3}$ cm/s, ώστε να είναι δυνατή η κατείσδυση του διαλύματος έκπλυσης στη ρυπασμένη περιοχή σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Αυτό σημαίνει ότι τα ρυπασμένα αμμώδη εδάφη είναι δεκτικά στην επί τόπου έκπλυση. Λιγότερο διαπερατά υλικά, με εύρος τιμών υδραυλικής αγωγιμότητας από 10^{-5} έως 10^{-3} cm/s, μπορούν επίσης να κατεργαστούν με επί τόπου έκπλυση. Η παρουσία αδιαπέρατων στρωμάτων αργίλου δεν αποκλείουν την εφαρμογή της επί τόπου έκπλυσης του εδάφους, εξασφαλίζοντας πρωτίστως ότι εφαρμόζονται ειδικές τεχνικές για την αποτελεσματική έγχυση του μέσου έκπλυσης διαμέσου του αδιαπέρατου στρώματος. Είναι επίσης σημαντικό να διασφαλιστεί η διείσδυση του μέσου έκπλυσης σε όλο τον όγκο της ρυπασμένης περιοχής. Έτσι, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη όχι μόνο η κάθετη αλλά και η οριζόντια διαφοροποίηση της διαπερατότητας. Η υδραυλική αγωγιμότητα θα πρέπει να μετράται σε διάφορες θέσεις εντός της δυνητικής ζώνης επεξεργασίας και ο συνολικός αριθμός μετρήσεων θα πρέπει να είναι συμβατός με το μέγεθος της ρυπασμένης περιοχής προς επεξεργασία και την ανομοιογένεια που αυτή παρουσιάζει. Ο περιορισμός των εκπλυόμενων ρύπων και του χρησιμοποιημένου διαλύματος έκπλυσης είναι σημαντικός για την επιτυχημένη εφαρμογή της επί τόπου έκπλυσης. Αυτό συμβαίνει, όταν η ζώνη επεξεργασίας περιορίζεται γεωλογικά από υλικά με σχετικά χαμηλή υδραυλική αγωγιμότητα. Το βάθος στο οποίο βρίσκεται η ρυπασμένη ζώνη αποτελεί περιοριστικό παράγοντα λόγω του υψηλότερου κόστους έγχυσης και εξαγωγής σε σύγκριση με πιο αβαθείς ρυπασμένες ζώνες. Οι ρύποι μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν όταν το διάλυμα έκπλυσης ακολουθεί την ίδια διαδρομή που ακολούθησε και ο ρύπος. Πιθανή μηχανική διαταραχή του επιφανειακού στρώματος της ρυπασμένης περιοχής μπορεί να καταστήσει τους ρύπους απροσπέλαστους.
3. Διάλυμα έκπλυσης (flushing solution) : Η έκπλυση μόνο με νερό είναι αποτελεσματική μόνο σε περιπτώσεις που οι ρύποι είναι διαλυτά άλατα ή υδρόφιλες οργανικές ενώσεις, δηλ. εκείνες που χαρακτηρίζονται από τιμές $\log K_{ow}$ μικρότερες από 1, όπως για παράδειγμα αλκοόλες χαμηλού μοριακού βάρους, φαινόλες και καρβοξυλικά οξέα. Για ρύπους μέσης ή χαμηλής διαλυτότητας, απαιτείται η εισαγωγή πρόσθετων στο διάλυμα έκπλυσης για την υποβοήθηση της κινητικότητάς τους. Surfactants μπορούν να χρησιμοποιηθούν για χαμηλής διαλυτότητας (υδρόφοβες) οργανικές ενώσεις, όπως για παράδειγμα

χλωριωμένα φυτοφάρμακα, P.C.B's, S.V.O.C's (χλωριωμένες βενζίνες και P.A.H's), προϊόντα πετρελαίου, αρωματικούς διαλύτες (B.T.E.X), και χλωριωμένους διαλύτες (όπως π.χ. TCE). Συνδιαλυτικά μέσα (Cosolvents) που περιέχουν αντιδραστήρια όπως ακλοόλη, μπορούν να βοηθήσουν στην αύξηση της διαλυτότητας των υδρόφοβων ρυπαντών. Η εφαρμογή της τεχνικής της επί τόπου έκπλυσης για την απομάκρυνση των βαρέων μετάλλων είναι δυνατή μόνο όταν η διαλυτότητά τους στο διάλυμα έκπλυσης είναι σχετικά υψηλή. Υψηλοί ρυθμοί εξαγωγής μετάλλων μπορούν να επιτευχθούν με την προσθήκη των κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων που ευνοούν την εκρόφηση ή τη διαλυτοποίηση αυτών των μετάλλων. Τα παρακάτω αντιδραστήρια έχουν εξετασθεί σε εργαστηριακή κλίμακα ως πρόσθετα σε διαλύματα έκπλυσης: ανόργανα και οργανικά οξέα, καυστικό νάτριο, αντιδραστήρια συμπλοκοποίησης όπως EDTA και NTA, χλωριούχα διαλύματα, καθώς και οξειδωτικά ή αναγωγικά μέσα.

4. Συστήματα έγχυσης και εξαγωγής : Η επιλογή μίας τεχνικής έγχυσης ενός διαλύματος έκπλυσης μέχρι πλημμύρας, εξαρτάται κυρίως από τις υδραυλικές ιδιότητες της ζώνης επέμβασης, και υποβοηθείται από τη βαρύτητα και την πίεση. Σε συστήματα έγχυσης που εξαρτώνται από τη βαρύτητα χρησιμοποιούνται καιταιονητήρες, αυλάκια, ή κανάλια διήθησης και το διάλυμα έγχυσης διηθείται στη ζώνη επέμβασης λόγω της φυσικής υδραυλικής κλίσης. Στα συστήματα έγχυσης που εξαρτώνται από την πίεση, το διάλυμα έγχυσης προστίθεται στη ζώνη επέμβασης μέσω κάθετων ή οριζόντιων πηγαδιών έγχυσης (injection wells)

4.2.10 Τεχνολογία εξυγίανσης εδαφών PuriSoil

Μία Ολλανδική εταιρεία ανέπτυξε τελευταία, μία περιβαλλοντικά φιλική τεχνολογία, την PuriSoil, για τον καθαρισμό εκτεταμένων μολυσμένων περιοχών σε μία μόνο λειτουργία. Η τεχνολογία έχει μελετηθεί και ελεγχθεί σε βάθος και έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορες μονάδες στην Ολλανδία. Είναι κατάλληλη για την αποκατάσταση εδαφών πετροχημικών μονάδων, συμπεριλαμβανομένων και σταθμών και αποθηκών υγρών καυσίμων. Πρόκειται για μία πολύ αποτελεσματική και γρήγορη in situ διεργασία, για την απομάκρυνση πτητικών οργανικών ενώσεων (V.O.C's) όπως η βενζίνη και το τολουένιο σε κορεσμένο έδαφος (βλ. Σχήμα 4.30) :



Σχήμα 4.30 : Σχηματική απεικόνιση του PuriSoil

Βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι αυτά που παρατίθενται πιο κάτω :

1. Η αποκατάσταση μπορεί να γίνει ακόμη και σε μεγάλα βάθη, κάτω από κτίρια με ελάχιστη ενόχληση των υπέργειων καθημερινών εργασιών.
2. Περιβαλλοντικά φιλική τεχνολογία καθώς χρησιμοποιούνται φυσικές βιολογικές διεργασίες και ασφαλής, διότι δεν εκλύονται τοξικές ουσίες.
3. Δεν απαιτείται ξεχωριστή επεξεργασία αερίου και / ή νερού.
4. Η αποκατάσταση είναι άμεση, ακόμη και σε αργιλικά εδάφη και μεγάλες εκτάσεις.
5. Δοκιμασμένη μέθοδος με χαμηλό κόστος, ακόμη και για υψηλές συγκεντρώσεις ρυπαντών.

4.2.11 Απορρύπανση με την Τεχνική Πλάσματος (Plasma Treatment)

Ο όρος πλάσμα (plasma) περιγράφει κάθε αέριο του οποίου τουλάχιστον ένα ποσοστό των ατόμων ή μορίων του είναι μερικά ή ολικά ιονισμένο. Ο ιονισμός αυτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην περίπτωση της επεξεργασίας αποβλήτων με την τεχνική του πλάσματος, το αέριο μεταπίπτει στην κατάσταση του πλάσματος, συνήθως με τη βοήθεια της θερμότητας που δημιουργείται από ηλεκτρική αντίσταση τόξου, στήλης πλάσματος. Το τόξο αυτό βρίσκεται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων (άνοδος και κάθοδος) και αποτελείται από ένα ηλεκτρικά αγώγιμο αέριο, μετατρέποντας έτσι τον ηλεκτρισμό σε θερμότητα. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνονται πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές θερμικής επεξεργασίας.

Πιο συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία του αερίου, μπορεί να υπερβεί τους 6.000 °C. Το αέριο σε κατάσταση πλάσματος παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα, συγκριτικά με τα περισσότερα αέρια σε μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις και μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε μια ποικιλία χημικών διαδικασιών. Τα πλεονεκτήματα από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας αυτής προκύπτουν κατά κύριο λόγο από την υψηλή κινητική ενέργεια που χαρακτηρίζει τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια του πλάσματος, αλλά και τα άτομα του ουδέτερου αερίου. Η μερική μεταφορά αυτής της ενέργειας στις χημικές ενώσεις, κάνει δυνατές χημικές αντιδράσεις, οι οποίες δεν θα μπορούσαν να ενεργοποιηθούν από τις εξώθερμες αντιδράσεις των συμβατικών διαδικασιών καύσης.

Στην περίπτωση που οι ρύποι είναι π.χ στερεά απόβλητα, εφαρμόζοντας την τεχνική του πλάσματος, λαμβάνει χώρα η λεγόμενη αεριοποίηση / υαλοποίηση του περιεχομένου των εισερχομένων στερεών αποβλήτων. Πιο συγκεκριμένα, υπό την επίδραση των πολύ υψηλών θερμοκρασιών, το οργανικό κλάσμα των αποβλήτων αεριοποιείται και σχηματίζει το αέριο σύνθεσης (μείγμα μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου) και απαέρια.

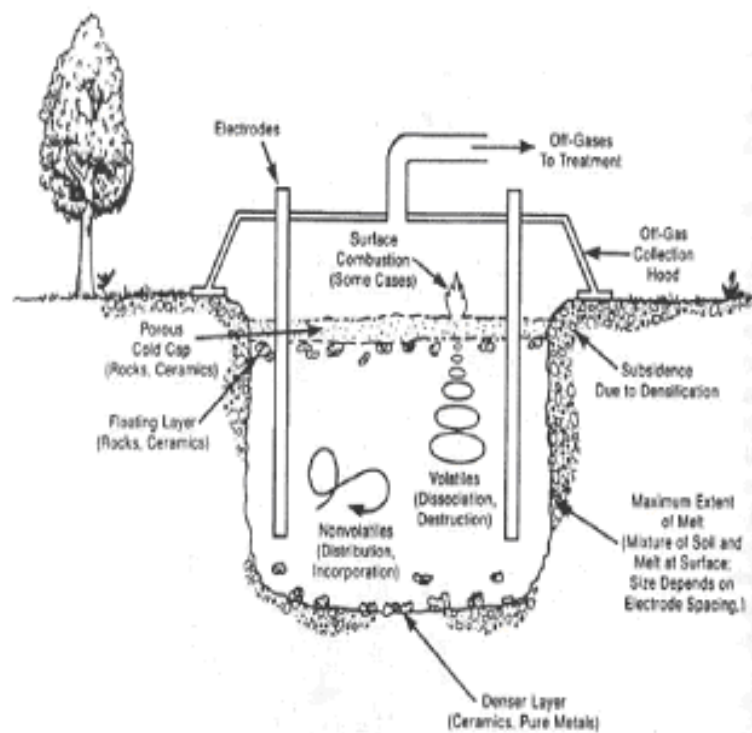
Ο χρόνος που απαιτείται, προκειμένου να λάβει χώρα η καταστροφή των οργανικών ενώσεων, εξαρτάται από την επίτευξη της επιθυμητής θερμοκρασίας και το χρόνο παραμονής των οργανικών ενώσεων στην ιονισμένη ατμόσφαιρα ή σε υψηλή θερμοκρασία. Παράλληλα, το ανόργανο μέρος των αποβλήτων μετατρέπεται σε τηγμένο υπόλειμμα, το οποίο μετά από ψύξη σχηματίζει ένα σταθερό, αδρανές,

υψηλής πυκνότητας υαλώδης υλικό. Τα τελικά προϊόντα από την εφαρμογή της τεχνολογίας του πλάσματος είναι τα εξής πιο κάτω :

1. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης, το οποίο προκύπτει από την πλήρη αεριοποίηση όλων των πτητικών συστατικών (οργανικό μέρος των αποβλήτων) του εισερχόμενου ρεύματος. Η σύσταση του αερίου καθώς και το ενεργειακό του περιεχόμενο, εξαρτώνται άμεσα από το είδος και το οργανικό περιεχόμενο του εισερχόμενου προς επεξεργασία ρεύματος αποβλήτων. Το παραπάνω μείγμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αποδοτικό καύσιμο στη μονάδα πλάσματος, μειώνοντας με τον τρόπο αυτό το λειτουργικό κόστος ή εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εμπορεύσιμο προϊόν.
2. Το υαλώδους μορφής, αδρανές υλικό το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του ανόργανου μέρους των επεξεργαζόμενων αποβλήτων. Το υπόλειμμα αυτό είναι ομογενές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κατασκευαστικό υλικό σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. κατασκευή δρόμων).
3. Τα απαέρια, τα οποία ύστερα από κατάλληλα επεξεργασία διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα. Αναφορικά με τα ανώτατα επιτρεπτά όρια των εκπομπών από μονάδες που χρησιμοποιούν την τεχνολογία του πλάσματος, ισχύουν τα ίδια όρια με τις υπόλοιπες μονάδες θερμικής επεξεργασίας.
4. Τα υγρά απόβλητα, τα οποία προκύπτουν από τη διαδικασία καθαρισμού των απαερίων. Ανάλογα με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση των αποβλήτων αυτών, είναι δυνατόν να απαιτείται εγκατάσταση επεξεργασίας τους έτσι ώστε να είναι ασφαλής η τελική τους διάθεση.

Η τεχνολογία πλάσματος (βλ. Σχήμα 4.31) δεν έχει εφαρμοστεί σε εμπορική κλίμακα στην Ε.Ε, αλλά υπάρχουν παγκοσμίως εγκαταστάσεις που την εφαρμόζουν για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων, ενώ στην Ιαπωνία κοντά στις πόλεις Mihama and Mikata, λειτουργεί μονάδα πλάσματος για την επεξεργασία 20 tn/day αστικών στερεών αποβλήτων και 4 tn/day αστικής ιλύος.

Πιλοτικά επίσης προγράμματα εφαρμόζονται παγκοσμίως, αλλά η πολυπλοκότητα της σύστασης των σύμμεικτων Α.Σ.Α, δεν έχει προς το παρόν επιτρέψει την εμπορική εφαρμογή της για την επεξεργασία αυτού του ρεύματος. Τα πιλοτικά προγράμματα αφορούν στην αξιοποίηση επεξεργασμένων Α.Σ.Α (π.χ. RDF) και η κατασκευή και λειτουργία αντίστοιχων μονάδων, σχεδιάζεται σε διάφορες περιοχές (Swindon, Wiltshire, St. Lucie County, Florida κ.α).



Σχήμα 4.31 : Εγκατάσταση αεριοποίησης ΑΣΑ στην Ιαπωνία (Sharma & Reddy, 2004, Geoenvironmental Engineering Wiley)

Αξίζει να πούμε για λόγους διευκρίνησης, πως αυτή η τεχνολογία και ορισμένες άλλες που προαναφέραμε (π.χ Puri Soil, είναι τελευταίας ανακάλυψης και χρησιμοποιούνται τα τελευταία τέσσερα με πέντε χρόνια και η όποια προσφορά τους, χρήση τους κ.λ.π, βρίσκεται ακόμα υπο εξερεύνηση, δοκιμές εργαστηριακές και οτι άλλο συνεπάγεται, προτού αυτή αρχίσει να χρησιμοποιείται ευρέως με την πλήρη συγκατάθεση των υπεύθυνων φορέων. Συνεπώς, υπάρχει ένας σημαντικός περιορισμός στο πλήθος των πληροφοριών που θα μπορούσαμε να έχουμε γι' αυτές τις τεχνολογίες (απο σχήματα, εικόνες μέχρι και τρόπο λειτουργίας), καθώς ούτε βιβλία υπάρχουν που να τις αναφέρουν, ούτε ιδιαίτερα άρθρα στο διαδίκτυο. Οτι παρουσιάζεται στην μελέτη αυτή είναι πολύ καλά ψαγμένο και διασταυρωμένο και όπου ίσως δεν παρουσιάζονται ικανοποιητικά τα στοιχεία, γι' αυτές τις τεχνολογίες, θα είναι γι' αυτόν τον λόγο και μόνο.

5. ΑΝΤΛΗΣΗ – ΕΚΧΥΛΙΣΗ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΚΕΝΟΥ (S.V.E – SOIL VAPOR EXTRACTION)

5.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Πιο παλιά, η επιστήμη της απορρύπανσης, εξυγίανσης και γενικότερα επανόρθωσης του υπεδάφους, δεν προχωρούσε γρήγορα λόγω νομικών αγκυλώσεων στα διάφορα κράτη με κύριο αποτέλεσμα οι καθαρισμοί να είναι σπάνιοι. Γίνονταν μόνο όταν τα πετρελαιοειδή εμφανίζονταν στα επιφανειακά ύδατα ή επηρεάζονταν διάφορες υπόγειες εγκαταστάσεις (πρόληψη καθόλου δηλ. και εκ του αποτελέσματος ίσως κάποια ανταπόκριση). Οι περισσότερες διαδικασίες καθαρισμού περιελάμβαναν φρεάτια, τάφρους κ.τ.λ και γίνονταν με κάποιο σύστημα άντλησης, όπου η επανόρθωση συνεχιζόταν κανονικά έως ότου δεν ήταν πλέον δυνατή η άντληση των υδρογονανθράκων που βρίσκονταν σε ελεύθερη φάση. Με τον καιρό όμως τα συστήματα επανόρθωσης εξελίχτηκαν έτσι ώστε η άντληση έγινε τελικά μια απλή κοινή τεχνική. Τα τελευταία χρόνια, μάλιστα, έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές επανόρθωσης όπως και πολλοί νέοι τύποι αντλιών.

Στις αρχές της δεκαετίας του '80, διάφορες επιχειρήσεις, άρχισαν την αποκατάσταση αυτού του κορεσμένου ιζήματος χρησιμοποιώντας συστήματα εξαγωγής ατμού. Αυτή η τεχνική έγινε δημοφιλής και έχει ευρεία διάδοση στην επανόρθωση εδαφών ρυπασμένων από υδρογονάνθρακες από τα μέσα της δεκαετίας του '80. Οι πρώτες προσπάθειες όμως, προς την κατεύθυνση αυτή, ήταν καθαρά εμπειρικές δηλ. εγκαταστάθηκαν φρεάτια εξαγωγής ατμού, και οι ατμοί που εξαγόταν διοχετεύονταν άμεσα στην ατμόσφαιρα. Δεδομένου ότι η εξαγωγή ατμού έγινε δημοφιλέστερη, διάφορες αντιπροσωπείες, στηριζόμενες στις υπάρχουσες «Τεχνολογίες Καταστροφής Αέριων Ρύπων», άρχισαν να εξετάζουν την δυνατότητα επεξεργασίας των ατμών έτσι ώστε να μην επιβαρύνεται η ατμόσφαιρα.

Οι βασικές διεργασίες και τεχνικές που εφαρμόζονταν και τότε και σήμερα, για την απομάκρυνση τέτοιων ρύπων, είναι οι εξής :

1. Η απορρόφηση με υγρά : Η απορρόφηση των ρύπων επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα επιλεγμένο υγρό έκπλυσης σε πύργους απορρόφησης με πληρωτικά υλικά ή με βαθμίδες ισορροπίας (οι ρύποι που ελέγχονται με απορρόφηση είναι το SO₂, το H₂S, το HCl, το Cl₂, η NH₃, σε μερικές περιπτώσεις τα NO_x, καθώς και οι υδρογονάνθρακες χαμηλού σημείου βρασμού). Για παράδειγμα το νερό, είναι ο πιο γνωστός διαλύτης που χρησιμοποιείται σε συσκευές απορρόφησης, σε συνδυασμό με ένα οξύ ή μία βάση. Οι ατμοί ελαφρών υδρογονανθράκων, απορροφούνται υπό πίεση σε υγρή βενζίνη και ανακτώνται.
2. Η προσρόφηση με στερεούς προσροφητές : Η προσρόφηση αερίων γίνεται όταν αυτά έχουν διάθεση εκλεκτικής ρόφησης στην επιφάνεια πορωδών στερεών. Η διεργασία μπορεί να χωριστεί σε φυσικής ρόφησης (επιφανειακό φαινόμενο

μοριακών δυνάμεων) και σε χημειορόφηση (επιφανειακή χημική αντίδραση). Τα στερεά υλικά που χρησιμοποιούνται ως προσροφητές είναι πολύ πορώδη με εξαιρετικά μεγάλους λόγους επιφάνειας προς βάρος δηλ. 100 – 2000 m²/gr (π.χ οι ενεργοί άνθρακες που χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση ελαφριών υδρογονανθράκων, έχουν λόγο επιφάνειας προς βάρος 600 - 2000 m²/gr, τα σίλικα που χρησιμοποιούνται για την προσρόφηση πολικών αερίων, έχουν λόγο επιφάνειας προς βάρος 200 - 600 m²/gr, κ.λ.π).

3. Η συμπίκνωση : Ο πιο επιθυμητός τρόπος ελέγχου εκροών ατμών πτητικών ουσιών, μπορεί να γίνει με συμπίκνωση.
4. Η χημική μετατροπή με καυστήρες ή καταλυτικά φίλτρα (μετατροπείς) : Μέθοδος δηλ. όπου ένας ρύπος μπορεί μέσω κάποιας χημικής αντίδρασης να μετατραπεί σε μη τοξικό συστατικό, (π.χ. καταστροφή των NO_x βιομηχανικών εκπομπών γίνεται σε καταλυτικά φίλτρα μέσω της αντίδρασης των NO_x με αμμωνία, για μετατροπή και των δυο σε αβλαβές N₂). Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την χημική μετατροπή ρύπων είναι δύο γενικών τύπων, οι καυστήρες φλόγας, όπου τα αέρια οξειδώνονται σε έναν θάλαμο ψεκασμού στην θερμοκρασία αυτογενούς ανάφλεξης (βρίσκουν εφαρμογή στον έλεγχο αερολυμάτων ατμών και οσμών) και τα καταλυτικά φίλτρα, όπου τα αέρια οξειδώνονται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από το σημείο αυτανάφλεξης (χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία για τον έλεγχο των ατμών διαλυτών και των εκπομπών οργανικών ατμών μηχανικούς φούρνους).

Τελικώς για διάφορους λόγους, την πιο κοινή πρακτική, αποτέλεσε η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα (Liquid phase carbon absorption). Τα τελευταία χρόνια, οι ατμοί έχουν επίσης αντιμετωπιστεί με αποτέφρωση (incineration), καταλυτική ή μη, που είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος για την καταστροφή οργανικών ενώσεων στο έδαφος, ή με καύση. Ωστόσο η μέθοδος αυτή της αποτέφρωσης καθώς και οι υπόλοιπες που βασίζονται στην καύση του εδάφους για την απομάκρυνση των ρυπαντικών ενώσεων, είναι ακριβές μεθόδοι, απαιτούν την εκσκαφή και μεταφορά του εδάφους, πολύπλοκες διεργασίες για την παραγωγή ιλύος που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο καθώς και κατάλληλες εγκαταστάσεις. Επίσης αποστειρώνουν πλήρως το έδαφος και καταστρέφουν όλο το οργανικό φορτίο, έχοντας όμως ένα σημαντικό μειονέκτημα, αυτό που ελλοχεύει πάντα ο κίνδυνος ρύπανσης της ατμόσφαιρας, εαν οι συνθήκες της καύσης δεν είναι οι βέλτιστες. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν άλλες, περισσότερο ήπιες μεθόδοι – τεχνολογίες εξυγίανσης, οι οποίες μάλιστα όταν υπάρχει προσεκτική βελτιστοποίηση για την κάθε περίπτωση ρυπασμένου εδάφους, έχουν την ικανότητα να αποδοθούν, με αρκετά μεγάλη επιτυχία, ένα μεγάλο εύρος ενώσεων και πολλές απο αυτές μπορούν να εφαρμοστούν και in – situ. Όλες αυτές οι τεχνολογίες, θυμίζουμε έχουν προαναφερθεί στο Κεφάλαιο 4.

Αργότερα, δεδομένου ότι η τεχνική εξαγωγής ατμού διαδόθηκε ευρέως, δόθηκε περισσότερη προσοχή στις θεωρητικές πτυχές της μεθόδου και έτσι αναπτύχθηκαν μέθοδοι, ικανές να προβλέψουν και την ακτίνα της επιρροής των φρεατίων εξαγωγής ατμού και την συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στο αέριο.

5.2 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Μια από τις πλέον συνήθεις ρυπάνσεις, όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 2 και 3, είναι η ρύπανση του εδάφους με ελαφρά πετρελαιοειδή (πετρέλαιο, βενζίνη, κηροζίνη - jet fuel κ.λ.π ή αλλιώς L.N.A.P.L.'s, λόγω τυχαίων διαφυγών από δεξαμενές αποθήκευσης σε διυλιστήρια, βιομηχανίες αλλά και κατοικίες. Τα πετρελαιοειδή αυτά που διαφεύγουν στο έδαφος, συνήθως κατακρατούνται στους πόρους του εδάφους εντός της μερικώς κορεσμένης ζώνης, κυρίως λόγω τριχοειδών δυνάμεων και πρόσφυσης των υδρογονανθράκων στην επιφάνεια των εδαφικών κόκκων.

Εάν τα πετρελαιοειδή είναι σε μεγάλες ποσότητες, τελικώς υπερβαίνουν τη δυνατότητα συγκράτησης των εδαφικών πόρων, φτάνουν στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και συγκεντρώνονται στην επιφάνειά του (ως ελαφρότερα από το νερό) δημιουργώντας μια κηλίδα γνωστή και ως plume. Με την πάροδο του χρόνου, η κηλίδα αυτή διαχέεται στην οριζόντια διεύθυνση και μπορεί να καταλάβει μεγάλη έκταση, φτάνοντας σε μεγάλη απόσταση από το σημείο της διαρροής. Εάν η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα υπόκειται σε εποχιακές διακυμάνσεις, η επιπλέον κηλίδα παρακολουθεί τη διακύμανση της στάθμης του υπόγειου ορίζοντα και ρυπαίνει τη μερικώς κορεσμένη ζώνη του εδάφους καθ' ύψος σε μεγάλη απόσταση από την πηγή της ρύπανσης. Η ρύπανση αυτού του τύπου είναι πολύ συνήθης σε περιοχές διυλιστηρίων αλλά παρουσιάζεται και σε βιομηχανικές ακόμη και σε αστικές περιοχές. Τίθεται λοιπόν ζήτημα εφαρμογής μιας κατάλληλης μεθόδου, που θα μας παρέχει αποδοτικά και ευέλικτα μέσα, φυσικής επανόρθωσης του χώματος της ακόρεστης ζώνης που έχει μολυνθεί με όλες αυτές τις πτητικές ενώσεις.

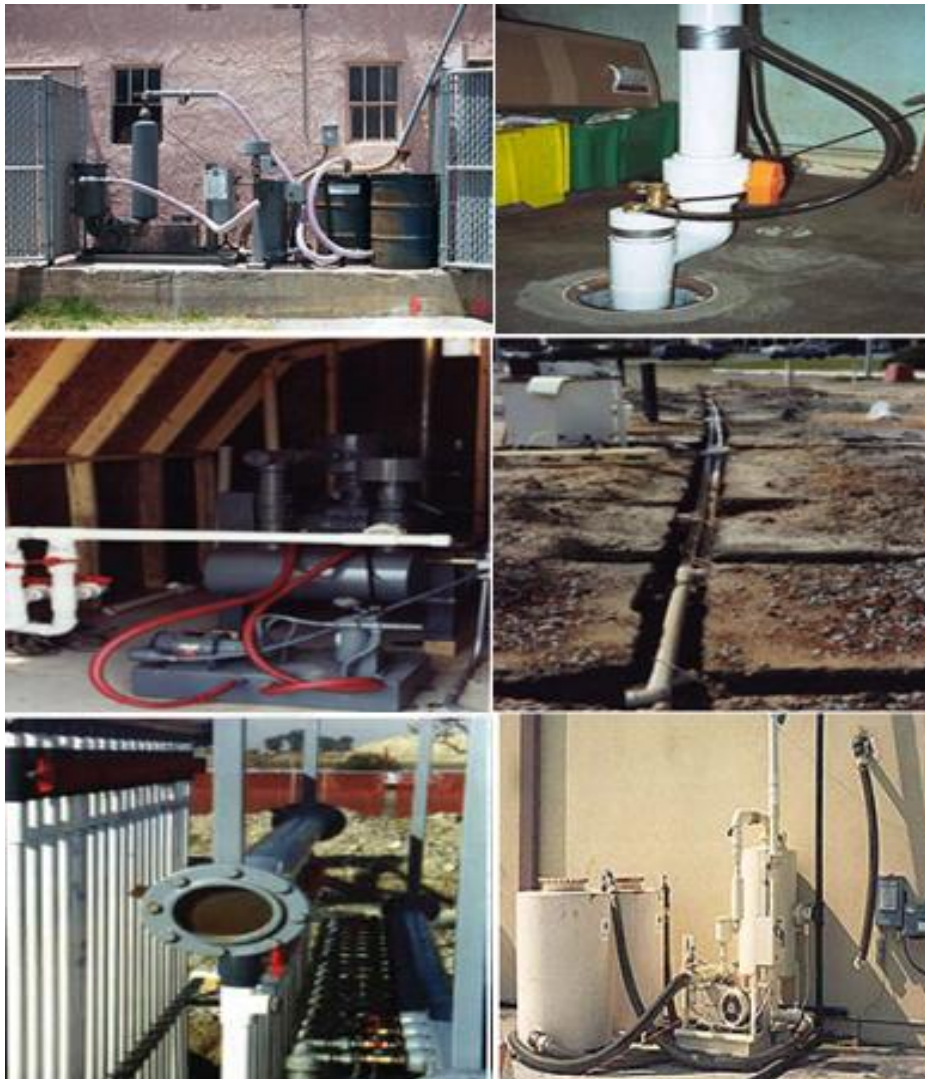
Συνεπώς η μέθοδος απορρύπανσης με την οποία θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε εκτενώς στο κεφάλαιο αυτό, είναι η απορρύπανση με εφαρμογή υποπίεσης και εξαγωγής εδαφολογικού ατμού (S.V.E ή vacuum extraction), επίσης γνωστή και ως «εδαφολογικός εξαερισμός» ή «εκχύλιση κενού» ή και «εκχύλιση εδαφικού αέρα». Η S.V.E. είναι μια πρόσφατη μέθοδος, ευρέως διαδεδομένη, που έχει τεκμηριωθεί καλά με πολυάριθμες εφαρμογές και που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση της μερικώς κορεσμένης ζώνης εδαφών από μη πτητικούς και πτητικούς υδρογονάνθρακες (π.χ. ελαφρά πετρελαιοειδή), δηλ μειώνει τις συγκεντρώσεις των πτητικών συστατικών στα πετρελαιοειδή που προσροφώνται στα χώματα στην μερικώς κορεσμένη ζώνη. Στηριζόμενη στην αρχή ότι οι πτητικές οργανικές ενώσεις ατμοποιούνται σε μια κατάσταση ισορροπίας στα διάκενα που περιβάλλουν τα μόρια του εδάφους, εάν ο αέρας μέσα στους πόρους δεν αντικαθίσταται, αυτές οι ενώσεις παραμένουν παγιδευμένες μέχρι να διαλυθούν από το νερό ή μεταναστεύουν λόγω άλλων φαινομένων μεταφοράς που λαμβάνουν χώρα.

Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη γεωτρήσεων, στη δημιουργία ροής αέρα μέσα από το πορώδες της ακόρεστης ζώνης και στην εφαρμογή αναρρόφησης (υποπίεσης), με την οποία εξατμίζονται οι πτητικοί υδρογονάνθρακες (volatile hydrocarbons) και συλλέγονται μαζί με τον αναρροφούμενο αέρα, δηλ. αντλούνται στην επιφάνεια όπου και εκεί υποβάλλονται σε επεξεργασία για την απομάκρυνση ή καταστροφή τους (La Grega, 1994, Sutherson, 1999). Ουσιαστικά η διαδικασία εξαγωγής ατμού αντικαθιστά το μολυσμένο εδαφολογικό αέριο με φρέσκο. Στις ρηχές εφαρμογές το αέριο αντικατάστασης είναι αέρας από την ατμόσφαιρα ενώ στις βαθιές εφαρμογές το αέριο αντικατάστασης θεωρείται ότι θα προέλθει από το μη μολυσμένο

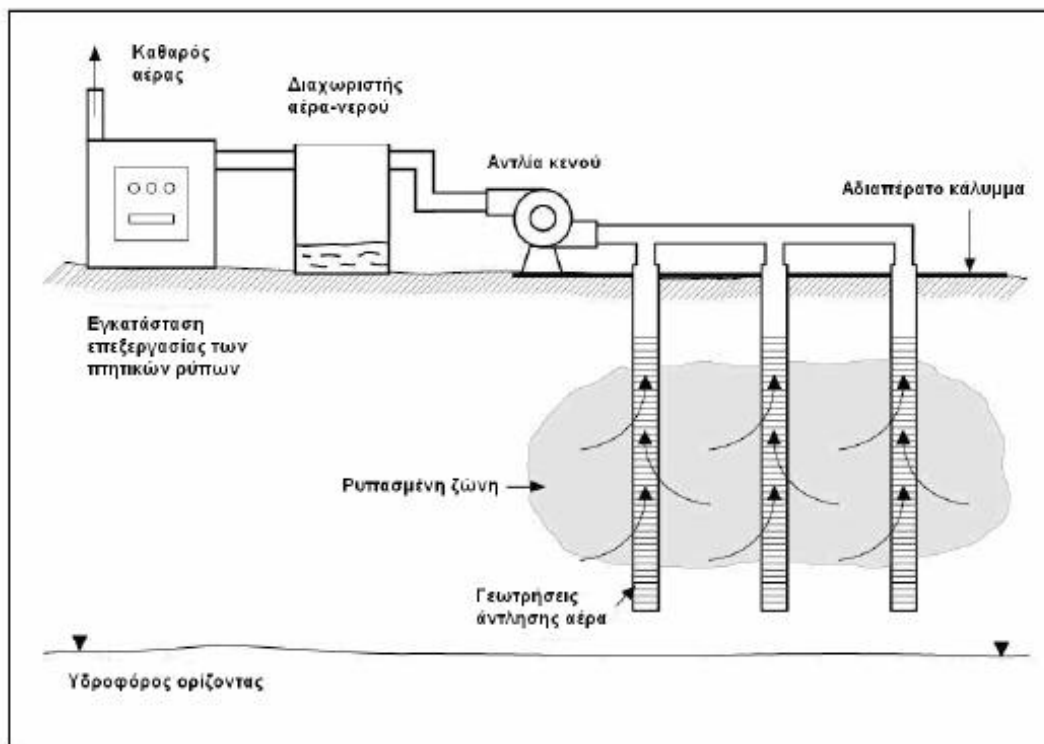
χώμα, που οριοθετεί την μολυσμένη περιοχή (σε κάθε περίπτωση στην μολυσμένη περιοχή γίνεται ανεφοδιασμός φρέσκου οξυγόνου).

Η S.V.E μπορεί να εφαρμοστεί σε χονδρόκοκκα εδάφη (εδάφη με αδρομερή υλικά με συντελεστή διαπερατότητας $k > 10^{-4}$ cm/sec π.χ χάλικες), επειδή τα λεπτόκοκκα έχουν μικρή αγωγιμότητα και δεν είναι ευχερής η εφαρμογή της υποπίεσης σε μεγάλη ζώνη γύρω από τη γεώτρηση. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την απορρύπανση υπόγειων υδροφορέων από επιπλέοντα ελαφρά πετρελαιοειδή. Με την εφαρμογή της υποπίεσης, τα πτητικά πετρελαιοειδή που επιπλέουν στην επιφάνεια του υπόγειου νερού εξατμίζονται και συλλέγονται μαζί με τον αναρροφούμενο αέρα.

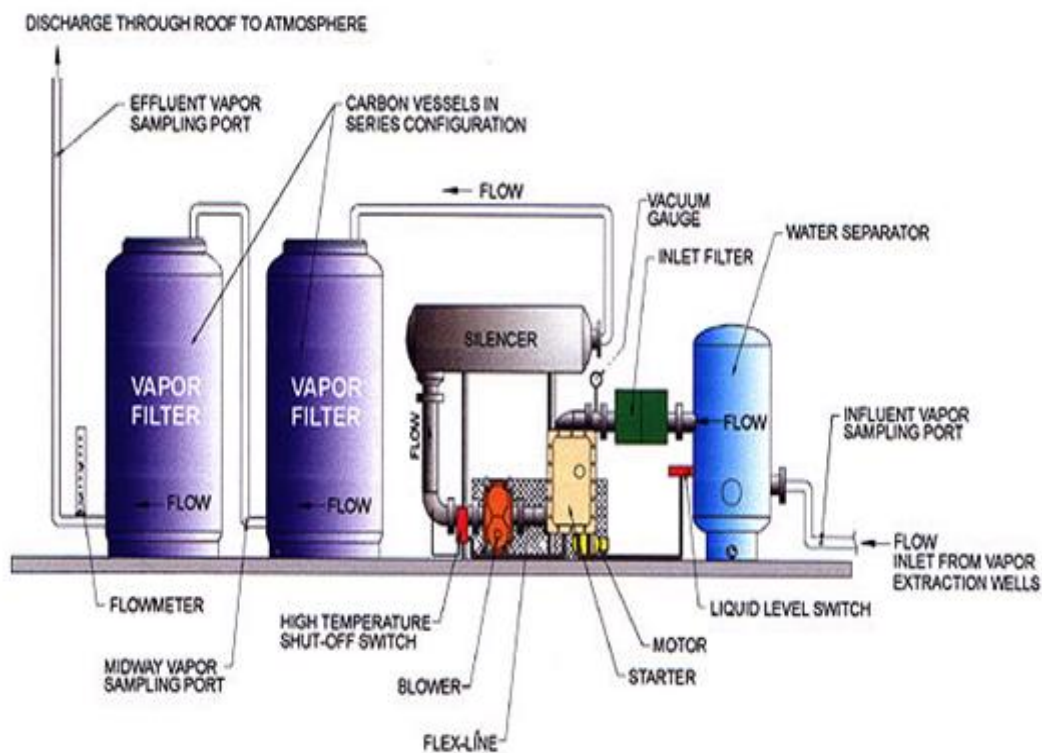
Πιο κάτω ακολουθούν τα σχήματα 5.1, 5.2 και 5.3, όπου αντίστοιχα στο πρώτο φαίνονται ορισμένες πρακτικές εικόνες που αφορούν την εγκατάσταση και την λειτουργία της, στο δεύτερο μια τυπική εγκατάσταση άντλησης εδαφικού αέρα δείχνοντας μερικά από τα βασικά τμήματα της εγκατάστασης και στο τρίτο μια πιο αναλυτική παρουσίαση, με τα απαραίτητα όργανα και συσκευές που απαρτίζουν το όλο σύστημα :



Σχήμα 5.1 : Εικόνες απ' το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου S.V.E



Σχήμα 5.2 : Αναπαράσταση τυπικής εγκατάστασης S.V.E



Σχήμα 5.3 : Όργανα Ελέγχου – Συσκευές τυπικής εγκατάστασης S.V.E

5.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΤΕΡΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ

5.3.1 Γενικά

Μέσα στην ρυπασμένη ακόρεστη ζώνη πραγματοποιούνται σε κατάλληλες αποστάσεις κατακόρυφες γεωτρήσεις, στις οποίες τοποθετούνται ένας διάτρητος σωλήνας στο κέντρο και ένα διαπερατό υλικό πληρώσεως περιφερειακά π.χ χαλίκι ή χοντρή άμμος. Οι σωλήνες συνδέονται στην επιφάνεια με μία αντλία κενού (vacuum pump), η οποία δημιουργεί υποπίεση και προκαλεί τη συνεχή ροή του αέρα δια μέσου των πόρων της ακόρεστης ζώνης. Ο αέρας που αντλείται στην επιφάνεια οδηγείται σε μία μονάδα διαχωρισμού της υδατικής φάσης και στη συνέχεια διοχετεύεται στη μονάδα επεξεργασίας των οργανικών ρύπων.

Μία από τις σημαντικότερες παραμέτρους σχεδιασμού μιας εγκατάστασης άντλησης εδαφικού αέρα, είναι η σωστή απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η διέλευση αέρα μέσα από όλη τη ρυπασμένη ζώνη. Οι βασικές εξισώσεις σχεδιασμού εξετάζονται πιο κάτω. Με βάση την υπάρχουσα εμπειρία αναφέρεται ότι η ακτίνα επιρροής του κάθε πηγαδιού κυμαίνεται από 6 μέχρι 45 m, για να είναι αποτελεσματικότερη όμως η δημιουργία κενού και η αναγκαστική διέλευση του αέρα μέσα από τους πόρους της ρυπασμένης περιοχής, πολύ συχνά στην επιφάνεια τοποθετούνται αδιαπέρατα καλύμματα. Με αυτή τη λύση αναφέρεται ότι η ακτίνα επιρροής μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 90 m.

Η τεχνολογία άντλησης εδαφικού αέρα έχει πολλές ομοιότητες ως προς τη γενική διάταξη των εγκαταστάσεων με την τεχνική του βιοαερισμού (bioventing), που αναφέραμε και στο προηγούμενο Κεφάλαιο 4, με διαφορετικό όμως στόχο. Στην περίπτωση του βιοαερισμού προκαλείται ροή αέρα με κύριο στόχο την παροχή οξυγόνου για την βιολογική αποδόμηση των ρύπων. Στην πράξη οι δύο τεχνικές πολύ συχνά συνδυάζονται για την μεγιστοποίηση του αποτελέσματος όπως επίσης γίνεται συνδυασμός του S.V.E με το Air Sparging (αεροδιασπορά) για ταυτόχρονη απορρύπανση και του εδάφους αλλά και των υπόγειων νερών με πιο αποτελεσματικό τρόπο.

5.3.2 Πεδίο Εφαρμογής

Οι δύο κύριες παράμετροι που καθορίζουν την δυνατότητα αποτελεσματικής εφαρμογής της άντλησης εδαφικού αέρα είναι η πτητικότητα των ρύπων και η διαπερατότητα του εδάφους. Η τεχνική της αυτή, εφαρμόζεται με επιτυχία μόνο όταν οι ρύποι είναι αρκετά πτητικοί έτσι ώστε να είναι εύκολη η μεταφορά τους στην αέρια φάση. Η ιδιότητα αυτή εκφράζεται από την τάση ατμών και ο απλός πρωταρχικός κανόνας είναι ότι η άντληση εδαφικού αέρα, εφαρμόζεται σε οργανικές ενώσεις με τάση ατμών P_0 μεγαλύτερη ή ίση από 1 mmHg. Μια ενδιαφέρουσα παραλλαγή της τεχνικής S.V.E, περιλαμβάνει τη θερμική ενίσχυση της εξάτμισης των ρύπων. Αυτή η παραλλαγή στηρίζεται στο γεγονός ότι η αύξηση της θερμοκρασίας, επιφέρει σημαντική αύξηση της πτητικότητας των ρύπων, όπως φαίνεται από την εξίσωση Clausius - Clapeyron παρακάτω :

$$\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = \frac{I}{R} \left(\frac{1}{T^0} - \frac{1}{T} \right) \quad (5.1)$$

όπου : P η τάση ατμών σε θερμοκρασία T

P° η τάση ατμών σε θερμοκρασία T°

λ η μοριακή ενθαλπία εξάτμισης

R η παγκόσμια σταθερά των αερίων

Για την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές, όπως η διοχέτευση θερμού αέρα ή ατμού, θέρμανση με εφαρμογή ηλεκτρικών αντιστάσεων, θέρμανση με ραδιοσυχνότητες, κ.ο.κ. Η δεύτερη συνθήκη είναι το έδαφος να παρουσιάζει υψηλή διαπερατότητα στον αέρα, δηλ. να έχει συντελεστή αέριας διαπερατότητας μεταξύ 10^{-2} και 10^{-5} cm/s. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί η διαφορά μεταξύ των συντελεστών υδροπερατότητας (ή υδραυλικής αγωγιμότητας), k_w , και αέριας διαπερατότητας, k_a . Συνήθως, όταν δίνονται τιμές του συντελεστή περατότητας (σε m/s ή cm/s) για διάφορους τύπους εδαφών ή γεωλογικών σχηματισμών, αυτές αναφέρονται στην υδροπερατότητα, στην ευκολία δηλαδή με την οποία ρέει το νερό δια μέσου των πόρων. Η ροή όμως του κάθε ρευστού, εξαρτάται σημαντικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, όπως η πυκνότητα (ρ) και το ιξώδες (μ). Για τους συντελεστές περατότητας ισχύει δηλαδή η γενική σχέση (5.2) :

$$k = K \cdot \frac{\rho \cdot g}{\mu}, \text{ σε cm/s} \quad (5.2)$$

και όπου : K = η απόλυτη ή γεωμετρική περατότητα του εδάφους, η οποία εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εδάφους (σε cm²)

ρ = η πυκνότητα του ρευστού (σε g/cm³)

g = η επιτάχυνση της βαρύτητας = 981 (σε cm/s²)

μ = το ιξώδες του ρευστού (σε g / (cm·s) ή poise)

Γνωρίζοντας τον συντελεστή υδροπερατότητας (k_w) και λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και το ιξώδες του νερού και του αέρα στις συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος (π.χ $T = 20^{\circ}\text{C}$, $P = 1\text{atm}$) μπορεί να υπολογιστεί, τόσο ο συντελεστής απόλυτης περατότητας (K), όσο και ο συντελεστής αέριας περατότητας (k_a). Η σχέση μεταξύ των συντελεστών περατότητας για τους διάφορους τύπους εδαφών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.1 πιο κάτω :

Πίνακας 5.1 : Σχέση μεταξύ συντελεστών (k_w), (k_a) και (K) για διάφορους τύπους εδαφών

Τύπος εδάφους	Συντελεστές περατότητας		
	k_w , cm/s	k_a , cm/s	K , cm ²
Χαλίκι	$1 \cdot 10^{-2}$	$6.6 \cdot 10^{-2} - 6.6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-5} - 10^{-7}$
Χονδρή άμμος	$10^{-1} - 10^{-3}$	$6.6 \cdot 10^{-3} - 6.6 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-8}$
Λεπτή άμμος, πηλοσαμμώδες	$10^{-3} - 10^{-5}$	$6.6 \cdot 10^{-5} - 6.6 \cdot 10^{-7}$	$10^{-8} - 10^{-10}$
Πηλώδες, αμμοαργιλώδες	$10^{-4} - 10^{-6}$	$6.6 \cdot 10^{-6} - 6.6 \cdot 10^{-8}$	$10^{-9} - 10^{-11}$
Αργιλώδες	$10^{-6} - 10^{-9}$	$6.6 \cdot 10^{-8} - 6.6 \cdot 10^{-11}$	$10^{-11} - 10^{-14}$

Οι συντελεστές αέριας, k_a , και απόλυτης περατότητας, K , υπολογίστηκαν με βάση τους συντελεστές υδροπερατότητας, k_w , και τις τιμές: $\rho_w=1.0 \text{ g/cm}^3$ και $\mu_w= 10^{-2} \text{ g/(cm}\cdot\text{s)}$ για το νερό, και: $\rho_a=1.2 \cdot 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ και $\mu_a= 1.83 \cdot 10^{-4} \text{ g/(cm}\cdot\text{s)}$ για τον αέρα ($T= 20^\circ\text{C}$, $P=1\text{atm}$).

5.3.3 Βασικές αρχές σχεδιασμού

Τα βασικά φαινόμενα τα οποία καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας S.V.E, είναι απλά και σχετικά εύκολο να περιγραφούν (αφορούν κυρίως τα χαρακτηριστικά ροής του αέρα στην ακόρεστη ζώνη).

Τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας των ρύπων από την οργανική ή την υδατική φάση των πόρων προς την αέρια φάση δεν λαμβάνονται συνήθως υπόψη. Θεωρείται δηλαδή ότι αποκαθίσταται αμέσως ισορροπία και ότι η συγκέντρωση των ρύπων στην αέρια φάση είναι αυτή που προβλέπεται από τους νόμους του Raoult και του Henry (που εξηγήσαμε και αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3).

Στις παραγράφους που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι βασικές εξισώσεις ροής του αέρα στην ακόρεστη ζώνη με βάση τις οποίες γίνεται ο σχεδιασμός και καθορίζονται οι συνθήκες λειτουργίας μιας εγκατάστασης S.V.E.

5.3.3.1 Βασικές εξισώσεις της ροής του αέρα στην ακόρεστη ζώνη

Η ροή του αέρα σε ένα σύστημα άντλησης εδαφικού αέρα προκαλείται από την βαθμίδα πίεσης που εφαρμόζεται στις κατακόρυφες γεωτρήσεις εξαγωγής του αέρα, οι οποίες τοποθετούνται σε κατάλληλες αποστάσεις μέσα στη ρυπασμένη περιοχή. Η χαμηλότερη πίεση μέσα στη γεώτρηση, η οποία δημιουργείται με μία αντλία κενού, προκαλεί την κίνηση του αέρα προς τη γεώτρηση. Τρεις βασικές εξισώσεις υπεισέρχονται στην περιγραφή της ροής του αέρα :

1. Το ισοζύγιο μάζας του αέρα.
2. Η εξίσωση ροής λόγω της διαφοράς πίεσης.
3. Ο νόμος των τελείων - ιδανικών αερίων.

Το ισοζύγιο μάζας του αέρα εκφράζεται με την κλασική εξίσωση συνέχειας :

$$n_a \cdot \frac{\partial r_a}{\partial t} = - \left(\frac{\partial(r_a \cdot u_x)}{\partial x} + \frac{\partial(r_a \cdot u_y)}{\partial y} + \frac{\partial(r_a \cdot u_z)}{\partial z} \right) = -\nabla(r_a \cdot u) \quad (5.3)$$

όπου : n_a = το πορώδες του εδάφους το οποίο αντιστοιχεί στην αέρια φάση

ρ_a = η πυκνότητα του αέρα, η οποία μεταβάλλεται λόγω της ιδιότητας του αέρα να συμπιέζεται (σε ML^{-3})

u_x = η ταχύτητα του αέρα κατά τη διάσταση x (σε LT^{-1})

Σημειώνουμε πως για τον καλύτερο έλεγχο της συμβατότητας των μονάδων, δίπλα στην περιγραφή των παραμέτρων, δίνονται οι βασικές μονάδες μήκους (L), χρόνου (T) και μάζας (M) της κάθε παραμέτρου.

Θεωρώντας μονοδιάστατη ακτινική ροή από μία περιφέρεια ακτίνας (r) προς τη γεώτρηση η εξίσωση της συνέχειας (5.3), που εκφράζει το ισοζύγιο μάζας του αέρα σε έναν στοιχειώδη δακτύλιο πάχους (dr) γύρω από τη γεώτρηση, μετασχηματίζεται ως εξής στην (5.4) :

$$n_a \cdot r \cdot \frac{\partial r_a}{\partial t} = - \frac{\partial(r_a \cdot u_r \cdot r)}{\partial r} \quad (5.4)$$

Η ταχύτητα ροής του αέρα λόγω της διαφοράς πίεσης μπορεί να εκφραστεί με το νόμο του Darcy :

$$u_r = - \frac{K}{\mu_a} \cdot \frac{dP}{dr} \quad (5.5)$$

όπου : K = η απόλυτη περατότητα του εδάφους η οποία δεν εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του ρευστού (σε L^2)

μ_a = το ιξώδες του αέρα (σε $ML^{-1}T^{-1}$)

dP/dr = η μεταβολή της πίεσης προς την κατεύθυνση r (σε $ML^{-1}T^{-2}/L$)

Η πυκνότητα του αέρα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της πίεσης και σύμφωνα με το νόμο των τελείων - ιδανικών αερίων, μπορεί να εκφραστεί από την εξίσωση :

$$r_a = \frac{P \cdot (MW)}{R \cdot T} \quad (5.6)$$

και όπου : MW = το μοριακό βάρος του αέρα

R = η παγκόσμια σταθερά των αερίων

T = η απόλυτη θερμοκρασία

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (5.4),(5.5),(5.6), προκύπτει η ακόλουθη διαφορική εξίσωση (5.7), ως προς την πίεση :

$$n_a \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{K}{m_a} \cdot \frac{\partial (P_r \cdot \frac{\partial P}{\partial r})}{\partial r} \quad (5.7)$$

Θεωρώντας τη λειτουργία της γεώτρησης όταν έχουν αποκατασταθεί μόνιμες συνθήκες, όταν δηλαδή δεν υπάρχουν μεταβολές ως προς τον χρόνο, η εξίσωση (5.7) γίνεται :

$$\frac{\partial (P_r \cdot \frac{\partial P}{\partial r})}{\partial r} = 0 \quad (5.8)$$

Η διαφορική εξίσωση (5.8) έχει απλή αναλυτική λύση και έτσι μπορεί να προσδιοριστεί η πίεση σε κάθε ακτίνα (r), καθορίζοντας τις κατάλληλες συνοριακές συνθήκες δηλ. :

1. Ακτίνα γεώτρησης : $r = R_w$
2. Πίεση στη γεώτρηση : $P = P_w$
3. Μέγιστη ακτίνα επιρροής : $r = R_i$
4. Πίεση στην ακτίνα R_i : $P = P_i$

Με αυτές τις συνοριακές συνθήκες η τιμή της πίεσης του αέρα στις διάφορες αποστάσεις r από τη γεώτρηση (P_r), δίνεται από την εξίσωση (5.9) πιο κάτω :

$$P_r = \left[P_w^2 + (P_I^2 - P_w^2) \cdot \frac{\ln(r/R_w)}{\ln(R_I/R_w)} \right]^{1/2} \quad (5.9)$$

5.3.3.2 Ακτίνα επιρροής και αριθμός γεωτρήσεων άντλησης

Η εξίσωση (5.9) εισάγει την έννοια της ακτίνας επιρροής που είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους σχεδιασμού των συστημάτων S.V.E. Θεωρητικά η μέγιστη ακτίνα επιρροής μιας γεώτρησης είναι η απόσταση στην οποία η πίεση γίνεται ίση με την ατμοσφαιρική πίεση, δηλ. $P_I = P_{atm}$. Στην πράξη η ακτίνα επιρροής R_I καθορίζεται ως η απόσταση στην οποία υπάρχει ακόμα ένα ελάχιστο επίπεδο κενού που μπορεί να προκαλέσει ροή αέρα, π.χ. 1% του κενού που επιβάλλεται στη γεώτρηση άντλησης (Suthersan, 1997, Kuo, 1999).

Οι γεωτρήσεις άντλησης κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας σωλήνες συγκεκριμένης διαμέτρου, π.χ. $R_w = 5,1 \text{ cm}$ (2in) ή $10,2 \text{ cm}$ (4in), και το κενό που εφαρμόζεται συνήθως κυμαίνεται από 0,05 μέχρι 0,15 atm, δηλ. $P_w = 0,95 - 0,85 \text{ atm}$. Εάν το κενό που απαιτείται στην ακτίνα επιρροής είναι το 1% του κενού, στην γεώτρηση άντλησης η αντίστοιχη πίεση P_I θα κυμαίνεται στην περιοχή 0,9985 - 0,9995 atm. Η ακτίνα επιρροής προσδιορίζεται συνήθως με προκαταρκτικές επιτόπιες δοκιμές, δηλ. εφαρμόζεται κενό σε μια δοκιμαστική γεώτρηση και μετρείται η πίεση P_r σε απόσταση r από τη γεώτρηση.

Στην πράξη παρακολουθείται η πτώση πίεσης σε δύο ή τρία σημεία που βρίσκονται σε διαφορετικές αποστάσεις από τη γεώτρηση. Η ακτίνα επιρροής της γεώτρησης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των επιτόπιων δοκιμών και εφαρμόζοντας την εξίσωση (5.9) που προαναφέραμε.

Όταν έχει προσδιοριστεί η ακτίνα επιρροής, ο αριθμός των γεωτρήσεων που απαιτούνται για να καθαριστεί όλη η ρυπασμένη περιοχή υπολογίζεται από την εξίσωση (5.10) παρακάτω :

$$N_w = 1,2 \cdot \frac{A_{rup.}}{p \cdot R_I^2} \quad (5.10)$$

όπου : $A_{rup.}$ = η επιφάνεια που αντιστοιχεί στη ρυπασμένη ζώνη.

1,2 = Συντελεστής που έχει επιλεγεί αυθαίρετα για να ληφθεί υπόψη η αλληλοκάλυψη των περιοχών επιρροής μεταξύ των γεωτρήσεων καθώς και το γεγονός ότι η επιρροή των περιφερειακών γεωτρήσεων μπορεί να εκτείνεται και πέρα από τη ρυπασμένη ζώνη.

5.3.3.3 Ογκομετρική ροή αέρα

Η ογκομετρική ροή του αντλούμενου αέρα μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας την ταχύτητα του αέρα, όπως αυτή υπολογίζεται μέσω του νόμου Darcy (εξίσωση 5.5) και της εξίσωσης (5.9) που περιγράφει την ακτινική κατανομή της πίεσης. Η ταχύτητα του αέρα συναρτηθεί της απόστασης r από τη γεώτρηση άντλησης, δίνεται από την εξίσωση (5.11) :

$$u_r = \frac{K}{2 \cdot m_a} \cdot \frac{\left[\frac{P_w}{r \cdot \ln(R_w / R_l)} \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{P_l}{P_w} \right)^2 \right]}{\left[1 + \left(1 - \left(\frac{P_l}{P_w} \right)^2 \right) \cdot \frac{\ln(r / R_w)}{\ln(R_w / R_l)} \right]^{1/2}} \quad (5.11)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.11) μπορεί να υπολογιστεί και η ογκομετρική ροή του αέρα που αντλείται στην επιφάνεια από την κάθε γεώτρηση καταλήγωντας έτσι στην (5.12) :

$$Q_w = 2 \cdot p \cdot R_w \cdot u_w \cdot H = p \cdot H \cdot \frac{K}{m_a} \cdot \frac{P_w(1 - (P_l / P_w)^2)}{\ln(R_w / R_l)} \quad (5.12)$$

όπου : u_w = η ταχύτητα στη περιφέρεια της γεώτρησης άντλησης, δηλ. σε ακτίνα R_w

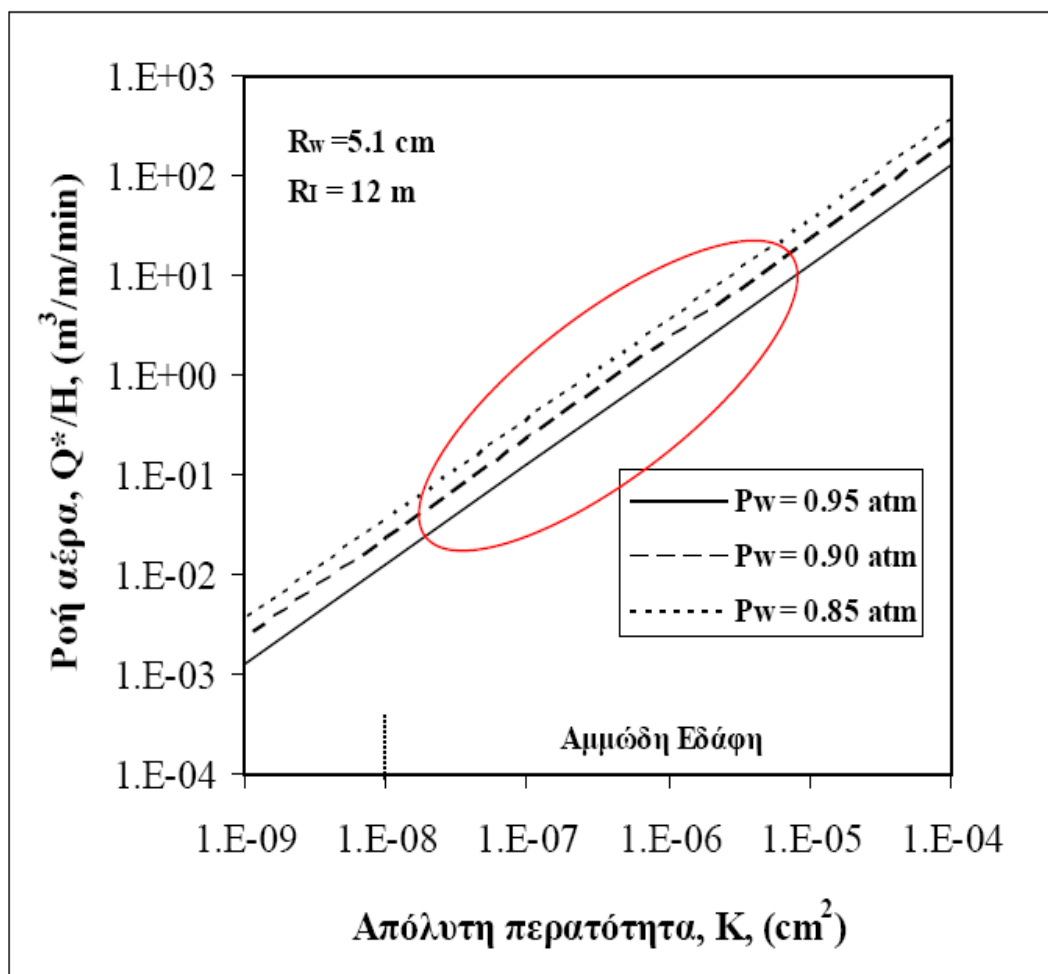
H = το πάχος της ακόρεστης ζώνης από την οποία αντλείται ο αέρας

Η ογκομετρική ροή (Q_w), αντιστοιχεί στην πίεση (P_w) που επικρατεί στη γεώτρηση και η οποία είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Για να υπολογιστεί η αντίστοιχη ροή σε κανονικές συνθήκες (Κ.Σ), εφαρμόζεται η εξίσωση (5.13) η οποία στηρίζεται στον νόμο των τελείων αερίων :

$$Q_w^* = Q_w \cdot \frac{P_w}{P_{atm}} \quad (5.13)$$

Με βάση τις εξισώσεις (5.12) και (5.13), μπορούν να υπολογιστούν σημαντικές παράμετροι λειτουργίας της εγκατάστασης άντλησης εδαφικού αέρα. Όπως προαναφέραμε η ακτίνα της γεώτρησης (R_w), είναι συνήθως δεδομένη και κυμαίνεται από 5 μέχρι 10 cm (2 - 4 in), ενώ η πίεση μέσα στη γεώτρηση (P_w), κυμαίνεται από 0,85 μέχρι 0,95, ανάλογα με την επιθυμητή ογκομετρική ροή του αέρα. Είναι φανερό από την εξίσωση (5.12) ότι η ογκομετρική ροή του αέρα εξαρτάται άμεσα από την απόλυτη περατότητα (K) του εδάφους. Η μεταβολή της ογκομετρικής ροής ανά

μονάδα πάχους της ρυπασμένης ακόρεστης ζώνης (Q_w^*/H), συναρτήσει της απόλυτης περατότητας (K), δίνεται στο Σχήμα 5.4 :



Σχήμα 5.4 : Υπολογιζόμενη ροή αέρα συναρτήσει της απόλυτης περατότητας σε μόνιμες συνθήκες λειτουργίας

Από το Σχήμα 5.4 φαίνεται ότι στα εδάφη χαμηλής περατότητας, προκύπτουν πολύ χαμηλές ροές ανεξάρτητα από την υποπίεση που δημιουργείται μέσα στη γεώτρηση. Ροές που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον, π.χ. μεταξύ $0,05$ και $10 \text{ m}^3/\text{m}/\text{min}$, προκύπτουν συνήθως στα αμμώδη εδάφη. Σημειώνεται ότι η ογκομετρική ροή του αέρα ανά μονάδα πάχους της ρυπασμένης ακόρεστης ζώνης, Q_w^*/H , δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ υψηλή για να υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος επαφής για την εξάτμιση των ρύπων. Οι επιτόπιες δοκιμές μπορούν επίσης να αξιοποιηθούν για τον προσδιορισμό του συντελεστή περατότητας του εδάφους. Μετρώντας την ογκομετρική ροή του αέρα στις διάφορες δοκιμές, μπορεί να προσδιοριστεί ο συντελεστής περατότητας (K) με τη βοήθεια της εξίσωσης (5.12).

5.3.3.4 Ρυθμός απομάκρυνσης των ρύπων και απαιτούμενος χρόνος καθαρισμού

Ο ρυθμός απομάκρυνσης των ρύπων ($R_{\text{απομ.}}$), μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ογκομετρική ροή του αέρα που εξάγεται από όλες τις γεωτρήσεις με την συγκέντρωση των ρύπων στον αέρα (C_a) :

$$R_{\text{απομ.}} = N_w \cdot Q_w^* \cdot C_a \quad (5.14)$$

Ο απαιτούμενος χρόνος καθαρισμού της περιοχής ($T_{\text{καθ.}}$), συνδέεται άμεσα με τον ρυθμό απομάκρυνσης των ρύπων :

$$T_{\text{καθ.}} = \frac{M_{\text{διαρ.}}}{R_{\text{απομ.}}} \quad (5.15)$$

όπου : $M_{\text{διαρ.}}$ = η συνολική ποσότητα των ρύπων που έχει διαρρεύσει.

Οι εξισώσεις (5.14) και (5.15) είναι πολύ απλές, αλλά η ακρίβεια των υπολογισμών, εξαρτάται άμεσα από την ρεαλιστική εκτίμηση της συγκέντρωσης της συγκέντρωσης C_a , η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος S.V.E. Κατά την έναρξη του έργου αποκατάστασης και θεωρώντας ότι υπάρχει ελεύθερη οργανική φάση N.A.P.L, στην ακόρεστη ζώνη, μια πρώτη προσέγγιση είναι να υπολογιστεί η συγκέντρωση C_a από τα δεδομένα της τάσης ατμών των ρύπων. Η πραγματική συγκέντρωση εντούτοις, θα είναι χαμηλότερη από αυτή την τιμή για δύο κυρίως λόγους :

1. Το ρεύμα του αντλούμενου αέρα, δεν περνάει μόνο μέσα από τη ρυπασμένη ζώνη.
2. Υπάρχουν αντιστάσεις στην μεταφορά μάζας.

Συνήθως, για να ληφθεί υπόψη η επίπτωση όλων αυτών των παραγόντων στο ρυθμό απομάκρυνσης των ρύπων, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής αποτελεσματικότητας (η). Η τιμή αυτού του συντελεστή, μπορεί να προσδιοριστεί, συγκρίνοντας την υπολογιζόμενη θεωρητική συγκέντρωση με την συγκέντρωση που προσδιορίζεται στο πεδίο κατά τις προκαταρκτικές επιτόπιες δοκιμές στην ρυπασμένη περιοχή :

$$n = \frac{C_{a,m}}{C_{a,q}} \quad (5.16)$$

όπου : $C_{\alpha,\mu}$ = η συγκέντρωση των ρύπων στον αντλούμενο αέρα όπως προσδιορίζεται κατά την εκτέλεση των δοκιμών πεδίου

$C_{\alpha,\theta}$ = η θεωρητική τιμή όπως υπολογίζεται με βάση την τάση ατμών των ρύπων

Η πρακτική εμπειρία από την εφαρμογή της τεχνολογίας S.V.E σε περιοχές ρυπασμένες με έναν μόνο ρύπο, π.χ. τριχλωροαιθυλένιο (T.C.E), δείχνει ότι η απομάκρυνση των ρύπων λαμβάνει χώρα σε δύο διακριτά στάδια. Κατά το αρχικό στάδιο, το οποίο καλύπτει την περίοδο από την έναρξη του έργου μέχρι την εξάντληση της ελεύθερης οργανικής φάσης, ο ρυθμός απομάκρυνσης είναι σχεδόν γραμμικός. Το δεύτερο στάδιο χαρακτηρίζεται από διαρκή μείωση του ρυθμού απομάκρυνσης.

Αυτή η τάση μπορεί να εξηγηθεί με τον ακόλουθο μηχανισμό. Όταν υπάρχει η ελεύθερη οργανική φάση N.A.P.L, η συγκέντρωση στην αέρια φάση εξαρτάται κυρίως από την τάση ατμών του ρύπου. Μετά την εξαφάνιση της ελεύθερης οργανικής φάσης N.A.P.L, η συγκέντρωση στον αντλούμενο αέρα εξαρτάται από την κατανομή του ρύπου στις τρεις άλλες φάσεις, δηλ. αέρια φάση, υδατική φάση και στερεά σωματίδια. Καθώς το ρεύμα του αέρα περνάει ανάμεσα από τους πόρους, οι διαλυμένοι ρύποι, εξατμίζονται, περνώντας από το νερό που αντιστοιχεί στην εδαφική υγρασία στην αέρια φάση. Η μείωση της συγκέντρωσης στην υδατική φάση, προκαλεί εκρόφηση των ρύπων από τα στερεά σωματίδια προς την υδατική φάση και κατά συνέπεια η συγκέντρωση μειώνεται σταδιακά και στις τρεις φάσεις, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση του ρυθμού απομάκρυνσης.

Για το αρχικό γραμμικό στάδιο της αποκατάστασης που αφορά την απομάκρυνση της ελεύθερης οργανικής φάσης, τα δεδομένα των προκαταρκτικών δοκιμών σε συνδυασμό με διάφορες εξισώσεις που προαναφέραμε, μπορούν να δώσουν μια σχετικά καλή πρόβλεψη ως προς τον απαιτούμενο χρόνο. Για το δεύτερο όμως στάδιο, προκειμένου να επιτευχθούν ακριβείς προβλέψεις, πρέπει να χρησιμοποιηθούν πιο περίπλοκα μοντέλα που να συνδυάζουν τις εξισώσεις ροής του αέρα με εξισώσεις ισορροπίας μεταξύ φάσεων και μεταφοράς μάζας. Για μια προσεγγιστική εκτίμηση μπορεί να εφαρμοστεί η μεθοδολογία που προτείνεται από τον Kuo (1999). Η προσέγγιση του Kuo στηρίζεται στην παρατήρηση ότι η συγκέντρωση των πτητικών ρύπων στον αντλούμενο αέρα μειώνεται εκθετικά με το χρόνο κατά το δεύτερο στάδιο της αποκατάστασης. Για να προσομοιωθεί η εκθετική μείωση του ρυθμού απομάκρυνσης, προτείνεται η ακόλουθη διαδικασία :

1. Η μάζα του ρύπου που πρέπει να απομακρυνθεί στο δεύτερο στάδιο, διαιρείται σε δύο ή τρία ίσα μέρη, που αντιστοιχούν στα διαδοχικά χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για την απομάκρυνση των συγκεκριμένων ποσοτήτων του ρύπου.
2. Για κάθε ένα από αυτά τα διαστήματα υπολογίζεται μια αρχική ($C_{\alpha,i}$) και μία τελική ($C_{\alpha,f}$) συγκέντρωση του ρύπου στην αέρια φάση, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις κατανομής φάσεων όταν δεν υπάρχει ελεύθερη οργανική φάση N.A.P.L.
3. Για κάθε χρονικό διάστημα, προσδιορίζεται μία «μέση» συγκέντρωση του ρύπου στην αέρια φάση ($C_{\alpha,m}$) με βάση το γεωμετρικό μέσο της αρχικής και της τελικής συγκέντρωσης βάση της σχέσης (5.17) :

$$C_{a, m} = \sqrt{C_{a, i} \cdot C_{a, f}} \quad (5.17)$$

4. Τα διαδοχικά χρονικά διαστήματα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την «μέση» συγκέντρωση και στη συνέχεια αθροίζονται για να προσδιοριστεί ο συνολικά απαιτούμενος χρόνος.

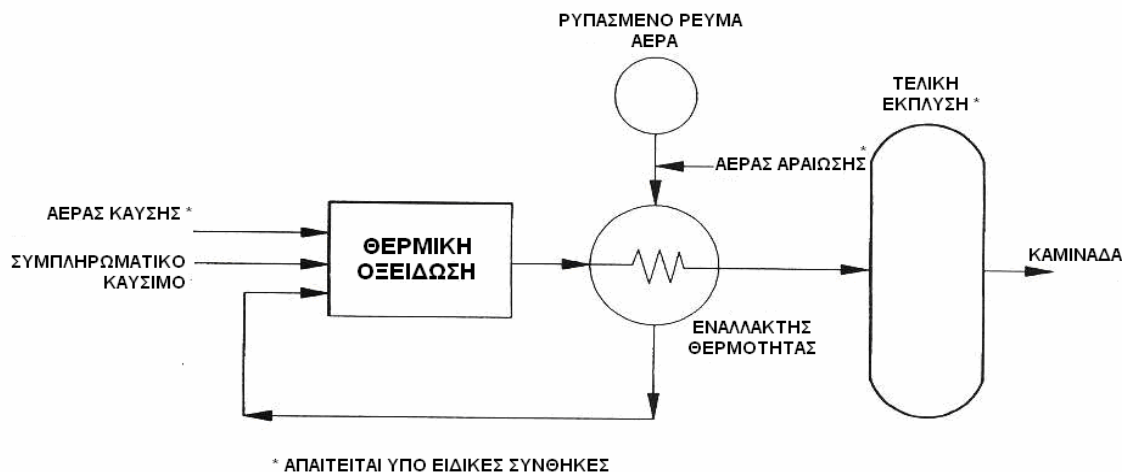
Αυτή η διαδικασία παρουσιάζεται στο παράδειγμα που ακολουθεί, στο υποκεφάλαιο 5.5. Πρέπει να τονιστεί ότι το αρχικό γραμμικό στάδιο, παρατηρείται μόνο σε χώρους στους οποίους η ρύπανση αποτελείται από έναν μόνο ρύπο. Σε χώρους ρυπασμένους με μείγμα ρύπων, υπάρχει φθίνουσα τάση του ρυθμού απομάκρυνσης από την αρχή των εργασιών αποκατάστασης, λόγω της διαφορετικής πτητικότητας των ρύπων. Οι πιο πτητικοί ρύποι εξάγονται ταχύτερα από όλες τις φάσεις και κατά συνέπεια η συνολική περιεκτικότητα του αντλούμενου αέρα σε πτητικές ενώσεις, μειώνεται συνεχώς με το χρόνο. Αυτή η τάση πρέπει να ληφθεί υπόψη στη φάση σχεδιασμού του έργου.

5.3.4 Μεθόδοι επεξεργασίας των ρύπων στην επιφάνεια

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μία συνοπτική αναφορά στις μεθόδους που εφαρμόζονται (μετά την εφαρμογή του S.V.E) για την επεξεργασία του αέρα που περιέχει τους πτητικούς ρύπους. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες είναι η θερμική οξείδωση, η καταλυτική οξείδωση και η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα και τις οποίες, επίσης έχουμε συνοπτικά αναφέρει και στην έναρξη του Κεφαλαίου αυτού, στην Ιστορική αναδρομή. Έτσι λοιπόν θα έχουμε :

1. Θερμική οξείδωση : Η θερμική οξείδωση περιλαμβάνει τη θέρμανση του αερίου ρεύματος παρουσία οξυγόνου σε θερμοκρασίες 650 - 870 (°C). Στις συνθήκες αυτές οι πτητικές οργανικές ενώσεις, οξειδώνονται σε αβλαβή τελικά προϊόντα, π.χ CO₂ και H₂O. Η θερμική οξείδωση εφαρμόζεται κυρίως όταν υπάρχει υψηλό φορτίο ρύπων στο αέριο ρεύμα. Όταν η συγκέντρωση των ρύπων είναι > 12000 ppm (ppm = parts per millions), η θερμική ενέργεια που εκλύεται από την οξείδωση των οργανικών επαρκεί για τη διατήρηση της θερμοκρασίας λειτουργίας. Σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να χρειαστεί και αραίωση με αέρα για να αποφευχθούν κίνδυνοι υπερθέρμανσης. Με φορτίο < 12000 ppm, απαιτείται συνήθως προσθήκη καυσίμου.

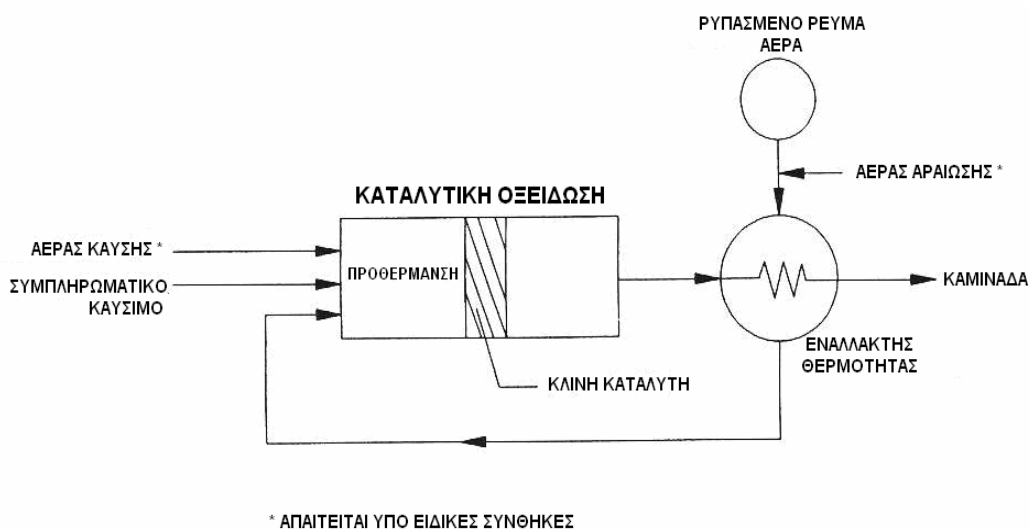
Μία τυπική εγκατάσταση θερμικής οξείδωσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.5 πιο κάτω. Στην εγκατάσταση αυτή το θερμό ρεύμα αέρα που εξέρχεται από τον θάλαμο θερμικής οξείδωσης, αξιοποιείται για την προθέρμανση του εισερχόμενου αερίου ρεύματος. Μπορεί να επιτευχθεί σημαντική ανάκτηση θερμότητας (π.χ με θερμοκρασία λειτουργίας 815 °C, είναι δυνατή η προθέρμανση του εισερχόμενου ρεύματος μέχρι 650 °C).



Σχήμα 5.5 : Διάγραμμα ροής τυπικής εγκατάστασης θερμικής οξείδωσης (Suthersan, 1996)

Το αέριο ρεύμα στην έξοδο μπορεί να περιέχει, ανάλογα με τη σύσταση των οργανικών ρύπων, και άλλα συστατικά εκτός από CO₂ και νερό, π.χ. HCl που παράγεται από την οξείδωση των χλωριωμένων υδρογονανθράκων. Για τον λόγο αυτό, τα απαέρια πριν από την έκλυση τους στο περιβάλλον, οδηγούνται σε μονάδα έκπλυσης (scrubber), όπου χρησιμοποιούνται συνήθως διαλύματα καυστικής σόδας ή ποτάσας. Ο απαιτούμενος χρόνος παραμονής των οργανικών μέσα στο θάλαμο θερμικής οξείδωσης, κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 1 sec. Στην περίπτωση χλωριωμένων υδρογονανθράκων χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής.

2. Καταλυτική οξείδωση : Η καταλυτική οξείδωση είναι παρόμοια με την θερμική (Σχήμα 5.6 παρακάτω), με την διαφορά ότι χρησιμοποιείται ένας καταλύτης, ο οποίος επιτρέπει την πραγματοποίηση της οξείδωσης σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, δηλ. μεταξύ 260 και 370 (°C).



Σχήμα 5.6 : Διάγραμμα ροής τυπικής εγκατάστασης καταλυτικής οξείδωσης (Suthersan, 1996)

Ο καταλύτης κατασκευάζεται συνήθως από πολύτιμα μέταλλα, π.χ. πλατίνα ή παλλάδιο, ή από οξειδία βασικών μετάλλων, π.χ. οξείδιο Co, μεικτά οξειδία Cu - Mn, κ.λ.π και ο μέσος χρόνος ζωής του καταλύτη κυμαίνεται από 2 μέχρι 5 χρόνια. Η καταλυτική οξειδωση εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει πολύ υψηλό φορτίο ρύπων (π.χ. για συγκεντρώσεις < 12.000 ppm). Η λειτουργία του είναι αυτόθερμη σε συγκεντρώσεις > 3.000 ppm, ενώ σε χαμηλότερα φορτία, απαιτείται χρήση καυσίμου. Η αποτελεσματικότητα της καταλυτικής οξειδωσης στην περίπτωση των χλωριωμένων υδρογονανθράκων είναι σχετικά περιορισμένη, διότι υψηλές συγκεντρώσεις HCl μπορεί να καταστρέψουν τον καταλύτη.

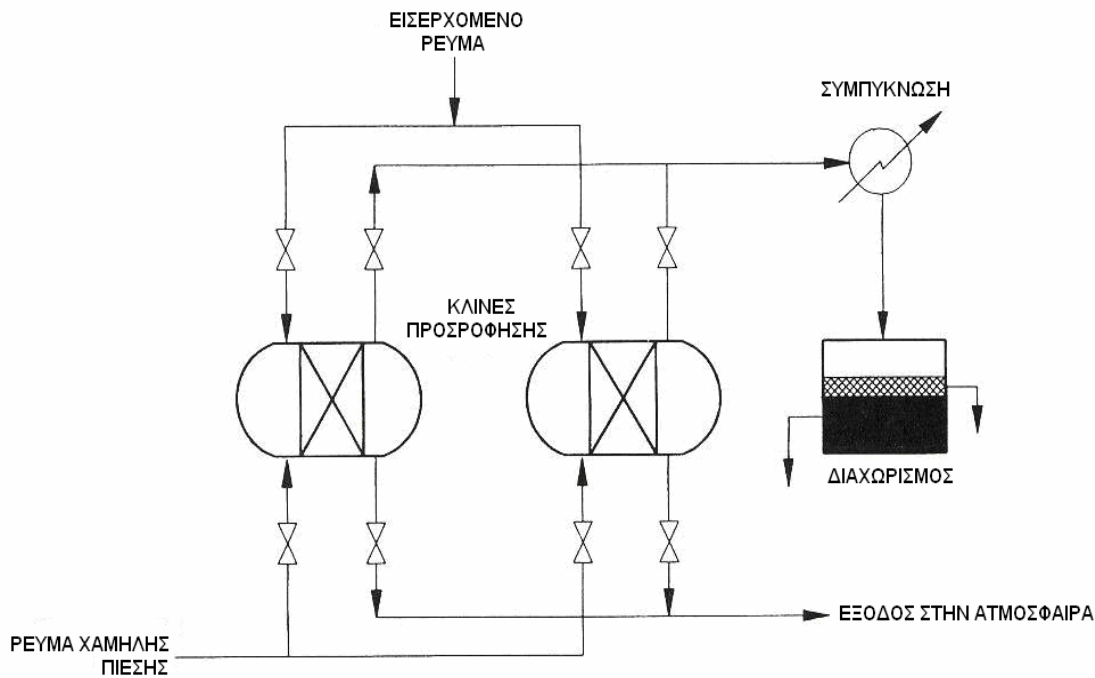
3. Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα : Η προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα είναι η μέθοδος που εφαρμόζεται συνηθέστερα σε εγκαταστάσεις άντλησης εδαφικού αέρα. Από τεχνική άποψη μπορεί να εφαρμοστεί για μεγάλο εύρος συγκεντρώσεων από πολύ χαμηλές μέχρι και 10.000 ppm. Συνήθως όμως χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις χαμηλού οργανικού φορτίου π.χ. <1000 ppm.

Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μορφή σφαιρικών σωματιδίων ή σκόνης. Η σκόνη είναι πιο φτηνή, αλλά δεν μπορεί να αναγεννηθεί και πρέπει να διατεθεί με περιβαλλοντικά ασφαλή τρόπο μετά τη φόρτισή της. Τα σωματίδια άνθρακα χρησιμοποιούνται σε διατάξεις σταθερής κλίνης δια μέσου της οποίας περνάει το αέριο ρεύμα και γίνεται η προσρόφηση των οργανικών ρύπων. Όταν εξαντληθεί η ροφητική χωρητικότητα της κλίνης του άνθρακα, αυτός πρέπει να αναγεννηθεί για να είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίησή του.

Εάν στην συγκεκριμένη περιοχή αποκατάστασης η συνολική ποσότητα των ρύπων είναι σχετικά χαμηλή, μπορεί να επαρκεί μία μόνο κλίνη άνθρακα, η οποία να αναγεννηθεί μετά την ολοκλήρωση της αποκατάστασης. Όταν η ποσότητα των ρύπων είναι μεγάλη, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο ή περισσότερες κλίνες άνθρακα. Όταν εξαντληθεί η μία κλίνη τίθεται εκτός κυκλώματος και αρχίζει η διαδικασία αναγέννησής της. Μια εγκατάσταση με δύο κλίνες άνθρακα, στην οποία περιλαμβάνεται η διαδικασία αναγέννησης, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.7 πιο κάτω.

Η αναγέννηση γίνεται συνήθως με δύο τρόπους, με αύξηση της θερμοκρασίας ή με μείωση της πίεσης, έτσι ώστε να προκληθεί η εκρόφηση των πτητικών ρύπων. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με διοχέτευση ατμού (εκρόφηση ατμού), ενώ η μείωση της πίεσης με τη δημιουργία κενού (εκρόφηση κενού) ή την διοχέτευση αδρανούς αερίου σε χαμηλή πίεση.

Το ρεύμα που μεταφέρει τους αέριους ρύπους οδηγείται σε μονάδα συμπύκνωσης, όπου οι οργανικοί ρύποι υγροποιούνται, συνήθως με μείωση της θερμοκρασίας. Για την ψύξη χρησιμοποιείται συχνά παγωμένο νερό, το οποίο είναι αποτελεσματικό μέχρι τους 8 °C, ή παγωμένα πυκνά χλωριούχα διαλύματα, τα οποία μπορούν να κατεβάσουν τη θερμοκρασία μέχρι 1°C .



Σχήμα 5.7 : Διάγραμμα ροής μονάδας προσρόφησης ενεργού άνθρακα με δύο κλίνες και κύκλωμα αναγέννησης (Suthersan, 1996)

5.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ένας σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό του κόστους και της αποδοτικότητας της επανόρθωσης εδαφών μολυσμένων από υδρογονάνθρακες, είναι η μάζα των οργανικών ενώσεων του υπεδάφους. Στις περιοχές αυτές για να είναι αποτελεσματική η όποια μέθοδος αποθεραπείας που εφαρμόζεται, θα πρέπει να καθοριστεί η μάζα των μολυσματικών παραγόντων που προσροφώνται στο χώμα στη ζώνη vadose και η μάζα των μολυσματικών παραγόντων που επιπλέουν στην επιφάνεια του νερού.

Τα εδαφολογικά δείγματα πρέπει να συλλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν τον ικανοποιητικό προσδιορισμό των στοιχείων εκείνων με τα οποία μπορούν να γίνουν οι κατάλληλοι υπολογισμοί. Η γνώση της συνολικής μάζας των υδρογονανθράκων στο υπέδαφος είναι αναγκαία για να υπολογιστεί η αποδοτικότητα και η χρονική διάρκεια ενός καθαρισμού και για να καθοριστεί ο τύπος και το μέγεθος του εξοπλισμού που απαιτείται για την επεξεργασία του ατμού εφόσον εφαρμοστεί.

Για να υπολογιστεί η μάζα των υδρογονανθράκων στο έδαφος, απαιτείται η γνώση της συγκέντρωσης των ρυπογόνων παραγόντων και η πυκνότητα του χώματος. Υπάρχουν αρκετές εικασίες όμως, για τις πηγές λάθους στον υπολογισμό της μάζας των ρύπων. Μια κοινή πηγή λάθους προκύπτει από την δυσκολία πειραματικών προσδιορισμών σε αντιπροσωπευτικά εδαφολογικά δείγματα και την έλλειψη επαναληψιμότητας της χημικής ανάλυσης των χρωμάτων. Συνήθως για την εξάλειψη των παραπάνω πηγών λάθους χρησιμοποιούνται χάρτες περιγράμματος συγκέντρωσης ρύπων για τους υπολογισμούς των ρύπων στο υπέδαφος. Η περιοχή

μεταξύ των διαδοχικών περιγραμμάτων υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύει περιοχή του υλικού συγκέντρωσης, ίσης με το μέσο όρο των διαδοχικών περιγραμμάτων. Η σχέση (5.18) που ακολουθεί, χρησιμοποιείται συνήθως για να υπολογιστεί η μάζα των μολυσματικών παραγόντων οπότε :

$$M_t = Y_s \sum_{i=1}^L A_i B C_i \times 0,000006 \quad (5.18)$$

όπου: A_i = περιοχή μεταξύ των περιγραμμάτων συγκέντρωσης

B = επιλεγμένο βάθος

C_i = μέσος όρος της οριοθέτησης των περιγραμμάτων συγκέντρωσης για την περιοχή i (σε mg/kg)

Y_s = βάρος μονάδων του χώματος

L = αριθμός τμημάτων περιοχής που αθροίζονται

M_t = συνολική μάζα σε όλα τα τμήματα (σε lb)

0,000006 = παράγοντας μετατροπής

Εφόσον γίνει γνωστή η μάζα των υδρογονανθράκων, μπορούν να αναπτυχθούν εναλλακτικές στρατηγικές επανόρθωσης και μπορούν να υπολογιστούν οι δαπάνες και οι γενικές χρονικές απαιτήσεις για τον καθαρισμό του υπεδάφους.

5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ S.V.E

5.5.1 Εκφώνηση του προβλήματος

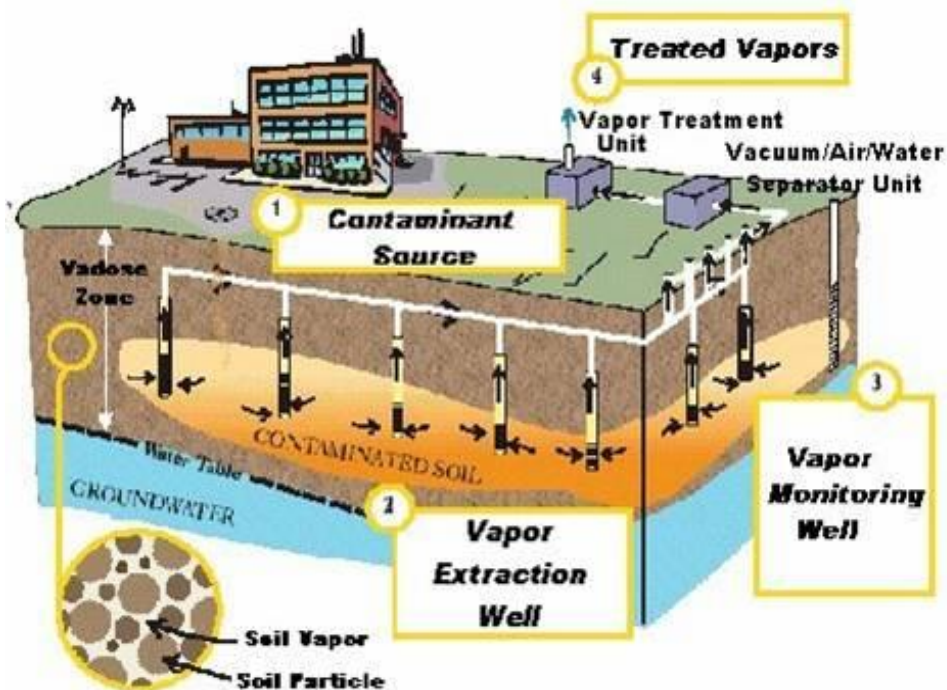
Λόγω ανατροπής βυτιοφόρου μεταφοράς βενζίνης (βλ. Σχήμα 5.8, contaminant source), απελευθερώθηκαν 2 m^3 καυσίμου στο έδαφος. Μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή έδειξαν ότι το καύσιμο έχει διαχυθεί σε μια έκταση 450 m^2 ($15 \text{ m} \times 30 \text{ m}$) μέχρι βάθους 10 m , από την επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή έχει επηρεαστεί όγκος 4500 m^3 εδάφους. Η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα είναι σε βάθος 15 m και δεν έχει επηρεαστεί από το καύσιμο (το οποίο συγκρατήθηκε στους πόρους του εδάφους). Το πορώδες του εδαφικού σχηματισμού είναι $\eta = 30\%$, οπότε ο μέσος βαθμός κορεσμού του εδάφους με το καύσιμο είναι :

$$S_r = \frac{V_\beta}{V_v} = \frac{V_\beta}{\eta V} = \frac{2}{0.30 \times 4500} = 0.148\%$$

Για την απορρύπανση του εδάφους αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος με εφαρμογή υποπίεσης. Συγκεκριμένα, διανοίχτηκαν τρεις γεωτρήσεις βάθους 13 m, σε αποστάσεις μεταξύ τους 12 m. Από τις γεωτρήσεις γίνεται άντληση αέρα με εφαρμογή μικρής υποπίεσης (κατά 0,1 bar μικρότερη από την ατμοσφαιρική). Η συνολική παροχή του αντλούμενου αέρα είναι 900 lt/min (δηλαδή 300 lt/min από κάθε γεώτρηση). Ζητείται να υπολογιστεί ο χρόνος που θα απαιτηθεί για την ανάκτηση του καυσίμου.

Δίνονται:

1. Το μοριακό βάρος του καυσίμου : $m = 190 \text{ gr/mole}$
2. Η πυκνότητα του καυσίμου : $\rho = 0,8 \text{ Mg/m}^3$
3. Θερμοκρασία του αέρα των πύλων : $14 \text{ }^\circ\text{C}$
4. Μερική πίεση των ατμών του καυσίμου (υπό συνθήκες κορεσμού) στη θερμοκρασία των $14 \text{ }^\circ\text{C}$ και για πίεση ελαφρά μικρότερη της ατμοσφαιρικής (0,9 bar) : $p_i = 0,15 \text{ bar}$
5. Παγκόσμια σταθερά αερίων : $R = 0,0821 \text{ lt.atm/mole.grad}$
6. Λόγω πλημμελούς αερισμού των εδαφικών πόρων κατά την εφαρμογή της μεθόδου, ο αντλούμενος αέρας είναι μερικώς κορεσμένος, με καύσιμο και συγκεκριμένα είναι στο 75% του πλήρους κορεσμού. Αυτό οφείλεται στον τρόπο κυκλοφορίας του αέρα διαμέσου των εδαφικών πόρων κατά την οποία δεν αερίζεται πλήρως το σύνολο των εδαφικών πόρων.



Σχήμα 5.8 : Εδαφολογική τομή που δείχνει εφαρμογή του S.V.E σ' όλη την έκταση του ρυπασμένου πεδίου

5.5.2 Επίλυση του προβλήματος

Σύμφωνα με τον νόμο των ιδανικών αερίων :

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Όπου : p = η μερική πίεση του καυσίμου στο αντλούμενο αέριο που είναι ίση με :

$$p_i = 0,75 \times 0,15 = \mathbf{0,1125 \text{ bar}}$$

V = ο αντλούμενος όγκος αέρα που είναι ίσος με **900 lt/min**

T = θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) που είναι ίση με :

$$273 + 14 = \mathbf{287 \text{ grad}}$$

n = ο αριθμός των moles του καυσίμου που περιέχεται στον αντλούμενο αέρα

Άρα :

$$n = \frac{0.1125 \times 900}{0.0821 \times 287} = 4.297 \text{ moles}$$

δηλ. η μάζα του είναι :

$$M = n \cdot m = 4,297 \times 190 = \mathbf{816,4 \text{ gr}}$$

και ο όγκος του είναι :

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{816.4}{0.8} = 340.2 \text{ cm}^3 = 1.020 \text{ lt}$$

Ο όγκος αυτός του καυσίμου, αντλείται σε μια ώρα, και συνεπώς για την άντληση του συνόλου (2000 lt καυσίμου) θα απαιτηθούν :

$$t = 2000 / 1,020 = 1961 \text{ ώρες} = \mathbf{82 \text{ ημέρες}}$$

Από το ανωτέρω χαρακτηριστικό παράδειγμα, προκύπτει ότι οι διαδικασίες απορρύπανσης είναι ιδιαίτερα χρονοβόρες και συνεπώς έχουν μεγάλο κόστος. Σημειώνεται επίσης ότι η βενζίνη είναι πολύ πτητική ουσία. Συνεπώς αν η ρύπανση είχε προέλθει από πετρέλαιο diesel αντί βενζίνης, ο απαιτούμενος χρόνος θα ήταν

πολύ μεγαλύτερος (4 - 6 μήνες). Εναλλακτικά, θα μπορούσε να εξεταστεί η εκσκαφή και μεταφορά του εδάφους (4500 m³) σε ειδικούς κλιβάνους, όπου με θέρμανση (thermal treatment) εξατμίζεται ευκολότερα η βενζίνη και ανακτάται ευκολότερα. Βεβαίως, στην περίπτωση αυτή, πρέπει να συνυπολογιστεί και το κόστος εκσκαφής και μεταφοράς του εδάφους στη μονάδα επεξεργασίας. Θα μπορούσε επίσης να εξεταστεί και η περίπτωση εκσκαφής και αερισμού του εδάφους επιτόπου με συνεχή αναμόχλευση, έτσι όμως οι ατμοί της βενζίνης απελευθερώνονται στον αέρα.

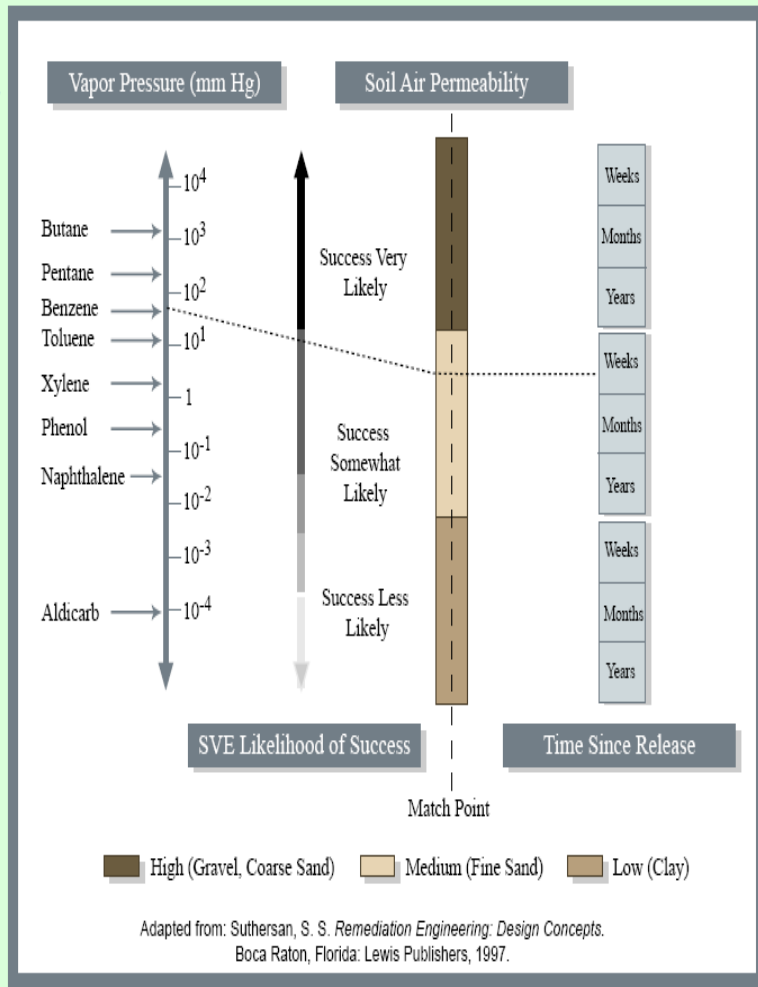
Σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτής της μεθόδου (S.V.E) με αποτελέσματα της μεθόδου της διπλής άντλησης (dual pump free product recovery), για την ανάκτηση ελαφρών πετρελαιοειδών από την επιφάνεια υπόγειων υδροφορέων, δείχνει ότι συχνά η μέθοδος της υποπίεσης είναι ταχύτερη και έχει μικρότερο κόστος. Επιπλέον, η μέθοδος της υποπίεσης πλεονεκτεί στο ότι μπορεί να απορρυπάνει ταυτοχρόνως τόσο τη μερικώς κορεσμένη ζώνη όσο και τους επιπλέοντες υδρογονάνθρακες, ενώ η μέθοδος της διπλής άντλησης περιορίζεται στην ανάκτηση των υδρογονανθράκων που επιπλέουν στο υπόγειο νερό. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου εφαρμογής υποπίεσης είναι η ανάγκη απομόνωσης της μερικώς κορεσμένης ζώνης του εδάφους από τον ατμοσφαιρικό αέρα, ώστε να είναι αποδοτική η εφαρμογή της υποπίεσης. Τούτο συνήθως γίνεται με προσωρινή κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με συνθετική μεμβράνη, αν και συχνά οι χώροι είναι ήδη καλυμμένοι επιφανειακά με ασφαλτοτάπητα ή κτίρια οπότε η απαίτηση αυτή δεν ισχύει.

Τέλος συνοψίζουμε τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του S.V.E και τα παρουσιάζουμε ως εξής :

1. Εφαρμόζεται επιτόπου (in - situ), χωρίς να απαιτεί εργασίες εκσκαφών. Μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και κάτω από κτίρια ή άλλες κατασκευές.
2. Χρησιμοποιεί ένα εξοπλισμό σχετικά απλό και χαμηλού κόστους και δεν απαιτεί περίπλοκους χειρισμούς κατά τη λειτουργία της.
3. Συνδυάζεται εύκολα με άλλες τεχνικές, π.χ άντληση οργανικής φάσης, βιοαερισμό (bioventing), αεροδιασκορπισμό - αερισμό κορεσμένης ζώνης (air-sparging), δηλ. διοχέτευση αέρα στα υπόγεια νερά για απομάκρυνση των διαλυμένων πτητικών ρύπων, κ.λ.π.
4. Είναι γρηγορότερη σαν μέθοδος όσο αφορά στην αποτελεσματικότητα της σε σχέση με μεθόδους που στηρίζονται σε φυσικό καθαρισμό.
5. Είναι αποτελεσματική στην απορρύπανση διαφόρων ρύπων που μπορούν να εξατμιστούν (πχ.βενζίνη).

Στο Σχήμα 5.9 πιο κάτω, δείχνουμε σε νομογράφημα, την καταλληλότητα της τεχνολογίας S.V.E όσον αφορά στην απορρύπανση βενζίνης (Benzene) απο αμμώδες έδαφος (Fine Sand), αναλόγως και της διαπερατότητας του (Soil Air Permeability). Διαπιστώνουμε απο το νομογράφημα, πως η πίεση κενού που εφαρμόζεται είναι κοντά στα 10² mmHg και μέσα σε μερικές εβδομάδες, παρατηρούμε μια μεγάλη επιτυχία στην απορρύπανση αυτή. Αυτό είναι ένα ενθαρρυντικό δείγμα της απόδοσης του S.V.E όταν απορρυπαίνει βενζίνη και γενικότερα σε ρύπους με χαμηλα σημεία ζέσεως που άρα εξατμίζονται και εύκολα.

SVE Applicability Nomograph



Σχήμα 5.9 : Καταλληλότητα εφαρμογής του S.V.E σε νομογράφημα

Βασικοί περιορισμοί της μεθόδου είναι :

1. Χρησιμοποιείται περισσότερο σε εδάφη (vadose zone - ακόρεστη ζώνη).
2. Είναι κατάλληλη μόνο όταν οι οργανικοί ρύποι έχουν χαμηλό σημείο βρασμού. Ρύποι όπως η βενζίνη και το τριχλωροαιθυλένιο (T.C.E), είναι καλοί υποψήφιοι, όμως για πολλά καύσιμα όμως, όπως π.χ το ντίζελ και τα καύσιμα αεροπλάνων (κηροζίνη), που περιέχουν ενώσεις με υψηλότερα σημεία βρασμού, η S.V.E είναι μόνο μερικώς αποτελεσματική.

Αναφέρουμε ότι περισσότερες λεπτομέρειες όσον αφορά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα καθώς και αναλυτικές συγκρίσεις μεταξύ των διάφορων τεχνολογιών (όπως χρόνο αποκατάστασης, ρύπους που απορρυπαίνουν κ.λ.π), θα βρεί κανείς στο τέλος της Πτυχιακής Μελέτης, στα Παραρτήματα και συγκεκριμένα στο Παράρτημα II.

6. ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια, η ρύπανση των εδαφών αλλά και των υπόγειων νερών, από χημικούς ρύπους, ακολούθησε την ανάπτυξη παραγωγικών και στρατιωτικών δραστηριοτήτων, καθώς και την πρακτική της ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων απευθείας στο έδαφος ή και στα επιφανειακά νερά. Η ρύπανση άρχισε να αντιμετωπίζεται ως περιβαλλοντική επιβάρυνση με υστέρηση γιατί, αντίθετα με τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των επιφανειακών νερών, η ρύπανση του υπεδάφους δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή και επιπλέον εξαπλώνεται με βραδύτερους ρυθμούς.

Επίσης με υστέρηση, σε σχέση με την ατμόσφαιρα και τα επιφανειακά νερά, θεσπίστηκε διεθνώς ειδική νομοθεσία που λέει : «τα προβλήματα της ρύπανσης του υπεδάφους είναι συνήθως τοπικά, και άρα σπάνια, ανάγονται σε περιβαλλοντικές προτεραιότητες, εκτός από περιπτώσεις ιδιαίτερα σημαντικών διαρροών ή απόθεσης σημαντικών ποσοτήτων αποβλήτων επί δεκαετίες». Και πάλι αυτό δεν είναι αρκετό, καθώς για την ώρα δεν υπάρχουν ακόμα διατάξεις που να ρυθμίζουν (συνολικά) τα ζητήματα χαρακτηρισμού και αποκατάστασης περιοχών που έχουν πιθανά ρυπανθεί. Τονίζεται πως αυτή η «υστέρηση» είναι ένα χαρακτηριστικό της ρύπανσης του υπεδάφους, δηλ. οι επιπτώσεις γίνονται αντιληπτές ύστερα από πολλά χρόνια και παραμένουν αισθητές για πολύ περισσότερα.

Ο εντοπισμός όμως, ενός περιστατικού ρύπανσης, δεν συνεπάγεται αυτόματα και την ανάγκη λήψης τεχνικών μέτρων. Στην κλίμακα μιας χώρας ή μιας περιφέρειας, η λήψη τεχνικών μέτρων και η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων μέτρων, συχνά αποφασίζεται σε ένα πλαίσιο περιβαλλοντικών προτεραιοτήτων, οι οποίες καθορίζονται εξετάζοντας το συνολικό μέγεθος του προβλήματος (δηλ. το σύνολο των ρυπασμένων χώρων). Στην τοπική κλίμακα, η λήψη μέτρων συναρτάται με τις επιπτώσεις της ρύπανσης για ένα συγκεκριμένο περιστατικό και τους επιθυμητούς στόχους αποκατάστασης. Έτσι, για κάποια περιστατικά, μπορεί να προκριθεί ένας συνδυασμός τεχνικών και διαχειριστικών μέτρων. Τέτοια παραδείγματα διαχειριστικών μέτρων είναι ο περιορισμός της πρόσβασης στο χώρο, ή η παύση υδροληψίας από γεωτρήσεις, μέτρα τα οποία επιτυγχάνουν την προστασία των ανθρώπων από έκθεση στους ρύπους.

Το πρώτο ερώτημα που ανακύπτει π.χ σε ένα περιστατικό ανίχνευσης ρύπου στο υπέδαφος, είναι το πόσο τοξικός είναι ο ρύπος, πρωτίστως για την προστασία της ανθρώπινης υγείας αλλά και του περιβάλλοντος. Στη συνέχεια ακολουθεί ο χαρακτηρισμός του χώρου με την βοήθεια επιτόπου δειγματοληψιών, για να εκτιμηθεί εκτός από το είδος και η έκταση της ρύπανσης. Για να αποτιμηθεί η εξέλιξη της ρύπανσης, απαιτείται επιπλέον γνώση των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών του χώρου και των ιδιοτήτων του ρύπου. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη της ρύπανσης είναι χαρακτηριστικά του εδάφους όπως η στρωματογραφία και η περατότητα και χαρακτηριστικά των ρύπων όπως η επιμονή και η κινητικότητα).

Η τελική επιλογή τεχνολογίας ή συνδυασμού τεχνολογιών αποκατάστασης αποσκοπεί σε έναν από τους επόμενους, σχετιζόμενους αλλά διακριτούς, στόχους :

1. Την μείωση συγκέντρωσης του ρύπου σε κάποια νομοθετημένα όρια ή προσδιορισμένα για το συγκεκριμένο περιστατικό.
2. Την μείωση μάζας του ρύπου.
3. Την μείωση διακινδύνευσης, με τη διακινδύνευση συνήθως να εκφράζεται ως πιθανότητα εμφάνισης αρνητικής επίπτωσης.

Ταυτόχρονα με την εξέταση λήψης τεχνικών μέτρων, εξετάζεται και το ενδεχόμενο να επιτευχθούν οι πιο πάνω στόχοι σε κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα με τους μηχανισμούς της φυσικής εξασθένησης, δηλαδή με την σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων που συμβαίνει καθώς η μάζα του ρύπου εξαπλώνεται σε μεγαλύτερη έκταση, ενώ παράλληλα διασπάται με χημικές ή βιολογικές διεργασίες χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Σε αυτήν την περίπτωση βέβαια, είναι απαραίτητη η παρακολούθηση του χώρου για να επιβεβαιωθεί ότι παρατηρούνται οι εκτιμώμενοι ρυθμοί φυσικής εξασθένησης.

6.1.1 Μέγεθος της ρύπανσης και νόμοι αποκατάστασης σε Αμερική - Ευρώπη

Διεθνώς, το πρόβλημα της ρύπανσης τράβηξε την προσοχή πρώτα στις χώρες που αφενός μεν είχαν σημαντική βιομηχανική και στρατιωτική δραστηριότητα, αφετέρου δε, είχαν ήδη αντιμετωπίσει νομοθετικά και τεχνικά τα πιο επείγοντα προβλήματα της ρύπανσης των επιφανειακών νερών και της ατμόσφαιρας. Οι Η.Π.Α έχουν συντάξει την πιο διεξοδική νομοθεσία για θέματα ρύπανσης και αποκατάστασης του υπεδάφους, η οποία ισχύει, τουλάχιστον εδώ και μια εικοσαπενταετία, με αφορμή όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 4, το Love Canal. Συγκεκριμένα όλες αυτές οι πρωτοβουλίες κατέληξαν στα εξής :

1. Επιβλήθηκαν αυστηροί περιορισμοί στις μεθόδους αποθήκευσης αποβλήτων με την απαίτηση κατασκευής διπλής επένδυσης στον πυθμένα χώρων διάθεσης, ειδικών συστημάτων συλλογής των στραγγισμάτων και ανίχνευσης πιθανών διαφυγών κ.λ.π. Οι περιορισμοί αυτοί ενσωματώθηκαν στην πράξη R.C.R.A (Resource Conservation and Recovery Act) που είχε ήδη θεσπιστεί από το 1976. Η θέσπιση αυστηρών προδιαγραφών για την κατασκευή των χώρων απόθεσης αποβλήτων, είχε σαν συνέπεια την ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας και των μεθόδων σχεδιασμού, κατασκευής και παρακολούθησης της συμπεριφοράς τέτοιων έργων. Ίσως για πρώτη φορά στην ιστορία η ανάπτυξη της τεχνολογίας ακολούθησε τη θέσπιση των σχετικών κανονισμών, ενώ γενικώς συμβαίνει το αντίστροφο : πρώτα αναπτύσσεται κάποια τεχνολογία και στη συνέχεια επιβάλλεται η υποχρεωτική εφαρμογή της μέσω των κανονιστικών διατάξεων.
2. Το 1980, θεσπίστηκε από το Κογκρέσο η νομοθετική πράξη C.E.R.C.L.A (Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act) με την οποία δημιουργήθηκε ένα Ειδικό Ταμείο (το κοινώς ονομαζόμενο Superfund) για την χρηματοδότηση έργων καθαρισμού και απορρύπανσης περιοχών στις οποίες οι υπεύθυνοι της ρύπανσης είτε ήταν άγνωστοι είτε βρισκόταν σε αδυναμία

να αναλάβουν το κόστος των απαιτούμενων έργων αποκατάστασης της ρύπανσης (όπως π.χ. στην περιοχή του Love Canal). Τα τελευταία 20 χρόνια το Ταμείο αυτό, χρηματοδότησε χιλιάδες έργα απορρύπανσης στις Η.Π.Α, ενώ στα πλαίσια των σχετικών δραστηριοτήτων, αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι ανάλυσης των φαινομένων της ρύπανσης και νέες τεχνολογίες απορρύπανσης εδαφών και υπογείων υδροφορέων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι μόνο το 1990, το Ταμείο Superfund, χρηματοδότησε έργα δυο δισεκατομμυρίων δολαρίων για την περιβαλλοντική αποκατάσταση 1200 περιοχών που είχαν ρυπανθεί. Τα τελευταία χρόνια η νομοθετική ρύθμιση C.E.R.C.L.A προσαρμόστηκε στις νέες απαιτήσεις και ενισχύθηκε με την πράξη S.A.R.A (Superfund Amendments and Reauthorization Act). Και οι δύο αυτές πράξεις περιέχονται στο US Code 42, Chapter 103. Οι διατάξεις που εφαρμόζουν την πράξη C.E.R.C.L.A δημοσιεύονται επίσης στο εδάφιο 40 των Ομοσπονδιακών κανονισμών, το οποίο αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

Πέραν των πιο πάνω, διατάξεις και οδηγίες που σχετίζονται με θέματα προστασίας του γεω – περιβάλλοντος, θεσπίζονται και από την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (United States Environmental Protection Agency – U.S.E.P.A). Το σύνολο των νόμων των Η.Π.Α (US Code) βρίσκεται δημοσιευμένο στο διαδίκτυο στην διεύθυνση :

Ø <http://www4.law.cornell.edu/uscode/>

ενώ οι κανονισμοί δημοσιεύονται στο CFR (Code of Federal Regulations) online στην διεύθυνση :

Ø <http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/>

Η Ευρωπαϊκή πρακτική ακολούθησε αντίστοιχη ανάπτυξη με την Αμερικανική, όσον αφορά την επιβολή νομοθετικών περιορισμών στα επί μέρους θέματα προστασίας του γεω - περιβάλλοντος από την ρύπανση των εδαφών κ.λ.π, με τη θέσπιση κατά την τελευταία εικοσαετία, πληθώρας Οδηγιών (Council Directives) που ισχύουν στις χώρες της Ε.Ε. Το σύνολο της κοινοτικής νομοθεσίας είναι δημοσιευμένο στο διαδίκτυο στην διεύθυνση :

Ø <http://www.europa.eu.int/eur-lex/el/index.html> (στα ελληνικά)

Ø <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/index.html> (στα αγγλικά)

όπως επίσης και η Υπηρεσία Περιβάλλοντος της Βρετανίας προσφέρει εκτενείς δημοσιεύσεις για την ρύπανση και προστασία του υπεδάφους (Contaminated Land) στο διαδίκτυο :

Ø <http://www.environment-agency.gov.uk/>

Στην Ευρώπη συγκεκριμένα, πρωτοπόρος ήταν η Ολλανδία. Ξεκίνησε απο πολύ νωρίς να συντάσσει οδηγίες για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του υπεδάφους, οι οποίες αποτελούν και το πρότυπο για τη σύνταξη μεταγενέστερων οδηγιών σε πολλά Ευρωπαϊκά κράτη. Συγκεκριμένα, το 1976 αποφάσισε να εντάξει την προστασία του εδάφους στην εθνική περιβαλλοντική πολιτική της.

Και στις δύο αυτές χώρες (Αμερική και Ολλανδία), η θέσπιση σχετικών νόμων μπορεί να ερμηνευτεί και σαν απάντηση της πολιτείας σε κάποια σοβαρά περιστατικά ρύπανσης του υπεδάφους που απασχόλησαν έντονα τη δημοσιότητα.

Οι αρχικές αποφάσεις στην Ολλανδία, λαμβάνονται με βάση προκαθορισμένες συγκεντρώσεις που δίνουν δύο όρια :

1. Επιθυμητές τιμές.
2. Μέγιστες επιτρεπτές τιμές.

Επίσης η μεθοδολογία αξιολόγησης πιθανά ρυπασμένων χώρων, περιλαμβάνει τρία στάδια :

1. Προκαταρκτική συλλογή στοιχείων.
2. Προκαταρκτική μελέτη χώρου.
3. Τελική μελέτη χώρου.

Και εδώ καταγράφονται χώροι εν ενεργεία και μη δηλ. από τους περίπου 120.000 ρυπασμένους χώρους, οι 80.000 είναι εγκαταλειμμένες βιομηχανικές μονάδες, ενώ οι ενεργές είναι μόνο 25.000. Το 1994 η Ολλανδία, αφιερώνει στην αποκατάσταση του εδάφους το 11 % του συνόλου των κονδυλίων για το περιβάλλον (αξίζει να σημειωθεί πως η κρατική και η ιδιωτική συμβολή, είναι περίπου ίσες). Ένα άλλο αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό της Ολλανδικής νομοθεσίας, είναι η πρόβλεψη για συμφωνητικά μεταξύ της κυβέρνησης και των βιομηχανιών, που καθορίζουν ότι αν μια βιομηχανία αναλάβει «εθελοντικά», να αποκαταστήσει τη ρύπανση που προκάλεσε, η κυβέρνηση δεσμεύεται να «την αφήσει ήσυχη» για τα επόμενα 25 χρόνια.

Ανάλογοι νόμοι ψηφίστηκαν στις περισσότερες χώρες - μέλη της μη διευρυμένης Ε.Ε δηλ. :

1. Στην Ολλανδία :
 1. 1993 General Administrative Order concerning Landfilling of Solid Wastes.
 2. 1993 Directive for the Construction of Basal Lining Systems for Landfills and Storage Sites.
 3. 1998 Soil Protection Act, Ministry of Spatial Planning, Housing and Environment.
2. Στην Ελβετία :
 1. 1990 Federal Ordinance for the Treatment of Waste (O.T.W).
 2. 1998 Federal Ordinance on Soil Pollution.
 3. 1998 Federal Ordinance relating to remediation of polluted sites.

3. Στην Γερμανία :

1. 1991 Geotechnics of Landfills and Contaminated Land (G.L.C) - Technical Recommendations, German Geotechnical Society.
2. 1998 Federal Soil Protection Act of 17 March 1998 (Federal Law Gazette I p. 502).

4. Στην Αυστρία : Από το 1989, η Αυστρία έχει θεσπίσει νόμο για την απορρύπανση του εδάφους συγκεκριμένα. Ο νόμος καλύπτει θέματα τόσο χρηματοδότησης των εργασιών αποκατάστασης, όσο και αναγνώρισης και χαρακτηρισμού ρυπασμένων χώρων. Μια σημαντική διαφορά από τους νόμους των άλλων δυτικοευρωπαϊκών χωρών, είναι ότι ο όρος «ρυπασμένος χώρος», περιλαμβάνει όχι μόνο το έδαφος, αλλά και το υπόγειο νερό. Έτσι με αυτόν τον ορισμό, αποφεύγεται ο ατυχής διαχωρισμός μεταξύ ρύπανσης του εδάφους και ρύπανσης του υπόγειου νερού. Η καταγραφή γίνεται με κύριο σκοπό τη θέσπιση προτεραιοτήτων, για την κατανομή κονδυλίων σε έργα αποκατάστασης. Ανάλογα με τα διαθέσιμα στοιχεία, ένας χώρος μπορεί να χαρακτηριστεί σαν πιθανά ρυπασμένος ή ρυπασμένος. Για να συμπεριληφθεί ένα περιστατικό στη λίστα των πιθανά ρυπασμένων χώρων, απαιτούνται κάποιες ελάχιστες πληροφορίες που επιτρέπουν μια πρώτη προσέγγιση της επικινδυνότητας (risk ranking). Με αυτόν τον τρόπο, αποφασίζονται οι προτεραιότητες για περαιτέρω χαρακτηρισμό του χώρου. Αντίθετα, ο χαρακτηρισμός ρυπασμένος χώρος, δεν βασίζεται απλά στη χρήση προκαθορισμένων συγκεντρώσεων ορίων δράσης, αλλά απαιτεί λεπτομερή εκτίμηση επικινδυνότητας (risk assessment), στηριγμένη σε ανάλυση επί τόπου μετρήσεων.
5. Στην Δανία : Η Δανία αποτελεί ένα παράδειγμα όπου η έκταση του προβλήματος της ρύπανσης του υπεδάφους αρχικά υποεκτιμήθηκε. Μια πρώτη καταγραφή το 1980 – 1982, εντοπίζει περίπου 3.000 πιθανά ρυπασμένους χώρους. Στην δεκαετία του 1980, το πρόβλημα θεωρείται υπό έλεγχο. Δέκα χρόνια αργότερα, γίνεται σαφές ότι η έκταση και οι επιπτώσεις του προβλήματος έχουν εκτιμηθεί λανθασμένα, καθώς και το ότι η υπάρχουσα νομοθεσία, αδυνατεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα. Στο τέλος του 1998, ο αριθμός των καταγραφέντων χώρων, φτάνει τους 4.500. Αυτή η αύξηση οφείλεται, σε μεγάλο βαθμό, στην ανακάλυψη επιπτώσεων από εγκαταλειμμένες βιομηχανίες. Ειδική νομοθεσία για τη ρύπανση εδάφους θεσπίζεται το 1999 με έναρξη ισχύος το 2000, η οποία καλύπτει παρόντα και παρελθόντα περιστατικά χωρίς χρονικό όριο παλαιότητας. Ο αναθεωρημένος αριθμός των ρυπασμένων χώρων εκτιμάται στις 14.000, ενώ φτάνουν τους 30.000, οι χώροι που πιθανά να έχουν επηρεαστεί από σημειακές πηγές ρύπανσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι εκτός από τους χώρους απόθεσης αποβλήτων και τις βιομηχανίες, καταγράφονται και όλοι οι μικρής κλίμακας χρήστες χημικών, όπως π.χ τα πρατήρια βενζίνης και τα στεγνοκαθαριστήρια. Επίσης, ο νόμος προβλέπει ανακούφιση των ιδιοκτητών από την υποτίμηση της αξίας των χώρων που θα βρεθούν να είναι ρυπασμένοι.
6. Στην Ιρλανδία : Το συνολικό μέγεθος του προβλήματος στην Ιρλανδία αναμένεται να είναι μικρό, λόγω του μικρού βαθμού βιομηχανοποίησης της χώρας. Παρ' όλα αυτά, η ανάγκη μελέτης κάποιων επιβαρυσμένων χώρων, που φιλοξένησαν στο παρελθόν ακόμα και μικρής κλίμακας βιομηχανικές δραστηριότητες, είχε

αναγνωριστεί ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1980. Εκτός από χώρους διάθεσης αποβλήτων, οι πιθανά ρυπασμένοι χώροι περιλαμβάνουν μεταλλεία, εργοστάσια γκαζιού, στρατιωτικές βάσεις, αεροδρόμια, αποθήκες πετρελαιοειδών, χημικές βιομηχανίες, βυρσοδεψεία και χώρους επεξεργασίας ξυλείας. Η διαδικασία συλλογής των στοιχείων έχει αρχίσει, και περιλαμβάνει χώρους που εμπίπτουν στους ισχύοντες νόμους διαχείρισης επικινδύνων ουσιών και αποβλήτων, αλλά και χώρους με βιομηχανική δράση μόνο στο παρελθόν.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα έχει διαχωρίσει τη ρύπανση των νερών (επιφανειακών και υπόγειων) από την ρύπανση του εδάφους και έχει δώσει προτεραιότητα στα νερά (σύμφωνα και με εκτίμηση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, η προστασία του εδάφους έχει μέχρι τώρα παραμεληθεί από την Κοινότητα). Μετά από αρκετά χρόνια, κατά τη διάρκεια των οποίων η έλλειψη επαρκούς νομοθεσίας για τα υπόγεια νερά είχε επισημανθεί σε πολλά διοικητικά επίπεδα, εκδίδονται δύο Κοινοτικές Οδηγίες :

1. Η 2000 / 60 / ΕΚ : Του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000, θεσμοθετεί ένα πλαίσιο ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής στρατηγικής, κοινοτικής δράσης, για την προστασία των υδάτινων πόρων. Στα πλαίσια της προστασίας της ποιότητας των υπόγειων και επιφανειακών νερών, εντάσσεται και η παρακολούθηση της ρύπανσης του εδάφους και της ατμόσφαιρας ως πηγών επιβλαβών ουσιών.
2. Η 96 / 61 / ΕΚ : Του Συμβουλίου της 24^{ης} Σεπτεμβρίου 1996 για την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης, που άπτεται και θεμάτων προστασίας του υπεδάφους. Αντικείμενο της Οδηγίας είναι ο σχεδιασμός και η λειτουργία συγκεκριμένων εγκαταστάσεων, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος.

Οι περιβαλλοντικοί στόχοι της οδηγίας που αφορά τα υπόγεια νερά, περιλαμβάνουν :

1. Την προστασία, αναβάθμιση και αποκατάσταση όλων των συστημάτων υπογείων νερών, ώστε να επιτευχθεί καλή κατάσταση, όπως αυτή ορίζεται από την οδηγία, το πολύ σε δεκαπέντε χρόνια μετά την έναρξη ισχύος της οδηγίας.
2. Τον εντοπισμό και την αναστροφή κάθε τάσης αύξησης της συγκέντρωσης οποιουδήποτε ρύπου. Με καθυστέρηση έξι χρόνων ολοκληρώνεται και η επεξεργασία της Οδηγίας 2006 / 118 / ΕΚ που θεσπίζει ειδικά μέτρα για τα υπόγεια νερά και συμπληρώνει τις διατάξεις της 2000 / 60 / ΕΚ όσον αφορά την πρόληψη ή τον περιορισμό της εισαγωγής ρύπων στα υπόγεια νερά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που οι απαιτήσεις της οδηγίας δεν είναι τεχνικοοικονομικά εφικτές, προβλέπεται να καθορίζονται, με διαφανείς διαδικασίες, εναλλακτικοί, λιγότεροι αυστηροί στόχοι.

Η προστασία του εδάφους βρίσκεται από τον Απρίλιο του 2002 στο στάδιο της ανακοίνωσης των σχετικών αναγκών (Communication Document) από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή προς το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (COM / 2002 / 179 / Final). Σε συνεδρίαση που έγινε στις 25 Ιουνίου του 2002, το Συμβούλιο απαντά σ' αυτήν την ανακοίνωση, αναγνωρίζοντας την έκταση

του προβλήματος στις χώρες - μέλη, τονίζοντας ότι η ρύπανση του εδάφους αποτελεί σοβαρό κίνδυνο για τους υδάτινους πόρους, και ζητώντας από την Επιτροπή να εισηγηθεί τα απαραίτητα μέτρα έως το 2004.

Εδώ και αρκετά χρόνια, η Επιτροπή εξετάζει την ενίσχυση των περιβαλλοντικών διατάξεων και με την ποινική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζημιών. Πρόσφατα δε, εισηγήθηκε και τις εξής δύο προτάσεις για οδηγίες :

1. COM / 2001 / 0139 / Final, COD / 2001 / 0076 : απλά προτείνει την ποινικοποίηση δραστηριοτήτων που παραβιάζουν το κοινοτικό περιβαλλοντικό δίκαιο, και που συνδέονται με τη χρήση επικίνδυνων ουσιών, διάθεση αποβλήτων στην ατμόσφαιρα, το έδαφος και τα νερά.
2. COM / 2002 / 0017 / Final, COD / 2002 / 0021 : θεσμοθετεί ένα πλαίσιο νομικής περιβαλλοντικής ευθύνης, που θα αποτελέσει κίνητρο για τη μείωση των περιβαλλοντικών ζημιών. Αυτή η πρόταση δίνει ιδιαίτερη έμφαση σε περιπτώσεις ρύπανσης του εδάφους και του υπόγειου νερού, εξαιτίας βιομηχανικών δραστηριοτήτων.

Η υπό σύνταξη οδηγία δεν θα έχει αναδρομική ισχύ, δηλαδή θα καλύπτει μόνο ζημιές που θα προκληθούν από δραστηριότητες που θα λάβουν χώρα, μετά από ένα θεσπισμένο χρονικό όριο (το όριο που έχει προταθεί είναι ο Ιούνιος του 2005). Η πρόταση περιλαμβάνει και ένα πολύ ενδιαφέρον παράρτημα, που παραθέτει επιχειρήματα για την αναγκαιότητα μιας τέτοιας οδηγίας, όπως π.χ πρόληψη δημιουργίας πρόσθετων ρυπασμένων χώρων στο μέλλον, απουσία σχετικής νομοθεσίας σε Ελλάδα - Πορτογαλία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις μιας τέτοιας νομοθεσίας στις επιχειρήσεις, αξιολογούνται ως ουδέτερες, ελλείψει αναδρομικής ισχύος της οδηγίας.

Η λήψη πρόσθετων περιβαλλοντικών μέτρων, ειδικών για θέματα προστασίας και αποκατάστασης του εδάφους, βρίσκεται από τον Σεπτέμβριο του 2006 στο στάδιο της πρότασης οδηγίας - πλαισίου (2006 / 0086 COD). Η πρόταση αναφέρεται στην υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους από δύο βασικές κατηγορίες επιβαρυντικών παραγόντων :

1. Διάβρωση, μείωση οργανικού κλάσματος του εδάφους, συμπίεση (compaction), αλάτωση (salinization), κατολισθήσεις.
2. Εδαφική ρύπανση : η πρόταση περιλαμβάνει διατάξεις για την πρόληψη πρόσθετων περιστατικών ρύπανσης του εδάφους, την καταγραφή των ήδη ρυπασμένων χώρων, και την κατάρτιση εθνικής στρατηγικής για την αποκατάσταση αυτών των χώρων.

6.1.1.1 Εμπειρία απο περιστατικά αποκατάστασης υπεδάφους σε Αμερική - Ευρώπη

Στην πρώτη δεκαετία της «αρχικής αισιοδοξίας» (1975 - 1985), ελλείψει εφαρμοσμένης εμπειρίας, τίθεται σαν στόχος η πλήρης αποκατάσταση των ρυπασμένων χώρων. Πρόκειται για την ίδια λογική των απαιτήσεων της οδηγίας 2000 60 / EK για τα επιφανειακά νερά. Η επόμενη δεκαετία (1985 - 1995) χαρακτηρίζεται από την «απογοήτευση της ματαιοπονίας», καθώς επέρχεται συνειδητοποίηση του τεχνικού και οικονομικού αδιεξόδου όταν ο στόχος της

απορρύπανσης του εδάφους είναι η πλήρης αποκατάσταση. Τέλος, από το 1995 μέχρι σήμερα έχει επικρατήσει μια «πραγματιστική αντιμετώπιση», που υπαγορεύει να λαμβάνονται υπ' όψη οι μελλοντικές χρήσεις γης κατά την επιλογή μεθόδων αποκατάστασης, και να επιδιώκεται η μείωση της επικινδυνότητας σε ανεκτά, κατά περίπτωση, επίπεδα. Ας σημειωθεί ότι αυτή η πραγματιστική αντιμετώπιση συμπίπτει με την λογική των απαιτήσεων της οδηγίας 2000 / 60 / ΕΚ για τα υπόγεια νερά.

6.2 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

6.2.1 Μέγεθος της ρύπανσης

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι νόμοι καθορίζουν την διαδικασία καταγραφής, χαρακτηρισμού και αξιολόγησης των πιθανά ρυπασμένων χώρων, καθώς επίσης δίνουν και κατευθυντήριες γραμμές για την επιλογή και εφαρμογή μέτρων αποκατάστασης, όπου αυτά κριθούν απαραίτητα. Η πρόοδος της καταγραφής, διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα. Για παράδειγμα, ενώ στην Αγγλία δεν έχει γίνει συστηματική απογραφή, η Γαλλία ξεκίνησε το 1978 και τώρα εξετάζει τη δημοσίευση όλων των στοιχείων, ακόμη και μέσω του διαδικτύου.

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια βασικά έχει αρχίσει να αναπτύσσεται περιβαλλοντική ευαισθησία σε θέματα προστασίας από τη ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδροφορέων, η οποία εκφράζεται με τον ορθολογικό σχεδιασμό των νέων χώρων απόθεσης αστικών απορριμμάτων (χωματερών) αλλά και την απορρύπανση περιοχών που έχουν ρυπανθεί με πετρελαιοειδή. Ενδεικτικά αναφέρεται το θέμα της ρύπανσης του εδάφους από την ταφή δοχείων με φαινόλες στην περιοχή του εργοστασίου της Ε.Α.Β (Ελληνικής Αεροπορικής Βιομηχανίας) στο Σχηματάρι (που αποκαλύφθηκε το 1984) και το θέμα της ρύπανσης της λίμνης Κουμουνδούρου με ελαφρά πετρελαιοειδή, λόγω διαφυγών υδρογονανθράκων από τα παρακείμενα διυλιστήρια της περιοχής Ασπροπύργου, μέσω του υπογείου υδροφορέα (που αποκαλύφθηκε το 1993).

«Από το σύνολο των επικίνδυνων υγρών αποβλήτων που απορρίπτονται στο έδαφος έως και το 60 % καταλήγει στον υδροφόρο ορίζοντα. Το υπόλοιπο 40 % παραμένει στο χώμα», αναφέρει ο κ. Ευάγγελος Γιδάρκος, Διευθυντής του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων του Πολυτεχνείου Κρήτης και επισημαίνει ότι η περιοχή της Ελλάδας με το μεγαλύτερο πρόβλημα ρύπανσης εδαφών δεν είναι τα Οινόφυτα, αλλά το Θριάσιο, όπου ένας εκρηκτικός συνδυασμός πετρελαιοειδών, βαρέων μετάλλων και νιτρορύπανσης, έχει αρρωστήσει την γή και τα υπόγεια νερά.

Ήταν το 1974 όταν για πρώτη φορά ο ερευνητής του Ι.Γ.Μ.Ε (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) Γ. Κούνης, εντόπισε ρύπανση από πετρέλαιο σε πηγάδι της Ελευσίνας. Το 1990 ο γεωχημικός Δημήτρης Κατσίνης και ο χημικός μηχανικός Φ. Ζανίκος εντοπίζουν ρύπανση από ελαφρούς υδρογονάνθρακες στην Ελευσίνα και τη Μάνδρα σε ακτίνα 3 Km από την Πετρόλα Ελλάς ΑΕΒΕ. Όπως αναφέρει σήμερα ο κ. Κατσίνης : «Οι δειγματοληψίες μας έγιναν κατά μήκος γραμμής που ξεκινούσε από την παραλία και περνούσε από τα όρια των εγκαταστάσεων της Πετρόλα προς την καινούργια Εθνική Οδό . Όσο πλησιάζαμε προς τη μάντρα του διυλιστηρίου τόσο υψηλότερες ήταν οι συγκεντρώσεις».

Δύο χρόνια μετά, νέα μελέτη του Ι.Γ.Μ.Ε, εντοπίζει τρεις πετρελαιοκηλίδες έκτασης 435 στρεμμάτων στο υπέδαφος των Διυλιστηρίων Ασπροπύργου, ενώ διαπιστώνεται και εκροή πετρελαιοειδών στη λίμνη Κουμουνδούρου. Νέες μετρήσεις του κ. Κατσίνης το 2001 αποδεικνύουν ενεργό ρύπανση γύρω από τις εγκαταστάσεις της Πετρόλα. «Εντοπίσαμε αέρια των οποίων η ύπαρξη υποδήλωνε συνεχή τροφοδοσία υδρογονανθράκων, που υφίσταται μόνο όταν έχουμε κοίτασμα πετρελαίου ή πετρελαιοειδή που διαφεύγουν από εγκαταστάσεις », επισημαίνει ο κ. Κατσίνης. Στα πορίσματα της έρευνας του, ανέφερε ότι τα πετρελαιοειδή προκαλούν «επιβάρυνση και εκφυλισμό της διαδικασίας ανάπτυξης φυτικών και ζωικών οργανισμών, μόλυνση των υπογείων υδάτων και φθορά των θεμελίων οικοδομών από οπλισμένο σκυρόδεμα».

Το 2004 ήρθε άλλη μία αποκάλυψη της διαρκούς οικολογικής καταστροφής που συντελείται στην Ελευσίνα. Στις 19 Μαΐου οι εργαζόμενοι στην ΠΥΡ.ΚΑΛ, που βρίσκεται σε απόσταση μερικών δεκάδων μέτρων από τις εγκαταστάσεις της Πετρόλα (νυν Ελληνικά Πετρέλαια), εντόπισαν στην ακτή μπροστά από το εργοστάσιο κηλίδες πετρελαίου . Σύμφωνα με τους υπευθύνους των Ελληνικών Πετρελαίων, η ρύπανση οφειλόταν σε παλιές διαρροές αγωγού , ο οποίος, όπως αναφέρεται σε μεταγενέστερη έκθεση των επιθεωρητών Περιβάλλοντος, «κατά δήλωση της εταιρείας αντικαταστάθηκε».

Δύο χρόνια μετά, σε επιστολή του διευθυντή διυλιστηρίου των Ελληνικών Πετρελαίων κ . Δ. Ρούτση προς το Δικαστικό Τμήμα του Ζ΄ Τελωνείου Πειραιά με ημερομηνία 18/5/2006, αναφέρεται ότι «το φαινόμενο της διαρροής έχει σχεδόν εκμηδενιστεί και μόνο που και που, παρουσιάζεται κάποιος ελαφρύς ιριδισμός στους χώρους των παλιών εκροών». Ωστόσο, σύμφωνα με μαρτυρίες κατοίκων της περιοχής και εργαζομένων στην ΠΥΡ.ΚΑΛ , η εκροή πετρελαιοειδών στη θάλασσα από το υπέδαφος, δεν έχει σταματήσει μέχρι σήμερα. Και αυτό, παρά το γεγονός ότι έχουν ανοιχτεί γεωτρήσεις που αντλούν τα πετρελαιοειδή.

«Το 2004 η εταιρεία είπε πως η ρύπανση προήλθε από διαρροή στον αγωγό , ότι αποθηκεύτηκε πετρέλαιο σε κοιλώματα του υπεδάφους και στην συνέχεια άρχισε να εκρέει στη θάλασσα. Και συνεχίζεται η εκροή ακόμα και σήμερα , τέσσερα χρόνια μετά. Προσωπικά πιστεύω ότι αυτό είναι πολύ δύσκολο να συμβεί καθότι οι υδρογονάνθρακες έχουν την ιδιότητα να αποδομούνται, επομένως είναι κάπως δύσκολο να πιστέψουμε ότι προέρχεται από ένα μόνο επεισόδιο διαρροής πάνω από τέσσερα χρόνια πριν », λέει ο γεωχημικός κ. Κατσίνης. «Πιο πιθανό είναι να πρόκειται για επαναλαμβανόμενα περιστατικά ή ακόμα και συνεχείς διαρροές δεξαμενών . Όμως, προς το παρόν, μπορούμε μόνο να πιθανολογούμε καθώς η εταιρεία δεν μας δίνει άδεια να μπούμε μέσα και να καταλάβουμε τι ακριβώς συμβαίνει ούτε μας παρέχει στοιχεία», συμπληρώνει ο κ. Κατσίνης.

Κατά την έρευνά του ο κ. Μιχάλης Σκούλλος, καθηγητή Χημείας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, εντόπισε στα υπόγεια νερά του Θριασίου, βενζόλιο, το οποίο συνδέεται με την παρουσία πετρελαιοειδών. Πριν από περίπου έναν μήνα, ο νομάρχης Δυτικής Αττικής κ. Αρ. Αρκουδάρης, επέβαλε με απόφασή του πρόστιμο ύψους 40.000 Ευρώ στα Ελληνικά Πετρέλαια, επειδή η ρύπανση στο υπέδαφος από τη διαρροή του 2004 δεν είχε αποκατασταθεί πλήρως το 2008. «Επιπλέον, δεν τηρήθηκε ο περιβαλλοντικός όρος που αφορά την έγκαιρη διάγνωση του προβλήματος, ενώ η διενέργεια της απορρύπανσης από την εταιρεία πραγματοποιείται χωρίς να υπάρχει η απαραίτητη αδειοδότηση από τον αρμόδιο φορέα », αναφερόταν στην απόφαση του νομάρχη.

6.2.2 Σχετικοί νόμοι, μέτρα και αποφάσεις

Ο βασικός νόμος για το περιβάλλον (Ν. 1650 / 1986, ΦΕΚ 160 Α, άρθρα 11 και 15), καθορίζει τα υπεύθυνα υπουργεία για την έκδοση κοινών υπουργικών αποφάσεων σχετικών με τη ρύθμιση θεμάτων ρύπανσης του υπεδάφους από επικίνδυνα απόβλητα, χωρίς όμως να περιλαμβάνει κάποια συγκεκριμένα μέτρα. Οι εκάστοτε ισχύουσες διατάξεις για τη διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων (Υ.Α. Ε1β) 221 / 1965, ΦΕΚ 138 Β, Π.Δ. 1180 / 1981, ΦΕΚ 293 Α), απαιτούν από τις βιομηχανίες να πληρούν όλο και πιο αυστηρούς όρους για τη διάθεση αποβλήτων. Όμως, αυτοί οι όροι αφορούν κυρίως εγκαταστάσεις με έναρξη λειτουργίας μεταγενέστερης της έκδοσης των αποφάσεων, κι έτσι δεν επηρεάζουν τις εκάστοτε τρέχουσες πρακτικές διάθεσης.

Πρόσφατα, το ΥΠΕΧΩΔΕ δημοσιεύει Ελληνικές προτάσεις για την ολοκληρωμένη πρόληψη της ρύπανσης, προσαρμόζοντας συγκεκριμένες παραγωγικές διαδικασίες στην Κοινοτική οδηγία 96 / 61 / ΕΚ, η εφαρμογή των οποίων θα αλλάξει σημαντικά τα μέχρι τώρα δεδομένα. Η απόφαση για την προστασία των υπογείων νερών (Υ.Α. 26857 / 553 / 1988, ΦΕΚ 196 Β) είναι ουσιαστικά μετάφραση, με λίγες μόνο διαφορές, της οδηγίας 80 / 68 / ΕΚ, η οποία αναφέρεται στις προϋποθέσεις υπό τις οποίες επιτρέπεται η διάθεση αποβλήτων στα υπόγεια νερά.

Μια από τις σημαντικές διαφορές είναι ότι, ενώ η οδηγία 80 / 68 / ΕΚ δίνει ένα μέγιστο περιθώριο προσαρμογής τεσσάρων χρόνων, η Ελληνική απόφαση δεν απαιτεί αλλαγές στις άδειες διάθεσης αποβλήτων που εκδόθηκαν πριν την έναρξη ισχύος της απόφασης. Τέλος, είναι σκόπιμη και η αναφορά στην Υπουργική Απόφαση, Υ.Α. 19396 / 1546 / 1997 (ΦΕΚ 604 Β), η οποία καλύπτει τη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων, εφαρμόζοντας την οδηγία 91 / 689 / ΕΚ. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει το άρθρο 12, που ορίζει ότι σε περιπτώσεις που ο ιδιοκτήτης ενός εγκαταλειμμένου ρυπασμένου χώρου δεν μπορεί να βρεθεί, το κράτος αναλαμβάνει την εξυγίανση αυτού του χώρου.

Μέχρι να οριστικοποιηθεί το κοινοτικό κανονιστικό πλαίσιο, στην Ελλάδα το πρόβλημα των ρυπασμένων χώρων αντιμετωπίζεται στο πλαίσιο του εθνικού σχεδιασμού για τα επικίνδυνα απόβλητα, που ισχύει από το καλοκαίρι του 2006 (Αποφάσεις 13588 / 725 / 2006 και 24944 / 1159 / 2006).

6.3 ΑΠΟΔΕΚΤΑ ΟΡΙΑ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Για την εκτίμηση του βαθμού ρύπανσης των εδαφών και των υπογείων νερών από επικίνδυνα απόβλητα έχουν θεσπιστεί μέγιστα αποδεκτά όρια για τους διάφορους ρύπους (οι πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζουν τα όρια αυτά σε διάφορες χώρες).

Είναι προφανές ότι τα μέγιστα αποδεκτά όρια της ρύπανσης για κάθε συγκεκριμένο ρύπο, εξαρτώνται και από την χρήση του χώρου στον οποίο έχει εντοπιστεί η ρύπανση. Έτσι π.χ τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης από μόλυβδο πρέπει να είναι διαφορετικά στην αυλή ενός σχολείου απ' ότι σε έναν υπαίθριο χώρο στάθμευσης αυτοκινήτων. Επίσης, τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εξαρτώνται και από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη μέτρησή τους. Κατά συνέπεια, οι διαφορές που παρατηρούνται στους ακόλουθους πίνακες οι οποίοι περιλαμβάνουν

τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης στις διάφορες χώρες, δεν οφείλονται πάντοτε σε διαφοροποιήσεις ως προς την περιβαλλοντική ευαισθησία, μεταξύ των διαφόρων χωρών, αλλά συχνά οφείλονται κατά κύριο λόγο στην εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων μέτρησης του ρυπαντικού φορτίου.

Αποδεκτά όρια ρύπανσης στις Η.Π.Α δεν έχουν καθοριστεί για το έδαφος. Ο έλεγχος επικινδυνότητας του ρυπασμένου εδάφους γίνεται μέσω της μέτρησης της συγκέντρωσης των ακόλουθων ρύπων με τις δοκιμές τύπου T.C.L.P (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) και τύπου E.P (Extraction Procedure). Τα αποτελέσματα των δοκιμών, συγκρίνονται με τις τιμές του ακόλουθου Πίνακα 6.1 (αν το δείγμα τις ξεπερνάει τότε χαρακτηρίζεται ως επικίνδυνο με βάση τις εκτιμώμενες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον (ζώα, φυτά κ.λ.π) :

Πίνακας 6.1 : Όρια τοξικότητας του εδάφους στις Η.Π.Α (Daniel 1993)

Κατά τη δοκιμή TCLP		Κατά τη δοκιμή EP	
Ουσία	Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση στο εκχύλισμα (mg/l)	Ουσία	Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση στο εκχύλισμα (mg/l)
Βενζόλιο	0.5	Αρσενικό	5
Τετραχλωράνθραξ	0.5	Βάριο	100
Χλωριδάνιο	0.03	Κάδμιο	1
Χλωροβενζόλιο	100	Χρώμιο	5
Χλωροφόρμιο	6	Μόλυβδος	5
Κρεζόλιο	200	Υδράργυρος	0.2
1,4-Διχλωροβενζόλιο	7.5	Σελήνιο	1
1,2-Διχλωροαιθάνιο	0.5	Άργυρος	5
1,1-Διχλωροαιθυλένιο	0.7	Ενδρίνη	0.02
2,4-Δινιτροτολουόλιο	0.13	Λινδάνιο	0.4
Επταχλώριο	0.008	Μεθοξυχλώριο	10
Εξαχλωροβουταδιένιο	0.5	Τοξαφαίνιο	0.5
Εξαχλωροβενζόλιο	0.13	2,4 D	10
Εξαχλωροαιθάνιο	3.0	2,4,5 T-Silvex	1
Μεθυλ-αιθυλ-κετόνη	200		
Νιτροβενζόλιο	2		
Πενταχλωροφαινόλη	100		
Πυριδίνη	5		
Τετραχλωροαιθυλένιο	0.7		
Τριχλωροαιθυλένιο	0.5		
2,4,5-Τριχλωροφαινόλη	400		
2,4,6-Τριχλωροφαινόλη	2		
Χλωριούχο βινύλιο	0.2		

Λόγω των διαφορών μεταξύ των εφαρμοζόμενων μεθόδων, αλλά και των στόχων της Δημόσιας Πολιτικής στον τομέα της υγείας, τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης στις Η.Π.Α μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από τα αντίστοιχα όρια που ισχύουν σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης του υπόγειου νερού εξαρτώνται από την προβλεπόμενη χρήση του. Στην περίπτωση πόσιμου νερού οι μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις των διαφόρων ρύπων περιλαμβάνονται στον Πίνακα 6.2, σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της U.S.E.P.A (U.S Environmental Protection Agency) :

Πίνακας 6.2 : Όρια ρύπανσης του πόσιμου νερού στις Η.Π.Α (U.S.E.P.A, 2002)

Ουσία	Μέγιστη αποδεκτή συγκέντρωση (mg/l) Maximum Contaminant Level (MCL)
Ανόργανες ουσίες	
Νιτρικά (NO ₃ ⁻)	10
Μαγνήσιο (Mg) Βηρύλλιο (Be)	0.004
Χαλκός (Cu)	1.3*
Αρσενικό (As)	0.01
Βάριο (Ba)	2
Κάδμιο (Cd)	0.005
Χρώμιο (Cr) - ολικό	0.1
Σελήνιο (Se)	0.01
Αντιμόνιο (Sb)	0.006
Μόλυβδος (Pb)	0.015*
Φθόριο (F)	4.0
Οργανικές ουσίες	
Βενζόλιο (Benzene)	0.005
Endrine	0.002
Lindane	0.0002
Διοξίνη (2,2,7,8-TCDD)	0.0000003
Toxaphene	0.003
PCBs	0.0005
cis-1,2 Διχλωροαιθέριο	0.07
trans-1,2 Διχλωροαιθέριο	0.1
Τριχλωροαιθέριο	0.005
Χλωριούχο βινύλιο (βινυλοχλωρίδιο)	0.002
Ραδιενεργές ουσίες (συγκεντρώσεις σε pCi/l)	
Ράδιο 226 και Ράδιο 228	5
Σωματίδια Α	14
Βακτηρίδια	
Ολικά Κολλοβακτηριοειδή	5 ανά 100 ml

* Όριο δράσης (action level)

Στην Ε.Ε έχουν θεσπιστεί πολυάριθμες Οδηγίες που αφορούν τα όρια ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων. Η Οδηγία 98 / 83 / ΕΚ σχετικά με την ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης, καθορίζει τις μέγιστες επιτρεπτές τιμές για μια σειρά από μικροβιολογικές και χημικές παραμέτρους. Η σύγκριση με την παλαιότερη Κοινοτική Οδηγία (80 / 778 / ΕΟΚ), είναι ενδεικτική των αυξανόμενων περιβαλλοντικών απαιτήσεων, σε συνάρτηση και με την πληρέστερη κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων των χημικών ουσιών στην ανθρώπινη υγεία.. Επί πλέον στην Οδηγία του 1998, περιλαμβάνονται για πρώτη φορά βιομηχανικοί ρύποι όπως π.χ. οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες.

Ο χαρακτηρισμός των επικίνδυνων ρυπαντικών ουσιών δίνεται από την 76 / 464 / ΕΕC, η οποία τις χωρίζει σε δυο κατηγορίες :

1. Στις πλέον τοξικές (Κατηγορία 1 - Black List).
2. Στις λιγότερο τοξικές (Κατηγορία 2 - Grey List)

Ο σκοπός αυτών των Οδηγιών είναι να απαλειφθεί η ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων από τις ουσίες της Κατηγορίας 1 (Black List) και να περιοριστεί η ρύπανση από τις ουσίες της Κατηγορίας 2 (Grey List). Οι ουσίες που περιλαμβάνονται στις δυο κατηγορίες, φαίνονται στον Πίνακα 6.3 και είναι :

Πίνακας 6.3 : Κατηγορίες τοξικών ουσιών στην Ε.Ε

Τοξικές ρυπαντικές ουσίες Κατηγορίας 1 (Black List)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Οργανο-αλογόνες (Organohalogen) ουσίες και ουσίες που μπορούν να τις παράγουν 2. Ουσίες που περιέχουν οργανικό φώσφορο ή οργανικό κασσίτερο 3. Ουσίες που μπορούν να προκαλέσουν καρκινογένεσεις 4. Ουσίες που περιέχουν υδράργυρο ή κάδμιο 5. Ανθεκτικά ορυκτέλαια και ανθεκτικοί υδρογονάνθρακες πετρελαιοειδών 6. Ανθεκτικές συνθετικές ουσίες (persistent synthetic compounds)
Τοξικές ρυπαντικές ουσίες Κατηγορίας 2 (Grey List)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Τα ακόλουθα μέταλλα: ψευδάργυρος, χαλκός, νικέλιο, χρώμιο, μόλυβδος, σελήνιο, αρσενικό, αντιμόνιο, μολυβδένιο, τιτάνιο, κασσίτερος, βάριο, βηρύλιο, βόρον, ουράνιο, βανάδιο, κοβάλτιο, θάλλιο, τελλούριο, άργυρος 2. Οργανικές ενώσεις των ανωτέρω μετάλλων που δεν περιλαμβάνονται στην Κατηγορία 1 3. Ουσίες που μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς τη γεύση ή την οσμή του υπόγειου νερού, σε περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ύδρευση 4. Τοξικές ή ανθεκτικές οργανικές ενώσεις του πυριτίου που μπορούν να ανιχνευθούν στο υπόγειο νερό 5. Ανόργανες ενώσεις του φωσφόρου και καθαρός φώσφορος 6. Μη-ανθεκτικά ορυκτέλαια και υδρογονάνθρακες πετρελαιοειδών 7. Κυανιούχα και φθοριούχες ενώσεις 8. Ουσίες που έχουν δυσμενείς επιδράσεις στην ισορροπία του οξυγόνου όπως αμμωνία, νιτρικά, κλπ.

Οι Οδηγίες της Ε.Ε. προτείνουν ότι ο έλεγχος της ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων από τις ουσίες του Πίνακα 6.3 στις χώρες - μέλη μπορεί, να γίνει με δυο τρόπους :

1. Με την επιβολή Στόχων Ποιότητας του Περιβάλλοντος (Environmental Quality Objectives – E.Q.O's). Στην περίπτωση, π.χ, χρήσης του υπόγειου νερού για ύδρευση, ένας τέτοιος στόχος είναι η καταλληλότητά του για ασφαλή κατανάλωση ενώ αν το υπόγειο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, οι στόχοι θα είναι η αποφυγή βλάβης στα φυτά, η απουσία βλαπτικών επιδράσεων στους καρπούς των φυτών (εάν πρόκειται να καταναλωθούν από τον άνθρωπο) και αποφυγή της ρύπανσης του εδάφους.
2. Με την επιβολή Ορίων Καθορισμού Ποιότητας του Περιβάλλοντος (Environmental Quality Standard values – E.Q.S's) που συχνά ονομάζονται και όρια εκπομπής (Emission Standards). Τα όρια αυτά, τα οποία αναφέρονται στις μέγιστες αποδεκτές συγκεντρώσεις των διάφορων ρυπαντικών ουσιών, δεν καθορίζονται από την Κοινότητα αλλά πρέπει να καθορισθούν από τα Κράτη – Μέλη (Κ.Μ), αναλόγως της επιδιωκόμενης χρήσης του εδάφους ή του υπόγειου νερού. Έτσι, π.χ τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης του εδάφους στις σχολικές αυλές, θα πρέπει να είναι πολύ μικρότερα απ' ότι στους ελεύθερους χώρους στάθμευσης αυτοκινήτων ή στο χώρο που πρόκειται να κατασκευαστεί ένα διυλιστήριο πετρελαιοειδών.

Τα όρια ρύπανσης που ισχύουν σε ορισμένες χώρες της Ε.Ε παρατίθενται παρακάτω και είναι :

Στην Βρετανία, για τον έλεγχο του βαθμού ρύπανσης του εδάφους, ελέγχονται οι συγκεντρώσεις των ακόλουθων ρύπων και συγκρίνονται με τα όρια επιφυλακής και τα όρια λήψης μέτρων του ακόλουθου Πίνακα 6.4 :

Πίνακας 6.4 : Όρια ρύπανσης του εδάφους στην Βρετανία (ICRCL, 1987)

Ουσία	Όριο επιφυλακής (mg/kg ξηρού εδάφους)	Όριο λήψης μέτρων (mg/kg ξηρού εδάφους)
Αρσενικό	10 - 40	-
Κάδμιο	3 - 15	-
Χρώμιο (ολικό)	600 - 1000	-
Μόλυβδος	500 - 2000	-
Υδράργυρος	1 - 20	-
Σελήνιο	3 - 6	-
Πολυ-αρωματικοί υδρογονάνθρακες	50 - 1000	500 - 10000
Φαινόλες	5	200 - 1000
Κυανιούχα (ελεύθερα)	25 - 100	500
Κυανιούχα (σύνθετα)	250	1000 - 5000
Θειικά	2000	10000 - 50000000000
Σουλφίδια	250	1000
Θείο	5000	20000
pH (όξινο)	5	3
pH (αλκαλικό)	9	12

Οι τιμές του Πίνακα 6.4, αναφέρονται στις διάφορες χρήσεις του εδάφους (π.χ. αυλές σπιτιών, χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, κ.λ.π). Αυτά τα όρια ρύπανσης προβλέπεται στο μέλλον να αντικατασταθούν από τιμές που θα υπολογιστούν με βάση ένα αριθμητικό μοντέλο που εκτιμά την έκθεση στους ρύπους (Contaminated Land Exposure Assessment – C.L.E.A). Οι καινούριες τιμές θα αντιπροσωπεύουν «τιμές επέμβασης», που θα υποδεικνύουν ότι απαιτείται επί πλέον μελέτη και / ή αποκατάσταση.

Η Ολλανδία όπως προαναφέραμε, ως πρωτοπόρος στην Ευρώπη, από το 1976 έχει εντάξει την προστασία του εδάφους στην εθνική περιβαλλοντική πολιτική της. Το 1994 άρχισε να αναθεωρεί τα μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων. Ο Πίνακας 6.5 και 6.6 που ακολουθεί, δίνει τις πιο πρόσφατες τιμές για το 2000. Παρατηρώντας τους δύο πίνακες, βλέπουμε ότι για κάθε έναν από τους ρύπους δίνονται δυο τιμές :

1. Η νέα τιμή που θεσπίστηκε την περίοδο 1994 – 2000.
2. Η παλιά τιμή που ίσχυε μέχρι το 1994.

Η υπέρβαση των τιμών αυτών (intervention values – τιμές επέμβασης), αποτελεί ένδειξη σοβαρής ρύπανσης του εδάφους και των υπογείων υδάτων και απαιτεί τη λήψη μέτρων απορρύπανσης.

Πίνακας 6.5 : Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους και νερού στην Ολλανδία (2000)

Ουσία	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)		Συγκέντρωση στο νερό (μg/l)	
	Νέα	Παλαιά	Νέα	Παλαιά
Μέταλλα				
Χρώμιο	380	800	30	200
Κοβάλτιο	240	300	100	200
Νικέλιο	210	500	75	200
Χαλκός	190	500	75	200
Ψευδάργυρος	720	3000	800	800
Αρσενικό	55	50	60	100
Μολυβδένιο	200	200	300	100
Κάδμιο	12	20	6	10
Βάριο	625	2000	625	500
Υδράργυρος	10	10	0.3	2
Μόλυβδος	530	600	75	200
Ανόργανες ενώσεις				
Κυανιούχα (ελεύθερα)	20	100	1500	100
Κυανιούχα (σύνθετα pH<5)	650	500	1500	200
Κυανιούχα (σύνθετα pH ≥ 5)	50	500	1500	200
Θειοκυανικά (ολικά)	20		1500	
Βρωμιούχα	20 ^a	300	0.3 ^a	2000
Χλωριούχα			100 ^a	700
Φθοριούχα	500 ^a	2000	0.5 ^a	4000
Χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες				
Διχλωρομεθάνιο	10	50	1000	50
Τριχλωρομεθάνιο	10	5	400	50
Τετραχλωρομεθάνιο	1	50	10	50
1,2-Διχλωροαιθάνιο	4	50	400	50
Τριχλωροαιθάνιο	60	50	500	50
Τετραχλωροαιθάνιο	4	50	40	50
Χλωριούχο βινύλιο	0.1		5	35
Χλωροβενζόλια (μεμονωμένα)		10		2
Χλωροβενζόλια (σύνολο)	30	20		5
Μονοχλωροβενζόλιο		10	180	2
Διχλωροβενζόλιο		10	50	2
Τριχλωροβενζόλιο		10	10	2
Τετραχλωροβενζόλιο		10	2.5	2
Πενταχλωροβενζόλιο		10	1	2
Εξαχλωροβενζόλιο		10	0.5	2
Χλωροφαινόλες (σύνολο)		10		2
Μονοχλωροφαινόλες (σύνολο)		5	100	1.5
Διχλωροφαινόλες			30	1.5
Τριχλωροφαινόλες			10	1.5
Τετραχλωροφαινόλες			10	1.5
Πενταχλωροφαινόλη	5		3	1.5
Χλωροναφθαλένιο			6	
Πολυχλωριωμένα διφενύλια (7 PCB)	1	10	0.01	1

Πίνακας 6.6 : Μέγιστα αποδεκτά όρια ρύπανσης εδάφους και νερού στην Ολλανδία (2000)

Ουσία	Συγκέντρωση στο έδαφος (mg/kg ξηρού εδάφους)		Συγκέντρωση στο νερό (µg/l)	
	Νέα	Παλαιά	Νέα	Παλαιά
Αρωματικές ενώσεις				
Βενζόλιο	1	5	30	5
Αιθυλοβενζόλιο	50	50	150	60
Φαινόλη	40	10	2000	50
Κρεσόλες	5		200	
Τολουόλιο	130	30	1000	50
Ξυλένιο	25	50	70	60
Στυρένιο	100	50	300	60
Καθετόλη	20		1250	
Ρεσορσινόλη	10		600	
Υδροκανόνη	10		800	
Πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH)				
PAH (σύνολο 10 ουσίες)	40	200		40
Ναφθαλένιο		50	70	30
Ανθρακένιο		100	5	10
Φαινανθρένιο		100	5	10
Φθωρανθένιο		100	1	5
Βενζο(α)ανθρακένιο		50	0.5	2
Χρυσένιο		50	0.2	2
Βενζο(α)πυρένιο		10	0.05	1
Βενζο(χ)περυλένιο		100	0.05	5
Βενζο(κ)φθωρανθένιο		50	0.05	2
Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο		50	0.05	2
Εντομοκτόνα				
DDT+DDD+DDE (σύνολο)	4	5	0.01	1
Drins (Aldrin, Endrin, Hydrin)	4	5	0.1	1
HCH-ενώσεις (σύνολο 4)	2	5	1	1
Carbaryl	5		50	
Carbofuran	2		100	
Maneb	35		0.1	
Atrazine	6		150	
Διάφορες ουσίες				
Κυκλοεξάνιο	45	60	15000	50
Φθαλάτσια (σύνολο)	60	500	5	50
Ορυκτέλαια	5000	5000	600	600
Πυριδίνιο	0.5	20	30	30
Τετρα-υδροφουράνιο	2	40	300	60
Τετρα-υδροθειοφένιο	90	50	5000	60

6.4 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Για την ρεαλιστική αποτίμηση των προοπτικών του μελετητικού και κατασκευαστικού τομέα σε έργα εξυγίανσης του υπεδάφους, πρέπει να συνεκτιμηθούν επί πλέον και τα εξής :

1. Η παρούσα κατάσταση : Έργα αποκατάστασης έχουν μέχρι τώρα αναληφθεί κατά κύριο λόγο από Πανεπιστημιακές ομάδες και σε μικρότερο βαθμό από εταιρείες.

2. Η πρόοδος άλλων χωρών στα τελευταία 10 - 20 χρόνια : Παρ' όλο που οι Η.Π.Α προσφέρουν ένα ολοκληρωμένο φάσμα αντιμετώπισης των προβλημάτων, όσον αφορά τις τελικές επιλογές των τεχνικών απορρύπανσης, είναι σκόπιμο να διερευνηθούν οι δυνατότητες στα κράτη - μέλη της Ε.Ε, απ' όπου μπορεί πιο εύκολα να μεταφερθεί τεχνογνωσία για τα πιο περίπλοκα περιστατικά. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η απόκτηση «ντόπιας εμπειρίας» σε έργα εξυγίανσης, απαιτεί απλά την εφαρμογή των βασικών αρχών που περιγράφουν τη συμπεριφορά των ρύπων στο υπεδάφος. Μια ευρύτερη και πιο μακροπρόθεσμη θεώρηση, θα πρέπει επίσης να διερευνηθεί και τις δυνατότητες στις υπό ένταξη στην Ε.Ε, χώρες.
3. Οι πηγές χρηματοδότησης : Ένα σημαντικό ποσοστό της χρηματοδότησης των μέχρι τώρα έργων στην Ελλάδα, προέρχεται από κοινοτικά κονδύλια. Το ΥΠΕΧΩΔΕ έχει εντάξει την εξυγίανση των ρυπασμένων χώρων (2002 – 2006), στο Ε.Π.ΠΕΡ (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον) καθώς επίσης και μερική επιδότηση έργων απορρύπανσης του υπεδάφους, προσφέρει και το Directorate General Environment της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η ιδιωτική συμβολή εκ μέρους των βιομηχανιών πρέπει να θεωρείται δεδομένη, αλλά σε βαθμό που θα εξαρτηθεί από τις επιλογές της πολιτείας.
4. Το πιθανό μέγεθος της αγοράς : Σύμφωνα με τα προηγούμενα, το μέγεθος της αγοράς στην Ελλάδα θα εξαρτηθεί από τρεις συνιστώσες :
 1. Τη θέσπιση νομοθετικών διατάξεων.
 2. Την ανεύρεση χρηματοδότησης.
 3. Την προσαρμογή τεχνολογιών από Ελληνικές εταιρείες.

6.5 ΕΠΙΓΡΑΜΜΑΤΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Μελέτη, έχει σκοπό να συνεισφέρει στη λήψη αποφάσεων σχετικών με την αποτίμηση πιθανών περιστατικών ρύπανσης του υπεδάφους και την αποκατάσταση του όταν έχει ρυπανθεί από πετρελαιοειδή. Για να το πετύχει αυτό, συνθέτει στοιχεία από νόμους ισχύοντες και σε επεξεργασία, αξιολογεί υπάρχουσες εμπειρίες από εφαρμογές, και παρουσιάζει υποσχόμενες απορρυπαντικές τεχνολογίες. Καταλήγει με μια εκτίμηση των προοπτικών της Ελληνικής αγοράς, και προτάσεις που συμβάλλουν στο στήσιμο ενός δομημένου πλαισίου για την αξιολόγηση αναγκών και προτεραιοτήτων και που μπορούν να επιταχύνουν την τεχνολογική προετοιμασία, για το έγκαιρο ξεκίνημα και την πετυχημένη ολοκλήρωση κάποιων αναγκαίων έργων εξυγίανσης.

Η επισκόπηση της Ελληνικής νομοθεσίας, δείχνει ότι ένα μεγάλο μέρος των δεδομένων που απαιτεί η εκτίμηση του μεγέθους της ρύπανσης του υπεδάφους, πρέπει να έχει ήδη συλλεγεί. Με την κατάλληλη σύνταξη ερωτηματολογίων και επιλογή κριτηρίων, θα μπορέσει να ολοκληρωθεί η καταγραφή των ρυπασμένων χώρων, με γνώμονα τη θέσπιση προτεραιοτήτων για περαιτέρω επί τόπου έρευνα, παρακολούθηση ή εξυγίανση.

Η εμπειρία από αντίστοιχες καταγραφές στα κράτη της Ε.Ε θα είναι πολύτιμη, κατάλληλα προσαρμοσμένη στα Ελληνικά δεδομένα. Για παράδειγμα, η Ιρλανδία προσφέρει την εμπειρία μιας μικρής χώρας με περιορισμένη βιομηχανική ανάπτυξη. Σε κάθε περίπτωση, το σύνολο της Ευρωπαϊκής εμπειρίας υποδεικνύει ότι πρέπει να εξεταστούν όλες οι βιομηχανίες και οι ανεξέλεγκτες διαρροές πετρελαιοειδών, και υπενθυμίζει πως οι επιπτώσεις της ρύπανσης του υπεδάφους αργούν να εμφανιστούν και πως, άρα, δεν πρέπει να παραμεληθούν οι εγκαταλειμμένες βιομηχανίες.

Από τις Η.Π.Α έρχεται μια καινούρια προσέγγιση που εξοικονομεί χρόνο και χρήμα στην διαδικασία επιλογής τεχνολογίας αποκατάστασης, εισάγοντας την έννοια της «τεκμαρτής μεθόδου αποκατάστασης» γνωστή και ως «presumptive remedy». Αυτή η λογική στηρίζεται στη συσσωρευμένη εμπειρία που έχει δείξει ότι κάποια περιστατικά με κοινά χαρακτηριστικά, μπορούν να αντιμετωπιστούν επιτυχώς με την ίδια τεχνολογία. Προέχει λοιπόν η εξοικείωση με τις τεχνολογίες που είναι πιο κατάλληλες, για τα πιο συχνά και πιο σοβαρά περιστατικά του Ελληνικού χώρου.

Όσον αφορά την εξεύρεση πόρων για την αποκατάσταση του υπεδάφους, παράλληλα με τα Κοινοτικά κονδύλια και την εξέταση επιβολής πιθανών φόρων, θα είναι σκόπιμο να εξασφαλιστούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη σύναψη συμφωνητικών απορρύπανσης μεταξύ της Κυβέρνησης και των εν ενεργεία βιομηχανιών, τα οποία να αποφέρουν οφέλη και στα δύο συμβαλλόμενα μέρη.

Στις αρχές του 2002 έγινε επίσης, Πρόταση Οδηγίας σχετικά με την περιβαλλοντική ευθύνη, όσον αφορά στην «πρόληψη» και αποκατάσταση των περιβαλλοντικών ζημιών. Στην πρόταση αυτή, η περιβαλλοντική ζημία ορίζεται με αναφορά στην βιοποικιλότητα και τα ύδατα της Οδηγίας - πλαισίου για το νερό και στην ανθρώπινη υγεία, συμπεριλαμβανομένων των περιπτώσεων κατά τις οποίες απειλείται από την ρύπανση των εδαφών (EC Draft Directive on prevention and restoration of significant environmental damage (White Paper on Environmental Liability) Issued by DG Environment on 30 / 07 / 2001).

Η περιβαλλοντική αυτή ευθύνη, θα πρέπει μελλοντικά να εξασφαλίζει ότι όποιος ρυπαίνει, αναλαμβάνει και την εξυγίανση για την αντιμετώπιση της ρύπανσης ή πληρώνει το κόστος της εξυγίανσης και, τοιουτοτρόπως, η ευθύνη θα πρέπει να ενθαρρύνει την κοινωνικά αποδοτικότερη πρόληψη εκ μέρους των υπευθύνων μερών, πράγμα που θα είναι κοινωνικά αποδοτικότερο. Δεδομένης όμως, της σημασίας που έχει η ορθή πρόληψη και αποκατάσταση, τα Κράτη - Μέλη θα πρέπει να εξασφαλίζουν ότι λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα αποκατάστασης ή πρόληψης, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι αδύνατη η εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει». Σημειώνεται ότι η αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», προβλέπεται ήδη στην Συνθήκη για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, γνωστή και ως Συνθήκη του Μάαστριχτ και δεδομένου ότι η αρχή αυτή διαδραματίζει αποτρεπτικό ρόλο κατά της παραβίασης των κανόνων σε θέματα περιβάλλοντος, συμβάλλει εντούτοις στην υλοποίηση της Κοινοτικής Περιβαλλοντικής Πολιτικής.

Η «πρόκληση» τελικώς σήμερα, είναι η ορθολογική επίλυση του προβλήματος της προστασίας του περιβάλλοντος, στα πλαίσια μιας παραγωγικής και αναπτυσσόμενης κοινωνίας. Η ρύπανση των εδαφών, των υπόγειων υδάτων κ.λ.π, αποτελεί δανεισμό για την κοινωνία και μάλιστα με πολύ υψηλό επιτόκιο. Το κόστος εξυγίανσης είναι δύο με τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από το κόστος προστασίας στην πηγή, συνεπώς η πρόληψη είναι πάντα οικονομικότερη και αποτελεσματικότερη της θεραπείας. Ας πορευτούμε προς αυτό λοιπόν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαρίνα Πανταζίδου, Ε.Μ.Π Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Γεωτεχνικής, Εξυγίανση υπεδάφους στην Ελλάδα, Σημερινό Καθεστώς, Ανάγκες, Προοπτικές και επικαιροποίηση της νομοθεσίας ως τις αρχές του 2005, Δημοσιευμένο στα πρακτικά της HELECO, 2003.
2. Μαρίνα Πανταζίδου, Ε.Μ.Π Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Γεωτεχνικής, Στάδια Επεξεργασίας Οδηγίας Πλαισίου για την Προστασία του Εδάφους (Soil Framework Directive), 2005.
3. Μ. Καββαδάς και Μαρίνα Πανταζίδου, Ε.Μ.Π Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Γεωτεχνικής, Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, 2004.
4. Μ. Καββαδάς και Μαρίνα Πανταζίδου, Ε.Μ.Π Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Τομέας Γεωτεχνικής, Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής, Έκδοση 12, Σεπτέμβριος, 2007.
5. Βουδριάς Ε. Α., Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Εξυγίανση Εδαφών και Υπογείων Υδάτων από Επικίνδυνα Απόβλητα, Ξάνθη, 2000.
6. River Shield 5D189 Interreg III B Cadses, Οδηγός Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Ατυχημάτων II, Τεχνικές Αντιμετώπισης, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2007.
7. Κουτσουβέλα Δήμητρα και Χονδροπούλου Κυριακή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος Θεοφράσειο Π.Μ.Σ., Περιβαλλοντική και Οικολογική Μηχανική, Μελέτη της Συμπεριφοράς των Οργανικών Πτητικών Ενώσεων στην Ακόρεστη Ζώνη με την χρήση Επιτόπιων Μετρήσεων και την Διαμόρφωση Διαφόρων Μοντέλων Διάχυσης, Μυτιλήνη, 2005.
8. ΚΕΛΕΠΕΡΤΖΗΣ Α. Ε. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Σημειώσεις Εισαγωγής στην Γεωλογία Περιβάλλοντος, 2009.
9. Κώστας Μαγκανάς και Μάρκος Μποναζούντας, Σημειώσεις Εδαφικής Ρύπανσης (Soil Pollution), Αθήνα, 2004.
10. Κώστας Σ. Βουδούρης, Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος, Υπόγεια νερά και Περιβάλλον, Εκδότης Τζιόλα, Ιανουάριος 2009.
11. Γιδαράκος Ευάγγελος και Αιβαλιώτη Μαρία, Τεχνολογίες Αποκατάστασης Εδαφών και Υπογείων Υδάτων απο επικίνδυνους ρύπους, Εκδόσεις Ζυγός, 2005.

12. ΥΠΕΧΩΔΕ, Δεδομένα, Δράσεις, Προγράμματα για την Προστασία του Περιβάλλοντος, 1995.
13. ΥΠΕΧΩΔΕ, Οδηγία 96 / 61 / ΕΚ για την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Περιορισμό της Ρύπανσης και Ελληνικές Προτάσεις για τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνικές, 2001.
14. ΥΠΕΧΩΔΕ, Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιβάλλον (ΕΠΠΕΡ), Διαχείριση Επικίνδυνων Στερεών και Υγρών Αποβλήτων, 2002 – 2006.
15. Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, Πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το Περιβάλλον, Καθήκοντα και Δικαιώματα του πολίτη, 1995.
16. Werner D. and Hohener P., Diffusive Partitioning Tracer Test for Nonaqueous Phase Liquid (N.A.P.L), Detection in the Vadose Zone, Environ. Sci. Technol 36, pp. 1592 1599, 2002.
17. Hitzig R., Chaudet R. and Emanson M., USEPA, Expedited site assessment tools for underground storage tank sites, Office of 122 Underground Storage Tanks (1997), Chapter 4, EPA 510-B-97-001, September, 2005.
18. Guidelines for Assessing and Managing Petroleum Hydrocarbon Contaminated Sites in New Zealand, Hydrocarbon contamination fundamentals, MODULE 2, August, 1999.
19. Daniel, D.E., Introduction in Geotechnical Practice for Waste Disposal, Chapman & Hall, 1993.
20. Millington R. J., Gas diffusion in porous media, Science 130, pp. 100 - 102, 1959.
21. Hanks R.J. and Ashcroft G.L, Applied Soil Physics, Springer - Verlag, Berlin, 1980.
22. Ministry of Spatial Planning, Housing and Environment, The Circular on Target Values and Intervention Values for Soil Remediation, The Hague, The Netherlands, 2000.
23. Williams I., Wiley & Sons Chichester, Environmental Chemistry, The Composition and Properties of Soil, 130 – 135, 2001.
24. American Petroleum Institute (API), A Guide to the Assessment and Remediation of Underground Petroleum Releases, API Publication 1628, 3rd Edition, 1996.
25. Dragun J., Hazardous Materials Control Research Institute, The Soil Chemistry of Hazardous Materials., Silver Spring, MD, 458-470, 1988.
26. Feenstra S., Soil Sampling in N.A.P.L Source Zones, Challenges to Representativeness, Environmental Forensics 6, pp.57 – 63, 2005.

27. Geomechanics Society (NZGS), Guidelines for the Field Description Of Soils And Rocks In Engineering Use, New Zealand, 1988.
28. Brown KW, Barbee GC, Thomas JC and Murray HE, Detecting Organic Contaminants in the Unsaturated Zone using Soil and Soil - Pore water samples. Hazard Waste Hazard Mat, 7: 151-168,1990.
29. Nyer E.K., Practical Techniques for Groundwater and Soil Remediation. Lewis Publishers, 1993.
30. KWANGJU Institute of Science and Technology, Soil Environment Lab, Korea, 2005.
31. Sawhney BL, Brown K, eds, American Society of Agronomy, Reactions And Movements of Organic Chemicals in Soils, Special Publication No. 22, Inc., Madison, WI, 1989.
32. Calabrese EJ, Kosteki PT, eds. Petroleum Contaminated Soils. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1989.
33. ATTEWELL, P., Environmental Geology, Engineering and Law, Ground Pollution E. & F. N. Spon, London, 1993.
34. USEPA, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development Washington DC, Ada Remedial Technology Fact Sheet, , Monitored Natural Attenuation of Petroleum Hydrocarbons, May, 1999.
35. Li JB, Huang GH and Zeng GM. An Integrated Decision Support System For The Management of Petroleum - Contaminated Sites, J Environ Sci Health Part A. Tox Hazard Subst Environ, 36 : 1163 - 1186, Eng, 2001.
36. Dror I, Gerstl Z and Yaron B. Abiotic Behavior Of Entrapped Petroleum Products In The Subsurface During Leaching, Chemosphere, 49 : 1375-1388, 2002.
37. SINGER, M. J. & MUNNS, D. N., Soils. New York, Mac Millan, 1987.
38. Daniels R, Davies J, Gravell A and Rowland P. Movement Of Petroleum Hydrocarbons In Sandy Coastal Soils. J Environ Monit, 2 : 645-650, 2000.
39. Literathy P, Quinn M and Al - Rashed M. Pollution Potential Of Oil Contaminated Soil on Groundwater resources in Kuwait. Water Sci Technol, 47 : 259 - 265, 2003.
40. Hutchinson SL, Schwab AP and Banks MK, Phytoremediation of aged petroleum sludge : Effect Of Irrigation Techniques And Scheduling, J Environ Qual, 30 : 1516 1522, 2001.
41. Technology Overview, Dense And Light Non - Aqueous Phase Liquids (DNAPL's, L.N.A.P.L's) : Review of Emerging Characterization and Remediation Technologies, June, 2000.

42. Bhupathiraju VK, Krauter P and Holman HY, et al., Biodegradation, Assessment of in - situ bioremediation at a refinery waste - contaminated site and aviation gasoline contaminated site, 13 : 79 – 90, 2002.
43. Sopher, C.D. and J.V. Baird, Soils and Soil Management. Reston, Prentice Hall, 1978.
44. Banks MK, Schwab P, Liu B, Kulakow PA, Smith JS and Kim R, Adv Biochem Eng Biotechnol, The effect of plant on the degradation and toxicity of petroleum contaminants in soil : a field assessment, 78 : 75 – 96, 2003.
45. Riser - Roberts E and Riser - Roberts RR., Biological, Physical, and Chemical Processes, Remediation of Petroleum Contaminated Soils, CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.
46. KELLER, A. E., Environmental Geology. Merrill Publishing Company, 540p., Ohio, 1976.
47. Sims, J.L., R.C. Sims, and J.E. Matthews, Hazard ,Wastes Hazard. Mat., Approach to Bioremediation of Contaminated Soil, 7(2) : 117 - 149, 1990.
48. Cheineau CH, Yepremian C and Vidalie JF, et al., Biodegradation, leaching and toxicity assessment, Water, Air & Soil Pollution, Bioremediation of a crude oil polluted soil, 144 : 419 – 440, 2003.
49. CARACAS Risk Assessment for Contaminated Sites in Europe, Volume 2 Policy Frameworks (eds. C. Ferguson and H. Kasamas), LQM Press, 1998.
50. EEA, European Environmental Agency, Topic Report No 13 / 1999, Management of Petroleum Contaminated Sites in Western Europe, 2000.
51. Werner D., Broholm M. and Hohener P., Simultaneous Estimation of Diffusive Volatile Organic Chemical (VOC) Fluxes and Nonaqueous Phase Liquid (NAPL) Saturation in the Vadose Zone, Journal of Ground Water Monitoring & Remediation, to appear in October issue, 2005.
52. Mariner P.E., Jin M., Studer J.E. and Pope G.A., The First Vadose Zone Partitioning Tracer Test for Nonaqueous Phase Liquid and Water Residual, Environ. Sci. Technol. 33, pp.2825 – 2828, 1999.
53. Brady NC, The Nature and Properties of Soils, Macmillan Publishing Co, Inc, New York, 1974.
54. John Wiley & Sons, The Chemistry of Soil Constituents., Greenland DJ, Hayes MHM, eds, New York, 1978.
55. SFT, Guidelines on risk assessment of petroleum contaminated sites. Norwegian Pollution Control Authority”, SFT report 99 : 06, 1999.

56. Chiou C.T., Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems, Wiley Interscience, 2002.
57. Suthersan S.S., Remediation Engineering Design Concepts, CRC Press, 1997.
58. Gill R. Chemical Fundamentals of Geology, 2nd ed. Chapman & Hall, London, 1996.
59. Faure G. Principles and Applications of Geochemistry, 2nd ed. Prentice Hall, New York, 1997.
60. C.M. Frick, R.E. Farrell and J.J. Germida, Assessment of Phytoremediation as an In Situ Technique for Cleaning Petroleum - Contaminated Sites, 1999.
61. Barnes, D.L., Journal of Environmental Engineering 129 (9), Estimation of operation time for Soil Vapor Extraction Systems (SVE). 873 – 878, 2003.
62. International Soil Reference Centre (ISRIC), Global Assessment of the Status of Human - Induced Soil Degradation, 2000.
63. API, Guide for Assessing and Remediating Petroleum Hydrocarbons in Soils, American Petroleum Institute, API publication number 1629, Washington, DC, 1993.
64. Boulding, J. R., Practical Handbook Of Soil, Vadose zone and Groundwater Contamination Assessment : Prevention and Remediation. Boca Raton, FL, CRC Press, 1995.
65. Newell C.J., Acree C.D., Ross R.R. and Huling S.G., Light Nonaqueous Phase Liquids, Soil and Ground Water Issue,. EPA 540/S-95/500, U.S. EPA, R.S. Kerr Environ. Res. Lab., Ada, OK, 1995.
66. Alkorta, I., Garbisu, C., Phytoremediation of organic contaminants in soils. Bioresource Technology 79 (3), 273 – 276, 2001.
67. Anderson, W. C., Vacuum vapor extraction. US EPA 542 - B - 94 - 002, 1995
68. Suthersan S.S., Remediation Engineering. Design Concepts”, CRC Press, USA, 1997.
69. Smil V., The Bad Earth, Environmental Degradation in China, Sharpe Press, New York, 1984.
70. Faisal I. Khan, Tahir Husain and Ramzi Hejazi, Memorial University of Newfoundland, Faculty of Engineering and Applied Science, An overview and analysis of petroleum site remediation technologies, St John’s NL, Canada, February, 2004.
71. Masak, J., Machackova, J., Siglova, M., Cejkova, A., and Jirku, V., Journal of Environmental Science and Health, Capacity of the bioremediation technology for

- clean - up of soil and groundwater contaminated with petroleum hydrocarbons, 38 (10), 2447 – 2452, 2003.
72. Singh GR, Babu R, Narain P, Bhushan LS, Abrol IP. Soil erosion in India. *J Soil Land Water Conserv*, 47 : 97 - 99.,1992.
73. Massmann J., and Farrier D., *Water Resources Research* 28, Effects of atmospheric pressures on gas transport in the vadose zone, pp. 777 - 791, 1992.
74. Leeson, A., & Hinchee, R., *Soil bioventing, principles and practice*. Boca Raton, FL, Lewis Publisher, 1997.
75. Downey, C. D., Hinchee, E. H., and Miller, R. N., *Cost effective remediation and closure of petroleum - contaminated sites*. Columbus, OH, Battelle, 1999.
76. Feng, D., Lorenzen, L., Aldrich, C., Mare, P.W., *Minerals Engineering* 14 (9), Ex – situ diesel contaminated soil washing with mechanical methods, 1093 – 1100, 2001.
77. DENIX (Defense Environmental Network and Information exchange), *Natural attenuation for petroleum - contaminated sites at federal facilities.*, 1995.
78. Johnson, P. C., et al., *Bioremediation Journal* 5 (4), Advances in in situ air sparging / biosparging., 251 – 266, 2001.
79. United Nations Environment Programme (UNEP), *Status of Desertification and Implementation of the United Nations Action Plan to Combat Desertification*. UNEP, New York, 1991.
80. Halmemies, S., Grondahl, S., Arffman, M., Nenonen, K. and Tuhkanen, T., *Journal of Hazardous Materials* 97(1–4), Vacuum extraction based response equipment for recovery of fresh fuel spills from soil, 127 – 143, 2003.
81. Midwest Research Institute, *Petroleum hydrocarbon remediation*, 425 Volker Boulevard, Kansas City, MI, 1998.
82. Kim H., Annable M.D. and Rao S.C., *Gaseous Transport of Volatile Organic Chemicals in Unsaturated Porous Media : Effect of Water - Partitioning and Air - Water Interfacial Adsorption*, *Environ. Sci. Technol.* 35, pp. 4457 – 4462, 2001.
83. Riser - Roberts, E., *Bioremediation of Petroleum Contaminated Sites*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1992.
84. Riser - Roberts, E., *Remediation of Petroleum Contaminated Soil : Biological, Physical, and Chemical Processes*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 1998.
85. USEPA, *Handbook of in situ treatment of hazardous waste contaminated soils*. Office of Solid Waste and Emergency Response, Publication EPA 540 – 2 – 90 - 002, Washington, DC, 1990.

86. USEPA a. Soil vapor extraction (SVE). Office of the Underground Storage Tank, Publication EPA 510 – B – 95 – 007, 1998.
87. USEPA b, Office of the Underground Storage Tank, Landfarming, Publication EPA 510 - B - 95 - 007, 1998.
88. USEPA d, Office of the Underground Storage Tank, Bioventing, Publication EPA 510 – B – 95 - 007, 1998.
89. USEPA e, Office of the Underground Storage Tank, Biopiles, Publication EPA 510 – B – 95 - 007, 1998.
90. Nedunuri, K.V., Govindaraju, R.S., Banks, M.K., Schwab, A.P., Chen, Z., 000, Journal of Environmental Engineering 126(6), Evaluation of phytoremediation for field - scale degradation of total petroleum hydrocarbons (TPH), 483 – 490, 2003.
91. Kirtland, B.C., Aelion, C.M., Journal of Contaminant Hydrology 41, Petroleum mass removal from low permeability soil using air sparging / soil vapor extraction, 367 – 383, 2000.
92. Jorgensen, K.S., Puustinen, J., Suortti, A.M., Environmental Pollution 107 (2), Bioremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil by composting in biopiles, 245 – 254, 2000.
93. Johnston, C.D., Fisher, S., Rayner, J.L., IAHS-AISH Publication, number 275, Removal of Petroleum Hydrocarbons from the Vadose Zone During Multi – Phase Extraction at a Contaminated Industrial Site, 2002.
94. Biorem, Air Sparging Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils, Biorem Technologies Inc, Waterloo, 1998.

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

1. <http://www.epa.gov/IRIS/>
2. <http://www.epa.gov/swerust1/pubs/sam.htm>
3. <http://www.epa.gov/OUST/cat/biovent.htm>
4. <http://www.epa.gov/region09/waste/sfund/prg/>
5. <http://www.epa.gov/swerust1/cat/biopiles.htm>
6. <http://www.epa.gov/swerust1/cat/sve1.htm>
7. <http://www.epa.gov/swerust/cat/landfarm.htm>

8. <http://www.eedsa.gr/Print.aspx?CatId=106&lang=gr>
9. http://www.bioremtechnologies.com/assets/field_study_air_sparging.html
10. <http://www.inout.gr/showthread.php?p=189349>
11. <http://www.ecosphere.gr/company.htm>
12. <http://www.denix.osd.mil/denix/Public/Library/Attenuation/attenuation.html>
13. <http://www.mriresearch.org/ae/phc-tech.html>
14. http://www.sciam.gr/topics.asp?action_id=topic_analysis&issue_id=305&topic
15. <http://science.duth.gr/>
16. http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_alphabetical/en/
17. <http://www.sciencedirect.com> (teacher suggested)
18. <http://www.scopus.com> (teacher suggested)
19. http://www.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_kathcommon_2_04/03/2008_1287
20. <http://www.stopclimatechange.gr/forum/index.php?action=printpage;topic=544>
21. <http://www.intergeo.gr/page.asp?pid=52&gr=1>
22. <http://www.environ-develop.ntua.gr/htdocs/pantazidou2/M2.htm>
23. http://www.skai.gr/master_story.php?id=86540
24. <http://www.oehha.ca.gov>
25. <http://www.makthes.gr/index.php?name=News&file=article&sid=23314>
26. <http://www.spectragases.com>
27. http://salamina-press.blogspot.com/2008/04/blog-post_20.html
28. <http://www4.law.cornell.edu/uscode/>
29. <http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/>
30. http://rais.ornl.gov/tox/tox_values.shtml
31. <http://www.europa.eu.int/eur-lex/el/index.html>
32. <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/index.html>

33. <http://europa.eu/scadplus/leg/el/s15010.htm>
34. http://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm
35. <http://www.environment-agency.gov.uk>
36. <http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/17247#page/1/mode/1up>
37. <http://www.agriculture.gr/eee/index.php>
38. <http://www.agr.uth.gr/labs/soil/>
39. <http://kireas.org/smf/index.php?topic=683.0>
40. <http://el.wikipedia.org/>
41. <http://en.wikipedia.org/wiki/Benzene>
42. <http://www.live-pedia.gr/>
43. <http://www.unccd.int>
44. <http://www.epper.gr/index.htm>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι : ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΕΝΙΚΩΝ ΚΑΝΟΝΩΝ

Πίνακας 1 : Πρόληψη και περιορισμός της ρύπανσης μονάδων παραγωγής διαλυτών

Πηγή	Απόβλητα/ παραπροϊόντα	Τεχνικές πρόληψης (Π) και αντιμετώπισης (Α) της ρύπανσης	Παρατηρήσεις
Φούρνος (αντιδραστήρας) προθέρμανσης	παραπροϊόντα μη ολοκληρωμένης υδρογόνωσης περιεχομένου βενζολίου	<ul style="list-style-type: none"> • Βελτιστοποίηση λειτουργικών παραμέτρων (Π): –παρουσία καταλύτη –έλεγχος - καταγραφή παραμέτρων και ενεργειακής απόδοσης 	
	προϊόντα καύσης αερίου καυσίμου (NO _x , CO, HC, TSP, ίχνη SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Αξιοποίηση θερμότητας προϊόντος φούρνου για προθέρμανση τροφοδοσίας, μείωση απαιτήσεων σε καύσιμα (Π) • Χρήση καυσίμου χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο, έλεγχος περιεκτικότητας (Π) • Έλεγχος - ρύθμιση καύσης (Α) 	
	καταλύτης υδρογόνωσης βενζολίου	<ul style="list-style-type: none"> • Φύλαξη σε ειδικό χώρο εντός της μονάδας (Α) 	
Πύργοι απόσταξης αερίου μίγματος φούρνου	διάφορα κλάσματα αποστάξεων	<ul style="list-style-type: none"> • Ανάκτηση κλασμάτων απόσταξης (Π) • Επανατροφοδοσία αποστακτήρων ή αποθήκευση για άλλη χρήση (Π) • Παραγωγή προϊόντος SBP 80/110 	
Τροφοδότηση μιγμάτων αερίων στα διάφορα στάδια παραγωγής διακίνησης προϊόντος	διαρροές υδρογονανθράκων	<ul style="list-style-type: none"> • Τήρηση κατάλληλων κατασκευαστικών προδιαγραφών στις εγκαταστάσεις (Π) • Τακτικός έλεγχος εξοπλισμού (Π) • Προληπτική συντήρηση εξοπλισμού (Π) • Τήρηση αρχείου παρακολούθησης συντήρησης (Π) • Μετρήσεις διαρροών υδρογονανθράκων (Π) • Εκτόνωση ασφαλιστικών σε κλειστό σύστημα συλλογής, διοχέτευση σε πυρσό καύσης (Α) • Διοχέτευση αποστραγγίσεων δοχείων, αποστακτήρων σε κλειστό σύστημα και σε πυρσό 	
Δεξαμενές προϊόντων	διαφυγές υδρογονανθράκων	<ul style="list-style-type: none"> • Αποθήκευση εξανίου σε δεξαμενές πλωτής οροφής με κύρια ελαστική φραγή υγρής επίπλευσης και φραγή καιρικής προστασίας (Π) • Αποθήκευση βαρύτερων διαλυτών σε δεξαμενές σταθερής οροφής, με εξαιρετικά πίεσης - κενού (Π) • Τακτικές μετρήσεις για διαφυγές HC (Π) • Προληπτική συντήρηση (Π) 	

Πηγή	Απόβλητα/ παραπροϊόντα	Τεχνικές πρόληψης (Π) και αντιμετώπισης (Α) της ρύπανσης	Παρατηρήσεις
	διαρροές υδρογονανθράκων	<ul style="list-style-type: none"> • Εξασφάλιση στεγανότητας δεξαμενών (Π) • Προληπτική συντήρηση (Π) • Λεκάνη κατακράτησης διαρροών πέριξ των δεξαμενών (Α) • Αποστράγγιση λεκανών σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων (Α) 	
Φορτώσεις προϊόντων	διαρροές υδρογονανθράκων	<ul style="list-style-type: none"> • Εξασφάλιση στεγανότητας φόρτωσης (Π): – χρήση αρθρωτών βραχιόνων και στομιών πλήρωσης για φόρτωση σε βυτία ή πλωτά και βαρέλια αντίστοιχα 	
Ψύξη	νερό ψύξης	<ul style="list-style-type: none"> • Κλειστό σύστημα ψύξης (Π) • Επαναχρησιμοποίηση νερών απομάστευσης κλειστών κυκλωμάτων ψύξης (Π) • Επαναχρησιμοποίηση στην παραγωγική διαδικασία ή σε άλλες χρήσεις (Π) 	
Χρήση ατμού	συμπυκνώματα ατμού	<ul style="list-style-type: none"> • Επιστροφή συμπυκνωμάτων στο κύκλωμα νερού λεβήτων (Π) 	

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ : ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ**

**Πίνακας 2 : Καταλληλότητα απορρύπανσης των
διαφόρων μεθόδων**

Επεξήγηση Συμβόλων:

✓✓	μέγιστη καταλληλότητα
✓	μέση καταλληλότητα
~	η καταλληλότητα εξαρτάται από τον ρυπαντή
X	ακατάλληλη

	Μη αλογωμένες VOCs	Αλογωμένες VOCs	Μη αλογωμένες SVOCs	Αλογωμένες SVOCs	Καύσιμα	Ανόργανες Ουσίες	Ραδιενεργά	Εμφηκτικά
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ								
Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου								
Βιοαερισμός	✓✓	~	✓✓	X	✓✓	X	✓✓	X
Ενισχυμένη Βιοαποκατάσταση -- Αερόβια -- Αναερόβια	✓✓	✓✓	✓✓	~	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓
Φυτοαποκατάσταση	✓	✓	✓	~	✓	✓	X	X
Φυσικοχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου								
Χημική Οξείδωση	✓	✓	X	✓	X	~	X	✓
Ηλεκτροκινητικός Διαχωρισμός	✓	✓	✓	✓	X	✓✓	✓	X
Διάσπαση (Enhancements)	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	X
Soil Flushing	✓✓	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	X	X
Soil Vapor Extraction	✓✓	✓✓	X	X	✓✓	X	X	X
Στερεοποίηση / Σταθεροποίηση -- Υαλοποίηση Πεδίου -- Χημική σταθεροποίηση -- Τιμιεντοποίηση	X	X	✓	✓	X	✓✓	✓✓	X

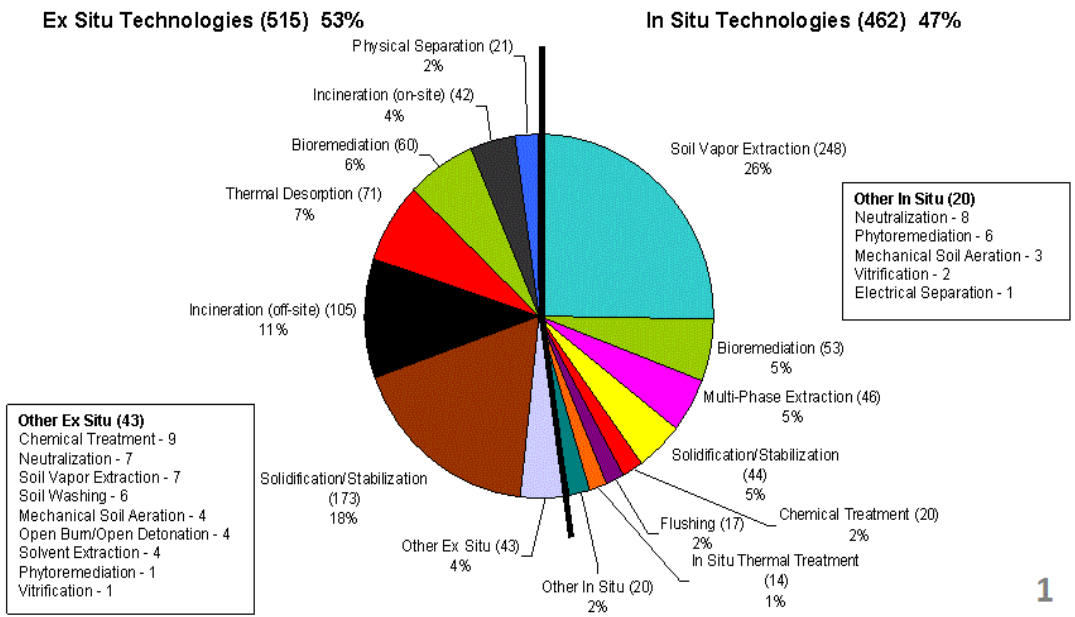
Θερμικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου								
Θερμική Κατεργασία	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	X
Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας εκτός πεδίου								
Βιοστιβάδες	✓✓	✓✓	✓	~	✓✓	~	X	X
Εδαφοποίηση	✓	✓	✓	~	✓✓	X	X	✓✓
Καλιέργεια Εδάφους	✓	✓	✓✓	✓	✓✓	X	X	~
Πηλός	✓	✓✓	✓✓	~	✓✓	~	X	✓✓
Φυσικοχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας εκτός πεδίου								
Χημική Απόσπαση -- Απόσπαση Οξέως -- Απόσπαση Διαλύτη	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	✓✓	✓	X
Χημική Οξειδωση	✓	✓	✓	✓	✓	✓✓	X	✓
Αφαλογόνωση	X	✓✓	X	✓✓	X	X	X	✓
Διαχωρισμός -- Μαγνητικός Διαχωρισμός -- Φυσικός Διαχωρισμός	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	X
Καθαρισμός Εδάφους	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
Ξτερεοποίηση / Ξσταθεροποίηση	X	X	✓	✓	X	✓✓	✓✓	X
Θερμικές Μέθοδοι Επεξεργασίας εκτός πεδίου								
Απορρόπανση με θερμό αέρα	X	X	X	X	X	X	X	X
Αποτέφρωση	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	✓✓
Ανοικτή Καύση/ Ανοικτή Εκτόνωση	X	X	X	X	X	X	X	✓✓
Πυρόλυση	✓	✓	✓✓	✓✓	✓	X	X	X
Θερμική Εκρόφηση	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	✓✓

Κάλυμμα Επιχωμάτωσης	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Εναλλακτικές Μέθοδοι	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Άλλες Μέθοδοι									
Εκσκαφή, Ανάκτηση και Απόθεση εκτός πεδίου	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Επεξεργασία Υπόγειου Υδροφορέα, και Επιφανειακού Υδατικού Αποδέκτη									
Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου									
Ενισχυμένη Βιοαποδόμηση	✓✓	~	✓✓	~	✓✓	~	~	X	✓
Φυσική Αποδόμηση	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	X	X	X
Φυτοαποδόμηση	✓	✓	✓	✓	✓	~	~	X	X
Φυσικοχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου									
Ψεκασμός Αέρα	✓✓	✓	✓	✓	✓✓	✓✓	X	X	X
Bioslurping	✓	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	X	X
Χημική Οξειδωση	✓	✓	X	✓	X	~	~	X	✓
Κατευθυντικά Φρεάτια (Directional Wells)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
Εξαγωγή Διπλής Φάσης	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	X
Θερμική Κατεργασία	✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	X
Υδροτμηματικός Εμπλουτισμός (Hydrofracturing Enhancements)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓
In-Well Air Stripping	✓	✓	✓	X	✓	✓	X	X	X
Παθητικά / Ενεργά Τοιχώματα (Passive / Reactive Walls)	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓	~	~	X	✓✓

Βιολογικές Μέθοδοι Επεξεργασίας πεδίου								
Βιοαντιδραστήρες	✓✓	✓✓	✓✓	~	✓✓	X	X	✓✓
Τεχνητοί Υγρότοποι	✓	✓	✓	~	✓	✓✓	X	✓✓
Φυσικοχημικές Μέθοδοι Επεξεργασίας εκτός πεδίου								
Προσρόφηση/ Απορρόφηση	✓	✓	✓	✓	X	✓✓	~	X
Προηγμένες Μέθοδοι Οξειδωσης								
-- UV Φωτόλυση	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	~	~	✓✓
-- UV Οξειδωση								
Ψεκασμός Αέρα	✓✓	✓✓	X	X	X	X	X	X
Ενεργός Άνθρακας	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	~	X	~
Αντληση Υπόγειου Νερού	✓	✓	✓	~	✓	✓	X	✓
Ιοντοεναλλαγή	X	X	X	X	X	✓✓	✓	X
Καθίζηση/ Θρόμβωση	X	X	X	X	X	✓✓	✓	X
Διαχωρισμός								
-- Απόσταξη								
-- Φιλτράρισμα	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	~	~	X
-- Κρυστάλλωση								
-- Μεμβράνες								
-- Αντίστροφη Ώσμωση								
Άρδευση με ραντιστήρα	✓✓	✓✓	X	X	X	X	X	X
Περιορισμός								
Φυσικά Φράγματα								
-- Τοιχώματα Λάσσης								
-- Βιο-φράγματα	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	✓✓	X	✓✓
-- Στοίβαγμα Φύλλων (Sheet Piling)								
Εγχυση (Βαθύ Φρεάτιο)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

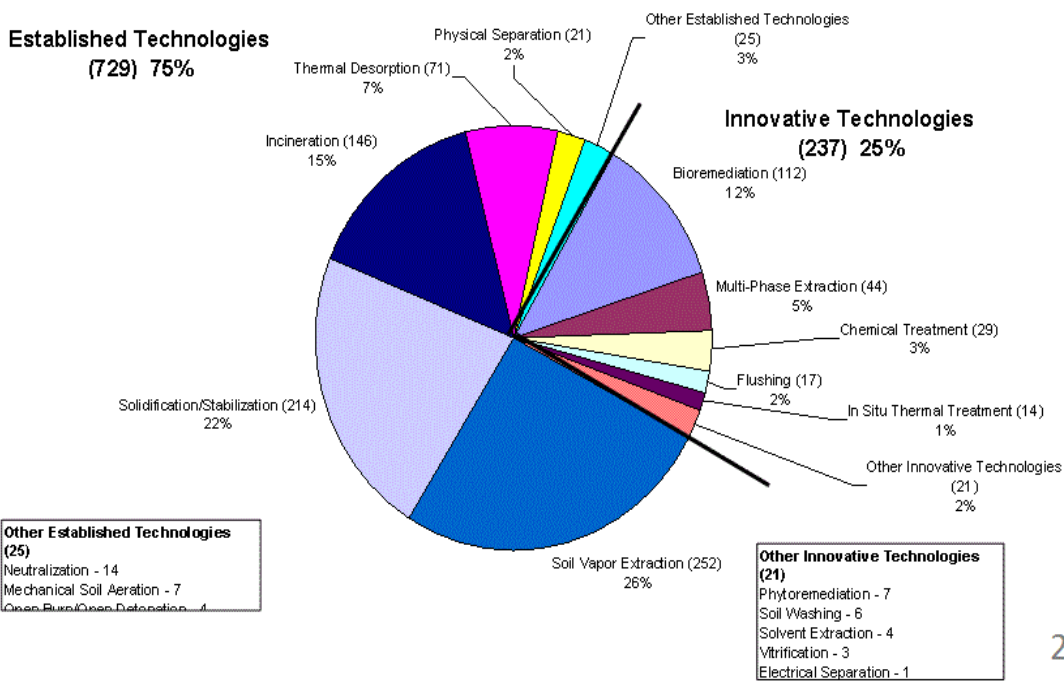
Γράφημα 1, 2, 3 : Επίσημα στοιχεία της U.S.E.P.A (U.S Environmental Protection Agency) για τις εφαρμογές μεθόδων απορρύπανσης (1982 - 2005, 2002 - 2005)

**Source Control Treatment Projects
1982-2005 - Total of 977 projects**



1

Use of Innovative Technologies: 82-05



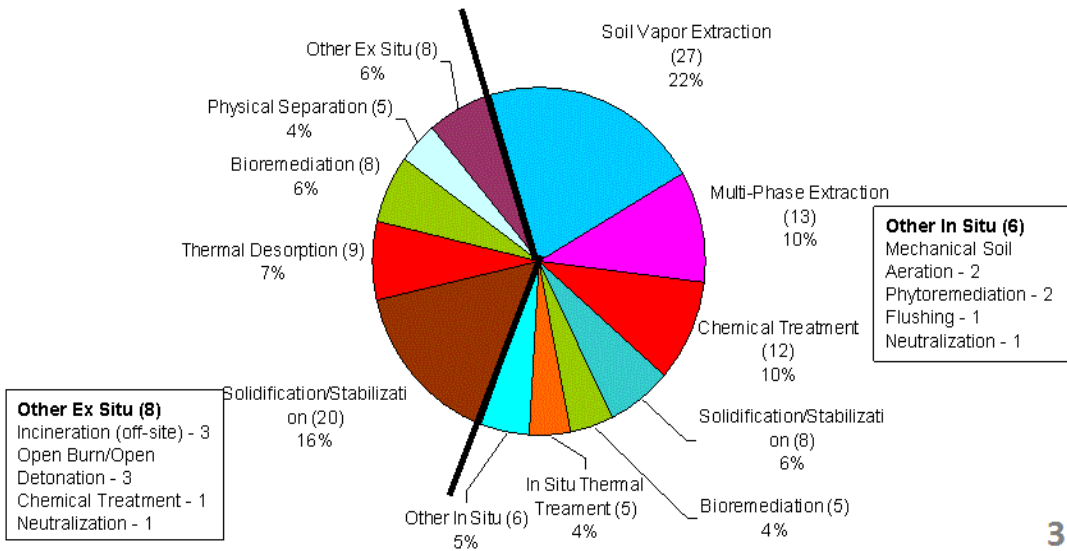
2



Source Control Treatment Projects 2002-2005 - Total of 126

Ex Situ Technologies (50) 40%

In Situ Technologies (76) 60%

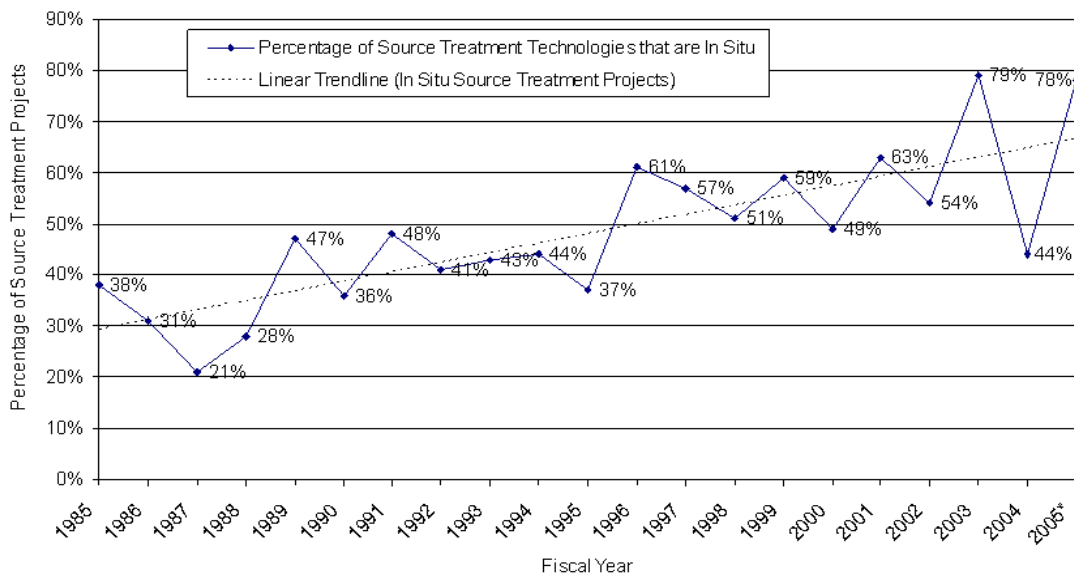


3

Γράφημα 4 : Επίσημα στοιχεία της U.S.E.P.A (U.S Environmental Protection Agency) για τις in - situ εφαρμογές μεθόδων απορρύπανσης (1985 - 2005)



In Situ Technologies for Source Control



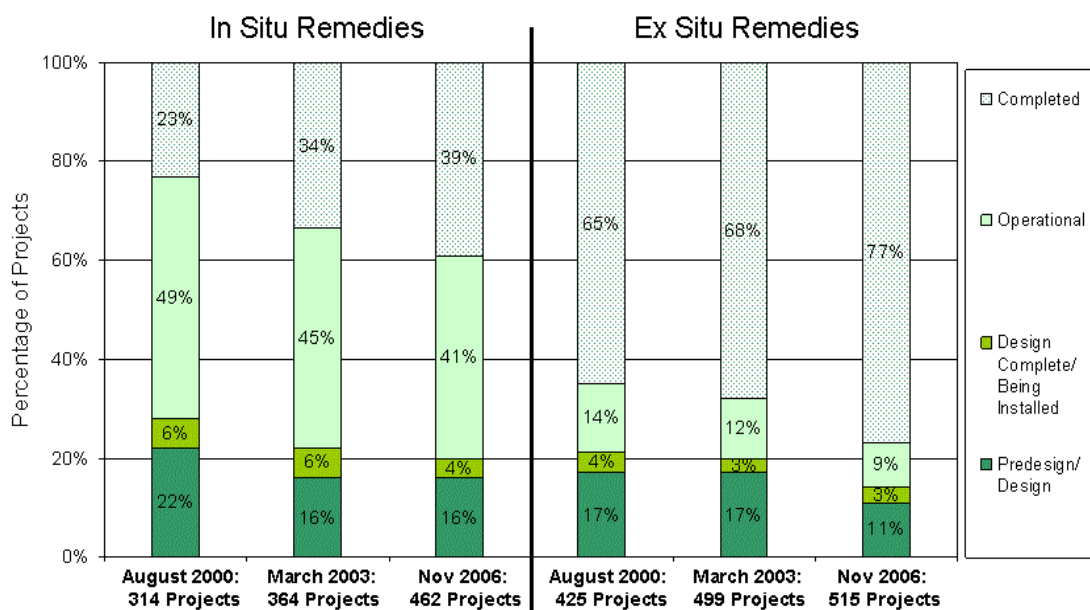
4

Γράφημα 5, 6 : Επίσημα στοιχεία της U.S.E.P.A (U.S Environmental Protection Agency) για τις εφαρμογές μεθόδων απορρύπανσης

Technology	Total number of projects ^a	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)	Other nonhalogenated semivolatile organic compounds ^b	Benzene-toluene-ethylbenzene-xylene (BTEX)	Other nonhalogenated organic compounds ^c	Organic pesticides and herbicides	Other halogenated semivolatile organic compounds ^d	Halogenated volatile organic compounds	Polychlorinated biphenyls	Metals and metalloids
Bioremediation	113	37	51	33	33	24	17	22	2	5
Chemical Treatment	29	1	2	3	4	1	4	12	4	13
Multi-Phase Extraction	46	9	3	11	6	4	8	18	1	1
Electrical Separation	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Flushing	17	3	5	5	5	1	3	11	0	5
Incineration	147	27	41	33	23	36	34	52	36	6
Mechanical Soil Aeration	7	0	0	3	1	0	1	7	0	0
Neutralization	15	2	0	0	0	0	0	0	0	6
Open Burn/ Open Detonation	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Physical Separation	21	4	2	1	0	3	0	0	4	5
Phytoremediation	7	1	2	2	2	1	1	4	0	4
Soil Vapor Extraction	255	15	31	107	51	3	33	217	1	0
Soil Washing	6	1	1	0	0	2	0	0	1	2
Solidification/ Stabilization	217	17	18	13	13	16	7	20	35	180
Solvent Extraction	4	2	1	0	1	1	0	2	2	1
Thermal Desorption	71	21	17	24	15	8	12	33	16	0
In Situ										
Thermal Treatment	14	5	0	2	0	3	3	8	0	0
Vitrification	3	0	0	1	1	0	1	3	2	1
Total Projects	977	145	175	238	155	103	124	410	104	229

5

Implementation Status of Source Control Treatment Projects



6