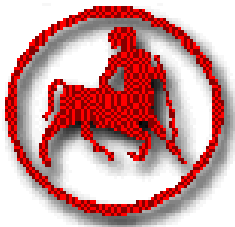


Διάλεξη 6

Τεχνολογίες Βιολογικής Απορρύπανσης



Τεχνολογίες Βιολογικής Απορρύπανσης

Δύο είναι οι κύριες κατηγορίες μεθόδων - τεχνικών της βιολογικής απορρύπανσης αλλά και γενικότερα των μεθόδων απορρύπανσης βιολογικών και μη:

➤ *in situ* τεχνικές

➤ *ex situ* τεχνικές

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται ανάλογα με την τοποθεσία όπου θα εφαρμοσθούν οι τεχνικές για την απομάκρυνση των ρύπων



In situ βιολογική απορρύπανση

Τεχνικές που εφαρμόζονται στην ρυπασμένη περιοχή χωρίς να μεσολαβεί απομάκρυνση και μεταφορά του ρυπασμένου υποστρώματος σε άλλη τοποθεσία για την εφαρμογή της βιολογικής απορρύπανσης

Χρήσεις: Σε περιπτώσεις όπου η ρύπανση είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε μεγάλη έκταση και βάθος, η συγκέντρωση των ρύπων είναι μέτρια ως υψηλή και κυρίως όταν δεν υπάρχει πίεση χρόνου για άμεση απορρύπανση



In situ βιολογική απορρύπανση

Πλεονεκτήματα

1. Προκαλεί την μικρότερη δυνατή διαταραχή του περιβάλλοντος επί του οποίου εφαρμόζεται
2. Η εφαρμογή της μπορεί να είναι άμεση χωρίς καθυστερήσεις για εκσκαφή και μεταφορά του εδάφους
3. Δεν δημιουργεί επιπρόσθετο κόστος και κίνδυνο για τον εργαζόμενο από την μεταφορά του ρυπασμένου υποστρώματος

In situ βιολογική απορρύπανση

Μειονεκτήματα

1. Απαιτεί αναλυτικό χαρακτηρισμό της περιοχής στην οποία εφαρμόζεται
2. Απαιτεί σημαντικό εργατικό δυναμικό
3. Δυσκολίες στον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών που επηρεάζουν την μικροβιακή δραστηριότητα

Μέθοδοι *In situ* βιολογικής απορρύπανσης

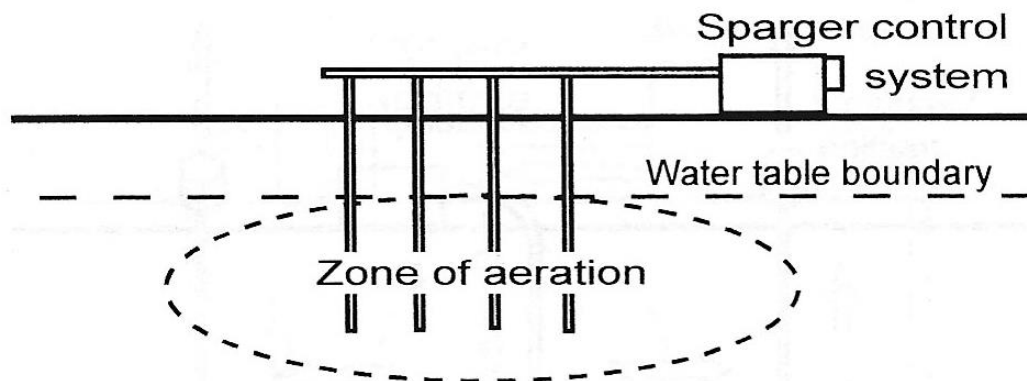
1. Biosparging
2. Bioventing
3. Injection Recovery



1. Biosparging

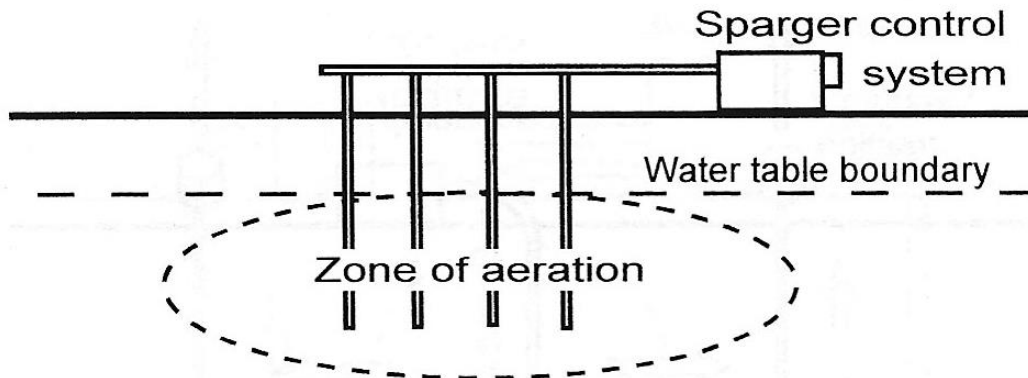
Χρησιμοποιείται κυρίως για την απομάκρυνση ρύπων από τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους κυρίως επί του ή κάτω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα

Περιλαμβάνει την εισαγωγή σωληνώσεων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και παροχή διαλυτού O_2 το οποίο μεταφέρεται διαμέσου του πορώδους και προς τα υπερκείμενα εδαφικά στρώματα ενεργοποιώντας την μικροχλωρίδα του εδάφους για αεροβική αποδόμηση των οργανικών ρύπων.



Biosparging

Πλεονέκτημα της μεθόδου ότι το κόστος εγκατάστασης είναι χαμηλό και τα υλικά φθηνά και άμεσα διαθέσιμα. Μειονέκτημα ότι πριν την εφαρμογή της χρειάζεται αναλυτικός υδρογεωλογικός χαρακτηρισμός της περιοχής



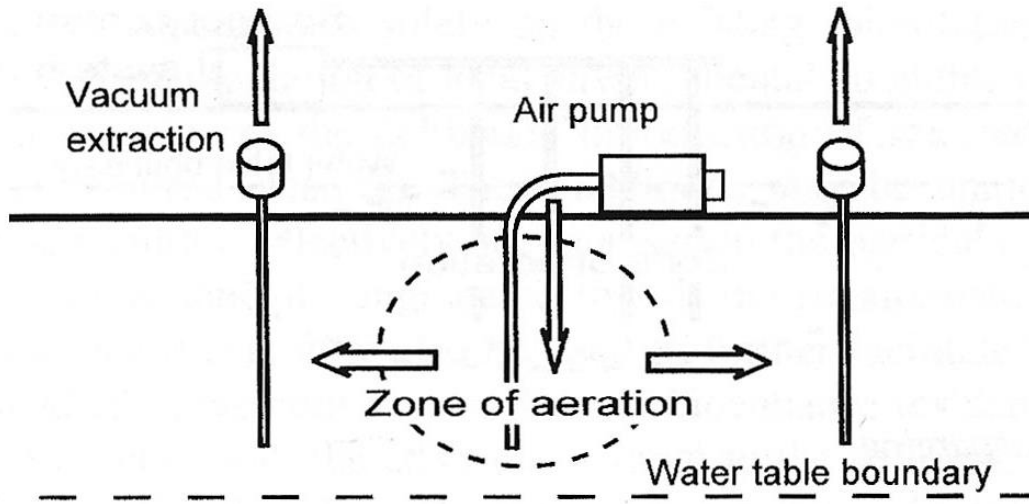
2. Bioventing

Παρόμοια με την προηγούμενη με βασική διαφορά ότι εδώ στόχος απορρύπανσης είναι ο υπερκείμενος εδαφικός ορίζοντας και όχι τα βαθύτερα εδαφικά στρώματα και ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας

Στηρίζεται στην εισαγωγή αέρα στα επιφανειακά στρώματα εδάφους ώστε να ενεργοποιηθεί η ενδογενής μικροβιακή κοινότητα του εδάφους για άμεση αποδόμηση των ρύπων

Η εφαρμογή και αυτής της μεθόδου προϋποθέτει λεπτομερή υδρογεωλογικό και εδαφολογικό χαρακτηρισμό της περιοχής

Bioventing



Αέρας παρέχεται διαμέσου σωληνώσεων στην ρυπασμένη περιοχή και η περίσσεια αερισμού ενεργοποιεί την μικροχλωρίδα του εδάφους για μικροβιακή διάσπαση των οργανικών ρύπων

Η διάχυση του αέρα στα εδαφικά στρώματα βελτιώνεται με την υποβοήθηση περιφερειακών σωληνώσεων που αντλούν αέρα με αποτέλεσμα την ομοιόμορφη διάχυση του O_2 στην ρυπασμένη περιοχή

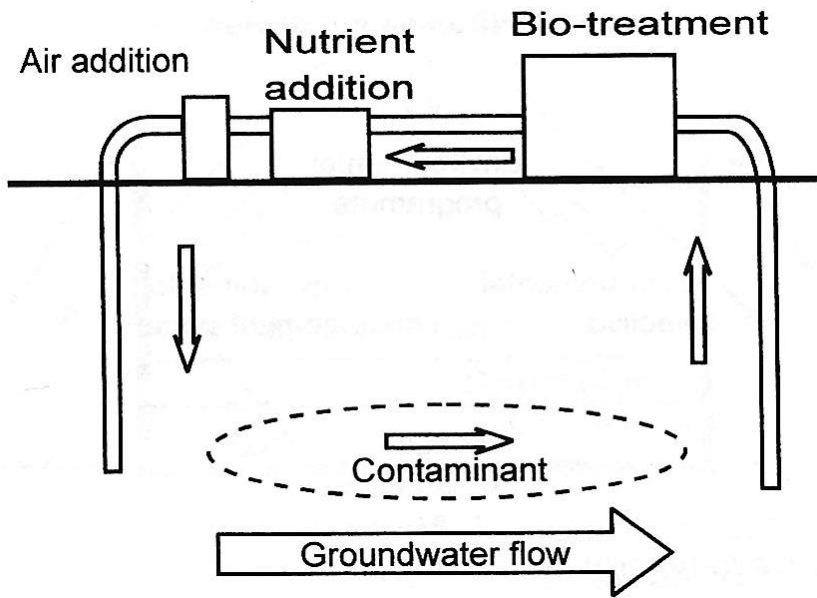
3. Injection recovery

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την κίνηση του υπόγειου νερού διαμέσου του ρυπασμένου εδάφους για να επιταχύνει την αποδόμηση των ρύπων

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι σε αντίθεση με όλες τις προηγούμενες *in situ* μεθόδους, ο έλεγχος και η βελτιστοποίηση των εδαφοκλιματικών συνθηκών και η διατήρησή τους είναι δυνατή ενώ ταυτόχρονα ο έλεγχος της αποτελεσματικότητας της μεθόδου και των παραγόμενων μεταβολικών προϊόντων είναι άμεσα εφικτός

Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το υψηλότερο κόστος εφαρμογής αλλά και η ανάγκη για λεπτομερή χαρακτηρισμό της περιοχής πριν την εφαρμογή της

Injection recovery



Η κατασκευή αποτελείται από δύο τμήματα:

- 1) Τμήμα εισαγωγής αέρα, θρεπτικών στοιχείων στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής που διαχέεται εντός της ρυπασμένης περιοχής αυξάνοντας την δραστηριότητα της μικροβιακής κοινότητας
- 2) Τμήμα ανάκτησης διαμέσου του οποίου αντλείται το υπόγειο νερό, μεταφέρεται σε συνδεδεμένο σε σειρά βιοαντιδραστήρα όπου υφίσταται παραπέρα διεργασία υπό αεροβικές συνθήκες και στην συνέχεια επαναπροστίθεται στο έδαφος για ανακύκλωση

Ex situ βιολογική απορρύπανση

Διεργασίες που περιλαμβάνουν ανασκαφή, απομάκρυνση και μεταφορά του εδάφους ή άλλων ρυπασμένων υποστρωμάτων για απορρύπανση σε ειδικά διαμορφωμένες κατασκευές που βρίσκονται σε άλλο σημείο της ίδιας περιοχής (*on site*) ή σε άλλες περιοχές (*off site*).

Χρήσεις: Χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η ρύπανση είναι εντοπισμένη σε συγκεκριμένα σημεία (*hot spots*) με υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων και συνήθως σε περιπτώσεις όπου η ρύπανση περιορίζεται στα επιφανειακά στρώματα



Ex situ βιολογική απορρύπανση

Πλεονεκτήματα

1. Ο έλεγχος των περιβαλλοντικών συνθηκών και της αποτελεσματικότητας της μεθόδου είναι εύκολος και άμεσος
2. Η προσθήκη εξωγενών μικροοργανισμών είναι πιο εύκολη και ασφαλής
3. Ταχύτερες διεργασίες από τις *in situ* μεθόδους



Ex situ βιολογική απορρύπανση

Μειονεκτήματα

1. Αυξημένο κόστος λόγω κόστους μεταφοράς και υψηλότερων απαιτήσεων για χρήση γης
2. Αυξημένος κίνδυνος δευτερογενούς ρύπανσης κατά την διάρκεια μεταφοράς των ρυπασμένων εδαφών ή άλλων περιβαλλοντικών υποστρωμάτων



Μέθοδοι *Ex situ* βιολογικής απορρύπανσης

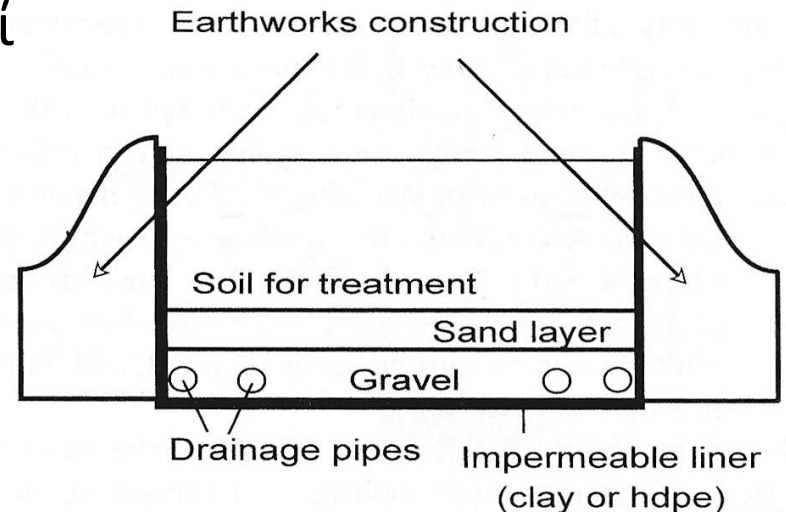
1. Land farming
2. Composting
3. Bio-pilling



1. Land-farming

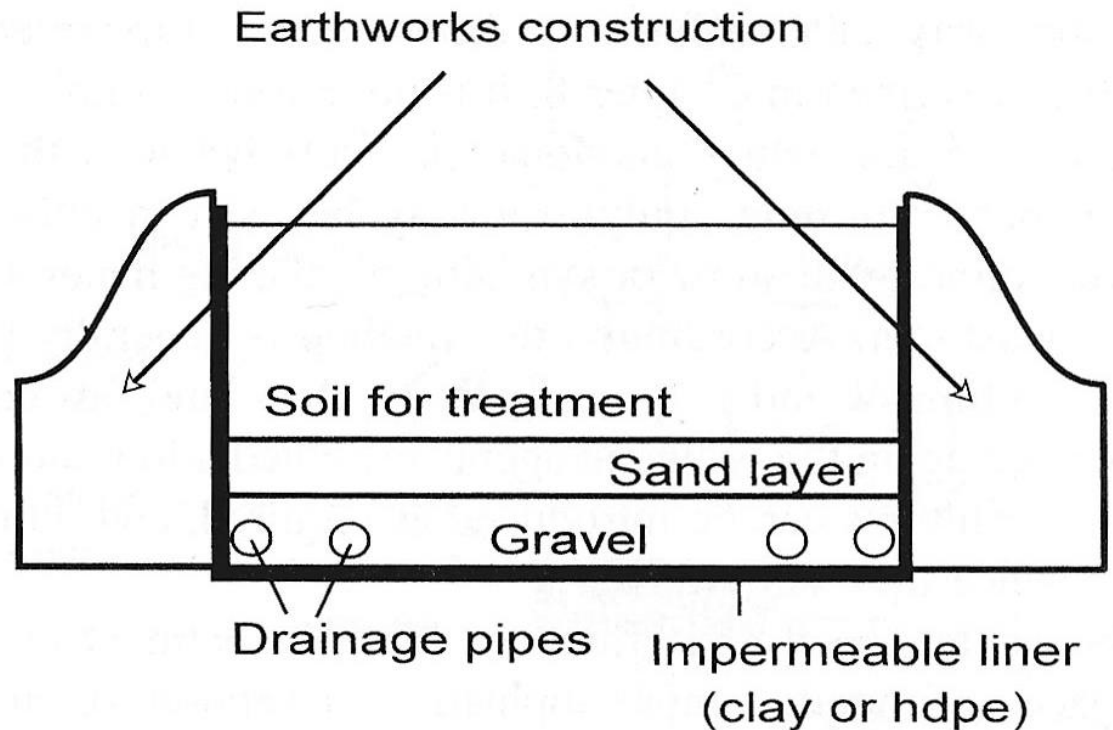
Συλλογή ρυπασμένου εδάφους, μεταφορά και τοποθέτηση του σε προκατασκευασμένες περιοχές. Προσθήκη θρεπτικών στοιχείων και αναμόχλευση του εδάφους για καλό αερισμό βελτιώνει τις συνθήκες για μικροβιακή αποδόμηση των οργανικών ρύπων

Το έδαφος στεγανοποιείται από τα περιβάλλοντα υλικά με πλαστικά ή αργιλικά στρώματα και τοποθετείται επί ενός στρώματος άμμου το οποίο με την σειρά του βρίσκεται επί ενός στρώματος χαλικιού στο οποίο είναι δυνατόν να τοποθετηθούν σωληνώσεις στράγγισης του συστήματος.



Land Farming

Κατά την διάρκεια της διεργασίας, η αποτελεσματικότητα της μεθόδου θα πρέπει να ελέγχεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και με το πέρας της διεργασίας το έδαφος μπορεί να επιστραφεί στην αρχική του θέση



2. Composting ή Κομποστοποίηση

Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει επάρκεια διαθέσιμης επιφάνειας γης

Το ρυπασμένο έδαφος αναμιγνύεται με τρίμματα ξύλου ή άχυρο και τοποθετείται σε μεγάλους σωρούς. Οι σωροί καλύπτονται με στρώμα άχυρου ή συνθετικό κάλυμμα ώστε να διατηρηθούν οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται εντός τους εδάφους αλλά και να αποφευχθεί έκπλυση των οργανικών ρύπων προς τα υποκείμενα εδαφικά στρώματα.



Κομποστοποίηση

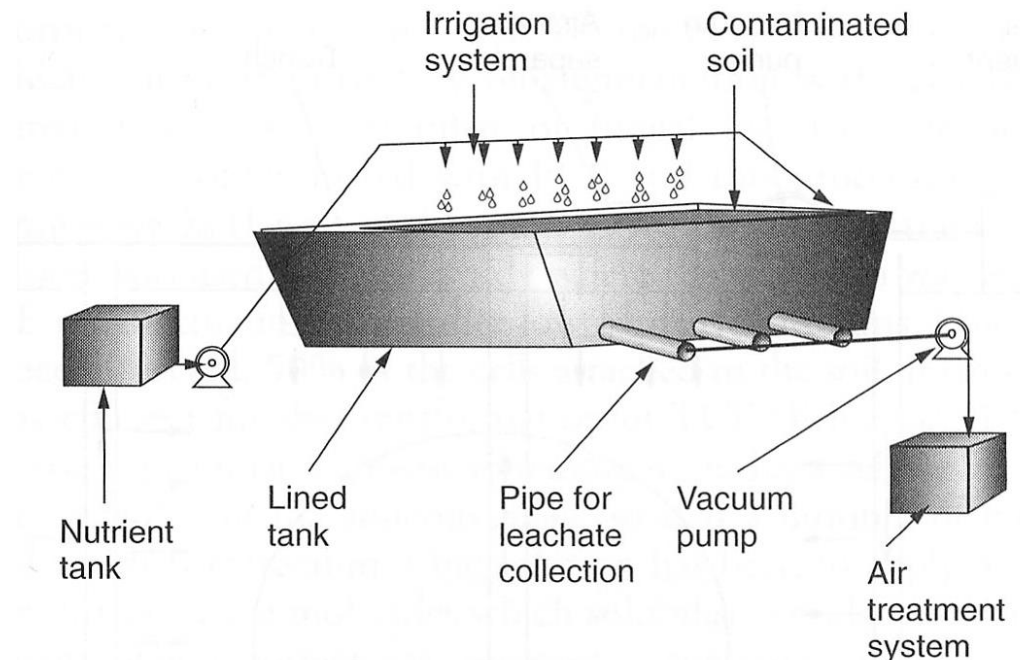
Η διεργασία αποδόμησης των ρύπων μπορεί να επιταχυνθεί με προσθήκη θρεπτικών στοιχείων και παροχή αέρα με στόχο την μεγιστοποίηση της μικροβιακής δραστηριότητας της ενδογενούς μικροχλωρίδας.

Η μέθοδος αυτή προτιμάται σε υγρά και ψυχρά κλίματα και είναι πιο γρήγορη διεργασία από το land farming.



3. Biopiling

Το ρυπασμένο έδαφος μεταφέρεται εντός δεξαμενής που είναι συνδεδεμένη με σύστημα αυτόματης άρδευσης και προσθήκης θρεπτικών στοιχείων σε υγρή μορφή. Η δεξαμενή περιέχει στον πυθμένα σωλήνες από τους οποίους συλλέγεται το εκπλυνόμενο υγρό



Biopilling

Πλεονεκτήματα

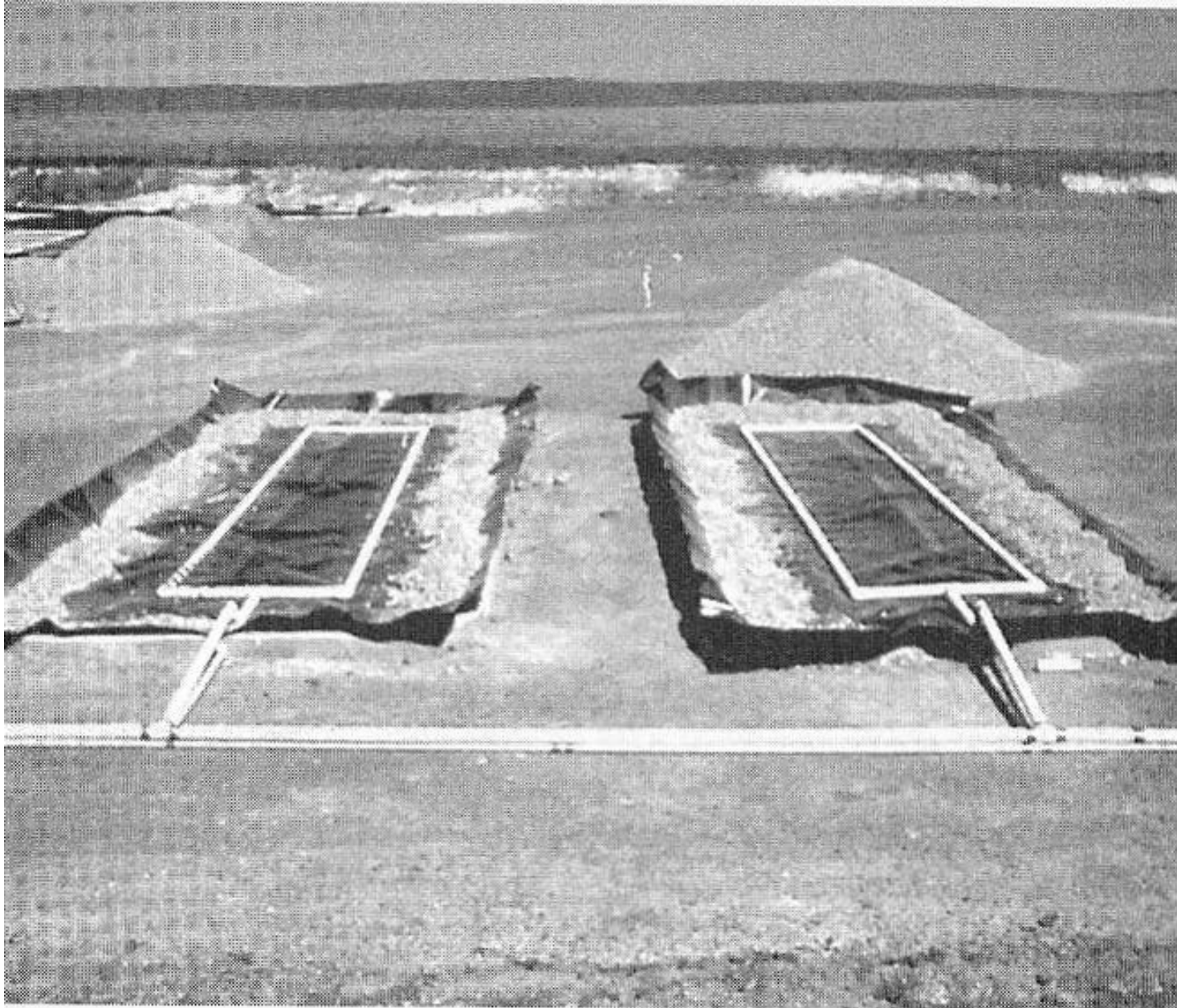
- Οι συνθήκες είναι δυνατόν να ελέγχονται με σχετική ευκολία
- Τα εκπλυνόμενα υγρά συλλέγονται και ανακυκλώνονται
- Ιδανικό σύστημα σε περιπτώσεις όπου η διαθέσιμη γη είναι περιορισμένη

Μειονεκτήματα

- Υψηλότερο κόστος



Προετοιμασία Βιοπilling



Παράδειγμα *ex situ* βιολογικής απορρύπανσης

Πραγματοποιήθηκε από την εταιρεία Ciba Geigy (SYNGENTA) στις ΗΠΑ

Η εταιρεία χρησιμοποίησε το συγκεκριμένο έδαφος για την απόρριψη αποβλήτων από την βιομηχανία παραγωγής γεωργικών φαρμάκων. Μετρήσεις στο έδαφος έδειξαν **συγκεντρώσεις τριαζινών και οργανοχλωριωμένων ρύπων που ξεπερνούσαν τα ανώτατα επιτρεπτά όρια** και συνεπώς έπρεπε να επεξεργασθούν με κάποιο τρόπο ώστε η εταιρεία να μπορέσει να χρησιμοποιήσει το έδαφος για οικοδομικούς σκοπούς

Παράδειγμα *ex situ* βιολογικής απορρύπανσης

Η εταιρεία αποφάσισε να απομακρύνει το έδαφος (19000 m³) και να εφαρμόσει βιολογική απορρύπανση με την βοήθεια της ενδογενούς μικροχλωρίδας αλλά ταυτόχρονα και εξωγενή βακτήρια με αποδομητική δράση θα προστεθούν στο έδαφος για να επιταχύνουν την διεργασία μεταβολισμού.

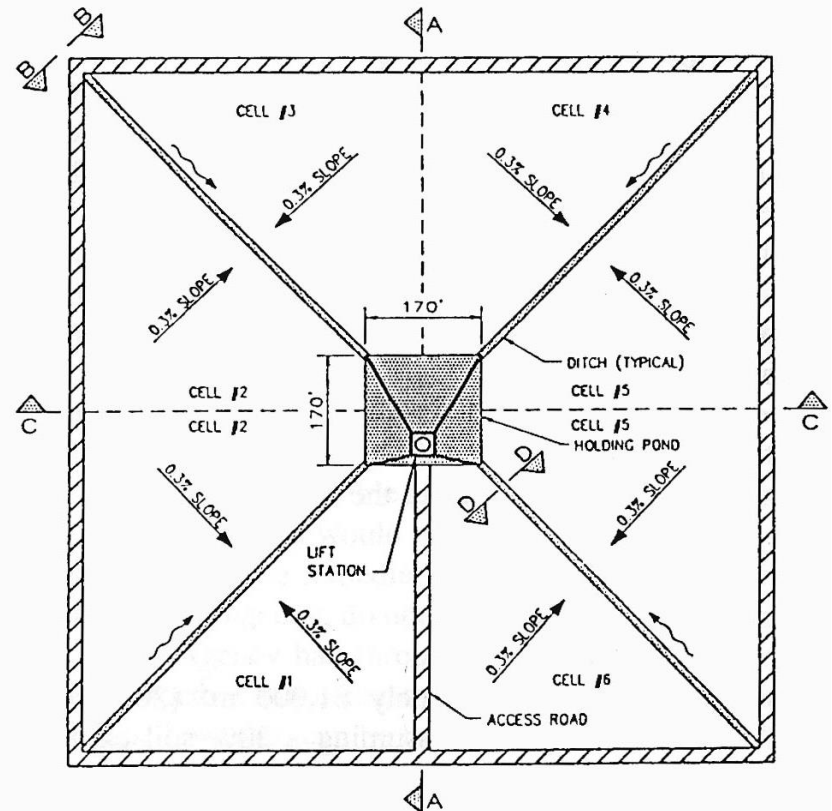


Βακτήρια με αυξημένη ικανότητα αποδόμησης atrazine και λοιπών τριαζινών απομονώθηκε από το ρυπασμένο έδαφος και μόλυσμα 10^9 - 10^{12} κύτταρα/ml παρασκευάστηκε

Το Biological Cleanup Unit (BCU, έκτασης 80 στρ.) προετοιμάστηκε και το έδαφος μεταφέρθηκε και τοποθετήθηκε εντός του BCU το οποίο ήταν διαχωρισμένο σε 6 τμήματα

Το μόλυσμα εφαρμόστηκε σταδιακά στα 6 τμήματα του BCU και ακολούθησε αναμόχλευση του εδάφους για βελτίωση του αερισμού και προσθήκη λιπάσματος πριν τον εμβολιασμό του εδάφους

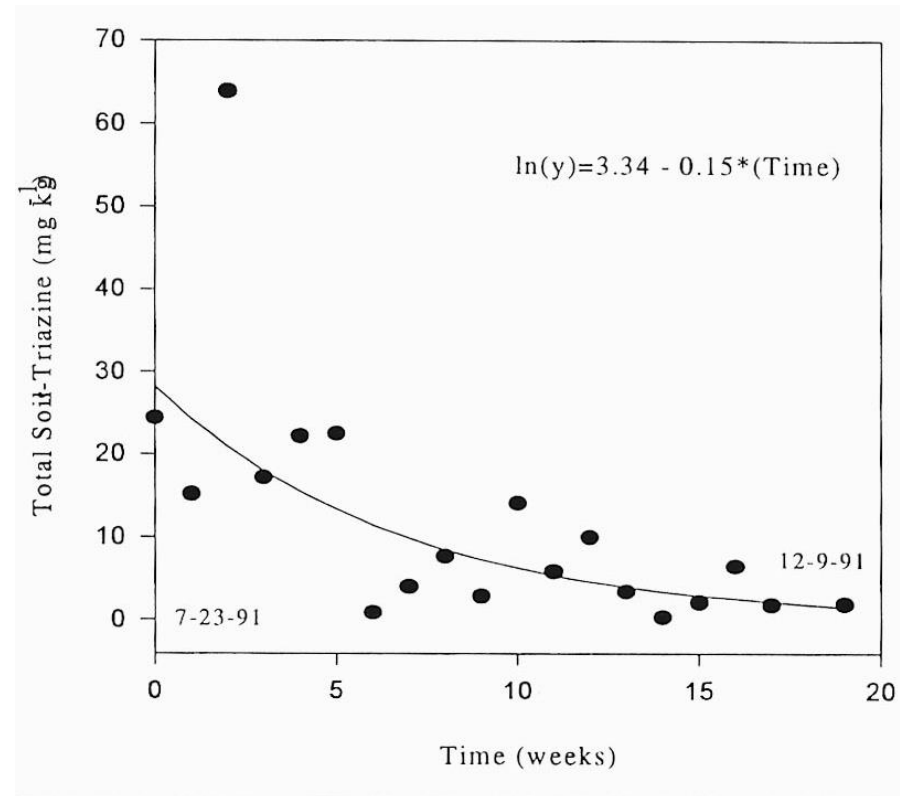
Η συγκεντρώσεις των ρύπων στο έδαφος παρακολουθήθηκαν κατά τις επόμενες 20 εβδ. με ανάλυση δειγμάτων εδάφους



Παράδειγμα *ex situ* βιολογικής απορρύπανσης

Συνεχείς μετρήσεις της συγκέντρωσης atrazine στο έδαφος έδειξαν σημαντική παραλλακτικότητα εντός του BCU αλλά γενικά παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της συγκέντρωσης του ρύπου που στο τέλος των 20 εβδ. μειώθηκε στα 10 mg/kg.

Το έδαφος στην συνέχεια επανατοποθετήθηκε στην περιοχή από όπου ανασκάφηκε χωρίς κανένα πρόβλημα πλέον.



Παράδειγμα *ex situ* βιολογικής απορρύπανσης

Κόστος Εφαρμογής

Το συνολικό κόστος για την απορρύπανση του εδάφους έφθασε το 1 εκατ. \$ το οποίο παρά το ότι ήταν υψηλότερο από όσο αρχικά είχε υπολογισθεί ήταν σημαντικά χαμηλότερο από τα 5.3 εκατ. \$ που θα στοίχιζε οποιαδήποτε άλλη μέθοδο



Βιολογική Απορρύπανση Αερίων

Τα βασικότερα αέρια που θεωρούνται οργανικοί ρύποι είναι:

- Πτητικά Οργανικά
- SO_2 , N_2O , NO
- CFCs
- Αέρια θερμοκηπίου όπως CO_2 , CH_4



Προέλευση Αέριων Ρύπων

- Τα πτητικά οργανικά από την εξάτμιση υδρογοναθράκων
- Τα SO_2 , N_2O , NO από καύση πετρελαίου και γαιάνθρακα που περιέχουν θειούχες και αζωτούχες ενώσεις
- Το CO_2 από την καύση συμβατικών καυσίμων



Βιολογική Απορρύπανση Αερίων

Η απομάκρυνση οργανικών πτητικών μορίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση **βιολογικών φίλτρων όπου οι μικροοργανισμοί διασπούν ή κατακρατούν πτητικά οργανικά μόρια**

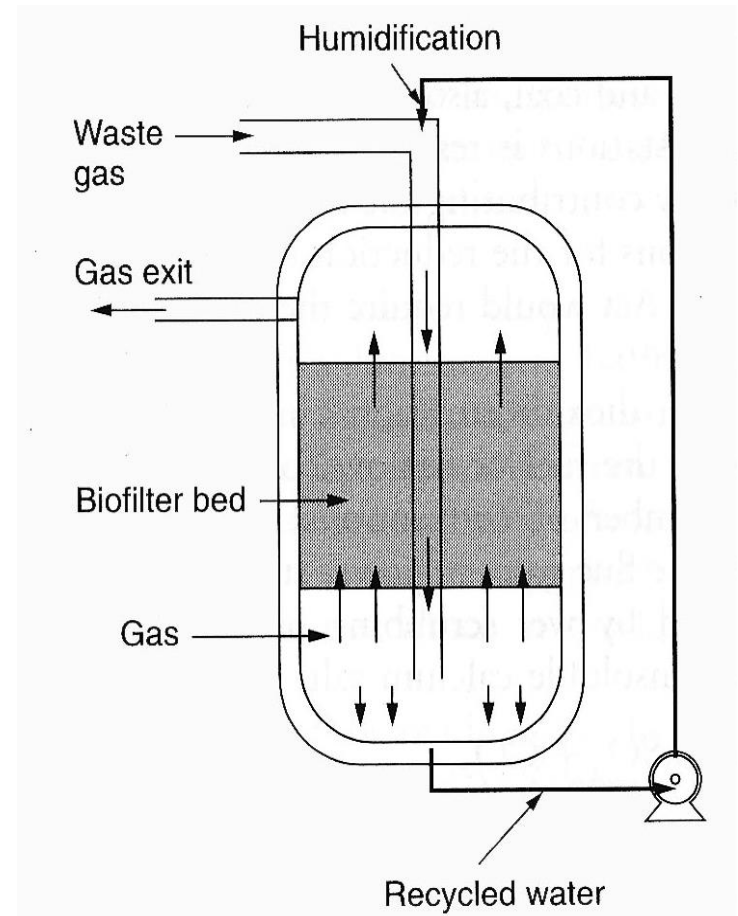
Η απλούστερη κατασκευή βιολογικού φίλτρου αερίων είναι η διοχέτευση του αέρα που περιέχει τους ρύπους διαμέσου στρώματος εδάφους (1 m πάχους) όπου οι μικροοργανισμοί του εδάφους αποδομούν τα αέρια καθώς περνούν διαμέσου του πορώδους του εδάφους



Βιολογική Απορρύπανση Αερίων

Πρόσφατες περισσότερο εξελιγμένες κατασκευές βιολογικών φίλτρων αέρα αντί εδάφους χρησιμοποιούν κάποιο αδρανές πορώδες υλικό όπως τύρφη, ξύλο ή πορώδες πλαστικό όπου και αναπτύσσονται τα βιοστρώματα των μικροοργανισμών.

Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών διατηρείται με την συνεχή παροχή θρεπτικών, υψηλής υγρασίας και θερμοκρασίας ενώ και το pH ελέγχεται ώστε να είναι ιδανικό για μέγιστη βιολογική δράση.



Βιολογική Απορρύπανση Αερίων

Τα συγκεκριμένα φίλτρα χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως για την επεξεργασία βιομηχανικών αερίων και μπορούν να απομακρύνουν διχλωρομεθάνιο, στιρένιο και τολουόλιο.

Τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες για την ενσωμάτωση βακτηρίων *Thiobacillus* σε φίλτρα για την απομάκρυνση H_2S από βιομηχανικά αέρια

