ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Η ΧΡΗΣΗ ΦΥΤΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Χ.Υ.Τ.Α.»



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΤΡΑΤΟΥΡΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΛΙΑΚΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή έγινε με σκοπό τη αντιμετώπιση ενός σημαντικού προβλήματος που ταλανίζει το σύγχρονο κόσμο. Το πρόβλημα αυτό είναι αποκομιδή των απορριμμάτων. Ποιο συγκεκριμένα θα αναφερθούμε στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί ένας τέτοιος χώρος να γίνει ξανά ένας χώρος πρασίνου με τη σωστή μελέτη και την κατάλληλη αποκατάσταση.

Ειδικότερα, θα αναλυθούν οι τρόποι διάθεσης απορριμμάτων καθώς και η διάθεση απορριμμάτων στην Ελλάδα στο πρώτο κεφάλαιο, στο επόμενο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις επιδράσεις των απορριμμάτων στο περιβάλλον και στις διαδικασίες οι οποίες επηρεάζουν την αποκατάσταση. Στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα φυτά που είναι καταλληλότερα για την φυτοκάλυψη του αναπλασθέντος χώρου, και με ποιους φυσικούς μηχανισμούς επιδρούν στην ανάπλαση του χώρου. Στο τελευταίο κεφάλαιο θα δούμε μερικά παραδείγματα αποκατάστασης χωματερών σε όλο τον κόσμο καθώς και τι ισχύει ως προς την αποκομιδή απορριμμάτων στον Ευρωπαϊκό χώρο.

Εισαγωγή

Το θέμα των απορριμμάτων είναι ένα από τα μεγαλύτερα που απασχολούν τις σύγχρονες κοινωνίες. Η συνειδητοποίηση της ανεξέλεγκτης αύξησης των απορριμμάτων διεθνώς, οδηγεί σε προσπάθεια εύρεσης λύσεων τόσο για την διαχείριση όσο και για τη μείωση της παραγωγής τους. Κάθε χρόνο παράγονται ανυπολόγιστες ποσότητες απορριμμάτων σε όλο τον κόσμο. Απορρίμματα διαφορετικού τύπου και διαφορετικής επικινδυνότητας για τη δημόσια υγεία. Μέχρι πριν λίγα χρόνια, μοναδικός προορισμός των σκουπιδιών ήταν το έδαφος στο οποίο και θα γινόταν η διαδικασία της αποσύνθεσης. Όμως η αλλαγή της σύστασης των απορριμμάτων καθώς και ο κορεσμός της γης, με τις γνωστές περιβαλλοντικές συνέπειες, θέτουν υπό αμφισβήτηση τις ως τώρα μεθόδους διαχείρισης και απαιτούν νέο σχεδιασμό που να μη βλάπτει το περιβάλλον.

Στο θέμα που αναπτύσσεται θα αναφερθούμε στους χώρους διάθεσης όπου καταλήγουν τα αστικά απορρίμματα. Η περίπτωση των αστικών απορριμμάτων απαιτεί συγκεκριμένου είδους διαχείριση και ορίζεται με ξεχωριστό τρόπο από την Ε.Ε. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι τα απορρίμματα που καταλήγουν κάθε μέρα στο περιβάλλον προέρχονται από διάφορες πηγές και διαχωρίζονται σε ακίνδυνα (αστικά, οικιακά κυρίως), επικίνδυνα και πολύ επικίνδυνα (τοξικά). Για τα επικίνδυνα και τα τοξικά υπάρχει ειδική διαχείριση (ορίζεται στο Νομοθετικό πλαίσιο της Ε.Ε. για τη διαχείριση Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων) καθώς η δίχως έλεγχο συσκευασία, μεταφορά και απόρριψη τους βάζει σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία και έχει όχι μόνο έμμεσες, αλλά και μακροχρόνιες δυσάρεστες συνέπειες για το περιβάλλον.

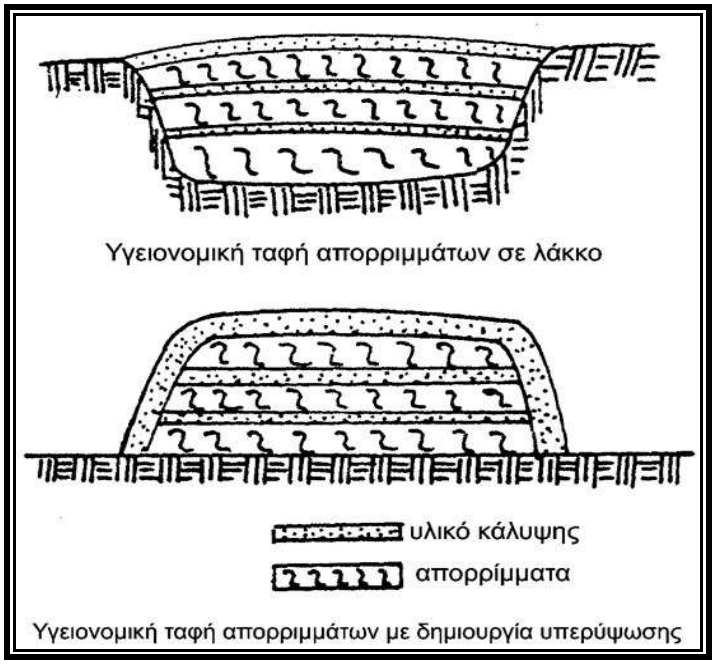
Η εργασία αυτή διαπραγματεύεται το θέμα των χώρων ταφής (υγειονομικής ή μη) απορριμμάτων και των συνεπειών για το περιβάλλον τόσο κατά τη λειτουργία τους όσο και κατά την περίοδο μετά την αποκατάστασή τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

1.1 Η διάθεση απορριμμάτων στις μέρες μας

Συχνά, περιοχές ορυχείων και εξαγωγής υλικών χρησιμοποιούνται ως χώροι απόθεσης απορριμμάτων, προμηθεύοντας τα μέσα της ανάπλασης του χώρου. Παρ' όλα αυτά, όπου τέτοιες κοιλότητες δεν είναι διαθέσιμες, είναι πιθανό τα απορρίμματα να αποθηκεύονται στην επιφάνεια του εδάφους και να χτίζεται, στη συνέχεια, ένας χώρος διάθεσης απορριμμάτων (Εικόνα 1). Η διάθεση των απορριμμάτων στο έδαφος αποτέλεσε σημαντική μέθοδο διαχείρισής τους, από τότε που η ποσότητά τους αυξήθηκε αρκετά.



Εικόνα 1. Τρόποι υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.

Το ποσοστό των αστικών απορριμμάτων που διατίθενται για ταφή στις Ευρωπαϊκές χώρες, φαίνεται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Ποσοστό των αστικών απορριμμάτων που διατίθενται για ταφή στις Ευρωπαϊκές χώρες (Ανδρεαδάκης, 2001-2002).

ΧΩΡΑ	% Ταφής	ΧΩΡΑ	% Ταφής	ΧΩΡΑ	% Ταφής	ΧΩΡΑ	% Ταφής
Ελλάδα	100	Ιταλία	80-85	Γερμανία	70	Βέλγιο	49
Ιρλανδία	100	Φιλανδία	78	Γαλλία	52	Αυστρία	48
Αγγλία	90	Ισπανία	74	Ολλανδία	52	Σουηδία	35
Δανία	15						

1.2 Τρόποι διάθεσης απορριμμάτων

1.2.1 Χωματερές

Ονομάζονται οι περιοχές όπου έχουν γίνει εκσκαφές ή έχει χρησιμοποιηθεί η μορφολογία του εδάφους (μεγάλες κοιλότητες, πλαγιές) προκειμένου να ριχτούν τα απορρίμματα και κατόπιν να καλυφθούν με χώμα για να γίνει η αποσύνθεσή τους.

Σε αυτήν την περίπτωση, τα απορρίμματα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης που γίνεται μετά την ταφή, απελευθερώνουν ανεξέλεγκτα τα υγρά αποστράγγισης καθώς και το βιοαέριο στο έδαφος και τον αέρα. Συνέπειες αυτής της κατάστασης είναι η μεγάλη μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα, δυσοσμία και υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Γενικά χωματερές ονομάζουμε όλους τους χώρους όπου γίνεται ταφή απορριμμάτων, χωρίς να έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας του εδάφους, Συνήθως με αυτόν τον όρο αναφερόμαστε για τις περιοχές ανεξέλεγκτης διάθεσης σκουπιδιών.

1.2.2. ΧΩΡΟΙ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ (ΧΥΤΑ)

Είναι εγκαταστάσεις στις οποίες χρησιμοποιείται πάλι η μέθοδος της ταφής μόνο που είναι σχεδιασμένες για να δεχθούν απορρίμματα. Ανάλογα με το είδος των απορριμμάτων διαμορφώνεται και ο χώρος.

Σε γενικές γραμμές αποτελούνται από στεγανές κυψέλες που δημιουργούνται στο έδαφος. Στον πυθμένα της κάθε κυψέλης τοποθετείται συμπιεσμένη άργιλος, στη συνέχεια αδιαπέραστη μεμβράνη (κατά περίπτωση μπορεί να είναι και δύο στρώσεις) στην οποία καταλήγουν τα υγρά αποστράγγισης. Τα υγρά αποστράγγισης διοχετεύονται μέσα από αγωγούς μακριά από το έδαφος για να αποφευχθεί η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και του εδάφους. Κατόπιν τα υγρά αυτά περνούν από διεργασίες απορρύπανσης πριν επιστρέψουν στο έδαφος. Για την απομάκρυνση των βιοαερίων που παράγονται κατά την αποσύνθεση των απορριμμάτων, τοποθετούνται συλλέκτες (καμινάδες) εκτόνωσής τους.

Στις περιοχές των ΧΥΤΑ υπάρχουν χώροι ελέγχου και εκμετάλλευσης του βιοαερίου. Η ενεργειακή εκμετάλλευση του βιοαερίου εξαρτάται από την ποσότητα του και αναλόγως μπορεί να παραχθεί ενέργεια αρκετή για να καλύψει πολλές ανάγκες. Υπάρχουν περιπτώσεις εργοστασίων απορριμμάτων, όπου ισχύει ο κλειστός ενεργειακός κύκλος, δηλαδή οι ενεργειακές απαιτήσεις του εργοστασίου καλύπτονται από την παραγωγή του βιοαερίου.

Οι ΧΥΤΑ αποτελούν σαφώς καλύτερη μέθοδο διαχείρισης των απορριμμάτων από τις χωματερές, διότι είναι μια πιο ελεγχόμενη και σχεδιασμένη εκδοχή αυτών.

1.2.3. Εργοστάσια καύσης απορριμμάτων

Η καύση μικτών απορριμμάτων (οργανικών και ανόργανων) είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται και προϋποθέτει σωστή λειτουργία και έλεγχο του εργοστασίου που την πραγματοποιεί, επειδή στα μικτά απορρίμματα ενδέχεται να περιέχονται υλικά που κατά την καύση τους ελκύουν επικίνδυνες και τοξικές ουσίες. Η μέθοδος αυτή είναι επικίνδυνη και χρειάζεται πολύ αυστηρή επιτήρηση για να μην υπάρξουν δυσάρεστες συνέπειες για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία.

Στην περίπτωση που έχει προηγηθεί διαχωρισμός απορριμμάτων σε οργανικά και σε ανόργανα, η καύση οδηγεί σε καθαρή στάχτη που είναι ακίνδυνη. Η καύση των οργανικών αποβλήτων είναι μια διαδικασία ακίνδυνη για το περιβάλλον διότι ουσιαστικά επιταχύνει τη διεργασία που θα γινόταν με την ταφή (σε ΧΥΤΥ δηλ. χώρο υγειονομικής ταφής υπολειμμάτων), χωρίς να «θυσιαστεί» κομμάτι γης για αυτόν τον σκοπό και χωρίς τοξικά παράγωγα. Για να είναι ολοκληρωμένο ένα σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο θα πρέπει να συνδυάζεται με πρόγραμμα ανακύκλωσης ανόργανων υλικών.

1.2.4. Ανακύκλωση

Η ανακύκλωση είναι η μέθοδος κατά την οποία τα ανόργανα απόβλητα περνάνε από διαλογή ανάλογα με τη σύστασή τους και κατόπιν προωθούνται είτε σε επεξεργασία, σαν υλικά, είτε σαν επαναχρησιμοποίηση από τους προμηθευτές τους. Για να επιτευχθεί αυτό χρειάζεται να υπάρχει οργανωμένο δίκτυο διαχείρισης των απορριμμάτων, το οποίο σημαίνει δύο πράγματα:

1. Διαχωρισμό απορριμμάτων στην πηγή. Κάδοι για αλουμίνιο, γυαλί, χαρτί, συσκευασίες, μέταλλα διάφορα τα οποία κάθε δήμος πρέπει να τοποθετεί και να ενημερώνει τους πολίτες για το πώς πρέπει να διαχωρίζουν τα απορρίμματα.
2. Διαχωρισμό απορριμμάτων σε εργοστάσιο. Σε αυτή την περίπτωση οι πολίτες τοποθετούν σε έναν κάδο όλα τα παραπάνω ήδη απορριμμάτων, τα οποία διαχωρίζονται στο εργοστάσιο.

Αφού γίνει ο διαχωρισμός, το κάθε ένα από τα παραπάνω υλικά οδηγείται για ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση ανάλογα με τις προδιαγραφές διαχείρισης του.

Τα υπολείμματα των τροφών γίνονται κομπόστα είτε με ταφή είτε μέσα σε βιο-αντιδραστήρα.

Διάφορα άλλα απορρίμματα όπως μπαταρίες, ηλεκτρολογικό υλικό (καλώδια, λαμπτήρες κτλ) κ.α. έχουν διαφορετικό τρόπο διαχείρισης-ανακύκλωσης και δεν στέλνονται (μέχρι σήμερα) σε εργοστάσια διαλογής και διαχείρισης αστικών αποβλήτων αλλά επιστρέφονται στους προμηθευτές τους οι οποίοι και τα διαχειρίζονται καταλλήλως.

1.3 Διάθεση απορριμμάτων στην Ελλάδα

Ο τρόπος διάθεσης των απορριμμάτων στην Ελλάδα σήμερα, προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον ενώ μπορεί να αποτελέσει και κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Η κύρια πρακτική διάθεσης που εφαρμοζόταν μέχρι πρόσφατα, και σε ένα βαθμό εξακολουθεί να εφαρμόζεται είναι η εξής: Σε χιλιάδες χωριά και πόλεις γίνεται ανεξέλεγκτη ή ημιελεγχόμενη απόρριψη απορριμμάτων σε ανοικτούς χώρους, χαράδρες και ρέματα, με βασικό, αν όχι μοναδικό, κριτήριο την πραγματοποίηση αυτής της απόρριψης μακριά από κατοικημένες περιοχές. Το φαινόμενο της βόσκησης ζώων σε τέτοιους χώρους είναι δυστυχώς πολύ συνηθισμένο.

Επίσης υπάρχουν ακόμη εκατοντάδες εγκεκριμένοι χώροι οι οποίοι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους δεν πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Το πρόβλημα με τη διάθεση των απορριμμάτων δεν αφορά μόνο στις παράνομες – ανεξέλεγκτες χωματερές, αλλά ακόμα και στους οργανωμένους ΧΥΤΑ, αφού σε μεγάλο ποσοστό οι ΧΥΤΑ λειτουργούν ανεπαρκώς, κυρίως λόγω ελλιπούς τεχνικής κατάρτισης του προσωπικού, αλλά και σκόπιμης παραβίασης των κανόνων λειτουργίας τους. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια σημαντική στροφή στη νομοθεσία, τις κατευθύνσεις και την πρακτική διαχείρισης των απορριμμάτων. Η ορθολογική διαχείριση των αποβλήτων έχει αναδειχθεί σε μία από τις βασικές προτεραιότητες της εθνικής περιβαλλοντικής πολιτικής, η οποία έχει υιοθετήσει τις βασικές αρχές της αειφόρου διαχείρισης: μείωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ασφαλής διάθεση.

Έχει ξεκινήσει λοιπόν μια μεγάλη προσπάθεια κλεισίματος και αποκατάστασης των παλαιών χωματερών και δημιουργίας νέων ΧΥΤΑ, οι οποίοι θα πληρούν τις πιο σύγχρονες προδιαγραφές. Οι ΧΥΤΑ που κατασκευάζονται σήμερα

στην Ελλάδα είναι εξοπλισμένοι με σύγχρονα συστήματα συλλογής και επεξεργασίας των στραγγισμάτων και του βιοαερίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΜΑΤΕΡΩΝ

2.1 Οι επιδράσεις των απορριμμάτων

Οι επιδράσεις των απορριμμάτων διακρίνονται σε βιογενείς (όταν το αίτιο είναι παθογόνοι μικροοργανισμοί, μύκητες, βακτήρια) και μη βιογενείς (οπτική ρύπανση, βιοαέρια, ανάφλεξη, στραγγίδια). Οι κίνδυνοι που υπάρχουν εξετάζονται από τη σκοπιά της δημόσιας υγείας, της αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον και της επιδημιολογίας.

2.1.1. Βιογενείς

Οι οσμές και οι δυσοσμίες αποτελούν προϊόντα της συσσώρευσης και μαζικής εναπόθεσης και παραμονής των στερεών απορριμμάτων για μακρύ χρονικό διάστημα. Αυξημένη είναι η παραγωγή οσμών στα θερμά κλίματα. Η παραγωγή των οσμών αποτελεί προϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης (χωρίς την παρουσία αέρα και κυρίως οξυγόνου) των οργανικών συστατικών.

Πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μια, στείρα μικροβίων, οργανική ύλη, σε θερμό περιβάλλον, μπορεί να μετατραπεί σε δυνητικά θανατηφόρα πηγή τοξικών ή παθογόνων οργανισμών. Οι οργανισμοί δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται εξ' αρχής στο υλικό διότι το περιβάλλον είναι καλά εφοδιασμένο με βακτήρια, ιούς, έντομα που αναζητούν το κατάλληλο υπόστρωμα πάνω στο οποίο θα πολλαπλασιαστούν. Γι’ αυτό στη δημόσια υγιεινή ουσιαστικό παράγοντα αποτελεί η αντοχή των διαφόρων μικροοργανισμών όταν βρεθούν στα απορρίμματα. Αρκετοί από αυτούς μπορούν να επιζήσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα οι σαλμονέλες τύφου βρέθηκαν να αντέχουν 4-115 ημέρες, ενώ για την αμοιβάδα βρέθηκε ότι διατηρείται στα στερεά υπολείμματα 40-48 μέρες.

Βλέπουμε έτσι ότι τα απορρίμματα από πλευράς Δημόσιας υγιεινής δεν συνιστούν άμεσο κίνδυνο. Η απλή παρουσία και μόνο των βασικών παθογόνων μικροοργανισμών στα στερεά απορρίμματα δεν είναι αρκετή ώστε να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο για την υγεία. Η ευθύνη για την μετάδοση των ασθενειών πρέπει να αποδοθεί σε μύγες, κουνούπια και ποντικούς. Στην Ελλάδα και σε όλες τις χώρες με ζεστό καλοκαίρι το πρόβλημα των μυγών είναι ιδιαίτερα οξυμμένο στην περίπτωση

της επιφανειακής εναπόθεσης απορριμμάτων. Οι μύγες θέλουν περίπου δύο εβδομάδες ν' αναπτυχθούν σε τέλεια έντομα από τη στιγμή της εναπόθεσης των αυγών τους. Εάν οι μύγες βγουν από το στάδιο της λάρβας είναι πολύ δύσκολο να καταπολεμηθούν.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανάπτυξης εντόμων, μυγών και τρωκτικών στους χώρους αποθήκευσης και διάθεσης των απορριμμάτων υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις επεξεργασίας τους. Μια λύση είναι η συμπίεση. Σχετικά υψηλή συμπίεση (πυκνότητα γύρω στα 540kgr/m^3) μειώνει τις περισσότερες σχισμές και κενά στα οποία τα έντομα προτιμούν να αφήνουν τα αυγά τους, μειώνει την απαιτούμενη για διάθεση επιφάνεια και μειώνει την είσοδο όμβριων υδάτων, αφήνοντας την επιφάνεια στεγνή, χωρίς την απαραίτητη υγρασία και οργανική ουσία που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη της μύγας.

Μια δεύτερη προσέγγιση περισσότερο επιθυμητή είναι να καλύπτονται τα απορρίμματα το πολύ σε δύο ημέρες από την απόρριψη έτσι ώστε π.χ. η λάρβα της μύγας να μην έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε τέλειο έντομο (χρόνος 2-3ημέρες). Μια τρίτη προσέγγιση αφορά στον τεμαχισμό των απορριμμάτων που βέβαια αυξάνει την επιφάνεια και την πυκνότητα τους. Επίσης, η ενέργεια που παράγεται ανεβάζει τη θερμοκρασία μέσα στη μάζα των απορριμμάτων. Η άνοδος αυτή μπορεί να ξεπεράσει τους 50^oC ανάλογα με τις συνθήκες και την αρχική θερμοκρασία της μάζας. Το γεγονός αυτό έχει μεγάλη υγειονομική σημασία γιατί τα περισσότερα κοινά παθογόνα και παράσιτα δεν αντέχουν σε τέτοιες θερμοκρασίες.

2.1.2 Μη βιογενείς

2.1.2.1 Πυρκαγιές

Ιδιαίτερα θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι «ανεξέλεγκτες» χωματερές αποτελούν μια από τις μεγαλύτερες εστίες κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών, καταστρεπτικών για τις παρακείμενες περιοχές, όπου συχνά υπάρχει και το στοιχείο του πιθανού εμπρησμού. Σύμφωνα με στοιχεία της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας, από το 2000 έως και το 2005 περίπου 18.000 στρέμματα αγροτοδασικών εκτάσεων κάηκαν εξαιτίας πυρκαγιών που ξέσπασαν σε γειτονικές χωματερές. Η αλήθεια είναι, βέβαια, ότι τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται συντονισμένη προσπάθεια της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας με τους ΟΤΑ για τον περιορισμό του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών στις χωματερές. Τα στατιστικά στοιχεία της Πυροσβεστικής μάλιστα επιδεικνύουν μείωση του αριθμού των πυρκαγιών που εκδηλώνονται σε

χωματερές, όσο και στις γειτονικές τους εκτάσεις. Έτσι, ενώ το 2000 είχαν ξεσπάσει 735 πυρκαγιές από σκουπιδότοπους και είχαν καεί 5.291 στρέμματα, το 2005 προκλήθηκαν 399 πυρκαγιές από σκουπιδότοπους, οι οποίες έκαψαν 554 στρέμματα.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο κίνδυνος αυτανάφλεξης και κατ' επέκταση η εκδήλωση πυρκαγιάς.



Εικόνα 2 και 3. Κίνδυνος αυτανάφλεξης.

2.1.2.2 Τοξίνες-Βιοαέρια

Σύμφωνα με τα στοιχεία για τις παράνομες και «ανεξέλεγκτες» χωματερές που παραθέτει η Greenpeace, οι περίπου 5.000 χωματερές στην Ελλάδα αποτελούν τη μεγαλύτερη γνωστή πηγή διοξινών στη χώρα. Η Greenpeace εκτιμά ότι 47,7 – 920gr

διοξίνης παράγονται κάθε χρόνο από ανεξέλεγκτες φωτιές σε χωματερές στην Ελλάδα. Η ποσότητα αυτή, αν και ακούγεται μικρή, είναι εκατοντάδες χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από την ποσότητα διοξίνης που προκάλεσε πριν λίγα χρόνια το διατροφικό σκάνδαλο στο Βέλγιο.

Παράλληλα επισημαίνει τον άμεσο κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων ή παροικούντων δίπλα σε φλεγόμενες χωματερές, αφού ο αέρας που εισπνέουν περιέχει διοξίνες σε συγκεντρώσεις έως και πέντε φορές μεγαλύτερες από το ανώτατο όριο εκπομπών για εργοστάσια καύσης αποβλήτων και προτείνει άμεσα μέτρα για τη μείωση των πηγών χλωρίου στα απορρίμματα (όπως είναι τα πλαστικά PVC), που αποτελούν την κύρια αιτία έκλυσης διοξινών από τα καιγόμενα σκουπίδια. Χιλιάδες τόνοι πλαστικών PVC καταλήγουν κάθε χρόνο στις χωματερές (με τη μορφή φιαλών νερού, σωλήνων, δαπέδων, καλωδίων, μουσαμάδων, κ.τ.λ.). Επιπλέον, όπως έδειξαν πρόσφατες σχετικές μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το PVC που καταλήγει στις χωματερές, υφίσταται μια φυσιολογική φθορά, που έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση των πρόσθετων που περιέχει στο περιβάλλον. Τα πρόσθετα αυτά είναι τοξικά μέταλλα και διάφοροι πλαστικοποιητές. Κάποια από τα πρόσθετα είναι ενδοκρινικοί αποδιοργανωτές, μπορούν δηλαδή να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στο αναπαραγωγικό σύστημα. Η ποσότητα διοξινών που εκτιμάται ότι εκλύεται από τις καιγόμενες χωματερές, είναι 795-15.333 δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από το κατώτατο όριο ημερήσιας απόληψης διοξινών που θεωρεί ως σχετικά ανεκτό η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας. Είναι χαρακτηριστικό ότι στις μόνες γνωστές μετρήσεις που έχουν γίνει για διοξίνες σε χωματερές στην Ελλάδα (και πιο συγκεκριμένα στη χωματερή του Κουρουπητού), οι συγκεντρώσεις διοξινών στο χώρο της χωματερής ήταν 572 φορές μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες που ανιχνεύτηκαν σε απομακρυσμένη γεωργική γη που δεν επηρεάζεται από τη χωματερή. Είναι αναμενόμενο λοιπόν οι χωματερές να λειτουργούν σαν τοξικές «βόμβες» στο περιβάλλον.

2.1.2.3 Στραγγίδια

Τα στραγγίσματα των απορριμμάτων περνούν στο έδαφος και τους υδροφόρους ορίζοντες και από εκεί στα ζώα που βόσκουν ή πίνουν νερό από την περιοχή. Όλα τα βασικά είδη διατροφής (γάλα, λάδι, αβγά και κρέας) που παράγονται σε ακτίνα ακόμη και 6km από τις ανεξέλεγκτες χωματερές γίνονται «φορείς» των χημικών αυτών ουσιών (διοξίνες), τις οποίες μεταφέρουν μέσω της τροφικής

αλυσίδας στον άνθρωπο. Σε πολλές περιπτώσεις μάλιστα, οι ποσότητες είναι δέκα και δώδεκα φορές πάνω από τα επιτρεπτά όρια. Στον ανθρώπινο οργανισμό, τα τοξικά αυτά δηλητήρια λειτουργούν συσσωρευτικά και μπορούν μακροχρόνια να προκαλέσουν σοβαρές ασθένειες, όπως ο καρκίνος. Ο πιο ύπουλος τρόπος προσβολής της ανθρώπινης υγείας είναι μέσω της τροφικής αλυσίδας. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι 80-90% των διοξινών, των κλοφέν και των άλλων επικίνδυνων χημικών ουσιών εισέρχονται στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της τροφής και του νερού.

2.1.2.4 Βαρέα μέταλλα

Μια άλλη παράμετρος που πρέπει και αυτή να ληφθεί σοβαρά υπόψη για την εξάλειψη των χωματερών είναι η τοξική απειλή από οικιακές συσκευές που, αντί να ανακυκλώνονται, καταλήγουν σε σκουπιδότοπους όπου κάθε χρόνο συσσωρεύονται 200 τόνοι μόλυβδου, 150 κιλά υδραργύρου, 850 κιλά καδμίου, 200 κιλά βηρυλλίου και 25 τόνοι αντιμονίου. Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο αποσύρονται 200.000 τόνοι ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Τοξικές ουσίες - ύποπτες και για καρκινογενέσεις - που όμως δεν συλλέγονται όταν οι ηλεκτρικές συσκευές καταστρέφονται, με αποτέλεσμα να συσσωρεύονται στους σκουπιδότοπους, εγκυμονώντας κινδύνους για το περιβάλλον και τους πολίτες. Από το 2002, έχουν καταλήξει συνολικά στις χωματερές (όπως προκύπτει από έρευνα του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών - Τομέας Υδραυλικής και Περιβαλλοντικής Μηχανικής) πολύ μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών: περίπου 1.204 τόνοι μόλυβδου, 1 τόνος υδραργύρου, 5,6 τόνοι καδμίου, 181 τόνοι αντιμονίου και 1,3 τόνοι βηρυλλίου.

Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι κάθε χρόνο αποσύρονται περίπου 200.000 τόνοι ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Ποσότητα η οποία, όπως τονίζουν οι ερευνητές, είναι τεράστια και η οποία διαρκώς αυξάνεται. Συνεπώς είναι αναγκαία η συλλογή και διαχείριση των επικινδύνων ουσιών που εμπεριέχονται στις εν λόγω συσκευές. Ακόμα κι αν επιτευχθεί ο στόχος της συλλογής επικίνδυνων ουσιών από τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές - κάτι απίθανο, αφού δεν λαμβάνεται κανένα ειδικό μέτρο - η παρουσία των ουσιών αυτών θα μειωθεί μεν κατά 58% από τις χωματερές, ωστόσο περισσότεροι από 79 τόνοι μόλυβδου θα εξακολουθήσουν να παραμένουν στους σκουπιδότοπους. Από τα πορίσματα σχετικής μελέτης που εκπόνησε το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του ΑΠΘ (Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής) σε νοικοκυριά αλλά και σε καταστήματα ηλεκτρονικών, προκύπτει ότι μεγάλη μερίδα των συσκευών αυτών

καταλήγουν απευθείας στα σκουπίδια. Τέσσερις στις δέκα ηλεκτρικές συσκευές μεγάλου μεγέθους οδηγούνται κατευθείαν στις χωματερές. Περίπου τρεις στις δέκα «δωρίζονται» από τους καταναλωτές σε άλλους καταναλωτές, δύο στις δέκα απλώς αποθηκεύονται και μόνο μία στις δέκα πωλείται σε εμπόρους μετάλλου. Σε ότι αφορά τις συσκευές τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού (κινητά, υπολογιστές), όπως δείχνει η έρευνα, περίπου 20% εξ αυτών «οδηγούνται» από τους καταναλωτές στα σκουπίδια και, έπειτα, στις χωματερές. Περίπου 40% των συσκευών επαναχρησιμοποιούνται και σε ποσοστό 40% αποθηκεύονται.

Ακόμα πιο απογοητευτική είναι η εικόνα στις μικρές ηλεκτρικές - ηλεκτρονικές συσκευές (ηλεκτρικά σίδερα, πιστολάκια, σκούπες, σταθερά τηλέφωνα, πλυντήρια πιάτων): η συντριπτική πλειονότητά τους, γύρω στο 80%, καταλήγει στις χωματερές. Οι συσκευές εξακολουθούν έως σήμερα να έχουν την ίδια «πορεία», καταλήγουν στις χωματερές μετά το τέλος της «ζωής» τους. Ωστόσο, το ενθαρρυντικό είναι, ότι «το σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης ηλεκτρονικών αποβλήτων δεν είναι πλέον «στα χαρτιά», αλλά υλοποιείται-βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη. Η εναπόθεση των συσκευών στις χωματερές όμως εγκυμονεί κινδύνους, αφού αρκετές απ' αυτές εμπεριέχουν επικίνδυνα υλικά, όπως οι οθόνες των παλαιών υπολογιστών είναι ιδιαίτερα τοξικές εάν σπάσουν, καθώς εμπεριέχουν μόλυβδο που είναι τοξικός.

2.2 Η τελική αποκατάσταση των χώρων διάθεσης απορριμμάτων

Η αποκατάσταση των χώρων διάθεσης είναι ο καλύτερος τρόπος για να αποκτηθεί ξανά η κλονισμένη εμπιστοσύνη του κοινού για τις χωματερές. Είναι επιθυμητό και λιγότερο δαπανηρό να γίνεται ο σχεδιασμός των έργων αποκατάστασης στην αρχή, κατά τη σύνταξη της μελέτης οργάνωσης και λειτουργίας ενός νέου χώρου διάθεσης.

Η μελέτη αποκατάστασης του χώρου πρέπει να αποτελεί ένα ολοκληρωμένο μέρος του σχεδιασμού της λειτουργίας του χώρου διάθεσης και να ικανοποιεί τις περιβαλλοντικές ανάγκες της περιοχής, με επιδίωξη το βέλτιστο κόστος. Η εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης του χώρου, απαιτεί τη συνεργασία αρκετών ειδικοτήτων επιστημόνων.

Αντικείμενο της μελέτης αποκατάστασης πρέπει να είναι η τελική μορφή και οι χρήσεις των χώρων διάθεσης. Αρχικά είναι απαραίτητο να εξετασθεί η επιθυμητή

μεταγενέστερη χρήση και να τεθούν οι κατώτεροι γενικοί στόχοι:

- Η αποκατάσταση του τοπίου και η επιδίωξη βελτίωσης της αρχικής κατάστασης.
- Η διακοπή της διασποράς ρύπων στο περιβάλλον.
- Η δημιουργία ευελιξίας για μελλοντικές χρήσεις γης.
- Η δημιουργία ενός τοπίου που να ταιριάζει με το περιβάλλον του.
- Η αποκατάσταση ενός ισορροπημένου οικοσυστήματος, ανάπτυξη πανίδας και χλωρίδας.
- Πιθανά έσοδα από τη χρήση.

Το σχέδιο αποκατάστασης που θα προδιαγράφει μία ή περισσότερες χρήσεις για τον χώρο διάθεσης, δεν πρέπει να είναι πολύ λεπτομερές, μιας και κατά τη διάρκεια ζωής μίας χωματερής, που συχνά υπερβαίνει τα 20 χρόνια, οι συνθήκες και οι απαιτήσεις, σχεδόν σίγουρα, θα αλλάξουν.

Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί γίνονται συγκρίσεις των προβλημάτων που παρουσιάζονται κατά την επιλογή μιας χρήσης για την αποκατάσταση μίας χωματερής.

Πίνακας 2. Προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την επιλογή μιας χρήσης για την αποκατάσταση μίας χωματερής (Κόλλιας, 1993).

Προβλήματα	Χρήση μετά το τελείωμα του χώρου διάθεσης								
	Διαμονή	Ελαφριά βιομ/νία	Καλλιέργεια	Βοσκή	Σπορ	Αναψυχή	Δάσος	Δημόσια έκταση	Άγρια φύση
Καθίζηση	1	1	1	3	1	2	4	4	4
Υγρά απορριμμάτων	1	2	1	2	2	3	3	2	4
Αέρια	1	2	1	2	1	3	2	3	4
Μόλυνση	1	3	1	2	3	3	3	3	3
Παράσυρση ελαφρών απορριμμάτων	1	2	1	2	1	2	4	2	4
Ανάπτυξη φυτών	1	4	1	2	2	4	3	3	4
Αντοχή εδάφους	1	4	2	3	1	3	4	2	4
Προφίλ εδάφους	1	4	1	4	2	4	4	4	4
Σύνολο Βαθμών	8	22	9	20	13	24	27	23	31

1= Μέγιστη σημασία. Ακόμη και μικρά ποσά έχουν σοβαρές συνέπειες.
2= Ενδιαφέρουσα η εξέταση – Μικρά ποσά μπορεί να γίνουν ανεκτά (μερικά).
3= Ελάχιστη σημασία. Δεν συμβαίνει να έχει σοβαρές συνέπειες.
4= Ανάγκη εξέτασης ή ελέγχου. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις θα έχει ενδιαφέρον.
Σύνολο βαθμών: Χαμηλό= Μεγάλο κόστος, Υψηλό= Χαμηλό κόστος

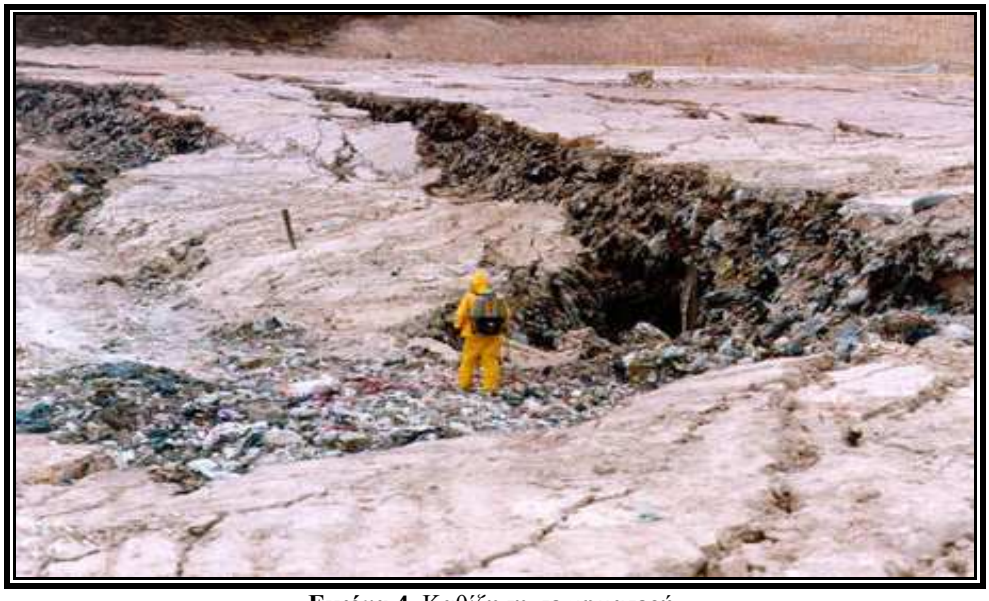
2.3 Διαδικασίες στις χωματερές που επηρεάζουν την αποκατάσταση

Ένας χώρος διάθεσης μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας σύγχρονος αντιδραστήρας, στον οποίο πραγματοποιούνται φυσικοχημικές και βιολογικές διαδικασίες που μετατρέπουν ή υποβαθμίζουν τα απορρίμματα. Η περίοδος της βιοαποδόμησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο βαθμός συμπίεσης, η υγρασία κ.τ.λ. Οι διαδικασίες αυτές συνεχίζονται για πολλά χρόνια και είναι ουσιώδους σημασίας για την αποκατάσταση (Κόλλιας, 1993).

2.3.1 Καθιζήσεις

Οι αιτίες που προκαλούν καθιζήσεις στις χωματερές είναι:

- Τα χαλαρά υλικά τα οποία συμπιέζονται ακόμη περισσότερο με το βάρος των κτιρίων και των κατασκευών στην επιφάνεια του εδάφους.
- Τα ογκώδη απορρίμματα γύρω από τα οποία υπάρχουν κενά. Τα λεπτόκοκκα υλικά που τα περιβάλλουν, με τη δράση του νερού, των δονήσεων, εισχωρούν μέσα στα κενά προκαλώντας μετακινήσεις των ογκωδών απορριμμάτων.
- Η χημική και βιολογική αποδόμηση των ουσιών.



Εικόνα 4. Καθίζηση σε χωματερή.

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί είναι η ευστάθεια των πρανών που σχηματίζουν τα απορρίμματα. Αν και τα απορρίμματα αυτά καθ’ αυτά είναι ελαφρά, το έδαφος επικάλυψης είναι βαρύτερο με αποτέλεσμα να έχουμε ολισθήσεις και καταπτώσεις (Χαλβαδάκης, 1998).

2.3.2 Αέρια χωματερής

2.3.2.1 Η παραγωγή αερίων

Η βιολογική και βιοχημική αποσύνθεση των απορριμμάτων διαρκεί αρκετά χρόνια και κατά τη χρονική αυτή διάρκεια γίνονται σημαντικές αλλαγές στη φύση και την ποσότητα των εκλυόμενων αερίων. Στις αρχικές εβδομάδες ή μήνες μετά τη διάθεση έχουμε αερόβιες συνθήκες και την παραγωγή αερίων, κυρίως CO_2. Σε 11-40 ημέρες από την τοποθέτηση των απορριμμάτων στον χώρο, αρχίζει η αιχμή της παραγωγής του CO_2. Λόγω όμως του διηθούμενου νερού και των καθιζήσεων, μετακινείται ο αέρας που έχει εγκλωβιστεί μέσα στα απορρίμματα. Έτσι, τα αέρια στην αερόβια κατάσταση του χώρου περιέχουν O_2 και N_2. Καθώς ο χώρος διάθεσης αρχίζει να λειτουργεί σε αναερόβιες συνθήκες, η περιεκτικότητα του O_2 φέρεται στο 0% και του N_2 κάτω από 1%, με αποτέλεσμα τα υπάρχοντα σπόρια των μεθανοβακτηρίων να ενεργοποιούνται. Η φάση αυτή αρχίζει 180-500 ημέρες μετά την διάθεση. Τα κύρια προϊόντα της αναερόβιας φάσης είναι CH_4 σε ποσοστό 55-65%, CO_2 σε ποσοστό 35-40% και 1-2% ίχνη άλλων αερίων μεταξύ των οποίων και πολλές πτητικές οργανικές ενώσεις. Τα αέρια που προέρχονται από τους χώρους διάθεσης οικιακών απορριμμάτων δεν θεωρούνται τοξικά.

Πολλά από τα οργανικά πτητικά μπορούν να δράσουν φωτοχημικά στην ατμόσφαιρα για την παραγωγή όζοντος, που είναι από τους κυριότερους παράγοντες της φωτοχημικής ομίχλης (Κόλλιας, 1993).

Ένας τόνος διασπώμενων αποβλήτων παράγει περίπου 400-500 m^3 αερίου χωματερής. Η ταχύτητα παραγωγής εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και κυρίως από τα επίπεδα της υγρασίας και το πόσο αεροστεγώς διατηρούνται τα απορρίμματα.

2.3.2.1.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα προερχόμενα από τα αέρια των χωματερών

Κατά την παραγωγή αερίων δημιουργούνται διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως:

- Εκρήξεις ή πυρκαγιές, οφειλόμενες στη συλλογή αερίων σε περιορισμένους χώρους όπως κτίρια, υπόνομοι, φρεάτια. Το CH_4 είναι εκρηκτικό σε ατμοσφαιρική συγκέντρωση 5-15% κ.ο.
- Ασφυξία των ανθρώπων που εισέρχονται στους υπονόμους και στα φρεάτια των χώρων διάθεσης.
- Έξοδος του αερίου από ρωγμές στην επιφάνεια, με κίνδυνο πυρκαγιάς στα

απορρίμματα.

- Επιζήμια αποτελέσματα στις καλλιέργειες ή τη βλάστηση που καλύπτει το χώρο διάθεσης και τη γειτονική περιοχή. Αν και το CH_4 δεν είναι τοξικό για τα φυτά, η δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων CH_4 απομακρύνει το οξυγόνο από τη ζώνη των ριζών της βλάστησης και ξηραίνει τα φυτά, διότι εμποδίζει την αναπνοή του εδάφους. Επιπλέον, λόγω της υγροσκοπικότητάς του ξηραίνει το έδαφος και τις ρίζες των φυτών. Έτσι, όπου ανυψώνονται συγκεντρώσεις αερίων χωματερής κοντά στην επιφάνεια, εμφανίζονται σαν τμήματα γης με περιορισμένη ή χλωρωτική βλάστηση. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως δείκτες για τον έγκαιρο εντοπισμό και τη διόρθωση της διακίνησης των αερίων της χωματερής. Χλωρώσεις μπορούν, επίσης, να προκύψουν από μεγάλες ποσότητες H_2S και CO_2 (δηλητηριώδες για τις ρίζες των φυτών σε συγκέντρωση 10%). Το βιοαέριο, επίσης, καταστρέφει τον ιστό του εδάφους και εμποδίζει την καλή αποστράγγισή του (Χαλβαδάκης, 1998).
- Κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία από τις εκπομπές των αερίων λόγω της διάλυσής τους εξερχόμενα από τη χωματερή.
- Προβλήματα ενοχλήσεων κυρίως από οσμές. Οι οσμές στο χώρο της χωματερής μπορεί να γίνουν φοβερά ενοχλητικές, όταν η απαιτούμενη αραίωση των αερίων δεν επιτυγχάνεται λόγω καιρικών συνθηκών. Επιπροσθέτως, το πρόβλημα των οσμών είναι χειρότερο στους ψυχρούς και υγρούς μήνες του χειμώνα, από ότι το καλοκαίρι, διότι πιστεύεται ότι το χειμώνα γίνεται λιγότερη βιοχημική οξείδωση. Το βιοαέριο περιέχει συχνά ίχνη θειούχων, οξέα και αλδεΰδες που προκαλούν δυσάρεστες οσμές (Κόλλιας, 1993).

2.3.2.1.2 Ανάκτηση του αερίου και συστήματα συλλογής

Για την ανάκτηση του βιοαερίου και την εκμετάλλευσή του πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Να έχει επισημανθεί μια κατάλληλη χρήση του βιοαερίου.
- Ο χώρος να έχει ένα ελάχιστο βάθος 10m βιοαποδομήσιμου υλικού.
- Να υπάρχει στο χώρο ήδη τοποθετημένη μία μεγάλη ποσότητα απορριμμάτων. Λόγω εμπειρίας θεωρείται απαραίτητο να υπάρχουν 500.000 τόνοι.
- Τα απορρίμματα να μην είναι πολύ παλιά. Απορρίμματα που έχουν εναποτεθεί τα προηγούμενα 5 με 10 χρόνια, φαίνεται να έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση.

Τα πλέον συνήθη συστήματα συλλογής και επεξεργασίας του βιοαερίου,

είναι:

α) Σύστημα εξαέρωσης με βιοφίλτρα. Για την αποφυγή ανεξέλεγκτης διαφυγής των αερίων δημιουργούνται «παράθυρα» εξόδου τους προς την ατμόσφαιρα, διαμέσου της μάζας των απορριμμάτων και της τελικής επικάλυψης, τα οποία λειτουργούν σαν δίοδοι ελεγχόμενης απαερίωσης της χωματερής. Τα «παράθυρα» αυτά πληρούνται με εδαφοβελτιωτικό (compost), που λειτουργεί ως μέσον απόσμησης των αερίων τα οποία έτσι δεν προκαλούν οσμές στην περιοχή.

β) Σύστημα εξαέρωσης με οριζόντιους αγωγούς. Με τα συστήματα αυτά τοποθετούνται διάτρητοι αγωγοί σε διαφορετικές στρώσεις μέσα στο χώρο διάθεσης οι οποίοι περιβάλλονται με χαλίκι, για την αποφυγή εμφράξεων. Οι αγωγοί είναι κατασκευασμένοι από πλαστικό, PVC ή HDPE, και καταλήγουν στη μονάδα συλλογής (αντλιοστάσιο). Μειονέκτημα των συστημάτων αυτών, εκτός των άλλων, είναι ο κίνδυνος της καταστροφής τους λόγω διαφορικών καθιζήσεων στο χώρο διάθεσης.

γ) Σύστημα εξαέρωσης με κάθετους αγωγούς. Αποτελεί την πιο αποτελεσματική και συνηθέστερα απαντώόμενη μέθοδο συλλογής του παραγόμενου βιοαερίου. Σύμφωνα με αυτήν, οι αγωγοί συλλογής του βιοαερίου, που αποτελούνται από HDPE, PVC, τσιμεντοσωλήνες ή συνδυασμός των, τοποθετούνται σε ρομβική διάταξη ανά 40-65m. Στην κορυφή των αγωγών το αέριο καίγεται ή μέσω άλλων εύκαμπτων σωληνώσεων μεταφέρεται σε κεντρικό σημείο, μηχανοστάσιο, για περαιτέρω επεξεργασία.

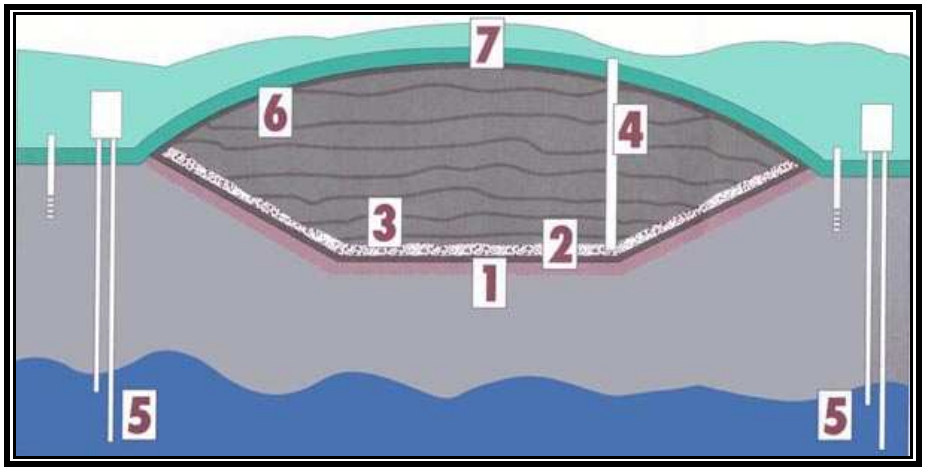
2.3.2.1.3 Χρήσεις του βιοαερίου

Τα αέρια της χωματερής, οι πηγές τους και οι μηχανισμοί με τους οποίους διοχετεύονται στο περιβάλλον είναι, πλέον, κατανοητοί και μπορούν να ελεγχθούν με διάφορους τρόπους. Τα συστήματα συλλογής αερίων επιτρέπουν, επίσης, τη χρήση τους ως καύσιμο και σχέδια τέτοιου τύπου υλοποιούνται στη Μεγάλη Βρετανία. Η συγκεκριμένη χρήση του αερίου των χωματερών συμφωνεί με τον τρόπο ελέγχου των εκπομπών για περιβαλλοντικούς σκοπούς. Στη Μεγάλη Βρετανία, περίπου 110 MW του ηλεκτρισμού παράγονται από αέρια χωματερών. Επιπροσθέτως, και άλλα προγράμματα χρησιμοποιούν το αέριο, είτε για άμεση φλέξη (για παράδειγμα για την καύση των τούβλων σε καμίνια ή για την παραγωγή ατμών σε βραστήρες), είτε για άμεση θέρμανση (για παράδειγμα σε θερμοκήπια) (http://www.integra.org.uk).

2.3.3 Στραγγίσματα χωματερών

2.3.3.1 Τρόπος παραγωγής – περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Τα στραγγίσματα χωματερών δημιουργούνται από τη διήθηση των βρόχινων νερών, όταν ξεπερασθεί η απορροφητικότητα των απορριμμάτων. Αποτελούνται από μίγμα του διηθούμενου νερού και των υγρών που παράγονται από τη διάσπαση των οργανικών και άλλων ουσιών λόγω της δράσης των μικροβίων. Τα υγρά κατερχόμενα φτάνουν τους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, τους οποίους ρυπαίνουν. Η ρύπανση του υπόγειου νερού και περιβάλλοντος παραμένει απαρατήρητη για μεγάλο χρονικό διάστημα και διαπιστώνεται μόλις γίνει η λήψη νερού από υπόγεια γεώτρηση ή κατά την έξοδό του στην επιφάνεια μέσω πηγών. Η ρύπανση του υπόγειου νερού με ανεπιθύμητες ουσίες που προέρχεται από την ανάμειξή του με υγρά απορριμμάτων, δημιουργεί αρνητικές επιπτώσεις σε κατοίκους γειτονικών περιοχών, που καταναλώνουν το υπόγειο ρυπασμένο νερό(Κόλλιας, 1993). Εκτός των υπόγειων νερών τα στραγγίσματα μπορούν να ρυπάνουν και τα επιφανειακά νερά (ποτάμια, λίμνες, θάλασσα) (Χαλβαδάκης, 1998). Αν τα στραγγίσματα διαχυθούν στο περιβάλλον, είναι συχνά δύσκολο και πολυδάπανο να γίνει επανόρθωση και μπορεί να έχει επιπτώσεις που θα παραμείνουν για δεκάδες ή και για εκατοντάδες χρόνια.



Εικόνα 5. 1) Όλος ο πυθμένας και οι πλάγιες πλευρές της χωματερής περιλαμβάνουν ένα αργιλώδες επίπεδο, πάχους τουλάχιστον 0,91m. Σε κάποιες περιοχές της χωματερής φτάνει και τα 3,05m. 2) Ένα συνθετικό επίπεδο σκληρού πλαστικού τοποθετείται στην κορυφή του αργιλώδους πυθμένα για να δημιουργήσει ένα δεύτερο επίπεδο προστασίας του υδροφόρου ορίζοντα. 3) Άμμος, πάχους 0,61m, τοποθετείται προσεκτικά, στη συνέχεια για να προωθήσει τη στράγγιση της υγρασίας στις πλευρές συλλογής. 4) Ολόκληρος ο πυθμένας περιλαμβάνει ένα δικτυωτό σύστημα από σωλήνες συλλογής της υγρασίας. Τα υγρά μπορούν να μεταφερθούν εκτός χωματερής και να χρησιμοποιηθούν. 5) Μια σειρά υπόγειων πηγαδιών παρακολούθησης περιβάλλουν τη χωματερή και παρακολουθούν την ποιότητα του νερού κοντά σε αυτήν. 6) Το ίδιο επίπεδο σκληρού συνθετικού υλικού με το προηγούμενο, χρησιμοποιείται για να καλύψει περιοχές πλήρωσης απορριμμάτων. 7) Ένα προστατευτικό κάλυμμα, πάχους 0,61m, τοποθετείται πάνω από το συνθετικό επίπεδο, για να εμποδίσει την είσοδο του νερού στη χωματερή. Τα κορυφαία 15cm του καλύμματος περιλαμβάνουν επιφανειακό έδαφος που υποστηρίζει την ανάπτυξη της βλάστησης.

Οι υψηλές ποσότητες νιτρικών, αμμωνιακών και χημικά μετατρεπόμενων ιόντων μετάλλων, όπως σιδήρου και μαγνησίου, καθώς και οι πλημμύρες και συνεπώς το αναερόβιο έδαφος που οφείλονται στα στραγγίσματα, καθιστούν την ανάπτυξη της βλάστησης στους συγκεκριμένους χώρους προβληματική. Ένα σύστημα επιπέδων που δημιουργείται σε κλειστές χωματερές, για την αποφυγή της μόλυνσης των υδροφόρων οριζόντων, φαίνεται στην Εικόνα 5.

2.3.3.1.1 Σύνθεση στραγγισμάτων

Όσον αφορά στη σύνθεση των στραγγισμάτων, μια τυπική ανάλυση δίδεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2. Τυπική σύνθεση στραγγισμάτων χωματερής (Κόλλιας, 1993).

Συστατικά	**Τιμή σε mg/l**	
	Διακύμανση	**Τυπική**
BAO_5	2000 – 30000	10000
TOC (Ολικός οργανικός άνθρακας)	1500 – 20000	6000
ΧΖΟ (Χημική Ζήτηση Οξυγόνου)	3000 – 45000	18000
Ολικά Αιωρούμενα Στερεά	200 – 1000	500
Οργανικό Άζωτο	10 – 600	200
Νιτρικά	5 – 40	25
Ολικός φώσφορος	1 – 70	30
Ορθοφώσφορος	1 – 50	20
Αλκαλικότης ως $CaCO_3$	1000 – 10000	3000
PH	5,3 – 8,5	6
Ολική σκληρότητα ως $CaCO_3$	300 – 10000	3500
Ασβέστιο	200 – 3000	1000
Μαγνήσιο	50 – 1500	250
Κάλιο	200 – 2000	300
Νάτριο	200 – 2000	500
Χλώριο	100 – 3000	500
Θειικά	100 – 1500	300
Ολικός σίδηρος	50 – 600	60
Αμμωνιακό άζωτο	10 – 800	200

Τα στραγγίσματα παρουσιάζουν μεταβολές στη σύνθεσή τους από διάφορες αιτίες όπως, η σύνθεση των απορριμμάτων, η ηλικία του χώρου πλήρωσης, η υδρολογία του χώρου, το κλίμα, η εποχή, η υγρασία. Επίσης, τα στραγγίσματα επηρεάζονται από τη συγκράτηση του εδάφους και την αραίωση από τα υπεδάφια νερά.

Η αύξηση της πυκνότητας των απορριμμάτων και η αύξηση του βάθους του χώρου, ασκούν επίδραση στην επιβράδυνση της βιοαποδόμησης του οργανικού υλικού, δια της παρεμπόδισης του νερού να προχωρήσει μέσα στη διάθεση. Έτσι, τα στραγγίσματα έχουν μικρότερο ρυπαντικό φορτίο, αλλά παράγονται για μεγαλύτερη

χρονική περίοδο. Επίσης, κατά τη βιοαποδόμηση του σύνθετου οργανικού υλικού, παράγονται οργανικά οξέα, που μπορούν να υποστούν περαιτέρω βιοχημικές ενέργειες και να δώσουν αέρια ή να εκπλυθούν προς τα έξω και να δώσουν υγρά, με μεγάλο ΒΑΟ (Βιοχημικώς Απαιτούμενο Οξυγόνο). Έτσι, καθώς αυξάνεται η παραγωγή αερίου, το ΒΑΟ των υγρών των απορριμμάτων τείνει να ελαττωθεί (Κόλλιας. 1993).

2.3.3.1.2 Επεξεργασία στραγγισμάτων

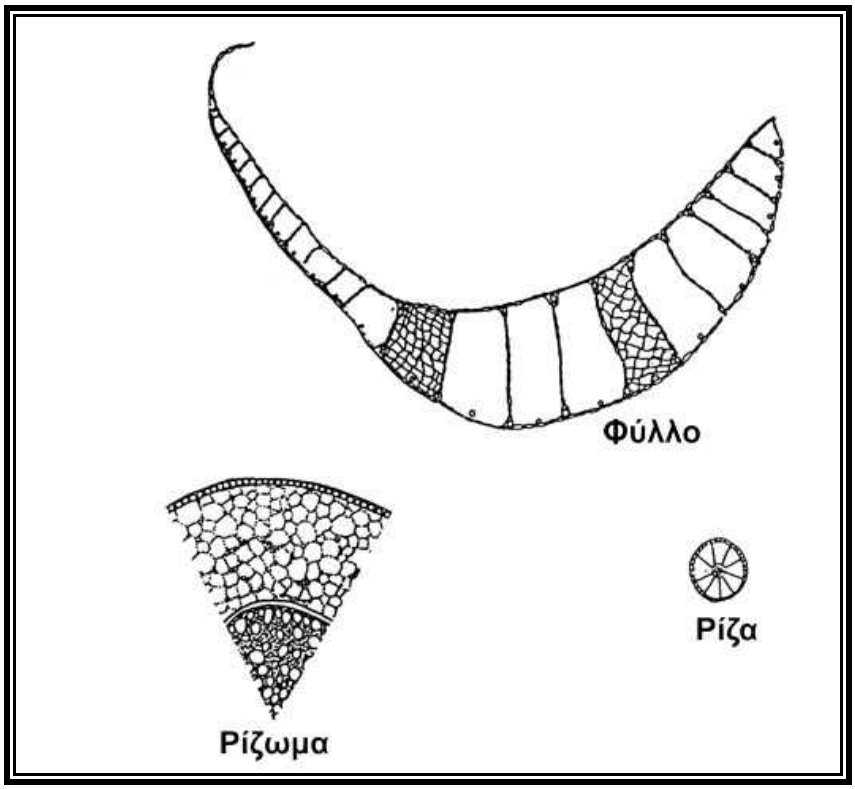
Τα στραγγίσματα πρέπει μετά τη συλλογή τους να υποστούν την κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να καλύψουν τις απαιτήσεις ποιότητας που θα επιβληθούν από την αρμόδια Αρχή, που παρακολουθεί τον αποδέκτη στον οποίο θα γίνει η διάθεσή τους. Όπως έχει διαπιστωθεί, με την πάροδο των χρόνων, αλλάζουν τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των υγρών των απορριμμάτων λόγω της βιοαποδόμησης. Σε μία περίοδο 2-8 ετών, για παράδειγμα, το ΒΑΟ από υψηλό γίνεται χαμηλό. Η επεξεργασία, επομένως, των υγρών που θα εφαρμοστεί εξαρτάται από την ηλικία διάθεσης και το κόστος. Σε πολλές περιπτώσεις η προεπεξεργασία ή η μερική επεξεργασία επαρκούν για την ικανοποίηση των ποιοτικών απαιτήσεων.

Οι κυριότερες μέθοδοι επεξεργασίας των στραγγισμάτων είναι οι ακόλουθες:

- Αερόβια βιολογική επεξεργασία.
- Αναερόβια βιολογική επεξεργασία.
- Επεξεργασία στο έδαφος.
- Φυσική και χημική επεξεργασία.
- Ανακύκλωση των στραγγισμάτων μέσω του χώρου διάθεσης.
- Επεξεργασία με λύματα.

Ο καθηγητής Lickuth του Πανεπιστημίου Kassel της Δυτικής Γερμανίας, ανακάλυψε ότι ένα σύστημα ζώνης ριζών καλαμιών, πραγματοποιεί επεξεργασία των στραγγισμάτων. Το σύστημα λειτουργεί δια της επί τόπου επεξεργασίας των στραγγισμάτων, μέσω της βιολογικής δράσης των ριζών και της ζώνης εδάφους, σε εκτάσεις από καλάμια. Το ακάθαρτο νερό ρέει γύρω από το ριζικό σύστημα. Τα βακτήρια στο ριζικό σύστημα των καλαμιών είναι παρόμοια με αυτά που υπάρχουν στις εγκαταστάσεις καθαρισμού λυμάτων. Τα φύλλα και οι ρίζες των καλαμιών έχουν μεγάλους χώρους γεμάτους αέρα. Το αερέγχυμα είναι σημαντικό γιατί επιτρέπει στο οξυγόνο να διοχετεύεται από την ατμόσφαιρα στα φύλλα και τους βλαστούς και από εκεί στις ρίζες. Έτσι, τα καλάμια αποτελούν μια σταθερή πηγή οξυγόνου.

Αναπτύχθηκαν συστήματα ριζικής ζώνης που μπορούν να ελαττώσουν το ΒΑΟ κατά 95%. Η λειτουργία, όπως έχει διαπιστωθεί, συνεχίζεται καλά και κατά τους χειμερινούς μήνες. Τα καλάμια φυτεύονται και παραμένουν για 6 μήνες και μετά αρχίζει η εισαγωγή των στραγγισμάτων (Κόλλιας Π, 1993).



Εικόνα 6. Αερέγχυμα σε καλάμια.

2.4 Τελική κάλυψη

Από τους πρωταρχικούς στόχους των έργων αποκατάστασης είναι ο έλεγχος και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των εισερχόμενων όμβριων στο ΧΥΤΑ. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση κάλυψης χαμηλής περατότητας στην επιφάνεια του χώρου για την αύξηση της επιφανειακής απορροής. Πρέπει να σημειωθεί ότι η παρεμπόδιση της εισόδου νερού στη μάζα των απορριμμάτων μειώνει τις διεργασίες αποσύνθεσης τους και κατά συνέπεια τους ρυθμούς βιοσταθεροποίησης του ΧΥΤΑ.

2.5 Κατασκευή της κάλυψης

Η κάλυψη της χωματερής πρέπει να είναι κατασκευασμένη από υλικά που έχουν περατότητα $1x10^{-6}$cm/sec ή και λιγότερο. Η επιφάνεια πρέπει να είναι θολωτή για να ενθαρρύνεται η επιφανειακή απορροή, να καλύπτεται με χώμα το συντομότερο δυνατό μετά την τοποθέτηση της στο οποίο να γίνονται κατάλληλα οι φυτεύσεις με

τρόπο ώστε να παρεμποδίζεται η εισροή υδάτων ευνοώντας την απώλεια νερού μέσω εξατμισιοδιαπνοής.

Η πρακτική εμπειρία δείχνει ότι είναι δυνατή η κατασκευή αδιαπέραστων στρώσεων με μπεντονίτη σε μίγμα με άμμο στην επιφάνεια μιας χωματερής. Το πάχος της κάλυψης εξαρτάται από την ποιότητα των υλικών που θα την αποτελέσουν. Πάχος περίπου 0,3m για φυσικά υλικά είναι αποτελεσματικό και κατάλληλο για τις περισσότερες χρήσεις. Η επιτυχία της κάλυψης εξαρτάται σημαντικά από τον τρόπο ταφής. Ανόμοιες καθιζήσεις αποτελούν την αιτία ζημιών και αστοχιών της κάλυψης, για τον λόγο αυτό όπου εμφανίζονται τέτοιας μορφής καθιζήσεις κρίνεται σκόπιμο όπως τα έργα αποκατάστασης καθυστερήσουν. Στην περίπτωση αυτή, και μέχρι να τοποθετηθεί η οριστική, μπορεί να τοποθετηθεί μια προσωρινή κάλυψη για την παρεμπόδιση της εισόδου νερών στον χώρο.



Εικόνα 7. Κάλυψη για ελαχιστοποίηση της εισόδου νερού.

Η κάλυψη προστατεύεται από τις δύο πλευρές με την δημιουργία προστατευτικών ζωνών. Όταν αυτή αποτελείται από συνθετικά υλικά, η ζώνη πρέπει να έχει πάχος 0,5m και να αποτελείται από αδρανή υλικά ώστε αυτά να μην αντιδρούν με τα απορρίμματα ή την τελική κάλυψη. Η κάλυψη δεν πρέπει να τοποθετείται κατά την διάρκεια βροχερών ημερών, πρέπει να περιέχει υγρασία ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική συμπίεση, ενώ μέγιστη συμπίεση επιτυγχάνεται όταν η τοποθέτηση γίνεται σε στρώσεις 0,3m που κατόπιν ισοπεδώνονται.



Εικόνα 8. Τελική κάλυψη με κατάλληλα μηχανήματα.

Επειδή ο ρόλος της τελικής κάλυψης είναι πολυδιάστατος προτείνεται η κατασκευή πολυστρωματικού τελικού καλύμματος. Η διαστρωμάτωση παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Στρώματα Τελικής Κάλυψης Χωματερής.

ΣΤΡΩΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΠΑΧΟΣ (m)	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ
Εξομάλυνσης και διαμόρφωσης αναγλύφου	Εξομάλυνση και διαμόρφωση απορριμματικού αναγλύφου – Προσωρινή κάλυψη	0,50	Εδαφικά υλικά μέτριας περατότητας
Συλλογής βιοαερίου	Για τον έλεγχο των διαφυγών βιοαερίου	0,30	Στραγγιστήριο μεγάλης περατότητας (χαλίκια)
Προστασίας	Προστασία στρώσης συλλογής βιοαερίου από τη διάχυση της υπερκείμενης στρώσης χαμηλής διαπερατότητας	300 g/m^2	Γεωύφασμα
Χαμηλής διαπερατότητας	Ανακοπή της διείσδυσης ομβρίων στα απορρίμματα	0,5	Άργιλος
Αποστράγγισης	Ελεγχόμενη απορροή ομβρίων εκτός αναγλύφου. Μείωση του υδραυλικού ύψους πάνω από τη στρώση χαμηλής διαπερατότητας	0,30	Στραγγιστήριο (χαλίκια)
Προστασίας	Προστασία στρώσης αποστράγγισης από τη διάχυση της υπερκείμενης στρώσης προστασίας φυτεύσεων	300 g/m^2	Γεωύφασμα
Φυτεύσεων	Προστασία υποκείμενων στρώσεων από το ριζικό σύστημα των φυτών και από έκθεση σε καιρικές συνθήκες και ανάπτυξη φυτεύσεων	1,0	Φυτόχωμα

- ⇨ Η στρώση εξομάλυνσης και διαμόρφωσης του απορριμματικού αναγλύφου-προσωρινή κάλυψη, εξυπηρετεί την ομαλοποίηση του απορριμματικού αναγλύφου έτσι ώστε να δημιουργηθεί η βάση για τη διάστρωση των υπερκείμενων στρώσεων του καλύμματος. Για τη στρώση αυτή προτείνεται εδαφικό υλικό τύπου αμμώδους αργίλου έως αργιλώδους άμμου (CL – SC), με ομαλή κοκκομετρική διαβάθμιση.
- ⇨ Η στρώση συλλογής βιοαερίου βοηθάει στην εξομάλυνση ενδεχόμενων τοπικών υψηλών πιέσεων αερίου και στη μεταφορά του βιοαερίου προς τα φρεάτια άντλησης. Αποτελείται από υλικά υψηλής κοκκομετρίας και υψηλής περατότητας.
- ⇨ Το γεωύφασμα προστατεύει τη στρώση συλλογής βιοαερίου από τη διείσδυση των υλικών της υπερκείμενης στρώσης χαμηλής διαπερατότητας. Το ειδικό βάρος προτείνεται να είναι 300gr/m^2.
- ⇨ Η στρώση χαμηλής διαπερατότητας έχει ως στόχο την παρεμπόδιση της κατείσδυσης ομβρίων στο εσωτερικό του απορριμματικού αναγλύφου. Αυτό θα έχει σαν ευεργετική συνέπεια τη σημαντική μείωση της δημιουργίας στραγγισμάτων, αλλά θα επιβραδύνει τις διεργασίες αποσύνθεσης των απορριμμάτων και βιοσταθεροποίησης της χωματερής.
- ⇨ Η στρώση αποστράγγισης υπέρκειται της στρώσης χαμηλής διαπερατότητας και περιλαμβάνει το σύστημα για την απομάκρυνση των εισερχόμενων ομβρίων. Στοχεύει επίσης στη μείωση του ύψους της υδραυλικής στήλης και συνεπώς της καταπόνησης της γεωμεμβράνης και του αργιλικού φραγμού.
- ⇨ Γεωύφασμα διαχωρισμού κατάλληλων αντοχών.
- ⇨ Έδαφος προστασίας φυτεύσεων – Φυτόχωμα. Αποτελείται από φυτόχωμα, πάχους τουλάχιστον 1m, κατάλληλο να υποστηρίξει φυτεύσεις. Το έδαφος φυτικής κάλυψης, μαζί με τη βλάστηση, βοηθάει στην αποτροπή της διάβρωσης, στηρίζει τη βλάστηση και παρέχει κάποια επιπλέον προστασία από την υγρασία.

Για να είναι η τελική κάλυψη αποδοτική, πρέπει να προστατεύεται από τις αγροτικές μηχανές, την ξήρανση, τη ρηγμάτωση, τη διείσδυση ριζών, την ταφή ζώων και τη διάβρωση (Κόλλιας, 1993).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^{ο}

ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ ΧΩΜΑΤΕΡΗΣ

3.1 Βλάστηση στην προς αποκατάσταση χωματερή

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου βλάστησης για το χώρο διάθεσης εξαρτάται από:

- Το κλίμα και τα εδαφολογικά χαρακτηριστικά του χώρου διάθεσης,
- Την ποικιλότητα του φυτικού πληθυσμού της περιοχής,
- Την τελική χρήση του χώρου διάθεσης

Αφού καθοριστούν τα είδη που είναι κατάλληλα για τις δεδομένες κλιματικές συνθήκες, ακολουθεί η εξέταση του εδάφους, η οποία συνίσταται:

1. Στον προσδιορισμό του pH. Είναι απαραίτητος γιατί καθορίζει:
   - τα θρεπτικά στοιχεία που είναι διαθέσιμα,
   - τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους,
   - την ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί τα θρεπτική στοιχεία.

   Το βέλτιστο pH για τα περισσότερα από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς είναι μεταξύ 6 και 7. Η μείωση του pH του εδάφους επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση οργανικής ύλης, ενώ η αύξησή του με την προσθήκη ασβεστίου, είτε με τη μορφή ασβεστολίθου, είτε με τη μορφή ενυδατωμένου ασβέστη.
2. Στον προσδιορισμό της οργανικής ύλης, η οποία:
   - βελτιώνει τη δομή του εδάφους και κατά συνέπεια, τη διήθηση, την αποστράγγιση και τον αερισμό του,
   - λειτουργεί σαν δεξαμενή θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά,
   - αυξάνει την υδατοχωρητικότητα των αμμωδών εδαφών.
3. Στον προσδιορισμό του απαιτούμενου ασβεστίου. Οι απαιτήσεις σε ασβέστιο υπολογίζονται από το pH και την οργανική ύλη.
4. Στον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων. Εξακριβώνεται έτσι η ύπαρξη υπερβολικού λιπάσματος ή άλλων αλάτων. Ο προσδιορισμός γίνεται με τη μέτρηση της αγωγιμότητας διαλύματος εδάφους σε νερό.
5. Στον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Προσδιορίζεται έτσι η ποσοστιαία αναλογία άμμου, ιλύος και αργίλου, η δομή του εδάφους και κατά συνέπεια η ικανότητα συγκράτησης νερού, η συμπίεσή του κ.λ.π.(Χαλβαδάκης, 1998).

3.2 Φυτοκάλυψη της χωματερής

3.2.1 Σχέδιο φυτοκάλυψης

Για να ετοιμαστεί ένα λεπτομερές σχέδιο φυτοκάλυψης για την αποκατάσταση ενός χώρου διάθεσης απορριμμάτων χρειάζονται:

1. Εδαφολογικός χάρτης της περιοχής
2. Χάρτης φυτοκάλυψης και πληροφορίες σχετικές με τις κλιματικές συνθήκες.

Ο εδαφολογικός χάρτης πρέπει να συνοδεύεται από περιγραφή των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του επιφανειακού εδάφους και του υπεδάφους.

Ο χάρτης φυτοκάλυψης αναγνωρίζει το δυναμικό της φυτικής βιομάζας, τα είδη που υπάρχουν, καθώς και τα είδη που είναι δυνατό να είναι κατάλληλα για φυτοκάλυψη.

Οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής πρέπει να αναφέρονται κυρίως στο ποσό των ετήσιων κατακρημνισμάτων, στην εποχιακή κατανομή και στον τύπο τους, καθώς και στην ταχύτητα του ανέμου. Αυτές οι κλιματικές παράμετροι βοηθούν στο σχεδιασμό αντιμετώπισης κινδύνων διάβρωσης (Χαλβαδάκης, 1998).

Γενικά, κάποια από τα πλεονεκτήματα της φύτευσης στο τελικό κάλυμμα των χωματερών είναι η προστασία από τη διάβρωση, μέσω της συγκράτησης του εδάφους με το ριζικό τους σύστημα και τη μείωση της ταχύτητας της βροχής, ο έλεγχος της υγρασίας, μέσω της εξατμισοδιαπνοής, απομακρύνοντας την υπερβολική υγρασία από το έδαφος και η απορρύπανση των εδαφών μέσω διάφορων λειτουργιών τους.

3.2.2 Ετοιμασία της σποροκλίνης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε όλες οι ποσότητες εδαφοβελτιωτικών που θα χρησιμοποιηθούν να συσσωματωθούν με το έδαφος μέχρι βάθος 15cm περίπου. Η επεξεργασία αυτή θα πρέπει να γίνεται παράλληλα με τις ισοϋψείς ώστε να αποφεύγονται προβλήματα διάβρωσης. Στις οριακές κλίσεις θα πρέπει να δημιουργούνται λάκκοι ή τάφροι, ώστε να συγκρατείται το νερό και να υπάρχει έτσι απόθεμα υγρασίας (Χαλβαδάκης, 1998).

3.2.3 Εγκατάσταση της βλάστησης

Α) Σπορά και φύτευση: Η σπορά γίνεται με τη μέθοδο χύδην και τη σπορά σε αυλάκια. Η δεύτερη μέθοδος συνήθως προτιμάται, εφόσον μπορούν να εργαστούν στην έκταση τα κατάλληλα μηχανήματα. Με αυτή τη μέθοδο, ο σπόρος καλύπτεται

από το έδαφος και έρχεται σε καλύτερη επαφή με αυτό, διατηρώντας έτσι περισσότερες πιθανότητες για βλάστηση, αφού βρίσκεται κάτω από πιο ευνοϊκές συνθήκες υγρασίας.

Οι θάμνοι και τα δένδρα φυτεύονται γυμνόρριζα ή σε σακούλες από φυτώρια. Είναι δυνατό, πολλές φορές, να γίνει απ' ευθείας σπορά καρπών των θάμνων στην έκταση της φυτοκάλυψης.

Σε απότομες κλίσεις και ιδίως όταν γίνεται χύδην σπορά, για να προστατευθούν οι σπόροι και να βοηθηθεί η διάδοση των φυτών χρειάζεται συχνά να καλυφθεί το έδαφος με ίνες ξύλου ή άχυρο, τα οποία αγκιστρώνονται στο έδαφος με υδατοδιαλυτό ασφαλτικό γαλάκτωμα. Η κάλυψη και η αγκίστρωση αυτή εμποδίζει τον άνεμο να παρασύρει τους σπόρους, μειώνει την πρόσκρουση της βροχής και διαφυλάσσει την υγρασία του εδάφους σε ένα βάθος, περίπου 30cm.

Β) Εποχή σποράς: Συνιστάται η σπορά να γίνεται, συνήθως, πριν από την υγρή περίοδο.

Γ) Αναλογία σπορικού μίγματος: Είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί με λεπτομέρεια η μάζα του βιώσιμου σπόρου που θα σπαρεί. Όταν γίνεται χύδην σπορά, θα πρέπει να χρησιμοποιείται περίπου διπλός ή και περισσότερος σπόρος από ό,τι όταν γίνεται σπορά σε αυλάκια, γιατί θα υπάρξουν μεγαλύτερες απώλειες. Η σύσταση του μίγματος των σπόρων πρέπει να καθοριστεί ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή φυτική σύνθεση.

Δ) Λίπανση: Η ανάγκη λίπανσης δεν είναι η ίδια για όλα τα εδάφη. Μερικά εδάφη στερούνται άζωτο, άλλα φώσφορο, άλλα θείο ή και συνδυασμό αυτών.

Ε) Επιλογή των ειδών: Εξαρτάται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Το είδος των φυτών που υπήρχαν στον τόπο πριν αυτός χρησιμοποιηθεί ως χωματερή, καθώς και τα είδη φυτών που επικρατούν στον γύρω χώρο.
- Το κλίμα και το μικροκλίμα της περιοχής.

Ένας γενικός κανόνας είναι να αποφεύγεται η φύτευση ειδών με εκτεταμένο σε βάθος ριζικό σύστημα ή να πραγματοποιείται, εφ' όσον υπάρχει αντίστοιχο βάθος τελικής κάλυψης. Με τον τρόπο αυτό, προστατεύονται τα επίπεδα κάλυψης της χωματερής από τη διείσδυση των ριζών, γεγονός που θα οδηγούσε σε προβλήματα, όπως διαφυγή των αερίων ή των στραγγισμάτων της χωματερής και περαιτέρω ρύπανση της ευρύτερης περιοχής.

Η χρήση των ενδημικών ειδών της περιοχής πρέπει να έχει προτεραιότητα σε σχέση με άλλα φυτικά είδη, λόγω της προσαρμογής των ειδών αυτών στις τοπικές

περιβαλλοντικές συνθήκες.

Σε διαφορετική περίπτωση η εγκατάσταση των ειδών πρέπει να ξεκινήσει με ετήσια και πολυετή λιβαδικά, κυρίως, φυτά, ως «πρόδρομη φυτοκοινωνία» και, κατόπιν, να περάσει σταδιακά σε άλλες μορφές βλάστησης, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί στην εγκατασθείσα φυτοκοινωνία μία ομαλή πορεία προς μια φυτοκοινωνία που ονομάζεται «φυτοκοινωνία κλίμαξ» (η τελική κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, στην οποία εξελίσσεται η χλωρίδα ενός τόπου). Τα κύρια είδη λιβαδικών φυτών ανήκουν στις οικογένειες αγρωστωδών και ψυχανθών.

Το θαμνώδες υλικό αποτελείται από θάμνους ή ημίθαμνους που μερικοί από αυτούς έχουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά μικρών ή και μεγάλων δένδρων. Τα περισσότερα είδη θάμνων είναι αειθαλή και κατά συνέπεια έχουμε πράσινο όλο τον χρόνο. Παρέχουν, επίσης, αποτελεσματική προστασία στο έδαφος ενάντια σε κάθε κίνδυνο διάβρωσής του, χωρίς συγχρόνως να αποτελούν μεγάλο καταναλωτή ύδατος.

Τα αγρωστώδη λιβαδικά φυτά είναι μεγάλης σημασίας, γιατί με το πυκνό, θυσσανώδες ριζικό τους σύστημα προστατεύουν αποτελεσματικά το έδαφος από τις επιζήμιες διαβρώσεις. Η προσαρμογή τους, εξ' άλλου, σε διάφορες εδαφοκλιματικές συνθήκες είναι τόσο υψηλή, ώστε να συναντώνται όπου μπορεί να υπάρξει φυτική ζωή. Τα ψυχανθή, με τη δέσμευση του αζώτου της ατμόσφαιρας μέσω των αζωτοβακτηρίων που συμβιώνουν με τις ρίζες τους, συντελούν στον εμπλουτισμό του εδάφους με το πολύτιμο θρεπτικό αυτό στοιχείο και κατά συνέπεια, στην αύξηση της παραγωγικότητάς του. Συντελούν στη βελτίωση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και μπορούν να απορροφήσουν και να αραιώσουν χαμηλές συγκεντρώσεις αερίων χωματερής (Palmer, 1999; Χαλβαδάκης, 1998).

Μία πολύ σημαντική κατηγορία φυτικού υλικού που χρησιμοποιείται στη Βραζιλία, είναι τα πολύριζα τροπικά δένδρα, τα οποία μειώνουν δραστικά την αισθητική σύγκρουση των περιοχών διάθεσης απορριμμάτων και προσελκύουν μεγάλο αριθμό ζώων, κυρίως πουλιά, που με τη σειρά τους βοηθούν στον έλεγχο των πληθυσμών των τρωκτικών και των εντόμων που υπάρχουν σε αυτές τις περιοχές. Τα πολύριζα τροπικά δένδρα φυτεύονται περιφερειακά των χωματερών και δρουν σαν βιογεωχημικά όρια στις μολυσματικές ουσίες που παράγονται σε περιοχές χωματερών, μέσω διαφορετικών μηχανισμών που παρουσιάζονται στο ριζικό επίπεδο. Εκχύουν οξυγόνο μέσω των ριζών τους για να αντιμετωπίσουν τις αναερόβιες συνθήκες των καθιζημάτων. Έτσι, δημιουργούν οξειδωμένες ριζόσφαιρες, ικανές να σταθεροποιήσουν τα βαρέα μέταλλα σε μη βιοδιαθέσιμες μορφές.

Επιπλέον, τα μεγάλα ριζικά συστήματα που αναπτύσσονται από τα δένδρα αυτά, μπορούν να διατηρήσουν και να σταθεροποιήσουν τα καθιζήματα πιο αποτελεσματικά από τα γυμνά καθιζήματα, αποφεύγοντας τη μολυσματική επανακινητοποίησή τους από φυσικές διαταράξεις.

Στη Μεγάλη Βρετανία, πλέον, αναγνωρίζεται ότι η δασώδης κοινωνία των φυτών μπορεί να αποτελέσει βιώσιμη μορφή στρατηγικής αποκατάστασης χωματερών, εφόσον ο τύπος των απορριμμάτων και τα συστήματα ελέγχου μόλυνσης είναι εκτιμημένα.

3.3 Φυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν

Η *Acacia confusa* (Εικόνα 9) και η *Leucaena lecucocephala* (Εικόνα 10) μπορούν να αναπτυχθούν σε πρώην χωματερές και να διορθώσουν το άζωτο, ενώ κάποια παραδείγματα θάμνων που χρησιμοποιούνται είναι τα *Pyracanthus coccinea* (Εικόνα 11), *Myrtus communis* (Εικόνα 12) και *Spartium junceum* (Εικόνα 13).



Εικόνα 9. *Acacia confuse*.



Εικόνα 10. *Leucaena leucocephala*.



Εικόνα 11. *Pyracanthus coccinea.*



Εικόνα 12. *Myrtus communis*.



Εικόνα 13. *Spartium junceum*

3.3.1 Αγρωστώδη

Agrostis alba (Αγρώστις η λευκή): Πόα πολυετής μεσαίου μεγέθους (0,20-1m). Φύεται από την επιφάνεια της θάλασσας, μέχρι και την αλπική ζώνη. Οι απαιτήσεις της από το έδαφος είναι μικρές. Προτιμά υγρά εδάφη και αναπτύσσεται καλά σε αμμώδη, πηλώδη ή αργιλώδη εδάφη (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. *Agrostis alba*.



Εικόνα 15. *Agropyron cristatum*.

Agropyron cristatum (Αγρόπυρον το λοφώδες): Πόα πολυετής, ύψους 0,40-1m. Αναπτύσσεται σε διαφόρου υψομέτρου εδάφη, από τα αμμοπηλώδη μέχρι και τα βαρειά αργιλώδη. Αντέχει σε ακραίες θερμοκρασίες και κυρίως στο ψύχος (Εικόνα 15).

Anthoxanthum odoratum (Ανθόξανθον το εύοσμο): Πολυετής πόα που φύεται από την παραθαλάσσια μέχρι και την αλπική ζώνη. Φύεται σε πάσης φύσεως και γονιμότητας εδάφη, από τα υγρά και αρδευόμενα παραγωγικά εδάφη των πεδιάδων, μέχρι τα αβαθή, βραχώδη, ορεινά, ξηρά και θερμά εδάφη οποιασδήποτε γεωλογικής προέλευσης. Είναι είδος αρκετά αδιάφορο προς τις κλιματικές συνθήκες, τη σκιά και το φως (Εικόνα 16).

Cynosurus cristatus (Κυνόσουρα η λοφωτή): Πολυετής πόα που φύεται σε

πάσης φύσεως εδάφη, με εξαίρεση τα ξηρά εδάφη και τις ασταθείς άμμους. Ευδοκιμεί, όμως και αναπτύσσεται σε εδάφη πηλώδη ή αμμοπηλώδη, πλούσια σε χούμο, ακόμα δε, και σε βαριά αργιλώδη (Εικόνα 17).



Εικόνα 16. *Anthoxanthum odoratum*.



Εικόνα 17. *Cynosurus cristatus*.

Dactylis glometata (Δακτυλίς η συσπειρώμένη): Πολυετής πόα. Έχει μεγάλη προσαρμοστικότητα και εξαπλώνεται από τα χαμηλά υψόμετρα, μέχρι την αλπική ζώνη σε πάσης φύσεως εδάφη, από τα αλκαλικά μέχρι τα ελαφρώς όξινα, εκτός από τις ακραίες περιπτώσεις όπως είναι η άμμος, τα έλη κ.λ.π. Αντέχει πάρα πολύ στην ξηρασία και στο ψύχος (Εικόνα 18).

Festuca ovina (Φεστούκα η πρόβειος): Πολυετής πόα χωρίς πολλές απαιτήσεις σε έδαφος, αρκεί να μην είναι όξινο ή πολύ υγρό. Είναι πολύ ανθεκτική σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες ξηρασίας και ψύχους και ευδοκιμεί μέχρι την αλπική ζώνη (Εικόνα 19).



Εικόνα 18. *Dactylis glometata*.



Εικόνα 19. *Festuca ovina*.

Poa alpina (Πόα η αλπική): Πολυετής πόα που συναντάται στα ορεινά λιβάδια, μέχρι του ανώτερου ορίου της βλάστησης. Αναπτύσσεται καλά, τόσο σε υγρά, όσο και σε ξηρά πετρώδη αλπικά εδάφη (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. *Poa alpine*.

3.3.2 Ψυχανθή

Anthyllis vulneraria (Ανθυλλίς η τραυματική): Είναι φυτό ετήσιο ή πολυετές που αναπτύσσεται στην Ελλάδα από την παραθαλάσσια μέχρι και την αλπική ζώνη. Είναι ανθεκτική στην ξηρασία και στο ψύχος, ευδοκιμεί σε ασβεστολιθικά, ελαφρά εδάφη και δείχνει προτίμηση σε ξερούς και θερμούς τόπους. Έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε έδαφος και μπορεί να αναπτυχθεί σε άγονα, γυμνά από βλάστηση εδάφη. Έτσι, χρησιμοποιείται για την κάλυψη γυμνών επιφανειών και για σταθεροποίηση ασταθών εδαφών (Εικόνα 21).

Lotus corniculatus (Λωτός ο κερατιοφόρος): Πολυετές φυτό που φύεται σε ολόκληρη την Ελλάδα, από την παραθαλάσσια μέχρι την αλπική ζώνη. Αναπτύσσεται καλά σε πάσης φύσεως εδάφη, δηλαδή υγρά ή ξηρά, αργιλώδη ή αμμώδη, ασβεστούχα ή αλατούχα κ.τ.λ. (Εικόνα 22).



Εικόνα 21. *Anthyllis vulneraria*.



Εικόνα 22. *Lotus corniculatus*.

Trifolium hybridum (Τριφύλλιον το υβρίδιον): Είναι φυτό πολυετές που ευδοκιμεί ιδιαίτερα σε ορεινές περιοχές, σε εδάφη αργιλοπηλώδη, όξινα, ψυχρά και υγρά. Αντέχει πάρα πολύ σε ατμοσφαιρική υγρασία και ψύχος (Εικόνα 23).

Trifolium repens (Τριφύλλιον το έρπον): Είναι φυτό πολυετές που φύεται από την παραθαλάσσια μέχρι και την αλπική ζώνη. Έχει μεγάλη ικανότητα προσαρμογής και ευδοκιμεί σε ποικιλία εδαφών, εκτός από τις περιπτώσεις των πολύ συμπιεσμένων και των ελαφρών και ξηρών άμμων (Εικόνα 24).



Εικόνα 23. *Trifolium hybridum*.



Εικόνα 24. *Trifolium repens*.

3.4. Άμεση δαπάνη αποκατάστασης της βλάστησης

Ο πιο αποδοτικός τρόπος αποκατάστασης είναι αυτός που με το χαμηλότερο κόστος θα οδηγήσει προς τη «φυτοκοινωνία κλίμαξ». Η δαπάνη αποκατάστασης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η διαμόρφωση και κατεργασία του φυτικού υποθέματος, η ετοιμασία της σποροκλίνης, η διαθεσιμότητα σπόρου, η μέθοδος φύτευσης, η χρήση εδαφοβελτιωτικών και λιπασμάτων και η κατασκευή αρδευτικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

4.1 Γενική περιγραφή

Η φυτοαποκατάσταση (γνωστή επίσης και ως πράσινη αποκατάσταση, βοτανοαποκατάσταση, αγροαποκατάσταση και φυτική αποκατάσταση) είναι η ονομασία που έχει δοθεί σε μία ομάδα από τεχνολογίες που χρησιμοποιούν φυτά και τους σχε-τιζόμενους με αυτά μικροοργανισμούς για την επί τόπου μερική ή πλήρη αποκατά-σταση ρυπασμένων εδαφών, ιλύων, ιζημάτων και υπόγειων νερών. Οι τεχνολογίες φυτοαποκατάστασης εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση τόσο οργανικών όσο και ανόργανων ρύπων. Στους ρύπους αυτούς συμπεριλαμβάνονται υδρογονάνθρακες, χλωριωμένες ενώσεις, φυτοφάρμακα, εκρηκτικά, βαρέα μέταλλα, μεταλλοειδή και ραδιενεργά υλικά.

Τα φυτά βοηθούν στην αποκατάσταση ρυπασμένων περιοχών μέσω μιας σειράς μηχανισμών. Μερικά φυτά μπορεί να είναι ανθεκτικά σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών χημικών ουσιών χωρίς να παρουσιάζουν ενδείξεις τοξικότητας ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να προσλαμβάνουν και να μετατρέπουν χημικές ενώσεις σε λιγότερο τοξικές μορφές. Επιπρόσθετα, προκαλούν την έναρξη αντιδράσεων χημικής αποδόμησης οργανικών ενώσεων στη ριζόσφαιρα, μέσω της έκκρισης ουσιών και ενζύμων από τις ρίζες τους. Επίσης ορισμένα φυτά που ονομάζονται υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators), απορροφούν και αφομοιώνουν ασυνήθιστα υψηλά ποσά μετάλλων. Η ανάπτυξη αυτών των φυτών σε ρυπασμένα εδάφη και η εκρίζωσή τους σε καθορισμένες χρονικές περιόδους έχει ως αποτέλεσμα την απορρύπανση του εδάφους. Άλλα φυτά μπορεί να ακινητοποιήσουν τους ρύπους στο έδαφος μέσω μηχανισμών απορρόφησης και συσσώρευσης στις ρίζες ή μέσω καταβύθισης ή ακινητοποίησης εντός της ζώνης του ριζικού τους συστήματος. Συνεπώς και με βάση την τελική κατάληξη των ρύπων, η φυτοαποκατάσταση μπορεί να θεωρηθεί ως τεχνική αποδόμησης, εξαγωγής ή περιορισμού.

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης της φυτοαποκατάστασης βασίζεται στους μηχανισμούς οι οποίοι λαμβάνουν χώρα. Οι μηχανισμοί αυτοί περιλαμβάνουν:

1. την εξαγωγή των ρύπων από το έδαφος και συσσώρευση τους στον ιστό του φυτού για την απομάκρυνση τους (φυτοεξαγωγή - phytoextarction),
2. την αποδόμηση των οργανικών ρύπων στη ζώνη του ριζικού συστήματος από

μικροοργανισμούς (ριζοαποδόμηση - rhizodegradation),

3. την πρόσληψη των ρύπων από το έδαφος και την αποδόμησή τους στα διάφορα τμήματα του φυτού (φυτοαποδόμηση - phytodegradation),
4. την εξάτμιση – εξαέρωση ή μεταφορά των πτητικών ρυπαντών από τα φυτά στον αέρα (φυτοεξάτμιση - phytovolatilisation),
5. την ακινητοποίηση των ρυπαντών στη ζώνη του ριζικού συστήματος (φυτοσταθεροποίηση - phytostabilization) και
6. την προσρόφηση των ρύπων στις ρίζες για συσσώρευση και/η απομάκρυνση (ριζοδιήθηση - rhizofiltration).

Η φυτοαποκατάσταση θεωρείται ως μια χαμηλού κόστους εναλλακτική μέθοδος αποκατάστασης που προσφέρει μόνιμη λύση βελτιώνοντας παράλληλα την αισθητική της ρυπασμένης περιοχής. Ταιριάζει απόλυτα και μπορεί να εφαρμοστεί:

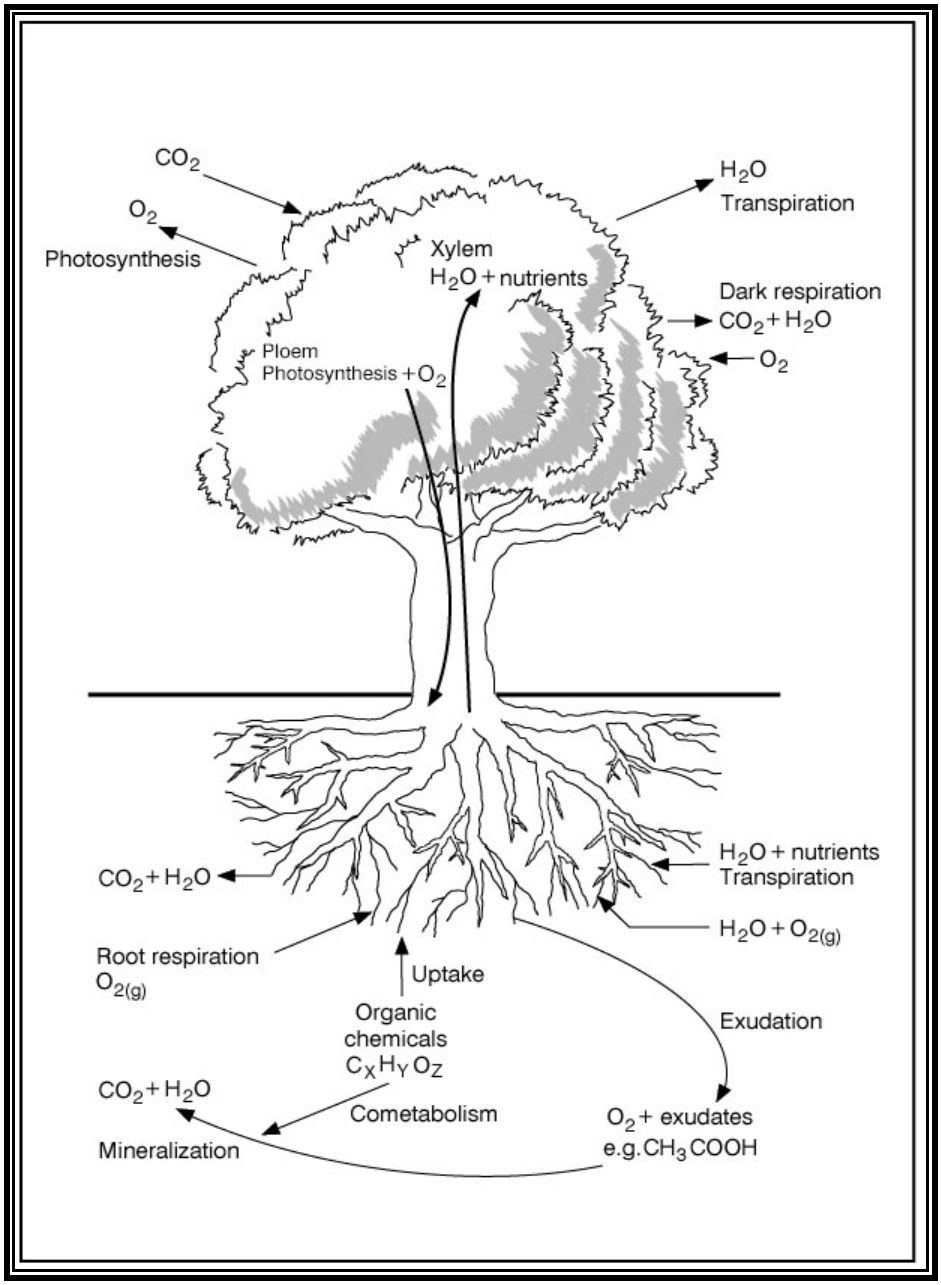
1. σε μεγάλης έκτασης περιοχές, η αποκατάσταση των οποίων είναι μη εφαρμόσιμη ή οικονομικά ασύμφορη με άλλες τεχνικές αποκατάστασης,
2. σε περιοχές με χαμηλά επίπεδα ρύπων, όπου απαιτείται η εφαρμογή μόνο μιας «τεχνικής εξευγενισμού» για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα και
3. σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες, όπου η φυτοκάλυψη εφαρμόζεται ως το τελικό στάδιο στη συνολική αποκατάσταση και κλείσιμο της περιοχής.

Υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί εφαρμοσιμότητας της τεχνολογίας αυτής που πρέπει να εξετασθούν πριν από την τελική επιλογή της. Αυτοί σχετίζονται με το βάθος της ρύπανσης, το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για τον καθαρισμό σε επίπεδα χαμηλότερα από τα επιτρεπόμενα, τη δυνητική ρύπανση της βλάστησης και κατ’ επέκταση της τροφικής αλυσίδας και τη δυσκολία της φύτευσης και διατήρησης της βλάστησης σε μερικές ρυπασμένες περιοχές.

4.2 Μηχανισμοί φυτοαποκατάστασης

Η φυτοαποκατάσταση εκμεταλλεύεται φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στα φυτά (Εικόνα 25) και οι οποίες περιλαμβάνουν απορρόφηση νερού και χημικών ενώσεων, μεταβολισμό εντός του φυτού, απελευθέρωση ανόργανων και οργανικών ενώσεων (εκκρίματα) στο έδαφος και φυσικές και βιολογικές επιδράσεις των ριζών του φυτού. Τα φυτά χρειάζονται 13 ανόργανα θρεπτικά συστατικά (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cl, Zn, Mn, Cu, B και Mo) για την ανάπτυξή τους τα οποία προσλαμβάνονται από το ριζικό τους σύστημα. Εκτός από τα παραπάνω απαραίτητα

θρεπτικά συστατικά, είναι δυνατόν να προσληφθούν από τα φυτά και άλλα μη απαραίτητα ανόργανα συστατικά όπως ορισμένοι κοινοί ανόργανοι (Pb, Cd, As, κ.λπ.) ή οργανικοί ρύποι.



Εικόνα 25. Μεταφορά οξυγόνου, νερού και χημικών σε ένα ξυλώδες φυτό.

Για να προσληφθεί ένα χημικό συστατικό από το φυτό χρειάζεται να είναι διαλυμένο είτε στο νερό του εδάφους είτε στο υπόγειο νερό. Το νερό απορροφάται από το εδαφικό διάλυμα στον εξωτερικό ιστό των ριζών και έτσι οι περιεχόμενοι στο νερό ρυπαντές μπορεί να μετακινηθούν στα διαφορετικά μέρη του φυτού όπου μπορεί να απορροφηθούν, δεσμευθούν ή μεταβολισθούν.

Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα χημικών συστατικών στις ρίζες των φυτών είναι η υδροφοβία, η πολικότητα, οι ιδιότητες απορρόφησης και η διαλυτότητα. Προκειμένου να εφαρμοστεί μια μέθοδος αποκατάστασης σε εδάφη ρυπασμένα από οργανικούς ρύπους, ο ρύπος πρέπει να βρίσκεται σε επαφή με τις ρίζες του φυτού και να είναι διαλυμένος στο νερό του εδάφους.

Ένα από τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την πρόσληψη οργανικών συστατικών σε ένα φυτό είναι ο συντελεστής κατανομής οκτανόλης-νερού, logKow. Τα χημικά συστατικά που έχουν τη δυνατότητα να εισέρχονται στο φυτό έχουν τιμές logKow μεταξύ 1 και 3,5. Τα υδρόφοβα χημικά που παρουσιάζουν τιμές logKow μεγαλύτερες από 3,5 είναι γενικά μη επαρκώς διαλυτά στο νερό ή δεσμεύονται τόσο ισχυρά στην επιφάνεια των ριζών που δε μπορεί εύκολα να μεταφερθούν εντός του φυτού. Από την άλλη πλευρά, τα χημικά τα οποία είναι ισχυρά πολωμένα και εύκολα διαλυτά στο νερό (logKow<1,0) δεν απορροφώνται επαρκώς από τις ρίζες ούτε μεταφέρονται ενεργά μέσω των μεμβρανών του φυτού λόγω της υψηλής τους πολικότητας. Τα περισσότερα χημικά του βενζολίου, τολουολίου, αιθυλοβενζολίου και ξυλολίου (BTEX), οι χλωριωμένοι διαλύτες και τα αλειφατικά χημικά βραχείας αλύσου παρουσιάζουν εύρος τιμών του συντελεστή logKow που τους επιτρέπει να είναι δεκτικά σε φυτοαποκατάσταση.

Οι ρίζες των φυτών επιφέρουν αλλαγές στη διεπιφάνεια εδάφους-ρίζας καθώς απελευθερώνουν ανόργανα και οργανικά συστατικά (εκκρίματα) στην περιοχή του εδάφους που περιβάλλει τις ρίζες (ριζόσφαιρα). Τα εκκρίματα των ριζών επηρεάζουν τον αριθμό και τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, τη συσσώρευση και τη σταθερότητα των σωματιδίων του εδάφους γύρω από τις ρίζες και τη διαθεσιμότητα των στοιχείων. Τα εκκρίματα των ριζών μπορεί να αυξήσουν (κινητοποιήσουν) ή μειώσουν (ακινητοποιήσουν) άμεσα ή έμμεσα τη διαθεσιμότητα των στοιχείων στη ριζόσφαιρα. Η κινητοποίηση ή η ακινητοποίηση των στοιχείων στη ριζόσφαιρα μπορεί να προκληθεί από αλλαγές στην τιμή του pH του εδάφους, την απελευθέρωση σύνθετων συστατικών, όπως χηλικά σύμπλοκα μεταλλικών ιόντων, αλλαγές στο δυναμικό οξειδοαναγωγής και αύξηση της μικροβιακής δραστηριότητας.

Οι διαφορετικοί τύποι φυτοαποκατάστασης μπορεί να απαιτήσουν διαφορετικά είδη φυτών και εφαρμόζονται σε ειδικούς τύπους ρυπαντών.

Υπάρχουν πολυάριθμοι μηχανισμοί με τους οποίους τα φυτά μπορεί να αποκαθιστούν ρυπασμένες θέσεις. Φυτικές εκκρίσεις ή ένζυμα που είναι υπεύθυνα για την αποδόμηση των ρύπων δίνονται στους πίνακες:

Πίνακας 4. Φυτικά ένζυμα που παίζουν ρόλο στην μετατροπή οργανικών ρυπαντών (Susala et all, 2002).

Ένζυμο	Φυτά με γνωστή ενζυμική δραστηριότητα	Εφαρμογή
Αφαλογωνάση (Dehalogenase)	Υβρίδια Λεύκας (*Populus spp.*), Φύκια (διάφορα είδη), *Myriophyllum aquanticum*	Αφαλογονώνει χλωριωμένους διαλύτες.
Λακκάση (Laccase)	Φύκια (*Nitella spp.*), (*Myriophyllum aquaticum*)	Αφαιρεί τον αρωματικό δακτύλιο μετά την αποικοδόμηση του TNT σε τριαμινοτουλουένιο
Νιτριλάση (Nitrilase)	Ιτιά (*Salix spp.*)	Αφαιρεί κυανομάδες από τους αρωματικούς δακτυλίους
Νιτροριεδουκτάση (Nitroreductase)	Υβρίδια λεύκας (*Populus spp.*), Φύκια (*Nitella spp.*), *Myriophyllum aquaticum*	Αφαιρεί νιτροομάδες από εκρηκτικά και άλλες νιτροαρωματικές ουσίες και αφαιρεί μόρια αζώτου από δακτυλίους.
Περοξειδάση (Peroxidase)	*Armoracia rusticana*	Αποικοδομεί φαινολικά (χρήση κυρίως για λύματα)
Φωσφατάση (Phosphatase)	*Spirodela polirhyza*	Αφαιρεί ομάδες φωσφατάσης από οργανοφωσφορικά φυτοφάρμακα.

Πίνακας 5. Είδη φυτών που χρησιμοποιούνται στη φυτοαποκατάσταση οργανικών ουσιών (Susala et al., 2002).

Είδος φυτού	Ρύπος
Κριθάρι (*Hordeum vulgare*)	Εξαχλωροβενζένιο, PCB's, Πανταχλωροβενζένιο, Τριχλωροβενζένιο
Γρασίδια βοσκής	Χλωριωμένα βενζοϊκά οξέα.
Myriophyllum aquaticum	Τετραχλωροαιθάνιο (PCE), τριχλωροαιθάνιο (TCE), TNT
Υβρίδια Λεύκας (*Populus spp.*)	Ατραζίνη, νιτροβενζένιο, TCE, TNT
Γρασίδι λειμώνος	2-χλωροβενζοϊκό οξύ.
Σόγια (*Glycine max*)	Νιτροβενζένιο, φαινόλη
Myriophyllum spicatum	TNT
Eihhornia crassipes	Πενταχλωροφαινόλη, PCE, TCE

Μερικοί από τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται από τα φυτά για να διευκολύνουν την αποκατάσταση περιγράφονται παρακάτω.

4.2.1 Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction)

Η φυτοεξαγωγή (γνωστή και ως φυτοσυσσώρευση, φυτοδέσμευση, φυτοαπορρόφηση, και φυτοεκμετάλλευση) αναφέρεται στη χρήση συγκεκριμένων φυτών για τη μεταφορά μετάλλων από το έδαφος και την συγκέντρωσή τους στις ρίζες και στα υπέργεια τμήματα του φυτού. Ένα είδος ή συνδυασμός ειδών μπορεί να επιλεγεί και να φυτευθεί σε μία περιοχή ανάλογα με τον τύπο των μετάλλων που είναι παρόντα και τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Αφού τα φυτά αφεθούν να μεγαλώσουν για μερικές εβδομάδες ή μήνες, θερίζονται και είτε καίγονται ή χρησιμοποιούνται ως μετάλλευμα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επαναληφθεί όσο

απαιτείται έτσι ώστε τα επίπεδα του ρύπου στο έδαφος να είναι χαμηλότερα από τα επιτρεπόμενα όρια. Η φυτοεξαγωγή εφαρμόζεται σε μέταλλα (π.χ., Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, No,Ni, Pb, Zn), μεταλοειδή (π.χ., Ag, Se), ραδιονουκλεΐδια (π.χ., 90Sr, 137Cs, 234U, 238U) και αμέταλλα (π.χ. B). Η φυτοεξαγωγή θεωρείται ότι δεν είναι εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις θρεπτικών ινχοστοιχείων και οργανικών ρυπαντών καθώς αυτοί μπορεί να μεταβολιστούν, μεταλλαχθούν ή αεριοποιηθούν από το φυτό, εμποδίζοντας έτσι την όποια συσσώρευση.

Η φυτοεξαγωγή βασίζεται κυρίως σε συγκεκριμένα είδη φυτών τα οποία καλούνται υπερσυσσωρευτές «hyperaccumulators» και τα οποία απορροφούν ασυνήθιστα μεγάλες ποσότητες μετάλλων σε σύγκριση με άλλα φυτά. Ένα φυτό υπερσυσσωρευτής έχει την ικανότητα απορρόφησης έως και 100 φορές μεγαλύτερη ποσότητα μετάλλου σε σχέση με ένα κοινό φυτό. Έτσι, για παράδειγμα, ένα φυτό υπερσυσσωρευτής μπορεί να συγκεντρώσει περισσότερο από 1.000mgr/kgr ή 0,1 τοις εκατό (επί ξηρού βάρους) μετάλλων, όπως Co, Cu, Cr, Pb, ή 10.000mgr/kgr (1%) μετάλλων, όπως Zn και Ni. Αντίστοιχα, τα αλόφυτα είναι φυτά τα οποία είναι ανθεκτικά και σε αρκετές περιπτώσεις συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες αλάτων (κυρίως χλωριούχου νατρίου, αλλά επίσης και αλάτων του Ca και Mg). Οι υπερσυσσωρευτές και τα αλόφυτα επιλέγονται και φυτεύονται στην προς αποκατάσταση περιοχή με βάση το είδος του μετάλλου ή άλατος, τη συγκέντρωση αυτών των συστατικών/ενώσεων και τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Σχεδόν όλα τα γνωστά φυτά υπερσυσσωρευτές μετάλλων έχουν ανακαλυφθεί σε εδάφη πλούσια σε μέταλλα και είναι ενδημικά σε τέτοια εδάφη, αποδεικνύοντας ότι η υπερσυσσώρευση αποτελεί μία σημαντική οικοφυσιολογική προσαρμογή στην έντονη παρουσία των μετάλλων και μία ένδειξη-εκδήλωση της αντίστασης σε αυτές τις υψηλές συγκεντρώσεις. Τα φυτά αυτά είναι συνήθως σπάνια και βρίσκονται μόνο σε συγκεκριμένες περιοχές σε όλο τον κόσμο, ενώ έχουν ταυτοποιηθεί λιγότερα από 400 είδη για οκτώ διαφορετικά βαρέα μέταλλα. Η φυτοεξαγωγή λαμβάνει χώρα κυρίως στη ζώνη του ριζικού συστήματος των φυτών. Η ζώνη του ριζικού συστήματος των φυτών είναι σχετικά αβαθής με την πλειοψηφία των ριζών να αναπτύσσεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους γεγονός που αποτελεί ένα δυνητικό περιορισμό της φυτοεξαγωγής. Τα μέταλλα προσλαμβάνονται από τα φυτά με διαφορετικούς ρυθμούς. Ερευνητικές εργασίες έχουν αποδείξει ότι οι συντελεστές φυτοεξαγωγής (ο λόγος της συγκέντρωσης μετάλλου στα υπέργεια τμήματα του φυτού σε σχέση με τη συγκέντρωση του μετάλλου στο έδαφος), για

απορρόφηση διαφορετικών μετάλλων από το είδος σιναπιού *Brassica juncea* διαφοροποιείται σημαντικά όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.

Είναι προφανές ότι υψηλότερες τιμές συντελεστή φυτοεξαγωγής σχετίζονται με υψηλότερη απορρόφηση μετάλλων. Η αποτελεσματικότητα της φυτοεξαγωγής μπορεί να περιοριστεί από την απορρόφηση των μετάλλων σε σωματίδια εδάφους και από τη χαμηλή διαλυτότητα των μετάλλων. Ωστόσο, η διαλυτότητα των μετάλλων μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη οξέων ή χηλικών μέσων, επιτρέποντας έτσι την απορρόφηση του ρυπαντή από το φυτό. Ως παράδειγμα αναφέρεται η αύξηση της διαλυτότητας του μολύβδου, ουρανίου και κεσίου 137 με τη βοήθεια των EDTA (αιθυλενοδιαμινο-τετραοξικό οξύ), κιτρικού οξέος και νιτρικού αμμωνίου αντίστοιχα. Εν τούτοις, θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη η πιθανότητα δυσμενών επιπτώσεων των χρησιμοποιούμενων χημικών αντιδραστηρίων, στην ποιότητα των υπόγειων νερών, στην ανάπτυξη των φυτών ή στην αύξηση της διαλυτότητας άλλων στοιχείων.

Πίνακας 6. Συντελεστές φυτοεξαγωγής *Brassica juncea*.

Στοιχείο	Συντελεστής φυτοεξαγωγής
Cr^{6+}	58
Cd^{2+}	52
Ni^{2+}	31
Cu^{2+}	7
Pb^{2+}	1.7
Cr^{3+}	0.1
Zn^{2+}	17

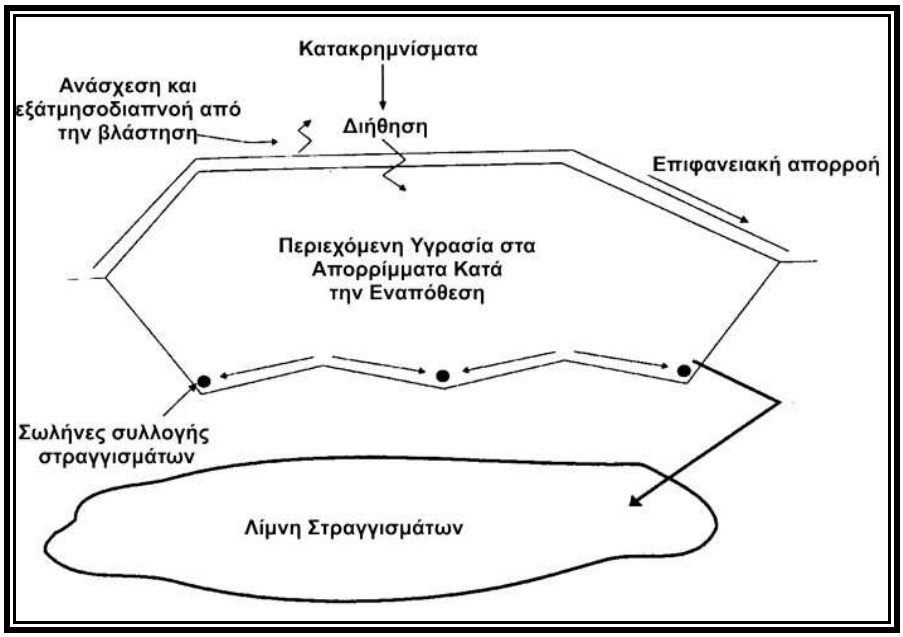
Η φυτοεξαγωγή παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Οι ρύποι απομακρύνονται μόνιμα από το έδαφος, ενώ η ποσότητα του προς απόρριψη υλικού είναι σημαντικά μειωμένη. Σε πολλές περιπτώσεις, ο συσσωρευμένος ρυπαντής είναι δυνατόν να ανακτηθεί από τη ρυπασμένη βιομάζα. Από την άλλη πλευρά, η χρήση των υπερσυσσωρευτών περιορίζεται από χαμηλή ανάπτυξη, αβαθές ριζικό σύστημα και μικρή παραγωγή βιομάζας. Προκειμένου ένα σχέδιο αποκατάστασης με μεθόδους φυτοεξαγωγής να είναι πραγματοποιήσιμο, τα φυτά θα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε υψηλές περιεκτικότητες μετάλλων, να έχουν την ικανότητα εξαγωγής μεγάλων ποσοτήτων βαρέων μετάλλων στις ρίζες τους, να μεταφέρουν τα μέταλλα στα υπέργεια τμήματα του φυτού και να παράγουν υψηλές ποσότητες φυτικής βιομάζας.

4.2.2 Φυτοάντληση (Phytopumping) και έλεγχος της υδατικής ισορροπίας

Η φυτοάντληση είναι ένας άλλος μηχανισμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί

για την αφαίρεση ή ελαχιστοποίηση της μεταφοράς των ρύπων. Σε αυτή την περίπτωση, τα φυτά χρησιμοποιούνται ως οργανικές «αντλίες» για την απορρόφηση μεγάλων όγκων ρυπασμένου νερού μέσω της διαδικασίας της διαπνοής. Το αποτέλεσμα είναι, εκτός από την πιθανή απορρόφηση του ρύπου, η μειωμένη μεταφορά του στα υπόγεια νερά. Για αυτή τη χρήση προτιμούνται τα φυτά που είναι ικανά να αφαιρούν μεγάλες ποσότητες νερού από το έδαφος. Για παράδειγμα η Ιτιά (*Salix spp.*) μπορεί να χρησιμοποιήσει μέχρι 200lt νερού την ημέρα. Τα φυτά που έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά μπορεί να παρέχουν μια εναλλακτική λύση στη χρήση συστημάτων μηχανικής άντλησης και επεξεργασίας όταν πρόκειται για νερό που βρίσκεται σε μικρό βάθος μέσα στο έδαφος (Susala et all, 2002).

Η ψάθα *Typha latipholia* και άλλα παρόμοια φυτά που φυτρώνουν σε εκβολές ποταμών, μπορούν να απορροφήσουν ορισμένες ουσίες που βρίσκονται σε διαλύματα και να τις χρησιμοποιήσουν ως θρεπτικά. Εκεί που υψηλές συγκεντρώσεις από αυτές τις ουσίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν προβλήματα ρύπανσης όπως στα στραγγίσματα χωματερών ή σε ορισμένες μικρές λίμνες αποβλήτων, οι ψάθες και παρόμοια υδροχαρή φυτά μπορούν να περιορίσουν αυτές τις καταστάσεις. «Υδροβιότοποι» που μοιάζουν να είναι φυσικοί μπορούν να δημιουργηθούν αν κατασκευαστούν λιμνούλες στραγγισμάτων φυτεμένες με ψάθες και παρόμοια φυτά. Το καθαρισμένο νερό από αυτές τις λιμνούλες μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για νερό ύδρευσης μετά από πρόσθετη επεξεργασία (Palmer, 1999).



Εικόνα 26. Λίμνη συσσώρευσης στραγγισμάτων χωματερής για την αποκατάστασή της με τη χρήση υδροχαρών φυτών.

4.2.3. Φυτοαποδόμηση (Phytodegradation)

Η φυτοαποδόμηση (γνωστή και ως φυτομετατροπή-phytotransformation) είναι η πρόσληψη, μεταβολισμός και αποδόμηση των ρυπαντών στη μάζα του φυτού, ή η αποδόμηση των ρύπων εξωτερικά του φυτού μέσω της δράσης συστατικών όπως ένζυμα, τα οποία παράγονται και διαχέονται από τα φυτά. Η φυτοαποδόμηση επομένως δεν εξαρτάται από την παρουσία μικροοργανισμών που σχετίζονται με τη ριζόσφαιρα. Για τον τύπο της φυτοαποδόμησης που λαμβάνει χώρα στη μάζα του φυτού, απαιτείται η ικανότητα του φυτού να προσλαμβάνει τον ρύπο. Έτσι, μόνο μέτρια υδροφοβικά συστατικά, με συντελεστή κατανομής οκτανόλης-νερού, logKow μεταξύ 1 και 3,5, είναι δεκτικά σε φυτοαποδόμηση.

Η άμεση πρόσληψη ενός χημικού συστατικού στη μάζα του φυτού μέσω του ριζικού συστήματος εξαρτάται από την ικανότητα απορρόφησης, το ρυθμό διαπνοής και τη συγκέντρωση του ρύπου στο νερό του εδάφους. Από τη στιγμή που το οργανικό χημικό συστατικό μεταφερθεί εντός της μάζας του φυτού, το φυτό μπορεί να αποθηκεύσει το χημικό συστατικό και τα παράγωγά του εντός της δομής του. Η χημική ένωση μπορεί επίσης να εξατμισθεί, να μεταβολιστεί ή να διασπαστεί σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό.

4.2.4 Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilisation)

Η φυτοσταθεροποίηση (γνωστή επίσης και ως επί τόπου αδρανοποίηση ή φυτοακινητοποίηση) αφορά τη χρήση συγκεκριμένων φυτικών ειδών για την ακινητοποίηση των ρύπων στο έδαφος μέσω απορρόφησης και συσσώρευσης από τις ρίζες, προσρόφηση στις ρίζες ή καταβύθιση, συμπλοκοποίηση και αναγωγή μετάλλων εντός του ριζικού συστήματος). Οι τρεις μηχανισμοί με τους οποίους είναι δυνατή η απομάκρυνση των ρυπαντών με τη φυτοσταθεροποίηση είναι:

1. Φυτοαποκατάσταση στη ζώνη του ριζικού συστήματος (Phytoremediation in the Root Zone): Οι πρωτεΐνες και τα ένζυμα τα οποία παράγονται από το φυτό εκκρίνονται από τις ρίζες στη ριζόσφαιρα. Αυτά τα προϊόντα του φυτού στοχεύουν τους περιεχόμενους ρύπους στο έδαφος που περιβάλλει το ριζικό σύστημα, με αποτέλεσμα την καταβύθιση ή την ακινητοποίηση τους στη ζώνη του ριζικού συστήματος. Ο μηχανισμός αυτός μπορεί να μειώσει το κλάσμα του ρύπου που είναι βιοδιαθέσιμο στο έδαφος.
2. Φυτοσταθεροποίηση στις μεμβράνες των ριζών (Phytostabilization on the Root Membranes): Οι πρωτεΐνες και τα ένζυμα που σχετίζονται άμεσα με τα

κυτταρικά τοιχώματα των ριζών μπορούν να δεσμεύσουν και να σταθεροποιήσουν τον ρύπο στις εξωτερικές επιφάνειες των μεβρανών των ριζών. Με τον τρόπο αυτό προλαμβάνεται πιθανή εισχώρηση του ρύπου στο φυτό.

3. Φυτοσταθεροποίηση στα κύτταρα των ριζών (Phytostabilization in the RootCells): Οι πρωτεΐνες και τα ένζυμα που είναι παρόντα στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών διευκολύνουν τη μεταφορά των ρύπων δια μέσου των μεμβρανών των ριζών. Μετά την πρόσληψη τους, οι ρύποι αυτοί μπορούν να δεσμευτούν εντός του χυμοτόπιου (vacuole) των ριζικών κυττάρων, προλαμβάνοντας έτσι πιθανή μετανάστευση του ρυπαντή στους βλαστούς.

Η φυτοσταθεροποίηση εστιάζεται γενικά στη ρύπανση από μέταλλα. Τα κυριότερα μέταλλα που έχουν αναγνωριστεί ως αυτά που παρουσιάζουν την υψηλότερη δεκτικότητα στη φυτοσταθεροποίηση είναι ο μόλυβδος, το χρώμιο και ο υδράργυρος. Εντούτοις, μία σειρά από οργανικούς ρυπαντές είναι επίσης δυνατό να φυτοσταθεροποιηθούν καθώς κάποιες από τις οργανικές ενώσεις ή τα παράγωγα του μεταβολισμού τους μπορεί να προσαρτηθούν ή να ενσωματωθούν στα συστατικά του φυτού. Οι οργανικές ενώσεις που είναι περισσότερο δεκτικές σε φυτοσταθεροποίηση είναι αυτές με τιμές logKow μεγαλύτερες από 3,5.

Η αποτελεσματική φυτοαποκατάσταση απαιτεί μία συνολική και ενδελεχή γνώση των χημικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στη ζώνη του ριζικού συστήματος, των ριζικών εκκρίσεων, των ρύπων, των λιπασμάτων και βελτιωτικών που προστίθενται στο έδαφος, έτσι ώστε να προληφθούν οποιαδήποτε ακούσια φαινόμενα τα οποία θα μπορούσαν να αυξήσουν τη διαλυτότητα των ρύπων και την εκχυλισιμότητά τους. Όπως έχει αποδειχθεί η φυτοσταθεροποίηση είναι καταλληλότερη σε περιπτώσεις εδάφους πυκνής υφής και με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό.

Τα φυτοσταθεροποιητικά (phytostabilising) φυτά θα πρέπει να είναι ανθεκτικά σε υψηλά επίπεδα ρύπανσης (π.χ. φυτά ανθεκτικά σε μέταλλα για περιπτώσεις εδαφών ρυπασμένων από βαρέα μέταλλα), με ριζικό σύστημα το οποίο αναπτύσσεται εντός της ρυπασμένης ζώνης και να μπορούν να μεταβάλλουν τις βιολογικές, χημικές και φυσικές συνθήκες του εδάφους. Επιπλέον, θα πρέπει να μη συσσωρεύουν ρύπους στο φυτικό ιστό, έτσι ώστε να μηδενιστεί η πιθανότητα να αποτελέσουν επικίνδυνα απόβλητα μετά τη συγκομιδή τους. Οι περισσότερες ερευνητικές εργασίες σχετικές με τη φυτοσταθεροποίηση αφορούν κυρίως

μεταλλευτικά απορρίμματα ή εδάφη τα οποία έχουν ρυπανθεί από μεταλλευτική δραστηριότητα. Σε συνέχεια μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στο Liverpool της Αγγλίας, προσδιορίστηκαν τρεις διαφορετικές ποικιλίες γρασιδιού για φυτοσταθεροποίηση και πιο συγκεκριμένα ένα είδος του γένους *Agrostis* (*Agrostis tenuis*, cv Parys) για απορρίμματα χαλκού, το είδος *Agrostis tenuis*, cv Coginan για όξινα απορρίμματα μολύβδου και ψευδαργύρου, και το είδος *Festuca rubra*, cv Merlin για ανθρακικά απορρίμματα μολύβδου και ψευδαργύρου. Εργαστηριακές μελέτες έχουν αποδείξει ότι και άλλα φυτά όπως το σινάπι (*Brassica juncea*) παρουσιάζουν την ικανότητα φυτοσταθεροποίησης του Pb και του εξασθενούς Cr. Ορισμένα κοινά δέντρα εξετάζονται επίσης ως προς την ικανότητά τους για φυτοσταθεροποίηση καθώς έχουν τη δυνατότητα να σχηματίζουν ένα εκτενές ριζικό σύστημα το οποίο είναι δυνατόν να επεκταθεί έως το μέγιστο βάθος της ρύπανσης.

Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι ότι δεν απαιτείται διάθεση επικίνδυνου υλικού/βιομάζας, το έδαφος δε χρειάζεται να απομακρυνθεί, το κόστος εφαρμογής είναι χαμηλό και ο βαθμός όχλησης των δραστηριοτήτων στην περιοχή είναι χαμηλότερος από την εφαρμογή οποιασδήποτε άλλης εντατικής τεχνολογίας αποκατάστασης. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι πολύ αποτελεσματική όταν απαιτείται άμεση ακινητοποίηση προκειμένου να προστατευτούν τα επιφανειακά και υπόγεια νερά. Η παρουσία φυτών μειώνει επίσης τη διάβρωση του εδάφους και ελαττώνει την ποσότητα του νερού που είναι διαθέσιμη στο σύστημα. Το βασικότερο μειονέκτημα της φυτοαποκατάστασης είναι το γεγονός ότι οι ρυπαντές παραμένουν στο έδαφος και έτσι μία ενδεχόμενη μελλοντική αποδέσμευση ρυπαντών θα πρέπει να προληφθεί. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διασφαλιστεί η μακροχρόνια συντήρηση της βλάστησης ή η αυτοσυντήρησή της.

4.2.5 Φυτοεξάτμιση (Phytovolatilization)

Φυτοεξάτμιση είναι ο μηχανισμός με τον οποίο τα φυτά μετατρέπουν ένα ρύπο σε αέρια μορφή, αφαιρώντας τον, έτσι, από το έδαφος ή το νερό μιας ρυπασμένης περιοχής. Για παράδειγμα, υπάρχουν φυτά που, πιθανώς σε συνεργασία με μικροοργανισμούς μπορούν να μετατρέψουν το σελήνιο σε διμεθυλούχο σελήνιο. Το διμεθυλούχο σελήνιο είναι λιγότερο τοξικό και πτητικό από το σελήνιο. Η φυτοεξάτμιση μπορεί να είναι ένας χρήσιμος και φτηνός τρόπος αφαίρεσης του σεληνίου από περιοχές ρυπασμένες με απορρίμματα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σεληνίου. Παρόμοια, ορισμένα διαγωνιδιακά φυτά (π.χ. *Arabidopsis*

thaliana) έχουν μετατρέψει οργανικά και ανόργανα άλατα υδραργύρου στην πτητική στοιχειακή μορφή.

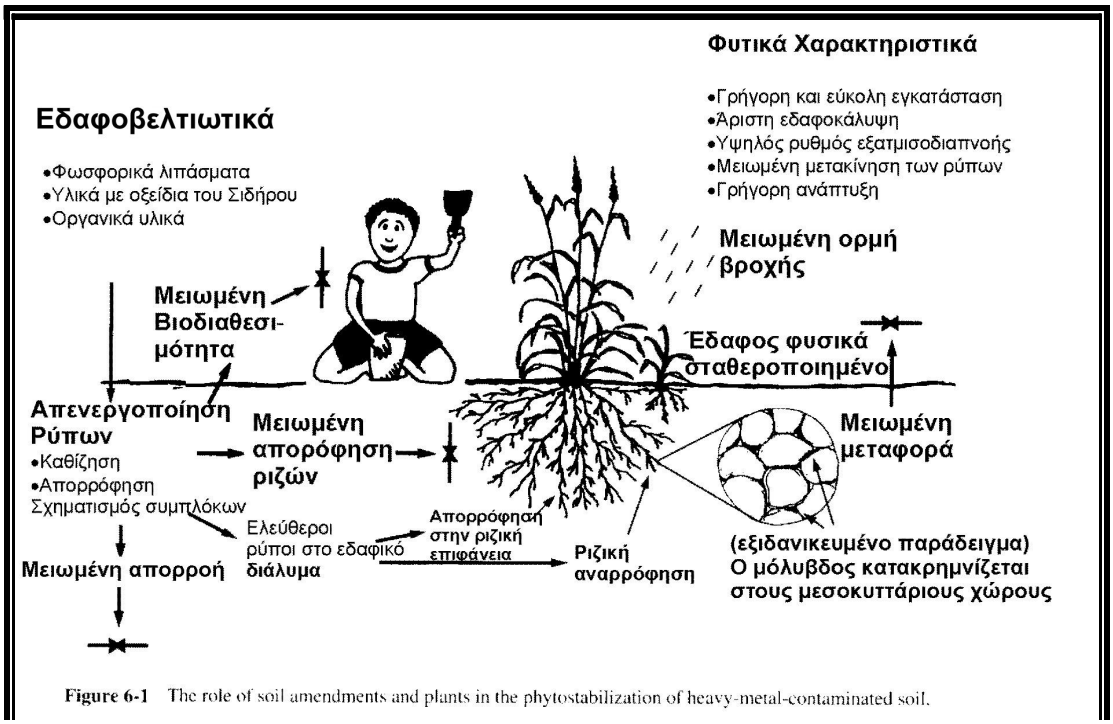


Figure 6-1 The role of soil amendments and plants in the phytostabilization of heavy-metal-contaminated soil.

Εικόνα 27. Ο ρόλος των φυτών και των εδαφοβελτιωτικών στη φυτοσταθεροποίηση ενός ρυπασμένου με βαρέα μέταλλα εδάφους (Berti & Cunningham, 2000).

4.2.6 Ριζοαποδόμηση (Rhizodegradation)

Η ριζοαποδόμηση (γνωστή και ως φυτοδιέγερση, ριζοσφαιρική βιοαποδόμηση ή φυτουποβοηθούμενη βιοαποκατάσταση/αποδόμηση) αναφέρεται στην αποσύνθεση των ρύπων που περιέχονται στο έδαφος μέσω μίας έντονης βιοδραστηριότητας που λαμβάνει χώρα στη ριζόσφαιρα. Οι ρίζες ενός φυτού εκκρίνουν μία σειρά από κοινά συστατικά που περιλαμβάνουν σάκχαρα, αμινοξέα, οργανικά οξέα, λιπαρά οξέα, στερόλες, πρωτεΐνες, νουκλεοτίδια, κετόνες (φλαβανόνες), ένζυμα κ.α.. Οι εκκρίσεις των ριζών παρέχουν ικανή ποσότητα άνθρακα που ενισχύει τη δράση ενός μεγάλου αριθμού μικροοργανισμών (για παράδειγμα στη ριζόσφαιρα αναπτύσσονται περίπου 108 – 109 μικροοργανισμοί ανά gr εδάφους). Λόγω της παρουσίας αυτών των εκκριμάτων, ο πληθυσμός των μικροοργανισμών και η δράση τους είναι 5 έως 100 φορές υψηλότερη στην περιοχή της ριζόσφαιρας σε σχέση με τον κύριο όγκο του εδάφους.

Η συγκεκριμένη ενίσχυση της δράσης των μικροοργανισμών από την παρουσία των φυτών αναφέρεται ως επίδραση ή φαινόμενο της ριζόσφαιρας -

rhizoshpere effect. Ο αυξημένος πληθυσμός και η δράση των μικροοργανισμών στη ριζόσφαιρα είναι δυνατόν να προκαλέσουν αυξημένη βιοαποδόμηση στο έδαφος, ενώ η αποδόμηση των ριζικών εκκριμάτων υποβοηθά το μεταβολισμό των ρύπων στη ριζόσφαιρα. Οργανικοί ρύποι όπως οι υδρογονάνθρακες ή χλωριωμένοι διαλύτες, μπορεί να μεταβολιστούν άμεσα από πρωτεΐνες και ένζυμα, έχοντας ως αποτέλεσμα την αποδόμηση, το μεταβολισμό ή τη μετατροπή των ρυπαντών σε ορυκτές ενώσεις. Επιπρόσθετα, αρκετοί από αυτούς τους ρύπους είναι δυνατό να διασπαστούν σε ακίνδυνα προϊόντα ή να μετατραπούν σε πηγή τροφής ή ενέργειας για τα φυτά ή τους οργανισμούς του εδάφους.

Η ριζοαποδόμηση είναι τελικά μία συμβιωτική σχέση που έχει αναπτυχθεί μεταξύ του φυτού και των μικροοργανισμών του εδάφους. Τα φυτά παρέχουν τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών, ενώ οι μικροοργανισμοί με τη σειρά τους παρέχουν ένα υγιέστερο εδαφικό περιβάλλον στο οποίο πολλαπλασιάζονται οι ρίζες των φυτών.

4.2.7 Αποκατάσταση ανεπάρκειας αζώτου

Είναι γνωστό ότι ορισμένες ομάδες φυτών σχηματίζουν συμβιωτικά συστήματα με αζωτοδεσμευτικά βακτήρια. Ιδιαίτερα οι ρίζες των ψυχανθών σχηματίζουν αζωτοδεσμευτικά συστήματα με βακτήρια του γένους *Rhizobium* και δεσμεύουν το ατμοσφαιρικό άζωτο, το οποίο χρησιμοποιείται για τις ανάγκες των φυτών και μετά το θάνατό τους προστίθεται στο έδαφος. Έτσι βελτιώνεται η θρεπτική κατάσταση του εδάφους και ενθαρρύνεται η ανάπτυξη άλλων φυτών (Palmer, 1999).

4.2.8 Συνδυασμένοι μηχανισμοί

Σε πολλές περιπτώσεις, η φυτοαποκατάσταση περιλαμβάνει συνδυασμούς των μηχανισμών που περιγράφονται παραπάνω.

Για παράδειγμα, η φυτοεξαγωγή και φυτοσταθεροποίηση έχουν παρατηρηθεί στην αφαίρεση της περίσσειας σεληνίου από το έδαφος. Είναι πιθανό και οι δύο διαδικασίες να παρουσιάζονται ταυτόχρονα. Η αποκατάσταση του TCE στα υπόγεια νερά, με την χρήση Λεύκας απαιτεί εξαγωγή του νερού με το φυτό (φυτοεξαγωγή) που στη συνέχεια θα αποικοδομήσει (φυτοαποικοδόμηση) το TCE που υπάρχει μέσα στο φυτό.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η αποικοδόμηση του PCB από φυτικά κύτταρα, καθώς επίσης και από μικροοργανισμούς διεγερμένους από φυτά, που δίνει την

δυνατότητα συνδυασμού φυτοαποικοδόμησης και ριζοαποικοδόμησης (Susala et all, 2002).

Πίνακας 7. Τυπικά φυτά που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές φυτοαποκατάστασης (Schnoor, 1997).

Εφαρμογή	**Μέσα**	**Ρυπαντές**	**Τυπικά Φυτά**
Φυτομετατροπή (Phytotransformation	Έδαφος, Υπόγεια νερά, Στραγγίσματα χωματερής, Εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος.	Ζιζανιοκτόνα (atrazine, alachlor) Αρωματικά (BTEX) Χλωριωμένα αλειφατικά (TCE) Θρεπτικά (NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}) Απόβλητα πυρομαχικών (TNT, RDX)	Φρεατόφυτα δέντρα (Λεύκα, *Populus deltoides*, Ιτιά) Γρασίδια (σίκαλη, αγριάδα, σόργο, φεστούκα) Ψυχανθή (τριφύλλι, μηδική, βίγνα)
Ριζοσφαιρική Βιοαποκατάσταση (Rhizosphere Bioremediation)	Έδαφος, Ιζήματα, Εφαρμογή λυμάτων στο έδαφος.	Οργανικοί ρυπαντές (φυτοφάρμακα, αρωματικές ενώσεις, και πολυπύρηνοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες)	Απελευθερωτές φαινολικών (μουριά, μηλιά, *Maclura pompifera*) Γρασίδια με ινώδεις ρίζες (σίκαλη) για ρύπους σε βάθος 0-0,91m. Φρεατόφυτα δέντρα για ρύπους σε βάθος 0-3,05m. Υδρόβια φυτά για ιζήματα.
Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization)	Έδαφος, Ιζήματα	Μέταλλα (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U) Υδρόφοβα οργανικά (PAHs, PCBs, διοξίνες, πενταχλωροφαινόλη, DDT, dieldrin)	Φρεατόφυτα δέντρα που διαπνέουν μεγάλες ποσότητες νερού για υδραυλικό έλεγχο Γρασίδια με ινώδεις ρίζες για αποφυγή διάβρωσης του εδάφους Πυκνά ριζικά σύστημα τα για την απορρόφηση/ δέσμευση των ρύπων
Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction)	Έδαφος, Brownfields, Ιζήματα	Μέταλλα (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu) με προσθήκη EDTA για Pb Selenium (εξαέρωση)	Ηλίανθος *Brassica juncea* Φυτάρια ελαιοκράμβης Κριθάρι, Σταυρανθή Ραδίκι
Ριζοφιλτράρισμα (Rhizofiltration	Εδαφικό νερό, νερό και απόβλητα σε στέρνες ή τεχνητούς υδροβιότοπους	Μέταλλα (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu) Ραδιενεργά (^{137}Cs, ^{90}Sr, U) Υδρόφοβα οργανικά	Υδρόβια φυτά: - Αναδυόμενα (*Juncus effusus*, *Typha sp.*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton illinoensis*) - Μη αναδυόμενα (άλγη, *Chara vulgaris*, *Myriophyllum aquaticum*, *Myriophyllum spicatum*, *Hydrilla verticillata*)

4.3 Περιορισμοί

Οι περιορισμοί της φυτοαποκατάστασης περιλαμβάνουν:

- Δυσκολία στη μεταχείριση ρύπων σε βάθος μεγαλύτερο των τριών μέτρων.
- Πιθανή απορρόφηση των ρύπων και απελευθέρωσή τους κατά την φυλλόπτωση.
- Αδυναμία της να εξασφαλίσει απομάκρυνση των ρύπων, κάτω από τα δραστικά επίπεδα, σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Δυσκολία στην εγκατάσταση της φυτείας λόγω της τοξικότητας της περιοχής.
- Πιθανή μεταφορά των ρύπων σε άλλη περιοχή μέσω ροής από το μακροπορώδες ή μέσω της ένωσής τους με διαλυτές φυτικές εκκρίσεις.
- Οι ρυθμιστικοί κανονισμοί μερικές φορές δεν επιτρέπουν την παραμονή των ρύπων στο αρχικό σημείο, ακόμα και αν η φυτική κάλυψη αποτρέπει τη διάβρωση ή την υδρολογική έκθεση.
- Η φυτοαποκατάσταση είναι περισσότερο αποτελεσματική σε περιοχές με εδάφη ρυπασμένα σε μικρό βάθος όπου οι ρύποι μπορούν να εκτεθούν στη ριζόσφαιρα, και την απορρόφηση των ριζών. Περιοχές όπου η ρύπανση έχει σχετικά μεγάλο βάθος και αυτές με λίμνες που περιέχουν μη υδατοδιαλυτά υγρά, δεν είναι κατάλληλες για εφαρμογές της φυτοαποκατάστασης. Παρόλα αυτά ρύποι από βαθειά υπόγεια νερά ή λίμνες εκροής προϊόντων διήθησης μπορούν να αντιμετωπιστούν με άντληση και άρδευση σε φυτείες δέντρων.
- Το χειμώνα μπορεί να παρουσιαστεί πρόβλημα στην φυτοαποκατάσταση, καθώς όταν η φυλλοβόλος βλάστηση έχει χάσει τα φύλλα της, η μετατροπή και η αναρρόφηση παύουν και σταματάει η διαπνοή του εδαφικού νερού.
- Η αποικοδόμηση των οργανικών μπορεί να περιορίζεται από τη μεταφορά μάζας, π.χ. η μαζική μεταφορά των ρύπων από τα εδαφικά τεμαχίδια στην υδατική φάση μπορεί να γίνει το βήμα που καθορίζει την ταχύτητα της φυτοαποκατάστασης. Επομένως η φυτοαποκατάσταση μπορεί να απαιτεί περισσότερο χρόνο, για την επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων καθαρότητας, από ότι άλλες μεγαλύτερου κόστους εναλλακτικές μέθοδοι, όπως εκσκαφή και μεταχείριση ή διάθεση, ιδιαίτερα για υδρόφοβους ρυπαντές που είναι ισχυρά δεσμευμένοι πάνω στα εδαφικά τεμαχίδια.

Σε πολλές περιπτώσεις η φυτοαποκατάσταση μπορεί να εξυπηρετεί ως «φάση τελειοποίησης» για το κλείσιμο περιοχών μετά από την χρήση άλλων τεχνολογιών για τον καθαρισμό των ρυπασμένων περιοχών (Miller, 1996).

Πίνακας 8. Πλεονεκτήματα διαφόρων τύπων φυτοαποκατάστασης (Miller, 1996).

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ	**ΡΙΖΟ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ**	**ΦΥΤΟ ΕΞΑΓΩΓΗ**	**ΦΥΤΟ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ**
Μπορεί να εφαρμοστεί με ελάχιστη περιβαλλοντική διατάραξη.	**X**	**X**	**X**
Μπορεί να εφαρμοστεί σε ποικίλους ρύπους συμπεριλαμβανομένων πολλών μετάλλων για τα οποία δεν υπάρχουν εναλλακτικές δυνατότητες.	**X**	**X**	**X**
Πιθανόν λιγότεροι δευτερεύοντες αέριοι ή/και υγροί μεταβολίτες σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους.	**X**	**X**	**X**
Οι οργανικοί ρύποι μπορούν να αποδομηθούν σε CO_2 και H_2O, απομακρύνοντας, και όχι μεταφέροντας αλλού, την τοξικότητα.	**X**	**X**	
Αποτελεσματικά για μεγάλους όγκους νερού με χαμηλές συγκεντρώσεις ρύπων σύμφωνα με τα αυστηρά πρότυπα.	**X**		
Η επιφάνεια του εδάφους παραμένει χρηστική μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για αγροτική χρήση.		**X**	
Το έδαφος μπορεί να παραμείνει στη θέση του μετά την αφαίρεση των ρύπων αντί να πρέπει να διατεθεί ή να απομονωθεί.		**X**	
Αποτελεσματική για μεγάλες περιοχές που έχουν ελαφρώς ρυπασμένα επιφανειακά εδάφη.		**X**	
Μειώνει τον όγκο των ρυπασμένων υλικών που πρέπει να θαφτούν ή να αποτεφρωθούν*.		**X**	
Μπορεί να επιτύχει τους στόχους της αποκατάστασης χωρίς τη χρήση χημικών	**X**	**X**	**X**
Μειώνει τον κίνδυνο έκθεσης (κατά τη διάρκεια του καθαρισμού) περιορίζοντας την άμεση επαφή με τα ρυπασμένα εδάφη.			**X**
Η απορρόφηση των ρυπασμένων υπόγειων νερών, μειώνει την μεταφορά των ρύπων εκτός της περιοχής.	**X**	**X**	

*Παράδειγμα: η απομάκρυνση του ρυπασμένου με βαρέα μέταλλα εδάφους 10 στρεμμάτων σε βάθος 45cm δημιουργεί περίπου 5000tn εδάφους που πρέπει να θαφτούν. Αντίθετα, τα φυτά που απορροφούν τα μέταλλα μπορούν να καούν και να αφήσουν υπόλειμμα 25-30tn στάχτης για ταφή.

4.4 Παράμετροι σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος φυτοαποκατάστασης καθορίζεται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με τους ρύπους (είδος, συγκέντρωση και βάθος) τις συνθήκες στην περιοχή, τα φυτά, το επίπεδο καθαρισμού που απαιτείται και το διαθέσιμο χρόνο. Οι τεχνικές εξαγωγής έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σχεδιασμού από τις μεθόδους ακινητοποίησης ή αποδόμησης. Παρόλα αυτά στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται μερικοί παράγοντες σχεδιασμού που λαμβάνονται υπόψη στην πλειονότητα των δοκιμών φυτοαποκατάστασης.

4.4.1 Ριζικό σύστημα

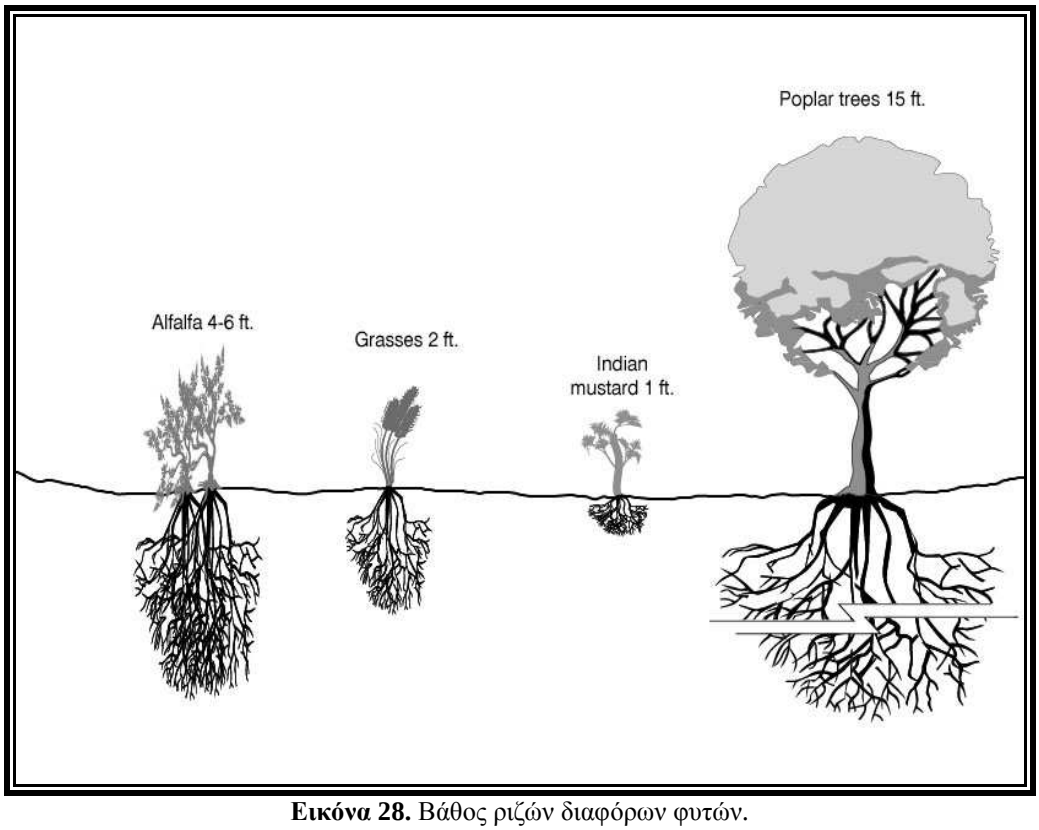
Η αποκατάσταση με τη βοήθεια φυτών απαιτεί την επαφή του ρυπαντή με το ριζικό σύστημα των φυτών. Για το λόγο αυτό, η μορφολογία και το βάθος του ριζικού συστήματος επηρεάζει άμεσα το βάθος του εδάφους που μπορεί να αποκατασταθεί ή το βάθος του υπόγειου νερού που μπορεί να επηρεαστεί. Ένα ινώδες ριζικό σύστημα, όπως για παράδειγμα το ριζικό σύστημα του γρασιδιού, έχει πολυάριθμες λεπτές ρίζες που εκτείνονται στο έδαφος παρέχοντας έτσι μέγιστη επαφή με αυτό λόγω της μεγάλης επιφάνειας των ριζών. Ένα κεντροριζικό σύστημα (όπως για παράδειγμα του τριφυλλιού) χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μίας κύριας κεντρικής ρίζας. Τα περισσότερα φυτά υπερσυσσωρευτές χαρακτηρίζονται από κεντρο-ριζικό σύστημα το οποίο παρουσιάζει περιορισμένη επαφή της ρίζας με τον όγκο του εδάφους. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 28, το αποτελεσματικό βάθος του ριζικού συστήματος των φυτών διαφοροποιείται με το είδος και εξαρτάται από τις συνθήκες του εδάφους και το κλίμα. Το εύρος βάθους των ριζών που δίνεται παρακάτω αντιπροσωπεύει μέγιστα βάθη:

- Όσπρια: Οι ρίζες του τριφυλλιού (alfalfa) μπορούν να φτάσουν σχετικά βαθιά, περίπου στα 9m, ανάλογα με τις συνθήκες.
- Γρασίδια: Ορισμένα ινώδη ριζικά συστήματα γρασιδιών φτάνουν σε βάθη της τάξης των 2,4 έως 3m. Οι ρίζες των περισσότερων λειμώνων (είδη γρασιδιού) εκτείνονται σε βάθη 1,8 έως 3m.
- Θάμνοι: Οι ρίζες των φρεατοφυτικών θάμνων φτάνουν σε βάθος περίπου 6m.
- Δέντρα: Οι φρεατοφυτικές ρίζες τείνουν να φτάσουν σε βάθη μεγαλύτερα από τις

ρίζες άλλων δέντρων και πιο συγκεκριμένα σε βάθη της τάξης των 24 m. Ορισμένα παραδείγματα είναι το είδος *Prosopis juliflora* οι ρίζες του u959 οποίου εκτείνονται από 12 έως 30m και το είδος Σημύδα οι ρίζες του οποίου φτάνουν σε βάθη 27 έως 30m.

- Άλλα Φυτά: Οι ρίζες του σιναπιού (*Brassica juncea*) κυμαίνονται σε βάθος από 15-23cm.

Τα παραπάνω αναφερόμενα μέγιστα βάθη αφορούν ιδανικές περιπτώσεις και παρουσιάζονται σπάνια. Το βάθος της φυτοαποκατάστασης για τα περισσότερα μη ξυλώδη φυτά είναι περίπου 30 έως 60cm. Τα περισσότερα φυτά υπερσυσσωρευτές αναπτύσουν ρίζες οι οποίες εκτείνονται στα πρώτα 30cm του εδάφους περιορίζοντας έτσι την εφαρμογή της φυτοεξαγωγής σε αβαθή εδάφη. Το αποτελεσματικό βάθος των ριζών είναι της τάξης των δεκάδων cm στην καλλίτερη περίπτωση, ενώ μία αισιόδοξη εκτίμηση για την περίπτωση δέντρων είναι τα 3m.



Εικόνα 28. Βάθος ριζών διαφόρων φυτών.

4.4.2 Ρυθμός ανάπτυξης φυτών

Ο απαιτούμενος χρόνος για τον καθαρισμό μιας περιοχής με φυτοαποκατάσταση μπορεί σε αρκετές περιπτώσεις να είναι μεγαλύτερη από την αποδεκτή με βάση το προτεινόμενο σχέδιο ανάπτυξής της. Η φυτοαποκατάσταση

περιορίζεται από το φυσικό ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και το μήκος της περιόδου ανάπτυξης των φυτών. Σε αρκετές των περιπτώσεων απαιτούνται αρκετές περίοδοι ανάπτυξης προτού τα συστήματα φυτοαποκατάστασης καταστούν αποτελεσματικά, ενώ οι παραδοσιακές μέθοδοι αποκατάστασης απαιτούν μερικές εβδομάδες ή μήνες. Έτσι, οι χαμηλοί ρυθμοί απομάκρυνσης ρυπαντών που επιτυγχάνονται με τη φυτοαποκατάσταση μπορεί να αναστείλουν τη χρήση της σε περιπτώσεις που ο διαθέσιμος χρόνος για αποκατάσταση είναι περιορισμένος και αποτελεί το βασικό κριτήριο επιλογής της τεχνολογίας. Οι ρυθμοί ανάπτυξης καθορίζονται διαφορετικά ανάλογα με τις διαφορετικές μορφές φυτοαποκατάστασης. Για τις περιπτώσεις της ριζοαποδόμησης, τη ριζοδιήθησης και της φυτοσταθεροποίησης, επιθυμητός είναι ο γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης όσον αφορά το βάθος του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα του, τον όγκο του, την επιφάνειά του και την πλευρική του ανάπτυξη. Για την περίπτωση της φυτοεξαγωγής είναι επιθυμητός ένας γρήγορος ρυθμός ανάπτυξης των υπέργειων τμημάτων του φυτού.

Για περιπτώσεις αυξημένης ποσότητας συσσωρευμένων ρύπων είναι επιθυμητή η ανάπτυξη μεγάλης μάζας ριζών και βιομάζας, έτσι ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη διαπνοή νερού, μεγαλύτερη αφομοίωση και μεταβολισμός των ρυπαντών και παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας εκκριμάτων και ενζύμων. Ένας μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης θα ελαχιστοποιήσει το χρόνο που απαιτείται για την επίτευξη μεγάλου όγκου βιομάζας. Για την περίπτωση της φυτοεξαγωγής θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο η συγκέντρωση του μετάλλου στη βιομάζα όσο και η ποσότητα της παραγόμενης βιομάζας. Τα φυτά υπερσυσσωρευτές μετάλλων έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύουν πολύ υψηλές ποσότητες ορισμένων μετάλλων, όμως η χαμηλή παραγόμενη βιομάζα και ο χαμηλός ρυθμός ανάπτυξής τους έχει ως αποτέλεσμα ποσότητα απομακρυνόμενων μετάλλων να τείνει να είναι χαμηλή. Ένα φυτό που χαρακτηρίζεται από χαμηλή συγκέντρωση απομακρυνόμενων μετάλλων, αλλά χαρακτηρίζεται από πολύ μεγαλύτερη παραγόμενη βιομάζα σε σχέση με πολλά φυτά υπερσυσσωρευτές, είναι πολλές φορές προτιμότερο καθώς η συνολική ποσότητα των μετάλλων που θα απομακρυνθεί τελικά θα είναι μεγαλύτερη.

Ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών έχει άμεση επίδραση στην πιθανή χρήση τους σε κάθε περιοχή. Τα είδη γρασιδιού που αναπτύσσονται γρήγορα θα αρχίσουν να επεξεργάζονται το έδαφος πολύ γρηγορότερα από ένα δέντρο το οποίο πρέπει πρώτα να δημιουργήσει βαθιές ρίζες έτσι ώστε να απομακρύνει τους ρυπαντές-στόχους. Καθώς τα φυτά και ιδιαίτερα τα δέντρα που χρησιμοποιούντα για φυτοαποκατάσταση

μεγαλώνουν, το ριζικό τους σύστημα βαθαίνει και η ικανότητά τους να απομακρύνουν μέταλλα από μεγαλύτερα βάθη βελτιώνεται σημαντικά. Η φυτοαποκατάσταση παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα κατά τη διάρκεια της ενηλικίωσης της βλάστησης. Η βλάστηση κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξή της παρέχει ένα κάλυμμα το οποίο ελαχιστοποιεί τη διήθηση του νερού. Καθώς οι ρίζες του δέντρου μεγαλώνουν, λαμβάνουν χώρα οι διεργασίες φυτοαποκατάστασης για την απομάκρυνση ρύπων σε ολοένα μεγαλύτερο βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι λεύκες, οι οποίες έχουν εκτενώς χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές φυτοαποκατάστασης παρουσιάζουν υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης μεταξύ 2,5 και 4,5m/χρόνο.

4.4.3 Επιλογή φυτών

Τα φυτά επιλέγονται με βάση τις ανάγκες της εφαρμογής της φυτοαποκατάστασης και τους εμπλεκόμενους ρύπους. Για την φυτοαποκατάσταση οργανικών ρύπων, οι ανάγκες του σχεδίου είναι ότι η βλάστηση θα πρέπει να μεγαλώνει γρήγορα και να είναι ανθεκτική, εύκολη στη φύτευση και συντήρηση, να χρησιμοποιεί μεγάλες ποσότητες νερού μέσω της εξατμισοδιαπνοής (αν τα υπόγεια νερά έχουν πρόβλημα) και να μετασχηματίζει τους ρύπους σε μη τοξικά ή λιγότερο τοξικά παράγωγα. Σε εύκρατα κλίματα τα φρεατόφυτα (π.χ. υβρίδια Λεύκας, Ιτιά, Λεύκα *Poplulus deltoides*) επιλέγονται συχνά λόγω της γρήγορης ανάπτυξης, της δυνατότητας ριζώματος μέχρι την επιφάνεια των υπογείων νερών και των αυξημένων ρυθμών διαπνοής.

Σε περιπτώσεις ρύπανσης από πυρομαχικά, απαιτούνται είδη που έχουν δραστήρια νιτροαναγωγάση. Τέτοια είδη μπορούν να επιλεγούν με τη βοήθεια της ανοσοδοκιμής ELISA (Enzyme-linked immunosorbent assay) για τη μετατροπή του TNT (Trinitrotoluene). Σε ρυπάνσεις από πετροχημικά, άλλα δέντρα (μουριές, μηλιές και maclura pompifera) επιλέγονται λόγω της ικανότητάς τους να απελευθερώνουν φλαβονοειδή και φαινολικά που είναι γνωστό ότι παρακινούν την επαγωγή ενζύμων από τους μικροοργανισμούς που αποσυνθέτουν PCB (Polychlorinated biphenyl) και PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbon). Έχει αποδειχτεί ότι τα υβρίδια λεύκας απορροφούν και μετασχηματίζουν TCE (trichloroethylene). Ένα προκαταρτικό τεστ ή αναζήτηση χαρακτηριστικών των φυτών μέσω βιβλιογραφίας μπορεί να βοηθήσουν στην επιλογή των φυτών που θα χρησιμοποιηθούν.

Τα γρασίδια συχνά φυτεύονται σε περιοχές με οργανικούς ρύπους ως

πρωτεύουσα μέθοδος αποκατάστασης. Παρέχουν μία τεράστια ποσότητα από λεπτές ρίζες στην επιφάνεια του εδάφους που είναι πολύ αποτελεσματική στο να δεσμεύει και να αφομοιώνει υδρόφοβους ρύπους, όπως TPH, BTEX, και PAHs. Τα γρασίδια συχνά φυτεύονται ανάμεσα σε σειρές από δέντρα για να σταθεροποιούν το έδαφος και να παρέχουν προστασία από τη μεταφορά σκόνης με τον άνεμο. Ψυχανθή, όπως μηδική, τριφύλλι και μπιζέλι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του αζώτου σε φτωχά εδάφη. Φεστούκα, σίκαλη και *Phalaris arundinacea*, έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε διάφορες περιπτώσεις, ειδικά σε αυτές που η ρύπανση προέρχεται από πετροχημικά. Τα γρασίδια συγκομίζονται κατά περιόδους και διατίθενται για κομποστοποίηση ή καίγονται. Οι υδρόφοβοι ρύποι δεν μετατοπίζονται σημαντικά και έτσι το κορυφαίο τμήμα των γρασιδιών δεν ρυπαίνεται. Το σύστημα επιτυγχάνει την φυτοαποκατάσταση μέσω διεργασιών της ριζόσφαιρας και απορρόφησης στις ρίζες.

Η επιλογή των φυτών για την φυτοαποκατάσταση των μετάλλων εξαρτάται από την εφαρμογή: φυτοσταθεροποίηση, ριζοφιλτράρισμα ή φυτοεξαγωγή. Στην φυτοεξαγωγή, το ζητούμενο είναι η συγκέντρωση του/των μετάλλου/μετάλλων στο υπέργειο τμήμα της βιομάζας και η συγκομιδή και επανάκτηση των μετάλλων από την βιομάζα, αν αυτό είναι δυνατό. Τα φυτά που χρησιμοποιούνται για αποκατάσταση με φυτοεξαγωγή, περιλαμβάνουν το ηλιοτρόπιο και το *Brassica juncea* για τον μόλυβδο, *Thlaspi spp.* για ψευδάργυρο κάδμιο και νικέλιο και ηλιοτρόπια και υδρόβια φυτά για ραδιονουκλεοτίδια. Η επανάκτηση των μετάλλων από τη βλάστηση έχει επικεντρωθεί στην αποτέφρωση και την επανάκτηση από τις στάχτες, ή τις τεχνικές υγρής εξαγωγής. Ακόμα και αν δεν είναι δυνατή η επανάκτηση των μετάλλων από τη φυτική βιομάζα ή την στάχτη, θα έχουν συγκεντρωθεί σε πολύ μικρότερο όγκο για τελική διάθεση.

Τα υδρόφιλα φυτά χρησιμοποιούνται για εφαρμογές τεχνητών λιμνών. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Αναδυόμενα και μη αναδυόμενα είδη. Η αναδυόμενη βλάστηση, διαπερνά το νερό και είναι ευκολότερο να συγκομιστεί αν κριθεί απαραίτητο. Η μη αναδυόμενη βλάστηση καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από το νερό αλλά παρέχει περισσότερη βιομάζα μέσα στο υδατικό τμήμα του συστήματος για πρόσληψη και απορρόφηση των ρύπων. Υδρόφιλα φυτά που έχουν χρησιμοποιηθεί σε τεχνητά υδατικά συστήματα είναι: *Juncus effusus, Typha sp., Ceratophyllum demersum, Potamogeton illinoensis,* άλγη, *Chara vulgaris, Myriophyllum aquaticum, Myriophyllum spicatum, Hydrilla verticillata* (Schnoor, 1997).

4.4.4 Χρηστικότητα

Είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν μελέτες πριν τον σχεδιασμό, με σκοπό να εξασφαλιστεί η επιτυχία του συστήματος φυτοαποκατάστασης. Στοιχεία σχετικά με την τοξικότητα και το μετασχηματισμό των ρύπων αποκτούνται με τις μελέτες χρηστικότητας. Υπάρχει μεγάλο ποσοστό παραλλακτικότητας στην τοξικότητα και τους ρυθμούς μετασχηματισμού από το ένα είδος φυτού στο άλλο ή ακόμα και από τη μία ποικιλία ή καλλιέργεια στην άλλη. Το βόριο, ο ψευδάργυρος, το αμμώνιο, μερικά μέταλλα και άλατα είναι ιδιαίτερα τοξικά στα φυτά. Έτσι είναι σημαντικό να ληφθούν χρήσιμες πληροφορίες στο εργαστήριο ή το θερμοκήπιο, αν δεν έχει αναφερθεί προηγούμενη χρήση του συγκεκριμένου φυτού για φυτοαποκατάσταση. Η σειρά των πληροφοριών που απαιτούνται, κατά κανόνα, εκτείνεται από υδροπονικές μελέτες και μελέτες σε μικρά γλαστράκια με χώμα από την τοποθεσία σε θερμοκήπια, μέχρι πειράματα αγρού (ως 15Χ15m). Διαφορετικές συγκεντρώσεις ρύπων μπορεί να μελετηθούν για την τοξικότητα και οι φυτικοί ιστοί μπορούν να συλλεχθούν για ανάλυση ρύπων και των μεταβολιτών τους.

Πειράματα χρηστικότητας μπορεί να χρειάζονται για να καθοριστεί η τύχη των ρυπαντών στο φυτικό σύστημα. Για παράδειγμα πρέπει να ερευνηθεί η πιθανότητα πτητικές ουσίες όπως το βενζένιο και το τριχλωροαιθυλένιο να μεταφερθούν μέσα από το φυτό και να εξατμιστούν στην ατμόσφαιρα ως τοξικά αέρια. Οι πτητικές ουσίες συχνά διαπνέονται στην ατμόσφαιρα από τα φυτά. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται υπολογισμοί των αέριων τοξικών για να εκτιμηθούν οι συγκεντρώσεις των αερίων και κατά πόσο αυτές θα ήταν αποδεχτές. Παρομοίως τα υδρόφοβα οργανικά (log K_{OW} =1ως 35), συχνά μεταφέρονται στα φύλλα του φυτού και μεταβολίζονται. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται μετρήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων και των μεταβολιτών τους στα φύλλα, για να καθοριστεί αν υπάρχει υπέρβαση των αποδεχτών ορίων.(Schnoor, 1997)

4.4.5 Μελέτες δυνατότητας χρήσης φυτών (Treatibility Studies)

Οι μελέτες δυνατότητας χρήσης των φυτών προτείνονται αλλά και απαιτούνται για όλες τις εφαρμογές φυτοαποκατάστασης, εκτός εάν υπάρχει επαρκής διαθέσιμη πληροφορία σχετική με την περιοχή προς αποκατάσταση η οποία να υποδηλώνει ένα πιθανά επιτυχές αποτέλεσμα. Οι μελέτες αυτές μπορεί να είναι είτε εργαστηριακής κλίμακας μελέτες φυτρώματος (germination tests), είτε μελέτες μεταφοράς ρύπων και ισοζυγίου μάζας σε κλίμακα θερμοκηπίου, είτε τέλος πιλοτικές

δοκιμές (έως περίπου 15x15m) για την επιτόπου εξέταση της ανάπτυξης, της ικανότητας επιβίωσης και της αποτελεσματικότητας απορρύπανσης κάτω από πραγματικές συνθήκες. Οι μελέτες δυνατότητας χρήσης θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο καθώς η ανάπτυξη των φυτών δεν μπορεί να επιταχυνθεί και θα πρέπει να διεξάγεται για τουλάχιστον έναν κύκλο ανάπτυξης συμπεριλαμβανομένης και της περιόδου ληθάργου. Οι μελέτες δυνατότητας χρήσης παρέχουν επίσης δεδομένα τοξικότητας και μετατροπής των ρυπαντών. Οι υπεύθυνες υπηρεσίες μπορεί επίσης να απαιτήσουν πληροφορίες σχετικά με το ισοζύγιο μάζας, η κατάστρωση του οποίου είναι δυνατό να συνεπάγεται τη χρήση ραδιοισοτόπων σε εργαστηριακής κλίμακας δοκιμές.

4.4.6 Πυκνότητα και θέσεις φύτευσης

Η πυκνότητα φύτευσης εξαρτάται από την τελική εφαρμογή αποκατάστασης. Για την περίπτωση δέντρων λεύκας, φυτεύονται περίπου 100 έως 200 δέντρα ανά στρέμμα είτε σε λακκούβες βάθους 30 – 40cm, είτε σε τάφρους βάθους 30 έως 180cm. Αν η φύτευση γίνεται σε σειρές τότε η απόσταση μεταξύ των δέντρων στην ίδια σειρά είναι της τάξης των 60cm ενώ η απόσταση μεταξύ των σειρών είναι της τάξης των 3m.

Αρκετά άλλα είδη ιτιάς αλλά και λεύκας μπορούν επίσης να φυτευτούν με τον ίδιο τρόπο. Άλλα φυλλοβόλα και αειθαλή δέντρα απαιτούν χαμηλότερη αρχική πυκνότητα φύτευσης. Μία υψηλή αρχική πυκνότητα φύτευσης εγγυάται υψηλά επίπεδα εξατμισοδιαπνοής κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, γεγονός που είναι επιθυμητό, όμως τα δέντρα θα περιοριστούν μεγαλώνοντας σε 60 με 80 ανά εκτάριο σε διάστημα έξι χρόνων λόγω ανταγωνισμού. Για την περίπτωση των δέντρων Λεύκας αυτά μπορεί να κόβονται κάθε έξι χρόνια και να πωλούνται ως καυσόξυλα ή για την παρασκευή χαρτιού, ενώ τα δέντρα θα αναπτύσσονται και πάλι από τον κομμένο κορμό καθώς το βαθύ ριζικό σύστημα παραμένει στο έδαφος και βοηθά στην ανάπτυξη κατά τον επόμενο χρόνο. Ο χρόνος ζωής των δέντρων Λεύκας είναι περίπου 30 χρόνια, περίοδος που είναι συνήθως επαρκής για το σχεδιασμό ενός έργου αποκατάστασης.

Τα γρασίδια φυτεύονται σε οπές ή σπέρνονται στις ρυπασμένες περιοχές. Η πυκνότητα της παραγόμενης υπέργειας βιομάζας είναι περίπου 200-600gr/m^2 κατά τη δεύτερη συγκομιδή, ενώ μπορούν να πραγματοποιούνται 1-3 συγκομιδές κάθε χρόνο ανάλογα με το κλίμα και τη διαθεσιμότητα του νερού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΟΣΜΟ

5.1 Παραδείγματα αντιμετώπισης στον υπόλοιπο κόσμο

Το θέμα της διαχείρισης απορριμμάτων αλλά και της αποκατάστασης των παλαιών χώρων διάθεσης τους, αποτελεί πεδίο επιστημονικής έρευνας και με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζεται στις ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, όπου υπάρχει η οικονομική δυνατότητα και η γνώση για εφαρμογή προγραμμάτων. Ανάλογα πάντα με την έκταση και τη φύση του προβλήματος γίνεται ειδική προσπάθεια καθώς έχει αποδειχθεί ότι οι συμβατικές μέθοδοι δεν είναι εφαρμόσιμες σε όλους τους τύπους.

Το κάθε απόβλητο, όπως ειπώθηκε, έχει τον δικό του τρόπο διαχείρισης και το ίδιο ισχύει και για τους τρόπους αποκατάστασης χώρων διάθεσης απορριμμάτων. Στα παραδείγματα που ακολουθούν παρουσιάζονται μερικοί τρόποι διαχείρισης των απορριμμάτων αλλά και των αποκαταστάσεων που γίνονται σε διάφορες χώρες του κόσμου.

5.1.1 Παράδειγμα αποκατάστασης

Στο Οντάριο του Καναδά στον ΧΥΤΑ του Belle Park, υπάρχει σε εξέλιξη μεγάλο σχέδιο αποκατάστασης. Μελετήθηκε η περιοχή, το περιβάλλον της και οι επιπτώσεις από την παλαιά της χρήση, ώστε να ερευνηθεί κατά πόσο είναι ασφαλής για το κοινό. Η περιοχή καλύφθηκε με χορτάρι και δέντρα.

Επιλέχθηκαν ειδικές ποικιλίες δέντρων (μεγάλης αντοχής προφανώς) που απορροφούν τα υγρά αποστράγγισης με το ριζικό τους σύστημα και έτσι κάνουν την ίδια δουλειά με τους συλλέκτες. Δημιουργήθηκαν φυσικοί υγροσυλλέκτες στο έδαφος για να παρατηρηθεί κατά πόσο λειτουργούν ως φίλτρα στραγγίσματος.

Υπάρχουν εγκαταστάσεις παρακολούθησης των επιπέδων της μόλυνσης του νερού, του εδάφους και του βιοαερίου. Σε αυτή την έκταση λειτουργεί πάρκο αναψυχής και αθλητισμού καθώς και μεγάλο γήπεδο του γκολφ.

5.1.2 Παράδειγμα οργάνωσης και οικονομικής διαχείρισης αποκατάστασης

Στη Μινεσότα των ΗΠΑ υπάρχει εθελοντικό πρόγραμμα αποκατάστασης 108 χώρων ταφής απορριμμάτων. Το πρόγραμμα CLP (Closed Landfill Program)

λειτουργεί από το 1994 και έχει στην εποπτεία του αυτούς τους χώρους. Παρακολουθείται η εξέλιξη τους και η αποκατάσταση τους σταδιακά ενώ ορίζονται συγκεκριμένες προϋποθέσεις για τις υπόλοιπες χωματερές ή ΧΥΤΑ που επιθυμούν να μπουν στο πρόγραμμα αποκατάστασης (πρέπει να είναι γνωστή η σύσταση των απορριμμάτων). Σύμφωνα με αυτές τις αρχές θα πρέπει να έχει γίνει έλεγχος της σύστασης των απορριμμάτων και να προωθείται ο διαχωρισμός τους και η ταφή των εύκολα βιοδιασπώμενων υλικών. Υπάρχει ειδική μέριμνα στο θέμα του βιοαερίου και υπολογίζεται ότι εάν όλοι οι χώροι λειτουργούσαν με σωστά συστήματα θα υπήρχε παραγωγή τόσης ενέργειας που θα εξυπηρετούσε 9300 σπίτια.

Όσον αφορά το οικονομικό κομμάτι, η CLP απαίτησε δικαστικώς από τις ασφαλιστικές εταιρίες των βιομηχανιών που πετούσαν απόβλητα στις χωματερές, να πληρώσουν κομμάτι της αποκατάστασης και της έρευνας. Ανάλογα με το ποσοστό βλαβερών ουσιών, άρα και καταστροφής, η κάθε εταιρία υποχρεώθηκε να καταβάλλει το ποσό για να -διορθωθεί- η ζημιά που έχει κάνει ο πελάτης της.

Όλη αυτή η οργάνωση και η κινητοποίηση δεν είναι τυχαία, καθώς το πρόβλημα στις ΗΠΑ είναι τεράστιο διότι η διαθέσιμη γη τελειώνει αλλά τα σκουπίδια αυξάνονται, γι’ αυτό και οι ΗΠΑ –εξάγουν-σκουπίδια σε χώρες του Τρίτου Κόσμου.

5.1.3 Παράδειγμα προβολής του κοινωνικού μοντέλου διαχείρισης

Στην Νέα Ζηλανδία το Υπουργείο Περιβάλλοντος έχει δημοσιεύσει στην ιστοσελίδα του ένα φιλμ κινούμενων σχεδίων, με το οποίο προωθείται η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται προσπάθεια με μεθόδους μάρκετινγκ ώστε η ανακύκλωση να γίνει αντιληπτή σαν τρόπος ζωής (life style) εφόσον έχει αποδειχθεί ότι οι σύγχρονες κοινωνίες λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τα μηνύματα που προβάλλονται με διαφημιστικό τρόπο. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η ανακύκλωση ως το σύνθημα των 5R που είναι (Πίνακας 9).

Πίνακας 9. Σύνθημα των 5R.

Reduse	Μείωση
Re-use	Επαναχρησιμοποίηση
Recycle	Ανακύκλωση
Recover	Ανάκτηση
Residual Management	διαχείριση των υπολοίπων

5.1.4 Ανάπλαση Χωματερών στο Hong-Kong

Το Hong-Kong έχει 13 χωματερές που έκλεισαν αφού κάλυψαν τη χωρητικότητά τους. Τρεις μεγάλες «Νέας Γενιάς» χωματερές άνοιξαν μεταξύ ΄93-΄95 που θα καλύψουν τις ανάγκες του για τα επόμενα 10-15 χρόνια. Οι κλειστές χωματερές δέχονται δημοτικά, εμπορικά, βιομηχανικά και οικιακά απορρίμματα και καλύπτουν συνολική έκταση 300ha. Κάποιες από αυτές τοποθετούνται κοντά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, γεγονός που σε συνδυασμό με την έντονη έλλειψη ανοιχτών χώρων για δραστηριότητες αναψυχής, οδηγεί στην ανάγκη για ανάπλασή τους.

5.1.5 Shuen Wan Golf Centre

Η χωματερή του Shuen Wan που καταλαμβάνει έκταση 50ha, βρίσκεται στο Tolo Harbour και μεταξύ ‘73-‘95 δέχτηκε περίπου 14.000.000 τόνους δημοτικών, κατασκευαστικών, εμπορικών και βιομηχανικών απορριμμάτων σε βάθος έως και 40m. Το προτεινόμενο Golf Centre θα καταλάμβανε περίπου 18ha σε 3 διαφορετικού επιπέδου πλατφόρμες και θα περιλάμβανε 3 γήπεδα γκολφ, χώρους εκπαίδευσης, χώρους οδήγησης, μαγαζιά και αποθήκη συντήρησης.

Μιας και το μέρος χρησιμοποιήθηκε για 22 χρόνια ως χωματερή, το Golf Centre είναι μια θετική εξέλιξη του χώρου, εφόσον το Hong-Kong έχει ανάγκη από τέτοια δραστηριότητα. Οι σχεδιαστικές προοπτικές του Golf Centre ήταν:

- η εγκατάσταση διαδικασιών περιβαλλοντικής ασφάλειας για να σιγουρευτεί η ασφάλεια όλων των επισκεπτών του,
- η ολοκλήρωση του Golf Centre με τα αρχικά μέτρα ανάπλασης και φροντίδας της χωματερής,
- η διαβεβαίωση ότι η κατασκευή του Golf Centre δεν θα μειώσει την ακεραιότητα των μέτρων ανάπλασης της χωματερής,
- η χρήση τοπικών φυτικών ειδών με ρηχό ριζικό σύστημα, κατάλληλα για ανάπτυξη σε κάλυμμα χωματερών,
- η δημιουργία ευνοϊκού, περιβαλλοντικά, μέρους, ικανού να διαχειρίζεται με χαμηλή ποσότητα νερού και με μεθόδους βιολογικού και οργανικού ελέγχου,
- η βελτίωση της μορφής του τοπίου με ελκυστικούς χώρους και κτίρια,
- η σύσταση νέων ενδιαιτημάτων στο κάλυμμα των χωματερών για να αυξήσουν την οικολογική αξία του χώρου.

5.1.6 Μέτρα ανάπλασης

Το Golf Centre κατασκευάστηκε πάνω σε σύστημα κάλυψης χωματερής και δημιουργήθηκε κατάλληλο σύστημα συλλογής στραγγισμάτων και αερίων. Το σύστημα κάλυψης της πλατφόρμας περιλάμβανε: ένα γενικής κάλυψης επίπεδο, πάχους 850mm, ένα γεωσυνθετικό (συνδυασμός γεωυφάσματος-γεωπλέγματος) επίπεδο στράγγισης πάνω από την γεωμεμβράνη, μια LLDPE γεωμεμβράνη, ένα ενισχυτικό γεωύφασμα και ένα ενδιάμεσο καλυπτικό υλικό εδάφους πάνω από τα απορρίμματα.

Το υπέδαφος συμπιέστηκε στο 90-95% κάτω από τα γήπεδα γκολφ και στο 95% κάτω από τα κτίρια, διαδρόμους κ.α. Η προσεκτική χρήση φαρμάκων και λιπασμάτων στη διαχείριση των γηπέδων και της βλάστησης είναι το κύριο θέμα που θα διασφαλίσει την ποιότητα του νερού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα που θα καθορίζουν τις βέλτιστες συγκεντρώσεις στα απόνερα.

5.1.7 Jordan Valley Ecology Park

Η χωματερή Jordan Valley καταλαμβάνει 7ha στη βόρεια περιοχή του Kowloon, στο Hong-Kong Victoria Harbour. 1.500.000 τόνοι αστικών, κατασκευαστικών, εμπορικών και βιομηχανικών απορριμμάτων τοποθετήθηκαν στο χώρο μεταξύ ‘86-‘90, με βάθος έως και 50m. Το Ecology Park θα καταλάβει έκταση 4,3ha.

Το σχέδιο ανάπτυξης είναι «να ενισχυθεί το μήνυμα της πράσινης καμπάνιας και να επιμορφωθούν οι επισκέπτες για το οικολογικό σχέδιο και τη σημασία της περιβαλλοντικής προστασίας». Το οικολογικό πάρκο περιλαμβάνει πλατεία με καθιστικά, χώρο αγώνων αυτοκινήτου, κέντρο περιβαλλοντικής εκπαίδευσης, γραφεία διαχείρισης κ.α. Το πάρκο χωρίζεται στην «ενεργητική ζώνη» με πολλές δραστηριότητες και θορύβους και στην «παθητική» με πιο φυσικό τοπίο. Τα είδη φυτών που εγκαταστάθηκαν ανέδειξαν την οικολογική, επιστημονική, οικονομική, φαρμακευτική, αγροτική και κοινωνική αξία, καθώς και ενδημικά και απειλούμενα είδη. Επιλέχθηκαν με τέτοιον τρόπο ώστε να αναπτυχθούν στην αναπλασμένη χωματερή χωρίς το ριζικό τους σύστημα να απειλεί το σύστημα κάλυψης και να μην απαιτούν εντατική και πολυέξοδη διαχείριση.

Το βάθος του εδάφους για διαφορετικό τύπο βλάστησης είναι πάνω από 2,5m για δένδρα και θάμνους, 1,5m για ποώδη φυτά και 0,5m για γρασίδια και επιτυγχάνεται προσθέτοντας επιπλέον έδαφος πάνω στο εδαφικό κάλυμμα, ύψους

0,85m. Οι περιφέρειες και οι πλαγιές της ολοκληρωμένης εδαφικής επιφάνειας σχηματίστηκαν με βάση στη δημιουργία ευπροσπέλαστων μονοπατιών του πάρκου και στην επάρκεια και την αποτελεσματικότητα της στράγγισης.

5.1.8 Αγωνιστικοί χώροι από ανάπλαση χωματερών στο Cambridge

Η ανάπλαση μιας κλειστής χωματερής έχει αυξήσει τους ανοιχτούς χώρους στο Cambridge. Ένα από τα πάρκα του στο Mayor Thoma's W. Danehy άνοιξε για το κοινό το 1990 και περιλάμβανε παιδότοπους, χώρους για τρέξιμο, ποδηλασία, περπάτημα και άλλες δραστηριότητες. Η όλη προσπάθεια άρχισε το 1980 και οι αρχικές εργασίες ήταν η μελέτη του χώρου, η μείωση μεταφοράς των αερίων της χωματερής, η βελτίωση του αέρα και του νερού του εδάφους, η αποστράγγιση και η επαναβλάστηση.

Μεταξύ 1977-1982 η περιοχή καλύφθηκε με έδαφος και ακολούθησαν τα υπόλοιπα επίπεδα. Για προστασία από τη διάβρωση και για εποχιακή ποικιλία οι πλαγιές καλύφθηκαν, με υδροσπορά, με μίγμα αγριολούλουδων που αποδείχθηκε δύσκολο στην εγκατάσταση και στη συντήρηση. Οι πλαγιές επαναφυτεύτηκαν με μείγμα γρασιδιού που περιλάμβανε είδη Φεστούκας (50-55%), πολυετές *Lolium* (20%), *Poa* (15%) και ψυχανθή (10-15%) που αποδείχτηκαν επιτυχή στην επιλογή τους. Μετά την υδροσπορά οι σχεδιαστές χρησιμοποίησαν άχυρο για διατήρηση της υγρασίας και για να βελτιώσουν τις συνθήκες βλάστησης των σπόρων. Τα στάδια καλύφθηκαν με μίγμα Φεστούκας και *Poa* για να αυξηθεί η αντοχή στην ξηρασία. Τα έλη της περιοχής φυτεύτηκαν με υδρόβια φυτά και αποτέλεσαν ένα ενδιαφέρον οικοσύστημα με ψάρια, βάτραχους και πουλιά.

Το πάρκο συνεχίζει να συντηρείται με συχνές λιπάνσεις για διατήρηση των θρεπτικών συστατικών και αερισμούς για παρεμπόδιση της συμπίεσης και των αναερόβιων συνθηκών στο έδαφος. Τα πάρκα που δημιουργούνται σε κλειστές χωματερές μπορούν να πετύχουν μόνο όταν συντηρούνται σωστά.

5.2 Τι ισχύει στις χώρες της Ευρώπης

Στην Ευρώπη ισχύει η αρχή «Ο ρυπαίνων πληρώνει». Στην Ελλάδα αυτό έχει αντικατασταθεί από την αρχή «πληρώνω για να ρυπαίνω». Καθημερινά οι πράξεις όλων μας, επαληθεύουν αυτή τη λανθασμένη λογική που μας διακατέχει. Όμως το ότι «Ο ρυπαίνων πληρώνει» σημαίνει πως ο ρυπαίνων αναλαμβάνει το κόστος όλων

εκείνων των απαραίτητων έργων, ενεργειών και δράσεων, έτσι ώστε να μην είναι ρυπογόνα και ενοχλητική για το περιβάλλον και τους πολίτες η δραστηριότητα της διαχείρισης των απορριμμάτων.

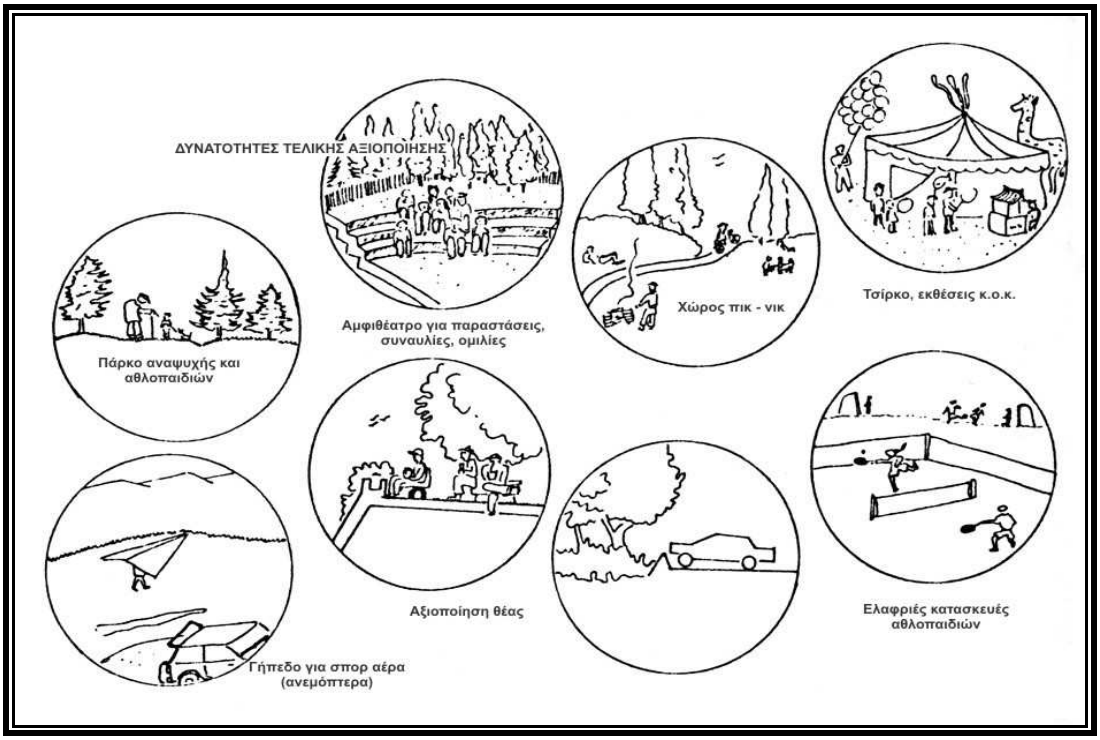
5.2.1 Παραδείγματα

- Κατά μέσον όρο το κόστος ενός τόνου διαχείρισης απορριμμάτων στην Ελλάδα, το οποίο πληρώνει ο πολίτης είναι 50,00 ευρώ ανά τόνο. Στη Γερμανία είναι πάνω από 250,00 ευρώ, στην Ολλανδία είναι 550,00 ευρώ.
- Στη Δανία υπάρχουν 138 εγκαταστάσεις κομποστοποίησης όπου από 1 εκατομμύριο τόνους οργανικών απορριμμάτων που μπαίνουν μέσα, 650.000 τόνοι είναι από κήπους και πάρκα. Παράγονται έτσι 450.000 τόνοι κομπόστ οι οποίοι προορίζονται κυρίως για λίπασμα, δηλαδή γίνεται πλήρης ανακύκλωση. Τα 52% των απορριμμάτων αξιοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το 23% ανακυκλώνεται, το 14% κομποστοποιείται και το 11% οδηγείται σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων.
- Στη Γερμανία το κάθε σκουπίδι ανάλογα με το είδος του μπαίνει σε διαφορετική σακούλα και κάδο. Για παράδειγμα όλα τα προιόντα με την ένδειξη Grune Punkt, μπαίνουν σε έναν κάδο. Το γυαλί ανάλογα και με το χρώμα του διαχωρίζεται από τους ίδιους τους πολίτες.
- Στη Σουηδία το 98% των μεγάλων πλαστικών μπουκαλιών PET επαναχρησιμοποιείται. Το κράτος έχει θεσπίσει σειρά από «πράσινα» πρόστιμα και φόρους.
- Γενικά στην Ευρώπη το ποσοστό των απορριμμάτων που καταλήγει σε ΧΥΤΑ είναι 57% και πρόκειται για διαχωρισμένα οργανικά απορρίμματα. Μόνο στις μεσογειακές χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία) και στην Μεγάλη Βρετανία ισχύει η ταφή ανάμικτων απορριμμάτων και αυτό λόγω μεγάλων συγκεντρώσεων πληθυσμού στα αστικά κέντρα και εξαιτίας γεωγραφικών δεδομένων (Μεσόγειος ορεινό ανάγλυφο, νησιά, έλλειψη συγκοινωνιακών υποδομών, διασπορά πληθυσμού) που κάνουν δύσκολη τη διαχείριση του όγκου των απορριμμάτων.

Η χρήση δένδρων σε χωματερές είναι πολύ συχνή στην Ευρώπη. Στη Φιλανδία, για παράδειγμα, ένα μίγμα ειδών λεύκας και ιτιάς φυτεύτηκε σε πρώην χωματερή για να αυξήσει την εξατμισοδιαπνοή και να συλλεχθεί ως σοδειά βιομάζας. Αν και αρδευόμενη με απόνερα, η αναφερόμενη παραγωγικότητα της σοδειάς ήταν

μεταξύ των υψηλότερων στη Φιλανδία. Στο Vinkeveen, στην Ολλανδία, μια πρώην χωματερή φυτεύτηκε σαν τυπικό πάρκο με ποικιλία δένδρων και θάμνων. Τα δάση για παραγωγή ξυλείας και για αναψυχή εγκαταστάθηκαν επιτυχώς σε πολλά μέρη της Μεγάλης Βρετανίας, συμπεριλαμβανομένων και του Befordshire, του ανατολικού Sussex και του Atlas Mill στο δυτικό Yorkshire. Η περιοχή Atlas Mill που περιλαμβάνει βάλτους έδειξε μεγάλη επιτυχία στην παρουσία άγριας ζωής.

Κάποιες επιπλέον χρήσεις περιοχών αποκατεστημένων χωματερών παρουσιάζονται στην Εικόνα 29 που ακολουθεί.



Εικόνα 29. Δυνατότητες τελικής αξιοποίησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρεαδάκης Α., 2001-2002. «Αρχές και μέθοδοι διαχείρισης στερεών αποβλήτων». Σημειώσεις Μαθήματος. Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Glomis, 2000. "Use of Mangrooves in Landfill Management". Glomis Electronic Journal. p.1. Διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή τον Ιανουάριο 2009 στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.glomis.com/ej/pdf/ej01.pdf.

HIWMI (Hampshires Integrated Waste Mamagement Initiative), 2008. "Project Integra". Διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή τον Ιανουάριο 2009 στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.integra.org.uk.

Κόλλιας, Π., 1993. Απορρίμματα, Αστικά-Βιομηχανικά. Αθήνα. Σελ. 478.

Miller R, 1996. Phytoremediation. Technology Overview Report. GWRTAC Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, PITTSBURGH, PA 15238 (USA). p. 26. Διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή τον Ιανουάριο 2009 στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://md1.csa.com/partners/viewrecord.php.

Σάββας, Δ., 2003. Γενική ανθοκομία. Ά έκδοση. Εκδόσεις Έμβρυο. Σελ. 320.

Schnoor J., 1997. Phytoremediation. Technology Evaluation Report GWRTAC Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center , PITTSBURGH, PA 15238 (USA). p. 43. Διαθέσιμο σε ηλεκτρονική μορφή τον Ιανουάριο 2009 στην ηλεκτρονική διεύθυνση: http://www.clu-in.org/download/toolkit/ phyto_e.pdf.

Susala, S., Medina, V. and McCutheon, S., 2002. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. Ecological Engineering, 18 (5). p. 647-658.

Χαλβαδάκης, Κ., 1989. Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Σημειώσεις Μαθήματος. Τομέας Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 1
Εισαγωγή 2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο 3
ΔΙΑΘΕΣΗ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ 3
1.1 Η διάθεση απορριμμάτων στις μέρες μας 3
1.2 Τρόποι διάθεσης απορριμμάτων 4
1.2.1 Χωματερές 4
1.2.2. ΧΥΤΑ 4
1.2.3. Εργοστάσια καύσης απορριμμάτων 5
1.2.4. Ανακύκλωση 5
1.3 Διάθεση απορριμμάτων στην Ελλάδα 6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο 8
ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΧΩΜΑΤΕΡΩΝ 8
2.1 Οι επιδράσεις των απορριμμάτων 8
2.1.1. Βιογενείς 8
2.1.2 Μη βιογενείς 9
2.1.2.1 Πυρκαγιές 9
2.1.2.2 Τοξίνες-Βιοαέρια 10
2.1.2.3 Στραγγίδια 11
2.1.2.4 Βαρέα μέταλλα 12
2.2 Η τελική αποκατάσταση των χώρων διάθεσης απορριμμάτων 13
2.3 Διαδικασίες στις χωματερές που επηρεάζουν την αποκατάσταση 15
2.3.1 Καθιζήσεις 15
2.3.2 Αέρια χωματερής 16
2.3.2.1 Η παραγωγή αερίων 16
2.3.2.1.1 Περιβαλλοντικά προβλήματα προερχόμενα από τα αέρια των χωματερών 16
2.3.2.1.2 Ανάκτηση του αερίου και συστήματα συλλογής 17
2.3.2.1.3 Χρήσεις του βιοαερίου 18
2.3.3 Στραγγίσματα χωματερών 19
2.3.3.1 Τρόπος παραγωγής – περιβαλλοντικές επιπτώσεις 19
2.3.3.1.1 Σύνθεση στραγγισμάτων 20
2.3.3.1.2 Επεξεργασία στραγγισμάτων 21
2.4 Τελική κάλυψη 22
2.5 Κατασκευή της κάλυψης 22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο 26
ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΤΟΚΑΛΥΨΗ ΧΩΜΑΤΕΡΗΣ 26
3.1 Βλάστηση στην προς αποκατάσταση χωματερή 26
3.2 Φυτοκάλυψη της χωματερής 27
3.2.1 Σχέδιο φυτοκάλυψης 27
3.2.2 Ετοιμασία της σποροκλίνης 27
3.2.3 Εγκατάσταση της βλάστησης 27
3.3 Φυτά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν 30
3.3.1 Αγρωστώδη 31
3.3.2 Ψυχανθή 33
3.4. Άμεση δαπάνη αποκατάστασης της βλάστησης 34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο 35
ΦΥΤΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ 35

4.1 Γενική περιγραφή....35
4.2 Μηχανισμοί φυτοαποκατάστασης....36
4.2.1 Φυτοεξαγωγή (Phytoextraction)....39
4.2.2 Φυτοάντληση (Phytopumping) και έλεγχος της υδατικής ισορροπίας...41
4.2.3. Φυτοαποδόμηση (Phytodegradation)....43
4.2.4 Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilisation)....43
4.2.5 Φυτοεξάτμιση (Phytovolatilization)....45
4.2.6 Ριζοαποδόμηση (Rhizodegradation)....46
4.2.7 Αποκατάσταση ανεπάρκειας αζώτου....47
4.2.8 Συνδυασμένοι μηχανισμοί....47
4.3 Περιορισμοί....49
Πίνακας 8. Πλεονεκτήματα διαφόρων τύπων φυτοαποκατάστασης (Miller, 1996). ..50
4.4 Παράμετροι σχεδιασμού....51
4.4.1 Ριζικό σύστημα....51
4.4.2 Ρυθμός ανάπτυξης φυτών....52
4.4.3 Επιλογή φυτών....54
4.4.4 Χρηστικότητα....56
4.4.5 Μελέτες δυνατότητας χρήσης φυτών (Treatibility Studies)....56
4.4.6 Πυκνότητα και θέσεις φύτευσης....57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^{ο}....58
ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΥΠΟΛΟΙΠΟ ΚΟΣΜΟ....58
5.1 Παραδείγματα αντιμετώπισης στον υπόλοιπο κόσμο....58
5.1.1 Παράδειγμα αποκατάστασης....58
5.1.2 Παράδειγμα οργάνωσης και οικονομικής διαχείρισης αποκατάστασης.58
5.1.3 Παράδειγμα προβολής του κοινωνικού μοντέλου διαχείρισης....59
5.1.4 Ανάπλαση Χωματερών στο Hong-Kong....60
5.1.5 Shuen Wan Golf Centre....60
5.1.6 Μέτρα ανάπλασης....61
5.1.7 Jordan Valley Ecology Park....61
5.1.8 Αγωνιστικοί χώροι από ανάπλαση χωματερών στο Cambridge....62
5.2 Τι ισχύει στις χώρες της Ευρώπης....62
5.2.1 Παραδείγματα....63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ....65