

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΣΟΥΚΟΥΛΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΔΡ. ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΠΑΤΡΑ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στις εφαρμογές της βιοτεχνολογίας στον έλεγχο και προστασία του περιβάλλοντος.

Οι βιοτεχνολογικές διαδικασίες για την προστασία του περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται εδώ και έναν αιώνα περίπου πριν ακόμα υπάρξει ο όρος “βιοτεχνολογία”. Η βιοτεχνολογία χρησιμοποιεί βιολογικές διεργασίες για να προσφέρει νέες τεχνικές στον έλεγχο και αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Επίσης μεγάλη έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη βιομηχανικών διαδικασιών για μείωση των ρυπών, καθώς και στην παραγωγή προϊόντων φιλικότερων προς το περιβάλλον.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Μαρία Θεοδωροπούλου για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στις εφαρμογές της βιοτεχνολογίας στον έλεγχο και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι εφαρμογές αυτές έχουν σκοπό την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων που έχουν να κάνουν με τον έλεγχο της ρύπανσης, την αποκατάσταση υποβαθμισμένων περιβαλλοντικών συστημάτων, την επεξεργασία παραγόμενων αποβλήτων και τέλος την εφαρμογή νέων διαδικασιών και μεθόδων στις βιομηχανίες που προλαμβάνουν ή περιορίζουν την ρύπανση του περιβάλλοντος και την παραγωγή προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον.

Η διεξαγωγή αυτής της πτυχιακής εργασίας εκτείνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται ο όρος «βιοτεχνολογία» και η σύνδεση της με τον έλεγχο και προστασία του περιβάλλοντος. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στη ρύπανση του περιβάλλοντος η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο σε ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι κλασικές χημικές αναλύσεις στον έλεγχο του περιβάλλοντος και στην χρησιμοποίηση βιοτεχνολογικών τεχνικών ελέγχου οι οποίες περιλαμβάνουν την μελέτη ζωντανών οργανισμών και φυτών (βιοδείκτες) για τον προσδιορισμό του επιπέδου και του είδους της ρύπανσης και τη χρήση ειδικών συσκευών ελέγχου (βιοαισθητήρες) που περιέχουν ένα βιολογικό συστατικό στην σύστασή τους. Στο σημείο αυτό γίνεται αναφορά σε παραδείγματα χρήσης βιοδεικτών, καθώς και κατηγοριοποίηση των βιοαισθητήρων σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας τους και εφαρμογές στον έλεγχο διαφόρων ρυπαντικών ουσιών. Ακολουθεί μελέτη των βιομεμβρανών που τις συναντάμε σε πολλές εφαρμογές της βιοτεχνολογίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξηγείται η σημασία της βιοαποκατάστασης ενώ στην συνέχεια απαριθμούνται οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων και τα στάδια αυτών. Οι εφαρμογές της βιοτεχνολογίας στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων έχουν πολύ καλό βαθμό απόδοσης και σχετικά χαμηλό κόστος πράγμα που τις κάνει πολύ διαδεδομένες εδώ και αρκετά χρόνια. Παραθέτονται οι τρόποι βιολογικής απορρύπανσης εδαφών και υπογείων υδάτων, με εκτεταμένη αναφορά στην τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης. Αξιόλογος είναι ο αριθμός των περιπτώσεων όπου η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης μπορεί να εφαρμοστεί. Στην συνέχεια αναφέρονται οι κύριοι ρύποι της ατμόσφαιρας καθώς και βιολογικά συστήματα τα οποία έχουν την δυνατότητα να διασπούν αυτούς του ρύπους ώστε αν όχι να εξαλειφθεί, τουλάχιστον να μειωθεί η τοξικότητά τους. Τα βιομηχανικά απόβλητα είναι άλλος ένας τομέας στον οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν βιολογικά συστήματα επεξεργασίας για την μείωση κυρίως του οργανικού φορτίου των αποβλήτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες όπως είναι οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας στις οποίες περιλαμβάνεται η βιομάζα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βελτιωτικό εδαφών (λίπασμα) ή σαν καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Μεγάλη έρευνα γίνεται για την παραγωγή βιοαποικοδομήσιμων πλαστικών (βιοπλαστικά) με σκοπό να αντικαταστήσουν τα συμβατικά πλαστικά τα οποία αποτελούν το 30% των στερεών αστικών αποβλήτων. Τέλος τα προϊόντα της βιοτεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας έχουν στόχο την μείωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων τα οποία δημιουργούν

μεγάλα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα. Ευχάριστο φαινόμενο αποτελεί η διεύρυνση της αγοράς της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας και ο ραγδαίος ρυθμός ανάπτυξης της διασφαλίζοντας έτσι καθαρότερο περιβάλλον και νέες θέσεις εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

1. ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	1
1.1 Εισαγωγή στη περιβαλλοντική βιοτεχνολογία.....	1
1.2 Ρύπανση του περιβάλλοντος.....	2
2. ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Ζωντανοί οργανισμοί δείκτες ρύπανσης του περιβάλλοντος (βιοδείκτες).....	5
2.3 Βιοαισθητήρες (biosensors).....	9
2.3.1 Είδη βιοαισθητήρων	10
2.3.2 Εφαρμογές.....	12
2.4 Βιομεμβράνες ή βιοστρώματα (biofilms).....	21
3. ΒΙΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.....	24
3.2.1 Αερόβιες βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας.....	25
3.2.1.1 Μέθοδοι προσαρτημένης αύξησης.....	25
3.2.1.2 Μέθοδοι μη-προσαρτημένης αύξησης	30
3.2.1.3 Ενεργός Ιλύς.....	30
3.2.2 Αναερόβιες βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας.....	34
3.2.3 Συστήματα Νιτροποίησης – Απονιτροποίησης.....	36
3.2.4 Ενεργός άνθρακας.....	37
3.2.5 Τεχνητοί υγρότοποι.....	38
3.3 Στερεά απόβλητα.....	40
3.3.1 Κομποστοποίηση.....	40
3.3.2 Αποσύνθεση από Σκώληκες.....	47
3.4 Απορρύπανση εδαφών και υπογείων υδάτων	48
3.4.1 Φυτοεξυγίανση (Phytoremediation).....	50
3.4.1.1 Φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών.....	57
3.4.1.2 Φυτοεξυγίανση οργανικών ρυπαντών.....	59
3.4.1.3 Σχεδιασμός συστημάτων φυτοεξυγίανσης.....	62
3.5 Ατμοσφαιρική ρύπανση	64
3.5.1 Κύριοι ρύποι της ατμόσφαιρας.....	64
3.5.2 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας αέριων ρυπών.....	66
3.6 Βιομηχανικά απόβλητα	69
4. ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	75
4.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	75
4.1.1 Βιομάζα.....	77
4.1.2 Βιοκαύσιμα.....	80
4.2 Βιοπλαστικά ή βιοπολυμερή.....	81
4.3 Εφαρμογές την βιοτεχνολογίας στην γεωργία.....	83
4.4 Αγορά Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας.....	85
Συμπεράσματα.....	88
Βιβλιογραφία.....	89

1. ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Ο όρος βιοτεχνολογία εισήχθη από τον Ούγγρο Karl Ereky το 1919 σε ένα βιβλίο του, όπου μελετούσε την παραγωγή προϊόντων και ουσιών με την χρήση ζωντανών οργανισμών και αναφερόταν στην σύνδεση της βιολογίας με την τεχνολογία. Εξέλιξη του αρχικού αυτού όρου αποτελεί ο ορισμός της βιοτεχνολογίας, σύμφωνα με την Συνθήκη για την Βιολογική Ποικιλότητα του 1992, ως **κάθε επιστήμη τεχνολογικής εφαρμογής που χρησιμοποιεί βιολογικά συστήματα, ζωντανούς οργανισμούς ή συστατικά τους, για να παράγει ή να τροποποιήσει προϊόντα ή διαδικασίες για συγκεκριμένη χρήση.**

Με την ευρύτερη έννοια αυτού του όρου στην βιοτεχνολογία συμπεριλαμβάνονται πανάρχαιες τεχνικές, όπως η καλλιέργεια φυτών, η εξημέρωση και εκτροφή ζώων που χρονολογείται πριν από 10.000 χρόνια, η ζύμωση του ψωμιού, που χρονολογείται πριν από 6.000 χρόνια, ή της μπίρας, του κρασιού και του τυριού πριν από 3.000 χρόνια. Ακόμη πολλές άλλες κοινές πρακτικές, γνωστές στην ανθρωπότητα από αιώνες, όπως η επιλογή και ανάπτυξη βελτιωμένων ειδών φυτών και ζώων, και πιο πρόσφατα η βελτίωση του τρόπου καλλιέργειας των εδαφών με λιπάσματα, εντομοκτόνα και πολλά άλλα.

Οι βιοτεχνολογικές διαδικασίες για την προστασία του περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται εδώ και έναν αιώνα περίπου, αλλά τα τελευταία 40 χρόνια έγινε ευρύτερη η χρήση τους λόγω της μεγάλης άνθησης της βιομηχανίας.

Περιβαλλοντική Βιοτεχνολογία είναι ο κλάδος της βιοτεχνολογίας που ασχολείται με τις εφαρμογές της βιοτεχνολογίας για την επίλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως ο έλεγχος της ρύπανσης, επεξεργασία στερεών και υγρών αποβλήτων, τεχνικές αποκατάστασης και αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.

Ο παγκόσμιος τζίρος της αγοράς της Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας ήταν 300,000,000,000 \$ κατά το έτος 1999 ενώ στην Ευρώπη ο τζίρος έφθασε περίπου στα 100,000,000,000 \$.

Οι εφαρμογές της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας αφορούν:

- Τον έλεγχο της ρύπανσης
- Την απορρύπανση υποβαθμισμένων περιβαλλοντικών συστημάτων
- Την επεξεργασία παραγομένων αποβλήτων
- Την εφαρμογή διαδικασιών και μεθόδων στην βιομηχανία που προλαμβάνουν ή περιορίζουν την πιθανότητα περιβαλλοντικής ρύπανσης.

Βιολογική Απορρύπανση ονομάζεται η χρήση της μεταβολικής ικανότητας μικροοργανισμών με στόχο την απορρύπανση και αποκατάσταση ρυπασμένων εδαφών, υδροφόρων και λοιπών οικοσυστημάτων.

Οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων και τα φίλτρα βιομηχανικών αέριων που αναπτύχθηκαν κατά το πέρασμα του αιώνα αποδείχτηκαν πολύ αποτελεσματικά αν και αρχικά δεν ήταν τόσο γνωστές οι βιολογικές θεμελιώδης αρχές που κρύβονταν πίσω από την λειτουργία τους. Σήμερα η βασικές γνώσεις έχουν αυξηθεί κατά πολύ.

Έρευνες στην Ελλάδα και την Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν δείξει ότι οι Έλληνες είναι περισσότερο δύσπιστοι από τους υπόλοιπους Ευρωπαίους απέναντι στην αυξανόμενη χρήση βιοτεχνολογίας και τη συνδέουν αποκλειστικά με τους γενετικά τροποποιημένους οργανισμούς. Η έλλειψη ενημέρωσης γύρω από τις χρήσεις της βιοτεχνολογίας στην καθημερινή ζωή ευθύνεται για τους χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης της έρευνας και της επιχειρηματικότητας στον συγκεκριμένο τομέα στην Ελλάδα, τη στιγμή που ο τομέας αυτός αποτελεί την αιχμή του δόρατος της ανάπτυξης στις περισσότερες από τις αναπτυσσόμενες και αναπτυσσόμενες χώρες του κόσμου.

1.2 ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Η ξέφρενη ανάπτυξη της τεχνολογίας την τελευταία πενήνταετία είχε και έχει σαν επακόλουθο εκτεταμένες οικολογικές καταστροφές που προέρχονται από την ρύπανση και μόλυνση του περιβάλλοντος. Οι ανάγκες των σύγχρονων κοινωνιών για οικονομική και τεχνολογική ανάπτυξη με ταυτόχρονη προστασία του φυσικού και πολιτιστικού περιβάλλοντος ώθησαν στην εξέλιξη των επιστημών του περιβάλλοντος. Το πεδίο των επιστημών αυτών έχει ιδιαίτερα αναπτυχθεί στις δύο τελευταίες δεκαετίες και διερευνά τις επιπτώσεις από τις φυσικές διεργασίες και ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών και του περιβάλλοντος.

Ο όρος **περιβάλλον** περιλαμβάνει το έδαφος, το υπέδαφος, τα νερά υπόγεια και επιφανειακά (λίμνες και ποτάμια), τη θάλασσα, την ατμόσφαιρα, τα φυτά και τα ζώα, τους φυσικούς πόρους και τα δημιουργήματα του πολιτισμού. Όλα αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους διαμορφώνοντας οικοσυστήματα.

Τα **οικοσυστήματα** είναι σύνολα ζώντων οργανισμών που ζουν σε μια συγκεκριμένη περιοχή καθώς και ο βιότοπος στον οποίο κατοικούν και αναπτύσσονται. Παραδείγματα οικοσυστημάτων είναι τα δάση, τα έλη, οι λίμνες κλπ. Όλα τα στοιχεία ενός οικοσυστήματος επικοινωνούν μεταξύ τους με τρόπο ώστε να διατηρείται ισορροπία μεταξύ των διαφόρων στοιχείων (ζώντων και αβιοτικών) που το αποτελούν. Η ανθρώπινη δραστηριότητα σ' ένα οικοσύστημα μεταβάλλει ή καταστρέφει κάποιες ισορροπίες μεταξύ των οργανισμών και των ουσιών. Τα οικοσυστήματα μπορούν να προσαρμοσθούν στις αλλαγές που επιφέρουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες μέχρι ενός σημείου. Γι' αυτό είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την φύση των οικοσυστημάτων για να προλάβουμε εκείνες τις δραστηριότητες που είναι δυνατόν να αποβούν καταστροφικές.

Λέγοντας **ρύπανση** εννοούμε την εισαγωγή στο περιβάλλον ουσιών (χημικών ενώσεων, κ.α.) οι οποίες προκαλούν την ποιοτική και αισθητική υποβάθμιση του και υποβιβάζουν την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Οι επιπτώσεις της ρύπανσης στον άνθρωπο αφορούν κυρίως την υγεία του.

Η ρύπανση του περιβάλλοντος οφείλεται σε φυσικές διεργασίες (εκρήξεις ηφαιστειών, πυρκαγιές κλπ.) και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σε ότι αφορά τις φυσικές πηγές ρύπανσης, η ίδια η φύση έχει αναπτύξει δια μέσου των αιώνων διάφορους μηχανισμούς αυτοκαθαρισμού που εξισορροπούν τη ρύπανση που προκαλείται απ' αυτές. Αντίθετα, η ρύπανση που προκαλείται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες είναι επικίνδυνη, επειδή πολλές φορές οδηγεί τα οικοσυστήματα σε μη αντιστρεπτές καταστάσεις.

Η εκπομπή τοξικών ή άλλων επιβλαβών ουσιών στο περιβάλλον δημιουργεί προβλήματα στις διάφορες βιολογικές διαδικασίες που είναι απαραίτητες

για την διατήρηση της ζωής. Το αποτέλεσμα των ρύπων αυτών είναι μόνιμες ή αντιστρεπτές βλάβες στους οργανισμούς, θάνατος, καρκινογένεση κ.ά. Οι κίνδυνοι από τις τοξικές και άλλες επιβλαβείς ουσίες γίνονται μεγαλύτεροι επειδή έχουν την ιδιότητα να συσσωρεύονται στους οργανισμούς.

Η ανθρωπογενής ρύπανση είναι αποτέλεσμα της βιομηχανικής δραστηριότητας, των διαφόρων αστικών δραστηριοτήτων, κυρίως όπου υπάρχει συσσωρευμένος ανθρώπινος πληθυσμός, στις γεωργικές καλλιέργειες, στα διάφορα συγκοινωνιακά μέσα και στα διάφορα ατυχήματα μεγάλης κλίμακας όπως εκρήξεις σε πυρηνικά ή χημικά εργοστάσια, διαρροές σε δεξαμενόπλοια που δημιουργούν μεγάλης έκτασης ανεξέλεγκτη ρύπανση. Η συνειδητοποίηση αυτού του κινδύνου προκάλεσε και συνεχώς προκαλεί κινητοποιήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος. Παράλληλα, η επιστημονική έρευνα και η τεχνολογία προσφέρουν τις υπηρεσίες τους στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με το περιβάλλον.

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

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

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

- Τεχνολογίες απορρύπανσης που αναφέρονται στην αντιμετώπιση της ρύπανσης που έχει εισαχθεί ή εισάγεται στο περιβάλλον από διάφορες ανθρωπογενείς πηγές και
- Αντιρρυπαντικές τεχνολογίες. Είναι τεχνολογίες των οποίων ο σχεδιασμός γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται η δημιουργία ρύπων.

Πράγματι τα τελευταία χρόνια γίνονται μεγάλες προσπάθειες προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης και της εφαρμογής αντιρρυπαντικών τεχνολογιών σε βιομηχανικό, αστικό, συγκοινωνιακό κλπ. επίπεδο, με σκοπό την σταδιακή αντικατάσταση συμβατικών ρυπογόνων τεχνολογιών.

Ο όρος **προστασία του περιβάλλοντος** περιλαμβάνει όλα τα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό της ρύπανσης και την αποφυγή οικολογικών καταστροφών. Για την αποτελεσματική προστασία του περιβάλλοντος δεν αρκεί μόνο η θέσπιση νόμων και η ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων προστασίας (φίλτρα κ.λπ.). αλλά πρέπει ο κάθε πολίτης να αποκτήσει «περιβαλλοντική ευθύνη», να ενημερώνεται και να συμμετέχει ενεργά στη δράση για τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

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

Με τα σημερινά δεδομένα ζωής δεν είναι ρεαλιστικό να μιλούμε για πλήρη εξάλειψη της ρύπανσης γιατί αυτό θα σήμαινε αναστολή κάθε δραστηριότητας και ανακοπή κάθε ανάπτυξης. Είναι πιο ρεαλιστικό να πιστεύουμε ότι ανάπτυξη και περιβάλλον μπορούν να συνυπάρξουν αρμονικά κάτω από αυστηρές προϋποθέσεις όπως:

- Η χρησιμοποίηση της κατάλληλης τεχνολογίας
- Η σωστή χωροταξική κατανομή της βιομηχανίας και των άλλων δραστηριοτήτων.
- Η προστασία των ευαίσθητων οικοσυστημάτων.
- Η ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων.
- Ο σωστός έλεγχος, σωστή και διαρκής ενημέρωση.

2. ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα έχει αναγνωρισθεί ότι η εκτίμηση των κινδύνων από τη ρύπανση του περιβάλλοντος δεν μπορεί να γίνει μόνο με την εφαρμογή χημικών αναλύσεων. Με τις χημικές αναλύσεις πολλές φορές είναι δύσκολο για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους να εντοπιστεί το σύνολο των χημικών ουσιών που μπορεί να υπάρχουν σε ένα δείγμα και η συνδυασμένη επίδραση τους στα διάφορα οικοσυστήματα.

Τα μειονεκτήματα των χημικών μεθόδων ελέγχου της ρύπανσης του περιβάλλοντος είναι:

- Ο μεγάλος αριθμός παραμέτρων που αντιστοιχεί σε τεράστιο οικονομικό κόστος.
- Οι παρεμποδίσεις που οφείλονται στην πληθώρα χημικών ουσιών που περιέχουν τα απόβλητα.
- Ο πανάκριβος εξοπλισμός και πολύ εξειδικευμένο προσωπικό.

Αυτά τα προβλήματα μπορούμε να τα παρακάμψουμε, χρησιμοποιώντας την τεχνική του ελέγχου των αποβλήτων με ζωντανούς οργανισμούς και φυτά (βιοδείκτες) ή με

τη χρήση ειδικών συσκευών ελέγχου που περιέχουν ένα ενεργό βιολογικό συστατικό (βιοαισθητήρες). Αν το απόβλητο είναι τοξικό θα επηρεάσει την ανάπτυξη ή την υγεία των ζωντανών οργανισμών και έτσι θα μπορέσουμε να εκτιμήσουμε τη ρύπανση νερών και εδαφών από επικίνδυνους χημικούς και βιολογικούς ρύπους.

Ένα προφανές πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η άμεση επίδειξη μιας βιολογικής βλάβης. Μελέτες βιολογικών επιδράσεων αποτυπώνουν τις επιπτώσεις από όλους τους επιβλαβείς παράγοντες, συμπεριλαμβάνοντας συνεργετικές και ανταγωνιστικές επιδράσεις. Οι βιοανιχνευτές μπορούν επίσης να εντοπίσουν ανύποπτους προηγούμενα χημικούς ή φυσικούς διεγέρτες ή να αποκαλύψουν βλάβες που προξενήθηκαν από ρυπαντές που αποικοδομήθηκαν και δεν είναι πλέον ανιχνεύσιμοι από ανάλυση των υπολειμμάτων. Οπωσδήποτε η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση αγνώστων ρυπαντών, πολυσύνθετων μιγμάτων ή επικίνδυνων αποβλήτων.

2.2 ΖΩΝΤΑΝΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (ΒΙΟΔΕΙΚΤΕΣ)

Οι βιοδείκτες είναι ζωντανοί οργανισμοί όπως ζώα, φυτά και βακτήρια που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της υγείας του περιβάλλοντος. Οι οργανισμοί εμποτεύονται για αλλαγές που ίσως υποδηλώνουν πρόβλημα στο οικοσύστημά τους. Οι αλλαγές μπορούν να αφορούν τη βιοχημεία, τη φυσιολογία, τη γενετική, τη συμπεριφορά κτλ. Κάθε οργανισμός έχει την ιδιότητα να καταγράφει την υγεία του περιβάλλοντος στο οποίο ζει. Οι βιοδείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ανιχνεύσουν την παρουσία ρύπανσης και την επίδρασή της στο συγκεκριμένο οικοσύστημα. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργαστηριακά πειράματα για τον έλεγχο των επιπτώσεων διαφόρων ουσιών στην υγεία και την ανάπτυξη τους.

Τα πλεονεκτήματα των βιοδεικτών σε σχέση με διάφορα όργανα μέτρησης είναι αρχικά το πόσο οικονομικά και γρήγορα είναι τα συμπεράσματα που βγαίνουν από τη μελέτη τους. Επίσης, οι βιοδείκτες έχουν κι ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα: είναι ζωντανοί. Κατά συνέπεια, μπορούν να καλύψουν ένα περιβάλλον ευρείας έκτασης καταγράφοντας το μέσα σε ένα φάσμα κλιματολογικών συνθηκών. Υπάρχει δηλαδή και ακρίβεια, μιας και οι βιοδείκτες μπορούν να καταγράψουν τοξικές ουσίες τις οποίες ένα σύγχρονο μηχάνημα καταγραφής να μην μπορεί να τις ανιχνεύσει. Οι βιοδείκτες χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ζωικοί δείκτες.** Μία αύξηση ή μείωση σε έναν ζωικό πληθυσμό μπορεί να δείχνει αλλαγές στο οικοσύστημα λόγω ρύπανσης. Επίσης η συγκέντρωση διαφόρων τοξικών ουσιών στους ιστούς ενός ζώου αντικατοπτρίζει το περιβάλλον στο οποίο ζει αυτός ο οργανισμός.
- **Φυτικοί δείκτες.** Παρουσία ή απουσία ενός συγκεκριμένου φυτικού είδους ή βλάστησης μπορεί να δίνει σημαντικές πληροφορίες για την υγεία του συγκεκριμένου οικοσυστήματος.
- **Μικροβιακοί δείκτες.** Χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την υγεία του υδάτινου και του εδαφικού περιβάλλοντος. Μπορεί κάποιος εύκολα να πάρει δείγμα γιατί βρίσκονται σε μεγάλους αριθμούς. Κάτω από συνθήκες stress όπως πχ παρουσία καδμίου ορισμένοι μικροοργανισμοί παράγουν συγκεκριμένες πρωτεΐνες.

Ø Μέτρηση της τοξικότητας σε νερά λιμνών και ποταμών με τα οστρακόδερμα *daphnia Magna*.

Στις μετρήσεις τοξικότητας με τα οστρακόδερμα *daphnia Magna* (εικ. 2.1) οι οργανισμοί αρχικά είναι σε «αυγά» (εφίππια). Τα εφίππια επωάζονται κάτω από σταθερή θερμοκρασία 20 °C και φωτισμό περίπου 6000 lux και για διάστημα τριών ημερών. Οι οργανισμοί που προκύπτουν μεταφέρονται σε πλαστικές κυψελίδες όπου περιέχεται ο μάρτυρας (control) και τα δείγματα. Στον μάρτυρα και σε κάθε δείγμα μεταφέρονται συνολικά 20 οστρακόδερμα ανά 5 σε 4 κυψελίδες με ποσότητα δείγματος ανά κυψελίδα 10 mL. Η τοξικότητα προσδιορίζεται με τη μέτρηση του αριθμού των οργανισμών στο δείγμα που είναι ακινητοποιημένοι ή θανατωμένοι, μετά από τη συντήρηση των δειγμάτων σε θερμοκρασία 20°C απουσία φωτός και για χρόνους 24 και 48 ωρών. Η μεταφορά των οργανισμών στα δείγματα και η μέτρηση τους γίνεται με γυμνό οφθαλμό.



Εικόνα 2.1: Το οστρακόδερμο *Daphnia Magna*

Ø Τα βατράχια δείκτες ρύπανσης υδάτινων πόρων.

Έρευνα ειδικών του τμήματος Βιολογίας του ΑΠΘ σε βατράχια δύο τουλάχιστον ποταμών της Κεντρικής Μακεδονίας κατέληξε στο συμπέρασμα πως εξαιτίας της ρύπανσης των νερών από βαρέα μέταλλα το συκώτι τους και οι νεφροί τους υφίστανται σοβαρές αλλοιώσεις. Ομάδα πέντε ερευνητών του Τομέα Ζωολογίας του ΑΠΘ, μελέτησε τους βατράχους στην τάφρο 66 της Ημαθίας, στον υδροβιότοπο του Λουδία και σ' έναν μικρό υδροβιότοπο της Χαλκιδικής, σαφώς καθαρότερο από τους δύο άλλους. Ο κοινός βάτραχος (*rana ridibunda*) χρησιμοποιήθηκε ως βιοδείκτης για την πιθανή ύπαρξη βαρέων μετάλλων στο περιβάλλον του.

Η έρευνα έδειξε ότι η περιοχή της τάφρου 66 (η ρύπανσή της από βιομηχανίες απασχόλησε στο παρελθόν και τη Βουλή) ήταν η πλέον επιβαρυσμένη. Στόχοι των μελετητών ήταν να εντοπιστούν πιθανές ιστοπαθολογικές αλλοιώσεις που επιφέρουν τα βαρέα μέταλλα στα ζωτικά όργανα του βατράχου και τυχόν εξωτερικές ανατομικές ανωμαλίες.

Δεν παρατηρήθηκαν εξωτερικές ανατομικές ανωμαλίες, πράγμα που δείχνει ότι οι παραπάνω περιοχές δεν είναι τραγικά επιβαρυσμένες. Παρατηρήθηκαν όμως διάφορες ιστοπαθολογικές αλλοιώσεις στο ήπαρ και τους νεφρούς ορισμένων βατράχων. Σε γενικές γραμμές, οι αλλοιώσεις ήταν περισσότερες και σοβαρότερες στα δείγματα από την τάφρο 66. Πολύ σοβαρές ήταν οι αλλοιώσεις των νεφρών, μια αλλοίωση που κατά ένα μεγάλο βαθμό οφείλεται στα βαρέα μέταλλα. Παρατηρήθηκε επίσης μεγάλη διήθηση λεμφοκυττάρων και μονοκυττάρων ως πιθανότερη συνέπεια του έντονου περιβαλλοντικού στρες και πιθανής πτώσης του αμυντικού συστήματος και ιστολογικές εστίες από κύτταρα με δομή πολύ διαφορετική από αυτή των ηπατοκυττάρων.

Βέβαια, καταλήγουν οι ερευνητές ότι υπάρχουν πολλοί άλλοι παράγοντες στα ποτάμια που δυνητικά θα μπορούσαν να επηρεάσουν τους έμβιους οργανισμούς προς αυτή την κατεύθυνση, και πρέπει μελετηθούν.

Ø Αχινοί και φύκη «δείχνουν» τη ρύπανση των θαλασσών.

Αχινοί, αστερίες και φύκια είναι μερικά από τα είδη που μαρτυρούν πόσο υγιές είναι ένα θαλάσσιο οικοσύστημα. Οι ειδικοί λένε πως όταν αυτό αρχίζει να επιβαρύνεται, τότε μειώνεται ο αριθμός των ειδών και επιβιώνουν τα πιο ανθεκτικά, που συνήθως είναι τα σκουλήκια ή κάποια μαλάκια (π.χ. κοχύλια, πίνες). Πρέπει να σημειωθεί πως οι τσουχτρες και οι μέδουσες δεν είναι δείκτες ρύπανσης αλλά αύξησης της θερμοκρασίας και το γεγονός ότι έχουν εξαπλωθεί προς τα βόρεια γεωγραφικά πλάτη δείχνει ότι αυξάνεται η θερμοκρασία των θαλασσών.

Σύμφωνα με την οδηγία της Ε.Ε., οι χώρες-μέλη είναι υποχρεωμένες να παίρνουν δείγματα σ' ένα δίκτυο θαλάσσιων σταθμών ανά δεκαπενθήμερο (ώστε να μετρώνται διάφοροι δείκτες, π.χ. μικροβιακοί, που θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στα θερμοθετημένα όρια). Στη χώρα μας οι μετρήσεις γίνονται αξιόπιστα και διεξοδικά και καθώς οι τιμές αυτές ποικίλλουν πολύ ανά περιόδους, κάθε 6 μήνες με 1 χρόνο βγαίνει ένας μέσος όρος που απεικονίζει την τελική ποιότητα των νερών.

Αν και με μια πρώτη ματιά οι περισσότερες θάλασσες στην Ελλάδα μοιάζουν διαυγείς και χωρίς πρόβλημα μόλυνσης ή ρύπανσης, μια πιο προσεκτική ματιά κάτω από την επιφάνεια του νερού μπορεί να μας αποκαλύψει περισσότερα στοιχεία για την πραγματική κατάσταση των θαλασσών. Πέρα από τις αναλύσεις του θαλασσινού νερού, οι επιστήμονες χρησιμοποιούν διάφορους οργανισμούς ως βιοδείκτες και ελέγχοντας την παρουσία τους διαπιστώνουν την κατάσταση των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

Απαιτείται προσοχή κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς η απουσία τους από μια περιοχή δεν είναι απαραίτητα δείκτης ρύπανσης, αλλά μπορεί να οφείλεται σε πολυάριθμους παράγοντες. Ωστόσο, δεν χρειάζεται να είναι κάποιος επιστήμονας για να μπορέσει να παρατηρήσει κάποια από τα θαλάσσια είδη-βιοδείκτες που είναι γνωστά στους περισσότερους και είναι εύκολο να παρατηρηθούν.

Τα δύο είδη αχινών που συναντάμε στα παράκτια νερά ο μαύρος αχινός *Arbacia lixula* και ο λίγο μεγαλύτερος *Paracentrotus lividus* (εικ. 2.2), που συνήθως

έχει χρώμα καφέ ή μοβ είναι είδη ευαίσθητα στη ρύπανση και η παρουσία τους καταδεικνύει καθαρά νερά.



Εικόνα 2.2: Αχινός *Arbacia lixula* και *Paracentrotus lividus*

Τα φύκια καθώς είναι προσκολλημένα στα βράχια και τον θαλάσσιο πυθμένα επηρεάζονται άμεσα από αλλαγές στην ποιότητα του νερού και συνεπώς αποτελούν εξαιρετικούς βιοδείκτες. Κάποια είδη φυκιών αναπτύσσονται αποκλειστικά σε καθαρά νερά και εξαφανίζονται όταν ξεκινήσει να υπάρχει κάποια πηγή μόλυνσης ή ρύπανσης, ενώ άλλα είδη αναπτύσσονται όπου υπάρχει μόλυνση.



Εικόνα 2.3: Φύκια του είδους *Cystoseira*.

Συνήθως η παρουσία καφέ φυκιών στα παράκτια νερά αποτελεί ένδειξη καθαρότητας της θάλασσας, όπως για παράδειγμα τα φύκια του είδους *Cystoseira* (εικ. 2.3) που σχηματίζουν «μικρά θαμνάκια» πάνω στα βράχια σε σχετικά ρηγά νερά. Τα πράσινα φύκια συνήθως τα συναντάμε σε ρυπαρά νερά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα είδη του γένους *Ulva* (το λεγόμενο μαρούλι της θάλασσας) και *Enteromorpha* (μοιάζει με βρύα), τα οποία καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση σε περιοχές όπου υπάρχουν αγωγοί εκβολής λυμάτων ή άλλες πηγές μόλυνσης.

Ø Έλεγχος της τοξικότητας των εδαφών με χρήση φυτών.

Στην εκτίμηση της ποιότητας των εδαφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν φυτά, ως εργαλεία ελέγχου. Τα φυτά φαίνεται να είναι πολύ κατάλληλα για μια περιβαλλοντική

εκτίμηση, αφού παρουσιάζουν ταχεία ανάπτυξη και παρέχουν μεγάλο αριθμό βλαστών. Ο έλεγχος της τοξικότητας του εδάφους γίνεται με βάση την ανάπτυξη των φυτών.

Οι σπόροι (π.χ. 10 σπόροι × 3 επαναλήψεις) τοποθετούνται σε πρότυπο έδαφος (control) και στο δείγμα εδάφους ή στερεού αποβλήτου που θέλουμε να μελετήσουμε. Στη συνέχεια το πρότυπο έδαφος και το δείγμα διαβρέχονται με νερό, μέχρι κορεσμού και τοποθετούνται σε θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (25 °C) για τρεις ημέρες. Στο διάστημα των τριών ημερών από τους σπόρους προκύπτουν τα αντίστοιχα φυτά τα οποία και αναπτύσσονται.

Μετά τις τρεις ημέρες μετράται το μήκος των φυτών στον μάρτυρα (πρότυπο έδαφος) και στα δείγματα και από τη σύγκριση των δύο προκύπτει το ποσοστό μείωσης της ανάπτυξης των φυτών στο δείγμα (τοξικότητα) ή το ποσοστό αύξησης (ευτροφισμός).

Ένα από τα φυτά που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό είναι το *sorghum saccharatum* (εικ. 2.4) .



Εικόνα 2.4: Το φυτό *sorghum saccharatum*

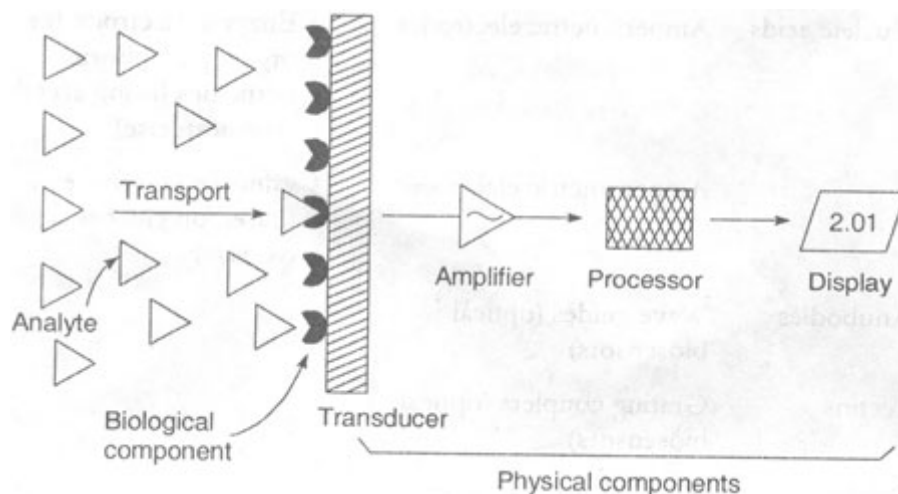
2.3 ΒΙΟΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ (BIOSENSORS)

Η λέξη «sensor» (αισθητήρας) προέρχεται από τη λατινική λέξη *sentire* η οποία σημαίνει «αισθάνομαι». Ένας αισθητήρας είναι μια διάταξη που αποκρίνεται σε μια φυσική ή χημική διέγερση, όπως θερμότητα, φως, ήχος, πίεση, μαγνητισμός, ή μια συγκεκριμένη κίνηση και μεταδίδει το αποτέλεσμα που προκύπτει με τη μορφή κατάλληλου σήματος ή ενέργειας. Ένας αισθητήρας συνεπώς, μπορεί να αναγνωρίσει ένα εσωτερικό σήμα (ή ενέργεια) και να το μετατρέψει στο κατάλληλο εξωτερικό σήμα (ή άλλη μορφή ενέργειας).

Ένας χημικός αισθητήρας είναι μία συσκευή, η οποία μετατρέπει μία χημική πληροφορία που μπορεί να είναι η συγκέντρωση ενός συγκεκριμένου συστατικού του δείγματος, ή ακόμη και η ολική σύσταση του, σε ένα αναλυτικώς χρήσιμο σήμα. Οι χημικοί αισθητήρες αποτελούνται από δύο βασικά τμήματα: το χημικό στοιχείο αναγνώρισης και τον φυσικοχημικό τροποποιητή του σήματος. Ως «**βιοαισθητήρας**» ορίζεται ένας αυτόνομος αισθητήρας, ο οποίος είναι ικανός να

παρέχει ποσοτικές ή ημιποσοτικές πληροφορίες, χρησιμοποιώντας ένα στοιχείο βιολογικής αναγνώρισης, που βρίσκεται σε άμεση χωρική επαφή με ένα κατάλληλο μεταλλάκτη. Οι βιοαισθητήρες αποτελούνται γενικά από τρία βασικά τμήματα (σχ. 2.1):

- Ένα βιολογικά ενεργό συστατικό (*biological component*) το οποίο μπορεί να είναι ένζυμο, μικροοργανισμός, ιστός, κύτταρα, αντισώματα ή νουκλεϊνικά οξέα και πραγματοποιεί τη μοριακή αναγνώριση της προσδιοριζόμενης ένωσης.
- Έναν μεταλλάκτη σήματος (*transducer*) ο οποίος μπορεί να είναι ηλεκτροχημικός, οπτικός, θερμικός ή πιεζοηλεκτρικός.
- Έναν επεξεργαστή σήματος (*processor*).



Σχήμα 2.1: Βιοαισθητήρας

Η εκλεκτική μοριακή αναγνώριση της προς ανάλυση ένωσης είναι ο κύριος στόχος των βιοχημικών αισθητήρων και μπορεί να γίνει, όπως ήδη αναφέρθηκε, με τη χρήση ενζύμων, αντισωμάτων, μικροβίων, κυττάρων, νουκλεϊνικών οξέων, καθώς και ιστών. Κατά την αντίδραση αυτών των βιολογικά ενεργών συστατικών με την προσδιοριζόμενη ουσία πραγματοποιείται μία φυσικοχημική μεταβολή, που μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα και γι' αυτό το λόγο γίνεται η χρήση κατάλληλου τροποποιητή του σήματος.

2.3.1 Είδη βιοαισθητήρων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμησης των βιοαισθητήρων, ανάλογα με τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται κάθε φορά. Ένας από τους βασικούς τρόπους κατηγοριοποίησης βασίζεται στην φυσικοχημική αρχή, η οποία διέπει το σύστημα ανίχνευσης-τροποποιητή σήματος. Έτσι διακρίνονται κυρίως σε ηλεκτροχημικούς, οπτικούς, πιεζοηλεκτρικούς, θερμικούς και πλάσματος.

Οι ηλεκτροχημικοί βιοαισθητήρες αποτελούνται από ηλεκτροχημικούς μεταλλάκτες σήματος (π.χ. ηλεκτρόδια). Οι βιοαισθητήρες αυτοί βασίζονται σε μία ενζυμικά καταλυόμενη αντίδραση, που οδηγεί στην παραγωγή ιόντων. Οι ηλεκτροχημικοί μεταλλάκτες σήματος διακρίνονται σε:

- Ποτενσιομετρικούς,
- Αμπερομετρικούς
- Αγωγιμομετρικούς

Οι οπτικοί βιοαισθητήρες βασίζονται σε γραμμικά οπτικά φαινόμενα, όπως η απορρόφηση, ο φθορισμός, ο φωσφορισμός, η πόλωση, η περιστροφή, αλλά και σε μη-γραμμικά φαινόμενα. Βασίζονται όμως κυρίως σε αλλαγές στην απορρόφηση, ή στον φθορισμό μιας κατάλληλης ένωσης, που λειτουργεί ως δείκτης.

Οι πιεζοηλεκτρικοί ή ακουστικοί βιοαισθητήρες χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους, οι οποίοι ουσιαστικά λειτουργούν ως αισθητήρες μάζας. Αυτό οφείλεται στην γραμμική σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην αλλαγή της μάζας (ή κάτω από κατάλληλες συνθήκες του ιξώδους) στην επιφάνεια του κρυστάλλου και στην συχνότητα ταλάντωσης της.

Με βάση το βιολογικά ενεργό συστατικό που χρησιμοποιείται και το μηχανισμό αλληλεπίδρασης, οι βιοαισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω γενικές κατηγορίες:

- Βιοκαταλυτικοί βιοαισθητήρες
- Βιοαισθητήρες συγγένειας
- Βιοαισθητήρες μικροοργανισμών και
- DNA βιοαισθητήρες

Οι βιοκαταλυτικοί βιοαισθητήρες βασίζονται σε μία αντίδραση που καταλύεται από μακρομόρια, τα οποία είτε είναι παρόντα στο αρχικό βιολογικό περιβάλλον, είτε έχουν απομονωθεί, ή παραχθεί προηγουμένως με κατάλληλο τρόπο. Βασίζονται κυρίως στην ακινητοποίηση ενζύμων πάνω σε μία ηλεκτροδιακή επιφάνεια, τα οποία είναι εκλεκτικά σε συγκεκριμένες ενώσεις, που αποτελούν υποστρώματά τους. Υπάρχουν τρία είδη βιοκαταλυτών:

- Ένζυμα (μόνο- ή πολυ- ένζυμα). Τα ένζυμα που συχνά χρησιμοποιούνται είναι οι οξειδάσες που ανιχνεύουν το παραγόμενο υπεροξειδίο του υδρογόνου. Μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν και δεϋδρογονάσες.
- Ολόκληρα κύτταρα (μικροοργανισμοί, όπως βακτήρια, μύκητες, ευκαρυωτικά κύτταρα, ζυμομύκητες) ή οργανίδια των κυττάρων, ή συστατικά των κυττάρων (μιτοχόνδρια, κυτταρικά τοιχώματα)
- Ιστοί (φυτικοί ή ζωικοί)

Οι βιοαισθητήρες συγγένειας, βασίζονται στην αλληλεπίδραση της προς ανάλυση ένωσης με μακρομόρια ή οργανωμένα συγκροτήματα μορίων, τα οποία είτε έχουν απομονωθεί από το βιολογικό τους περιβάλλον, είτε έχουν τροποποιηθεί προηγουμένως με κατάλληλο τρόπο. Κάποια χρονική στιγμή επέρχεται ισορροπία, δημιουργείται ένα σύμπλοκο και συνεπώς δεν παρατηρείται κατανάλωση της προς ανάλυση ένωσης από τον ακινητοποιημένο βιολογικό παράγοντα. Η αλληλεπίδραση που πραγματοποιείται, μπορεί να είναι:

- *Αλληλεπίδραση αντισώματος-αντιγόνου.*
- *Αλληλεπίδραση δέκτη-ανταγωνιστή.*

Οι βιοαισθητήρες μικροοργανισμών βασίζονται στη χρήση μικροοργανισμών ως βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης. Χρησιμοποιούνται κυρίως τρεις μηχανισμοί. Για τον πρώτο μηχανισμό, ο ρύπος λειτουργεί ως υπόστρωμα κατά την αναπνοή των μικροοργανισμών. Ο δεύτερος μηχανισμός περιλαμβάνει την παρεμπόδιση της αναπνευστικής διαδικασίας των μικροοργανισμών από την προς ανάλυση ένωση. Τέλος ο τρίτος μηχανισμός, σχετίζεται με την χρήση γενετικά τροποποιημένων μικροοργανισμών (genetically engineered microorganisms-GEMs) οι οποίοι αναγνωρίζουν και ανιχνεύουν την παρουσία συγκεκριμένων ρύπων.

Οι DNA βιοαισθητήρες δομής βασίζονται στην ακινητοποίηση διαφόρων μορφών DNA στην ηλεκτροδιακή επιφάνεια. Η ακινητοποίηση αυτή έχει ως σκοπό το χαρακτηρισμό διαφόρων ενώσεων για πιθανή αντικαρκινική, ή τοξική δράση τους. Στους βιοαισθητήρες αυτούς μελετώνται φαινόμενα, όπως είναι η μεταβολή στο ηλεκτροχημικό σήμα των βάσεων του DNA. Η δέσμευση με το DNA έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της σύνθεσης των νουκλεϊνικών οξέων.

2.3.2 Εφαρμογές

Οι βιοαισθητήρες μπορούν να εφαρμοστούν σε πολλά πεδία για τον on-line κυρίως έλεγχο διαφόρων σημαντικών παραμέτρων. Υπάρχουν εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως:

- Στην ιατρική
- Στον τομέα τροφίμων και αγροτικής παραγωγής
- Στον τομέα προστασίας του περιβάλλοντος
- Στον τομέα της στρατιωτικής άμυνας

Μεγάλη είναι η σημασία των βιοαισθητήρων ιδιαίτερα στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις παρακάτω περιπτώσεις:

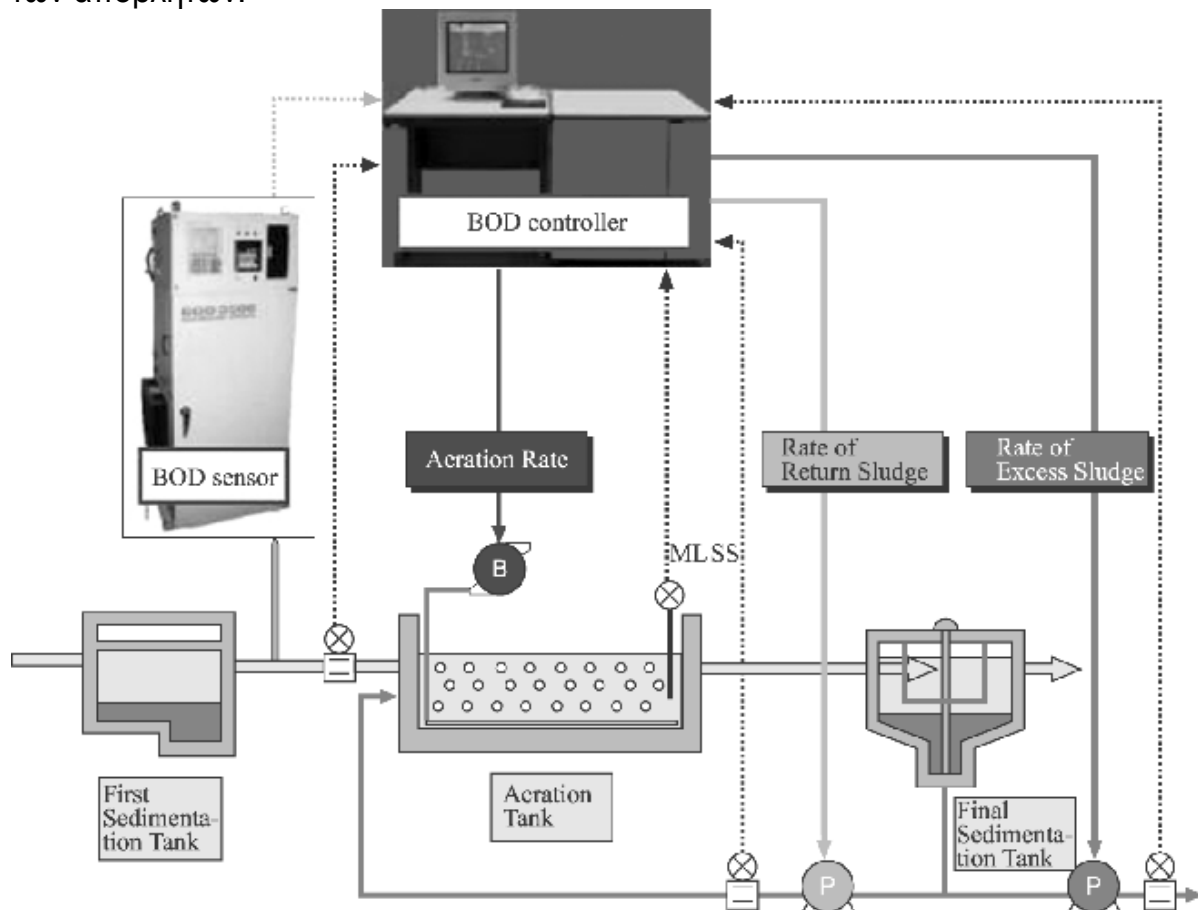
- Εκτίμηση της οργανικής ρύπανσης με τη χρήση ηλεκτροδίων, πάνω στην επιφάνεια των οποίων ακινητοποιούνται μικροοργανισμοί, για την εκτίμηση του βιολογικά απαιτούμενου οξυγόνου.
- Εκτίμηση της τοξικότητας από εντομοκτόνα και παρασιτοκτόνα.
- Ανίχνευση ρύπων στα ποτάμια.
- Ανίχνευση παθογόνων μικροοργανισμών.
- Εντοπισμός αερομεταφερόμενων βακτηρίων.
- Προσδιορισμός των επιπέδων τοξικών ενώσεων πριν και μετά την διαδικασία της βιαποικοδόμησης.
- Ανίχνευση και προσδιορισμός των οργανοφωσφορικών.

Η εφαρμογή των βιοαισθητήρων στον έλεγχο της καλής λειτουργίας ενός βιολογικού καθαρισμού υγρών αποβλήτων είναι ιδιαίτερα σημαντική. Μία ξαφνική αλλαγή στην ποιότητα των εισερχόμενων υγρών αποβλήτων σε μία μονάδα βιολογικού καθαρισμού, δεν γίνεται άμεσα αντιληπτή, μέχρις ότου η λειτουργία του συστήματος υποβαθμιστεί. Πως μπορεί όμως ο χειριστής της εγκατάστασης να αποφύγει αυτήν την (ενδεχόμενη) καταστροφή; Πως μπορεί να αντιδράσει στις απότομες αλλαγές, πριν ακόμη αυτές επηρεάσουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος; Αυτό που χρειάζεται, είναι η ύπαρξη κατάλληλης προειδοποίησης για την έγκυρη ανίχνευση των διαφόρων αυτών μεταβολών.

Ο έλεγχος των χαρακτηριστικών των αποβλήτων περιορίζεται σε συμβατικά χημικά και βιολογικά τεστ, τα οποία όμως μπορεί να κάνουν ώρες ή και μέρες ακόμα για να ολοκληρωθούν, ενώ απαιτούν την συλλογή δείγματος και κατάλληλης φυσικοχημικής ανάλυσης. Τα κλασικά βιολογικά τεστ (π.χ. BOD) είναι εξαιρετικά χρονοβόρα, ακριβά, παρουσιάζουν πολλούς περιορισμούς, γι' αυτό δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε συστήματα άμεσου συναγερμού (alarm systems). Από την άλλη πλευρά όμως, θεωρούνται ευαίσθητες και τυποποιημένες αναλυτικές μέθοδοι ελέγχου και παρακολούθησης.

Ο έλεγχος της ποιότητας των αποβλήτων είναι ένα αντικείμενο έρευνας με αυξανόμενο ενδιαφέρον παγκοσμίως. Αν και στις μέρες μας η αυτοματοποίηση και ο on-line έλεγχος εφαρμόζονται ευρέως, παρόλ' αυτά τα συστήματα του βιολογικού καθαρισμού ακόμη εξαρτώνται σε αρκετά μεγάλο βαθμό από τις κλασικές χρονοβόρες αναλυτικές μεθόδους. Αυτό οφείλεται κυρίως στο "εχθρικό" περιβάλλον στο οποίο θα πρέπει να τοποθετηθούν οι αισθητήρες.

Πρέπει επίσης να επιτυγχάνεται γρήγορος, αξιόπιστος και συνεχής έλεγχος των υγρών αποβλήτων, προκειμένου να αποφευχθούν τυχόν περιβαλλοντικά προβλήματα από την διάθεση των μη-κατάλληλα επεξεργασμένων αποβλήτων. Έτσι είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν κατάλληλα συστήματα ελέγχου, τα οποία θα μπορούν μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα (π.χ. δευτερόλεπτα ή /και λεπτά) να υποδείξουν αν η ποιότητα της εκροής είναι σύμφωνη με τα νομοθετικώς επιβαλλόμενα κριτήρια ποιότητας, ή να ειδοποιήσουν για την ύπαρξη οποιουδήποτε προβλήματος στην εγκατάσταση, το οποίο μπορεί να μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων.



Σχήμα 2.2: Σύστημα ελέγχου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Οι βιοαισθητήρες παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα όσον αφορά την χρήση τους για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ποιότητας στα συστήματα βιολογικού καθαρισμού. Παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία, σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής, σταθερότητα, μικρούς χρόνους απόκρισης, γενικά αρκετά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης, (σήμερα) ευκολία στη χρήση, έχουν τη δυνατότητα να γίνονται φορητοί και τέλος, ελαχιστοποιούν την χρήση οργανικών διαλυτών, που συνήθως χρησιμοποιούν οι κλασσικές αναλυτικές μέθοδοι. Ειδικά τεχνικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η αρχή της μέτρησης στην οποία στηρίζονται, η αξιοπιστία, η ακρίβεια, τα όρια ανίχνευσης κ.λ.π., θα υποδείξουν αν οι βιοαισθητήρες θα χρησιμοποιηθούν ως αποκλειστική, ή ως εναλλακτική μέθοδος ελέγχου.

Παράλληλα με τις κλασσικές αναλυτικές μεθόδους έχουν ήδη αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια καινούργια επαναστατικά συστήματα ελέγχου της ποιότητας των αποβλήτων (σχ. 2.2) .

Ø Βιοαισθητήρες BOD

Το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biological Oxygen Demand -BOD) είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που θα πρέπει να ελέγχεται τακτικά για τη σωστή λειτουργία ένας βιολογικού καθαρισμού, καθώς, παρέχει πληροφορίες για την βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη στα υγρά απόβλητα. Συνήθως η οργανική ρύπανση υπολογίζεται βάσει μιας συμβατικής off-line μεθόδου του BOD των 5 ημερών (BOD₅).

Πρόκειται για ένα εμπειρικό τεστ, το οποίο αποτελεί δείκτη της βιολογικής δραστηριότητας. Καθορίζεται ως η απαιτούμενη ποσότητα του οξυγόνου που χρειάζονται τα ετεροτροφικά βακτήρια, προκειμένου να βιοαποικοδομήσουν την οργανική ύλη, με σκοπό το μεταβολισμό και την αναπαραγωγή τους, απουσία φωτός και στους 20 °C.

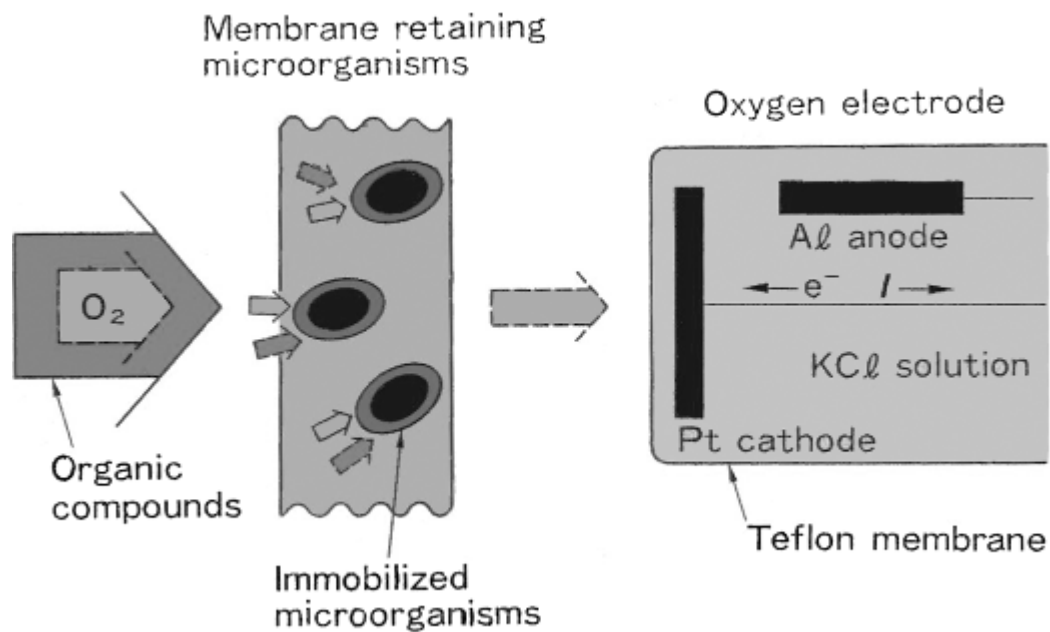
Παρά το γεγονός ότι η μέθοδος είναι πλέον τυποποιημένη και εφαρμόζεται ευρέως, υπάρχουν ορισμένα προβλήματα, που σχετίζονται με την εφαρμογή της. Είναι μία τεχνική που χρειάζεται αρχικά κατάλληλη αραίωση του δείγματος, γεγονός που συνεπάγεται ελάττωση της συγκέντρωσης του υποστρώματος και των μικροοργανισμών και συνεπώς, ελάττωση της αντίστοιχης κινητικής βιοαποικοδόμησης. Ένα άλλο πρόβλημα αποτελεί η παρουσία τοξικών ουσιών, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν (ή ακόμη και να σκοτώσουν) τα βακτήρια, ακόμη και σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Τέλος πολύ σημαντικό μειονέκτημα μιας συμβατικής μεθόδου είναι το αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα (συνήθως 5 ημέρες), που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί.

Μία γρήγορη εκτίμηση του BOD μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας έναν αισθητήρα μικροοργανισμών. Η βασική δομή ένας τέτοιου βιοαισθητήρα αποτελείται γενικά από έναν ανιχνευτή οξυγόνου (oxygen probe) και από ακινητοποιημένους μικροοργανισμούς. Μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

- Βιοαισθητήρες BOD με βιοφίλμ
- Βιοαισθητήρες αναπνευστικού τύπου

Οι βιοαισθητήρες BOD με βιοφίλμ βασίζονται στη μέτρηση του αναπνευστικού ρυθμού των βακτηρίων. Κοινό χαρακτηριστικό τους είναι ότι αποτελούνται από ένα μικροβιακό φιλμ (biofilm) το οποίο είναι και το βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα σε μία πορώδη μεμβράνη κελουλόζης διαπερατή από

αέρια. Το μικροβιακό φίλμ είναι ουσιαστικά ένας ακινητοποιημένος πληθυσμός μικροοργανισμών, ο οποίος μπορεί να βιοαποικοδομήσει το οργανικό υπόστρωμα που θέλουμε να ποσοτικοποιήσουμε. Η απόκριση είναι συνήθως μία αλλαγή στη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου (DO), ή άλλα φαινόμενα όπως η εκπομπή φωτός. Το αποτέλεσμα καταγράφεται συνήθως ως αλλαγή στο ηλεκτρικό, ή στο οπτικό σήμα. Τέλος, το σήμα ενισχύεται και συνδέεται με το περιεχόμενο σε βιοαποικοδομήσιμη οργανική ύλη.



Σχήμα 2.3: Βιοαισθητήρας BOD με βιοφίλμ

Το DO διαχέεται από το αεριζόμενο ρυθμιστικό διάλυμα μέσω μιας μεμβράνης διαπίδωσης προς την κυτταρική λεπτή στιβάδα, όπου ένα μέρος του καταναλώνεται από τους ακινητοποιημένους μικροοργανισμούς. Το υπόλοιπο οξυγόνο διαχέεται μέσω μιας μεμβράνης, που είναι διαπερατή από αέρια (Teflon membrane) και ανιχνεύεται στο ηλεκτρόδιο οξυγόνου (σχ. 2.3). Παρατηρείται έτσι στην αρχή εμφάνιση ρεύματος (steady state) που αντιπροσωπεύει την ισορροπία ανάμεσα στην διάχυση του οξυγόνου και στον ρυθμό ενδογενούς αναπνοής των βακτηρίων. Όταν εισαχθεί στη συνέχεια το δείγμα του αποβλήτου, με τον ίδιο τρόπο τα οργανικά υποστρώματα διαχέονται μέσω μιας μεμβράνης διαπίδωσης και βιοαποικοδομούνται από τα ακινητοποιημένα βακτήρια, καταλήγοντας σε αύξηση του ρυθμού αναπνοής και κατανάλωση του οξυγόνου. Επομένως συγκριτικά λιγότερο οξυγόνο θα διαχέεται μέσω μιας μεμβράνης Teflon και θα ανιχνεύεται από το ηλεκτρόδιο οξυγόνου. Σαν συνέπεια, το ρεύμα ελαττώνεται μέχρις ότου επιτευχθεί μία καινούργια τιμή ισορροπίας για το οξυγόνο. Όταν εισαχθεί ξανά στο σύστημα ρυθμιστικό διάλυμα, η υπολειπόμενη ποσότητα του αποβλήτου θα αραιωθεί και θα ξεπλυθεί. Όσο ο ρυθμός αναπνοής των μικροοργανισμών ελαττώνεται, η ενδογενής αναπνοή αποκαθίσταται προοδευτικά. Όταν η όλη διαδικασία ελέγχεται από την διάχυση του υποστρώματος, το σήμα του αισθητήρα θα είναι ανάλογο με τη συγκέντρωση της εύκολα βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης στο δείγμα.

Διάφορα μικροβιολογικά στελέχη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σ' ένα βιοαισθητήρα. Έτσι μπορούμε ως βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης να έχουμε καθαρές καλλιέργειες (π.χ. *Arxula adenivorans*, *Bacillus polymyxa* D-21, *Bacillus*

subtilis, Hansenula anomala), μίγμα δύο παρόμοιων μικροβιακών στελεχών (π.χ. Bacillus subtilis και Bacillus licheniformis 7B, Rhodococcus erythropolis και Issatchenkia orientalis), ενεργό ιλύ, ή ακόμη και θερμικώς νεκρά βακτήρια (Bacillus subtilis, 280° C για 2,5 min). Οι βιοαισθητήρες BOD που χρησιμοποιούν μόνο καλλιέργεια μικροοργανισμών έχουν το πλεονέκτημα, ότι παραμένουν σταθεροί για μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά τα όρια ανίχνευσης περιορίζονται λόγω του μικρού εύρους του φάσματος των ενώσεων που μπορούν να προσδιοριστούν. Αντίθετα οι BOD αισθητήρες που χρησιμοποιούν μίγμα βακτηρίων, παρουσιάζουν καλή ικανότητα ανίχνευσης για ένα μεγάλο εύρος ενώσεων αλλά δεν είναι ιδιαίτερα σταθεροί εξαιτίας της αστάθειας της σύστασης του μίγματος των βακτηρίων με το πέρασμα του χρόνου. Οι περισσότεροι αισθητήρες BOD χρησιμοποιούν μικτές μικροβιακές καλλιέργειες γιατί συνδυάζουν καλή σταθερότητα και χαμηλά όρια ανίχνευσης.

Το συνήθως χρησιμοποιούμενο σύστημα ανίχνευσης είναι ένα ηλεκτρόδιο οξυγόνου τύπου Clark (αμπερομετρικός ανιχνευτής). Εναλλακτικά, για την μέτρηση του DO μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλος οπτικός ανιχνευτής. Πρόκειται για οπτική ίνα που μεταδίδει σήματα φθορισμού, τα οποία εκπέμπονται από υλικά ευαίσθητα ως προς το οξυγόνο.

Το BOD_{st} (short time) δεν έχει τις ίδιες τιμές με το BOD₅ σε όλες τις περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές αρχές πάνω στις οποίες βασίζεται η κάθε τεχνική. Οι βιοαισθητήρες χρησιμοποιούν είτε καθαρές καλλιέργειες μικροοργανισμών, είτε συγκεκριμένους συνδυασμούς διαφόρων ειδών μικροοργανισμών, ενώ η συμβατική μέθοδος χρησιμοποιεί ένα μη-καθορισμένο βακτηριακό πληθυσμό, που προέρχεται από την ενεργό ιλύ. Μία άλλη σημαντική διαφορά εντοπίζεται στο χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της κάθε μεθόδου. Η μέτρηση με τη χρήση βιοαισθητήρα αντιπροσωπεύει ένα σύντομο τεστ για την εκτίμηση της βιολογικής δραστηριότητας που ολοκληρώνεται μέσα σε λίγα λεπτά, ενώ το BOD₅ βασίζεται στις διάφορες βιοχημικές διαδικασίες, που πραγματοποιούνται μέσα στην περίοδο των πέντε ημερών.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές προκειμένου να βελτιωθεί η αντιστοιχία των τιμών του BOD_{st} και του BOD₅. Τεχνικές βελτίωσης εφαρμόζονται και στο σύστημα του βιοαισθητήρα και είναι:

- Επιλογή των κατάλληλων μικροοργανισμών
- Προ-επώαση του αισθητήρα
- Προ-επεξεργασία του δείγματος (με ένζυμα ή οξέα)
- Βαθμονόμηση του αισθητήρα
- Τροποποιήσεις στους τροποποιητές του σήματος

Βιοαισθητήρες αναπνευστικού τύπου. Πρόκειται ουσιαστικά για την τεχνική μέτρησης και ερμηνείας του αναπνευστικού ρυθμού της ενεργούς ιλύος. Κοινό χαρακτηριστικό αυτών των βιοαισθητήρων είναι η ύπαρξη ενός μικρού αντιδραστήρα, μέσα στον οποίο έρχονται σε επαφή η ενεργός ιλύς και τα οργανικά υποστρώματα.

Υπάρχουν δύο τρόποι μέτρησης. Στον έναν μετριέται η διαφορά στην κατανάλωση του οξυγόνου ανάμεσα σε δύο παράλληλους συνεχούς λειτουργίας αντιδραστήρες λάσπης, όπου ο ένας τροφοδοτείται με το δείγμα ενώ ο άλλος με νερό βρύσης. Ο άλλος τρόπος βασίζεται στην μέτρηση τριών διαφορετικών ρυθμών πρόσληψης οξυγόνου της ενεργούς ιλύος: τον ενδογενή ρυθμό, τον στιγμιαίο

και τον πραγματικό. Ο ενδογενής αναπνευστικός ρυθμός ορίζεται ως ο ρυθμός πρόσληψης του οξυγόνου από λάσπη ελεύθερη από το βιοαποικοδομούμενο υλικό. Ο στιγμιαίος είναι ο ρυθμός πρόσληψης του οξυγόνου όταν η λάσπη ρέει από την δεξαμενή αερισμού προς τον μετρητή της αναπνοής (respirometer) ενώ ο πραγματικός είναι ο πραγματικός ρυθμός πρόσληψης του οξυγόνου στην δεξαμενή αερισμού.

Αυτού του τύπου βιοαισθητήρες χρησιμοποιούν ίδια (ή παρόμοια) μικροβιακά στελέχη. Ένα πλεονέκτημα που έχουν, είναι ότι μπορεί να αλλαχθεί ο μεταλλάκτης (τροποποιητής) του σήματος χωρίς να επηρεαστεί το μικροβιακό σύστημα.

Βιοαισθητήρες BOD που βασίζονται σε κάποιες άλλες αρχές μέτρησης είναι:

- Χρήση βακτηριών που εκπέμπουν φωταύγεια. Στηρίζεται στην σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην ένταση της φωταύγειας που παράγεται από τα βακτήρια (*Photobacterium phosphoreum*, *Trichosporon cutaneum*) και την κυτταρική αφομοίωση των οργανικών ενώσεων. Χρησιμοποιείται συσκευή στην επιφάνεια της οποίας δημιουργείται διαφορά δυναμικού με την επίδραση του φωτός και μετατρέπεται σε βιοανιχνευτή με την ακινητοποίηση των βακτηρίων, που δρουν σαν βιοκαταλύτης. Ο χρόνος απόκρισης είναι 25 λεπτά, ενώ η κάθε μεμβράνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τουλάχιστον 14 εβδομάδες.
- Μέτρηση των όξινων ενώσεων. Στηρίζεται στην μέτρηση των όξινων ενώσεων, που παράγονται κατά την μικροβιακή οξειδωση.
- Μέτρηση της θερμότητας. Βασίζεται στην μέτρηση της θερμότητας που απελευθερώνεται κατά την οξειδωση των οργανικών ενώσεων και την μετατροπή της σε ανάλογο (δυναμικό) σήμα.

Ø Βιοαισθητήρες Αμμωνίας

Η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση είναι πάρα πολύ σημαντικά στάδια για την απομάκρυνση των αμμωνιακών ιόντων από τις εγκαταστάσεις ενός βιολογικού καθαρισμού.

Στους βιοαισθητήρες αυτούς χρησιμοποιούνται βακτήρια τα οποία οξειδώνουν την αμμωνία (ammonia oxidizing bacteria-AOB). Τα βακτήρια αυτά (π.χ *Nitrosomonas europaea*) είναι χημειοαυτότροφα και αποκτούν ενέργεια από την οξειδωση της αμμωνίας προς νιτρώδη και την δέσμευση CO_2 .

Αναστολή νιτροποίησης: Τα AOB αναπτύσσονται πολύ αργά και επηρεάζονται σημαντικά από ένα μεγάλο αριθμό παρεμποδισέων. Δεδομένου ότι η παρεμπόδιση της οξειδωσης της αμμωνίας μπορεί να οδηγήσει στην μη ικανοποιητική αφαίρεση του αζώτου, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλοι βιοαισθητήρες για την ανίχνευση των παραμέτρων που μπορεί να αναστείλουν την διαδικασία της νιτροποίησης. Ένας βιοαισθητήρας αυτού του τύπου χρησιμοποιεί μία καθαρή καλλιέργεια των μικροοργανισμών *Nitrosomonas europaea* και βασίζεται στην μέτρηση του ρυθμού πρόσληψης οξυγόνου μέσω ενός ηλεκτροδίου οξυγόνου.

Ø Βιοαισθητήρες Νιτρωδών

Ένας ευαίσθητος βιοαισθητήρας NO_2^- (nitrite ion) βασίζεται στην βακτηριακή αναγωγή των νιτρωδών προς N_2O . Τα NO_2^- διαχέονται μέσα από μία διαπερατή από τα ιόντα αυτά μεμβράνη προς τον θάλαμο που περιέχει τους μικροοργανισμούς, όπου μετατρέπονται σε N_2O και στην συνέχεια ανάγονται σε N_2 στην κάθοδο του αισθητήρα.

Ένας δεύτερος βιοαισθητήρας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση των νιτρικών, βασίζεται ουσιαστικά στην διαδικασία της νιτροποίησης, κατά την οποία τα νιτρικά μετατρέπονται σε νιτρικά.

BND. Πρόκειται για ένα ανοξικό τεστ τιτλοδότησης, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του δυναμικού της απονιτροποίησης. Η τεχνική βασίζεται ουσιαστικά σε ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, που έχουν οι απονιτροποιητικοί μικροοργανισμοί. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου παρατηρείται απουσία αμμωνιακού αζώτου, χρησιμοποιούν το νιτρικό άζωτο ως πηγή αζώτου για τη σύνθεση του κυτταρικού τους υλικού. Η μέθοδος μετράει την ποσότητα του οξέος που απαιτείται για την διατήρηση του pH σε μία συγκεκριμένη τιμή και γίνεται με την χρήση ενός βιοαισθητήρα που ονομάζεται DENICON (denitrification controller). Η ποσότητα του οξέος εξουδετερώνει την αλκαλικότητα που παράγεται από την διαδικασία της απονιτροποίησης (περίπου 1 mol OH⁻ για κάθε mol νιτρικών) και είναι ανάλογη της ποσότητας των νιτρικών.

Ø Τοξικότητα

Υπάρχουν δυο είδη βιοαισθητήρων για τον έλεγχο της τοξικότητας:

- **Βιοαισθητήρες Φαινολών και PAHs:** Οι βιοαισθητήρες PAHs (πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακες-Polycyclic aromatic hydrocarbons) και φαινολών βασίζονται σε μικροοργανισμούς που είναι ικανοί να βιοαποικοδομήσουν τις αρωματικές ενώσεις, καταναλώνοντας οξυγόνο. Αυτοί οι μικροοργανισμοί έχουν προσαρμόσει τον μεταβολισμό τους σε ορισμένες ξενοβιοτικές χημικές ενώσεις.
- **Βιοαισθητήρες Βαρέων Μετάλλων:** Μία κατηγορία βιοαισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των βαρέων μετάλλων είναι αυτοί που βασίζονται στην χρήση μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι ικανοί να αναπτυχθούν σε ρυπασμένο (από βαρέα μέταλλα) περιβάλλον. Οι μικροοργανισμοί αυτοί προσαρμόζονται στην παρουσία μετάλλων, κυρίως εξαιτίας των γενετικά τροποποιημένων μηχανισμών αντίστασης του διαθέτουν. Συγκεκριμένα, οι περισσότεροι βιοαισθητήρες βαρέων μετάλλων χρησιμοποιούν ακινητοποιημένες οξειδάσες και δεϋδρογονάσες και βασίζονται στην ποσότητα του αντίστοιχου ένζυμου, που χάνει την δραστηριότητά του.

Προκειμένου π.χ. να εξεταστεί η τοξικότητα λάσπης, που προέρχεται από βιομηχανία χαρτοπολτού, χρησιμοποιούνται βιοανιχνευτές που χρησιμοποιούν βακτήρια, τα οποία εμφανίζουν βιοφωταύγεια.

Πρόσφατα, έχουν αναπτυχθεί αμπερομετρικοί βιοαισθητήρες, που χρησιμοποιούν μικροβιακούς πληθυσμούς και βασίζονται στην αναπνευστική διαδικασία, συνδυάζοντας ρυθμιστικά και δομικά γονίδια.

Ø Φυτοφάρμακα

Ένας βιοανιχνευτής της κατηγορίας αυτής για την ανίχνευση των οργανοφωσφορικών και των καρβαμιδικών εντομοκτόνων βασίζεται στη δράση δύο ένζυμων, της ακετυλοχολινεστεράσης και της οξειδάσης της χολίνης. Η αναστολή της ακετυλοχολινεστεράσης από τα φυτοφάρμακα μετριέται με βάση τη μείωση στο σχηματισμό του υπεροξειδίου του υδρογόνου.

Ένας αμπερομετρικός ανιχνευτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οργανοφωσφορικά ή για καρβαμιδικά φυτοφάρμακα. Η αναστολή της δράσης της

ακετυλοχοληνεστεράσης, ή της βουτυρυχοληνεστεράσης υπολογίζεται από την αντίστοιχη μείωση του προϊόντος της ακετυλοθειοχολίνης, ή της βουτυρυλοθειοχολίνης.

Ανιχνευτής που χρησιμοποιεί αντισώματα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ατραζίνης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κλώνοι αντισωμάτων με σκοπό να δεσμεύσουν τα αντισώματα της ατραζίνης. Το ποσό του δεσμευμένου αντισώματος μπορεί να προσδιοριστεί μιας και το υπόστρωμα διασπάται από το ένζυμο καταλήγοντας σε φθορίζον προϊόν.

Ø Βιοαισθητήρες Κυανίου-Κυανιούχων

Η ανίχνευση του κυανίου με αισθητήρες μικροοργανισμών μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος βασίζεται στην παρεμπόδιση της αναπνοής του *Saccharomyces cervisiae* από την παρουσία του κυανίου. Ο άλλος τρόπος βασίζεται στην αποικοδόμηση του κυανίου από τους μικροοργανισμούς *Pseudomonas fluorescens*. Τα βακτήρια αυτά οξειδώνουν το κυάνιο καταναλώνοντας οξυγόνο.

Ανιχνευτής που βασίζεται στην τυροσινάση, χρησιμοποιήθηκε για την ανίχνευση κυανιούχων. Καθώς η τυροσινάση είναι ένζυμο που έχει βάση το χαλκό, είναι πολύ ευαίσθητη στην αναστολή από την παρουσία των κυανιούχων. Τα κυανιούχα μπορούν να ανιχνευθούν από την μείωση στην κατανάλωση του οξυγόνου και από την αναστολή της οξειδωσης της τυροσίνης από την τυροσινάση, εξαιτίας της παρουσίας τους.

Ø Βιοαισθητήρες Ανιονικών τασενεργών ενώσεων

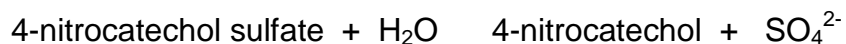
Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από μια στήλη στην οποία βρίσκονται ακινητοποιημένα βακτήρια, που καταβολίζουν τα LAS (alkylbenzene sulphonates), μια κυψελίδα συνεχούς ροής και ένα ηλεκτρόδιο οξυγόνου. Ο προσδιορισμός βασίζεται στην αρχή ότι η αναπνευστική δραστηριότητα των βακτηρίων αυξάνει με την παρουσία των ανιονικών τασενεργών ουσιών.

Ø Βιοαισθητήρες Φωσφορικών

Τα φωσφορικά είναι δυνατόν να προσδιοριστούν με τη χρήση κατάλληλου αμπερομετρικού αισθητήρα που χρησιμοποιεί ένζυμο ως βιολογικό στοιχείο αναγνώρισης. Πρόκειται για ένα σύστημα δύο ακινητοποιημένων ενζύμων στο οποίο ουσιαστικά ανιχνεύεται το παραγόμενο υπεροξειδίο του υδρογόνου. Το πρώτο ένζυμο (συνήθως φωσφορυλάση) καταναλώνει τα φωσφορικά σαν συνυπόστρωμα και σχηματίζει ένα προϊόν το οποίο λειτουργεί ως υπόστρωμα για το δεύτερο ένζυμο (συνήθως μία οξειδάση).

Ø Βιοαισθητήρες Θεικών-Θειωδών

Ένας βιοαισθητήρας που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των θεικών βασίζεται στην χρήση ενζύμων.



Η νιτροκατεχόλη μετριέται αμπερομετρικά στα 0,8 V (volt). Η αντίδραση παρεμποδίζεται από την παρουσία θεικών και συνεπώς, παρατηρείται ελάττωση στο μετρούμενο ρεύμα. Για την ανίχνευση των θεικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και βιοαισθητήρας μικροοργανισμών. Το βακτήριο *Olesulfuribus stesulfuricans* τοποθετείται σε ηλεκτρόδιο θειωδών και συνεπώς, ο προσδιορισμός των θεικών γίνεται μέσω της αναγωγής τους σε θειώδη.

Ο αισθητήρας θειωδών βασίζεται στον μικροοργανισμό *Thiobacillus thioparus* και σε ηλεκτρόδιο οξυγόνου. Παρουσία των θειωδών αυξάνεται η αναπνευστική δραστηριότητα των μικροοργανισμών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου.

Ø Βιοαισθητήρες Διοξειδίου του άνθρακα

Βιοαισθητήρες μικροοργανισμών χρησιμοποιούνται επίσης για την on-line ανίχνευση του CO₂. Η μέθοδος στηρίζεται στη μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα με την μορφή αερίου, καθώς αυτό παράγεται κατά την βιοαποικοδόμηση των οργανικών ενώσεων, εξαιτίας της αναπνευστικής διαδικασίας των μικροβίων. Η μετρούμενη συγκέντρωση του CO₂ συνδέεται άμεσα με την έκταση της οργανικής ρύπανσης των αποβλήτων (BOD, COD).

ÿ Τάσεις

Παρά την απόδοση και την καλή ποιότητα των αποτελεσμάτων καθώς επίσης και τον πολύ μεγάλο αριθμό των επιστημονικών ερευνών, είναι σχετικά μικρός ο αριθμός των εμπορικά διαθέσιμων βιοαισθητήρων. Πολλοί επιστήμονες συγκέντρωσαν την προσοχή τους στην θεωρητική ανάπτυξη των βιοαισθητήρων, αγνοώντας πιθανές πρακτικές χρήσεις.

Όπως φαίνεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, η χρήση των βιοανιχνευτών θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αυτοματισμού, την απλότητα και την μείωση του μεγέθους της χρησιμοποιημένης συσκευής. Αν τα χαρακτηριστικά αυτά συνοδεύονται και από αντίστοιχη ποιότητα αποτελεσμάτων, όπως επίσης και από ταχύτητα, ανθεκτικότητα, μεγάλη διάρκεια ζωής, χαμηλό κόστος και ευκολία ενσωμάτωσης σε φορητά αναλυτικά συστήματα, τότε χωρίς αμφιβολία θα υπάρχει μαζική παραγωγή και χρήση των βιοαισθητήρων.

Υπάρχουν όμως ορισμένα σημεία των βιοαισθητήρων, που επιζητούν περισσότερη έρευνα π.χ. η διεπιφάνεια δείγματος-μικροζώνης ανίχνευσης δεν έχει μελετηθεί τόσο πολύ παρά την μεγάλη πρακτική σημασία της. Λίγα είναι τα δείγματα ή τα πρότυπα, που μπορούν να έρθουν σε απευθείας επαφή με το βιοαισθητήρα οπότε απαιτείται ορισμένη προκατεργασία (όπως π.χ. είναι ο προκαταρκτικός διαχωρισμός των μακρομορίων, η κατάλληλη αραίωση, ρύθμιση του pH).

Η επιπλέον σμίκρυνση των συστημάτων των ανιχνευτών είναι σημαντική καθώς επιτρέπει την ενσωμάτωση τους σε φορητά συστήματα για εφαρμογές πεδίου. Μια άλλη τάση που αφορά τους βιοαισθητήρες είναι το διαρκώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την χρήση οπτικών (κυρίως φωτομετρικών και φθορισμομετρικών) συστημάτων μέτρησης. Όσον αφορά τον περιβαλλοντικό έλεγχο, πιθανές είναι οι περαιτέρω εφαρμογές των βιοανιχνευτών στα συστήματα διαχείρισης υγρών αποβλήτων, στον έλεγχο του μετασχηματισμού των τοξικών προϊόντων, στην εκτίμηση της επικινδυνότητας για τη διάθεση των αποβλήτων, στον έλεγχο των τασσενεργών ενώσεων στο περιβάλλον, στον προσδιορισμό θειούχων ενώσεων, στην ανίχνευση της μικροβιακής μόλυνσης, καθώς και των μικροοργανισμών.

Έχει αναφερθεί μια ποικιλία εργαστηριακών πρωτοτύπων βιοαισθητήρων που ελέγχουν ένα αρκετά ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών ρύπων. Αν και ειδικές απαιτήσεις πρέπει να πληρούνται για κάθε τομέα της παρακολούθησης, ορισμένες γενικές απαιτήσεις για βιοαισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε περιβαλλοντικές εφαρμογές αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα (πιν. 2.1).

Πίνακας 2.1: Γενικές απαιτήσεις βιοαισθητήρων

Κόστος	1-15\$ η κάθε ανάλυση
Φορητότητα	Μπορεί να μεταφερθεί από ένα άτομο
Χρόνος που απαιτείται	1-60 λεπτά
Προσωπική κατάρτιση	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετά από 1-2 ώρες εκπαίδευση
Σχηματισμός της διάταξης	Αντιστρέψιμος και συνεχής επιτόπου
Προεργασία	Μικρή προετοιμασία για υπόγεια νερά, έδαφος, αίμα και ούρα
Ευαισθησία	Μέρη ανά εκατομμύριο σε μέρη ανά δισ.

2.4 Βιομεμβράνες ή βιοστρώματα (biofilms)

Οι βιομεμβράνες (ή βιοστρώματα) αποτελούν τον όρο που περιγράφει λεπτά στρώματα μικροβιακής ανάπτυξης που επικαλύπτουν στερεές επιφάνειες. Οι βιομεμβράνες χαρακτηρίζονται συχνά από ικανότητα να προσφύονται σε επιφάνειες, να διαθέτουν δομική ετερογένεια, γενετική ποικιλία, πολύπλοκες ενδοκοινωνιακές αλληλεπιδράσεις και μια εξωκυτταρική μήτρα πολυμερών ουσιών.

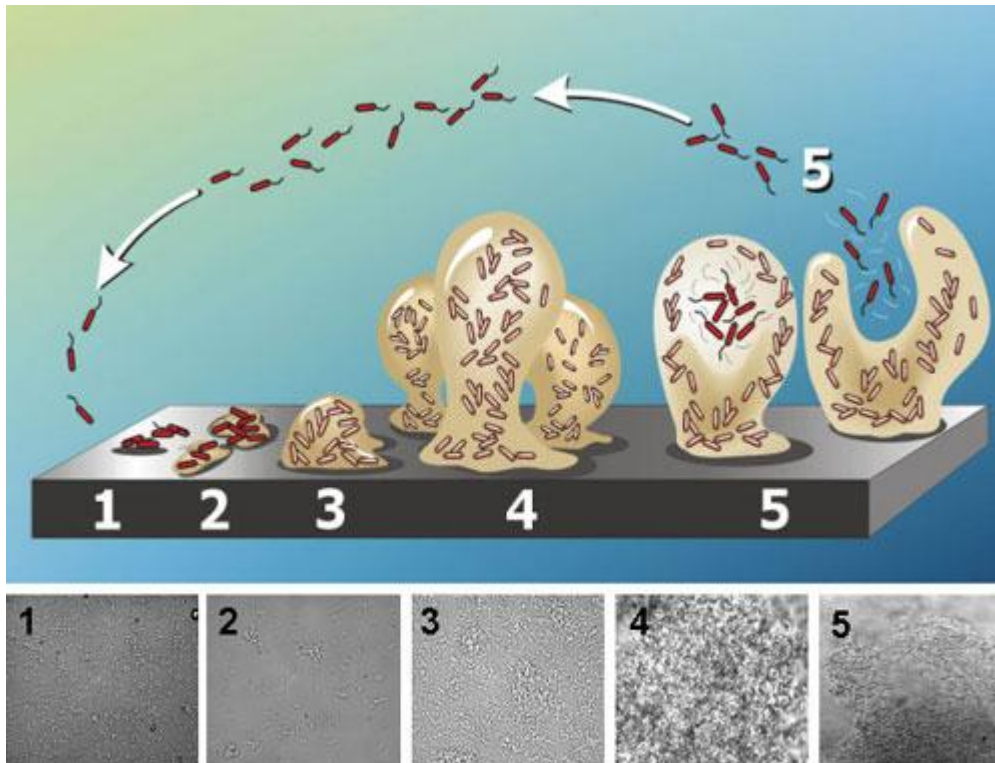
Οι μονοκυττάριοι μικροοργανισμοί επιδεικνύουν δυο ευδιάκριτους τρόπους συμπεριφοράς. Η πρώτη είναι του ελεύθερου μετεωρισμού, που ονομάζεται πλαγκτονικός, κατά τον οποίο οι ελεύθεροι μικροοργανισμοί επιπλέουν ή κολυμπούν ανεξάρτητα σε κάποιο υγρό μέσο. Η δεύτερη συμπεριφορά είναι αυτή, κατά την οποία είναι μια κατάσταση συσσώρευσης των μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι συμπιεσμένα συνδεδεμένοι και προσκολλημένοι ο ένας με τον άλλο και συνήθως πάνω σε κάποια συμπαγή επιφάνεια. Η αλλαγή της συμπεριφοράς των μικροοργανισμών πυροδοτείται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται και η διακυτταρική χημική επικοινωνία (quorum sensing).

Η διακυτταρική χημική επικοινωνία είναι η ικανότητα των βακτηριδίων να επικοινωνούν και να συντονίζουν τη συμπεριφορά τους μέσω σηματοδοτούντων μορίων. Υπάρχουν βεβαίως και άλλοι μηχανισμοί αλλαγής της συμπεριφοράς των μικροοργανισμών, που ποικίλουν μεταξύ των διαφόρων ειδών. Όταν ένα κύτταρο τροποποιεί τη συμπεριφορά του υφίσταται μια φαινοτυπική απόκλιση στη συμπεριφορά, κατά την οποία μεγάλες ακολουθίες ή συλλογές γονιδίων απορυθμίζονται.

Ο σχηματισμός των βιομεμβρανών αρχίζει με την προσκόλληση των ελεύθερα αιωρούμενων μικροοργανισμών σε μια επιφάνεια (Σχ.1.1). Αυτές οι πρώτες αποικίες προσκολλώνται στην επιφάνεια αρχικά μέσω ασθενών και αναστρέψιμων δυνάμεων van der Waals. Αν οι άποικοι δεν αποσπαστούν αμέσως από την επιφάνεια, στην οποία έχουν προσκολληθεί, τότε μπορούν να προσφυθούν μόνιμα στην επιφάνεια χρησιμοποιώντας μόρια κυτταρικής συγκόλλησης, όπως είναι οι βακτηριδιακές τρίχες (pili).

Οι πρώτοι άποικοι διευκολύνουν την άφιξη και άλλων κυττάρων παρέχοντας ποικιλότερες περιοχές πρόσφυσης και αρχίζοντας τη δόμηση της μήτρας που

εξασφαλίζει τη συνοχή της βιομεμβράνης. Μερικά είδη μικροοργανισμών δεν είναι ικανά να προσκολληθούν σε μια επιφάνεια μόνα τους. Είναι όμως ικανά να προσκολληθούν στη μήτρα της βιομεμβράνης ή άμεσα σε προηγούμενους αποίκους. Από τη στιγμή που έχει αρχίσει η δημιουργία της αποικίας η βιομεμβράνη αυξάνεται μέσω ενός συνδυασμού κυτταρικής διαίρεσης και συσσώρευσης των μικροοργανισμών.



Σχήμα 2.4: Σχηματισμός βιομεμβράνης (biofilm).

Οι βιομεμβράνες συνήθως ανευρίσκονται σε συμπαγή υποστρώματα ή εκτίθενται σε μερικά υδατικά διαλύματα, αν και μπορούν να σχηματιστούν ως επιπλέοντα κουβάρια σε υδατικές επιφάνειες. Εφόσον εξασφαλιστούν επαρκείς πηγές τροφοδοσίας για ανάπτυξη, οι βιομεμβράνες αναπτύσσονται ταχέως και γίνονται μακροσκοπικά ορατές. Οι βιομεμβράνες μπορεί να περιέχουν πολλούς διαφορετικούς τύπους μικροοργανισμών, π.χ. βακτηρίδια, αρχαιοβακτηρίδια, πρωτόζωα, και άλγες. Κάθε ομάδα μικροοργανισμών εκτελεί εξειδικευμένες μεταβολικές λειτουργίες.

Η βιομεμβράνη περιβάλλεται και συγκρατείται από τον γλυκοκάλυκα (glycocalyx), δηλαδή την πολυμερή εξωκυττάρια ουσία (extracellular polymeric substance, EPS) ή εξωπολυσακχαρίτη, που απεκκρίνεται από τους μικροοργανισμούς. Αυτή η μήτρα προστατεύει τα κύτταρα και διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ τους με τη βοήθεια βιοχημικών σημάτων. Μερικά βιοφίλμς βρέθηκε ότι περιέχουν υδατίνες διώρυγες, οι οποίες βοηθούν στη διανομή των θρεπτικών συστατικών και των σηματοδοτικών μορίων. Η μήτρα των βιοφίλμς είναι αρκετά ισχυρή και κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορεί να καταστήσει τα βιοφίλμς απολιθώματα.

Τα βακτηρίδια που ζουν σε ένα βιοφίλμ συνήθως έχουν σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από τα ελεύθερα αιωρούμενα βακτηρίδια των ιδίων ειδών, καθώς το πυκνό και προστατευτικό περιβάλλον του βιοφίλμ, τους επιτρέπει να

συνεργάζονται και να αλληλεπιδρούν με ποικίλους τρόπους. Ένα όφελος αυτού του περιβάλλοντος είναι η αυξημένη αντίσταση στις τοξικές ουσίες καθώς η πυκνή εξωκυττάρια μήτρα και η εξωτερική στιβάδα των κυττάρων προστατεύει το εσωτερικό αυτής της κοινότητας.

Έχει ανακαλυφθεί ότι ένα μικρό κλάσμα των κυττάρων μέσα σε βιομεμβράνες κολοβακτηριδίων παραμένουν σε αναστολή (επιμένοντα κύτταρα). Τούτο οφείλεται στο πολύ χαμηλό επίπεδο της μεταβολικής τους δραστηριότητας. Τα “επιμένοντα κύτταρα” δεν είναι προϊόντα μετάλλαξης, αλλά φαινοτυπικές ποικιλίες του άγριου τύπου των βακτηριδίων. Έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος απομόνωσης των “επιμενόντων κυττάρων” και λήψης του γονιδιακού τους προφίλ. Βρέθηκε ότι οι πρωτεΐνες, οι γνωστές “τοξίνες”, είναι κυρίως υπεύθυνες για το σχηματισμό των “επιμενόντων κυττάρων”.

Οι βιομεμβράνες είναι πανταχού παρούσες. Σχεδόν κάθε είδος μικροοργανισμού και όχι μόνο τα βακτηρίδια και τα αρχαία (αρχαίο-βακτηρίδια) έχουν μηχανισμούς με τους οποίους μπορούν να προσκολλώνται σε επιφάνειες και μεταξύ τους. Οι βιομεμβράνες μπορούν να βρεθούν σε βράχους και βότσαλα στο βυθό ρευμάτων και ποταμών και συχνά στην επιφάνεια λιμναζόντων υδάτων. Οι βιομεμβράνες αποτελούν σημαντικά συστατικά της διατροφικής αλυσίδας των ποταμών και των ρευμάτων και αποτελούν τροφή των υδρόβιων ασπόνδυλων, με τα οποία τρέφονται πολλά ψάρια. Οι βιομεμβράνες μπορεί να αναπτυχθούν σε δεξαμενές με όξινο νερό, καθώς και στους παγετώνες της Ανταρκτικής.

Στο βιομηχανικό περιβάλλον οι βιομεμβράνες μπορεί να αναπτυχθούν στο εσωτερικό σωλήνων διέλευσης νερού και λυμάτων, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε απόφραξη τους ή σε διάβρωση. Οι βιομεμβράνες στα πατώματα και σε πάγκους παρασκευής τροφίμων μπορεί να καταστήσουν δυσχερή την αποστείρωσή τους.

Οι βιομεμβράνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κατασκευαστικούς σκοπούς. Σε πολλές εγκαταστάσεις επεξεργασίας οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνεται σε κάποιο στάδιο της λειτουργίας τους τη διέλευση του απόβλητου νερού μέσα από βιομεμβράνες, που αναπτύσσονται μέσα σε φίλτρα, τα οποία αποστάζουν και βιοαποικοδομούν τις οργανικές ενώσεις. Σε αυτές τις βιομεμβράνες τα βακτηρίδια είναι κυρίως υπεύθυνα για την απομάκρυνση οργανικών υλικών, ενώ τα πρωτόζωα και τροχόζωα είναι κυρίως υπεύθυνα για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών, περιλαμβανομένων παθογόνων και άλλων μικροοργανισμών.

Τα βιοστρώματα επιτρέπουν στους μικροοργανισμούς να αποκομίζουν κοινά οφέλη όπως:

- Ανθεκτικότητα σε αντίξοες συνθήκες (τοξικά απόβλητα), αυξημένη μεταβολική δραστηριότητα και προσαρμοστικότητα σε διαφορετικά περιβάλλοντα.
- Διάσπαση υπολειμματικών μορίων που δεν είναι δυνατόν να μεταβολισθούν με την δράση ενός μεμονωμένου μικροοργανισμού .
- Αυξημένη πιθανότητα γενετικών ανταλλαγών μεταξύ βακτηρίων.

Αφού εγκατασταθούν, τα βιοστρώματα μπορούν να αναπτυχθούν με μεγάλη ταχύτητα δημιουργώντας αναεροβικές και αεροβικές περιοχές όπου συμμετέχουν αναερόβιοι και αερόβιοι μικροοργανισμοί αντίστοιχα. Συνεπώς η σύνθεση των βιοστρωμάτων ποικίλει ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν και μπορεί να μεταβληθεί με το πέρασμα του χρόνου.

3. ΒΙΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βιοαποκατάσταση είναι η χρήση βιολογικών συστημάτων για την μείωση της ρύπανσης του αέρα, των υδροβίων και επιγείων συστημάτων. Μικροοργανισμοί και φυτά είναι τα βιολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται συνήθως.

Η βιοαποκατάσταση με μικροοργανισμούς είναι η πιο συνήθης επιλογή. Οι μικροοργανισμοί μπορούν να εξουδετερώσουν τις περισσότερες ενώσεις για την ενεργεία που χρειάζονται για να επιβιώσουν και να πολλαπλασιαστούν. Αυτή η διαδικασία μπορεί να γίνει με παρουσία οξυγόνου ή χωρίς.

Η διάσπαση των ρύπων μπορεί να συμβεί αυθόρμητα και σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται εγγενής, εσωτερική ή φυσική βιοαποκατάσταση. Σε πολλές περιπτώσεις ωστόσο οι φυσικές περιστάσεις δεν είναι αρκετά ευνοϊκές για να συμβεί αυτό όπως η έλλειψη αρκετών θρεπτικών ουσιών, οξυγόνου ή καταλλήλων βακτηριδίων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να βελτιωθεί η κατάσταση με την συμπλήρωση μιας ή περισσότερων από τις παραπάνω αναγκαίες προϋποθέσεις. Για παράδειγμα επιπλέον θρεπτικές ουσίες χρησιμοποιήθηκαν για να επιταχύνουν την αποκατάσταση από την διαρροή πετρελαίου σε έκταση 1000 μιλίων στις ακτές της Αλάσκας από το τάνκερ Exxon Valdez το 1989.

Η μελλοντική τάση της βιοτεχνολογίας είναι να εξετάσει την ταχύτητα της φυσικής βιοαποκατάστασης σε πρώτη φάση και να δράσει μόνο σε περίπτωση που υπάρχει ανεπαρκής δραστηριότητα για την γρήγορη απομάκρυνση ρύπων για την αποτροπή αναμενόμενου κινδύνου ρύπανσης. Η τεχνολογία της βιοαποκατάστασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία επικίνδυνων αποβλήτων που ήδη μολύνουν το περιβάλλον. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μονάδες επεξεργασίας υγρών, στερεών και αερίων αποβλήτων.

3.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Οι βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούν μικροοργανισμούς, που μεταβολίζουν (και συνεπώς καταστρέφουν) οργανικές ενώσεις. Εκτός από την οργανική τροφή, απαραίτητα στοιχεία για την αύξηση του μικροβιακού πληθυσμού είναι η ενέργεια και στοιχεία απαραίτητα για την μοριακή ανάπτυξη (άζωτο, φωσφόρος - θρεπτικά υλικά).

Διακρίνονται δύο βασικοί τύποι μικροοργανισμών, αναερόβιοι και αερόβιοι, ενώ υπάρχουν και αναερόβιοι οργανισμοί με δυνατότητα ανάπτυξης και σε συνθήκες οξυγόνου (facultative). Η επιτυχία στην επεξεργασία εξαρτάται από σειρά παραμέτρων (pH, θερμοκρασία, DO, είδος ρυπαντών, απαίτηση σε θρεπτικά υλικά, παρουσία τοξικών ουσιών για τους μικροοργανισμούς, διακύμανση υδραυλικού ή ρυπαντικού φορτίου).

Το κατεξοχήν τμήμα επεξεργασίας όπου χρησιμοποιείται η μεταβολική δραστηριότητα των μικροοργανισμών για την μείωση του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων είναι η δευτεροβάθμια επεξεργασία. Ο καθαρισμός γίνεται με αερόβιους ή αναερόβιους μικροοργανισμούς ανάλογα με την υφή και σύσταση των αποβλήτων.

Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός αποτελείται είτε από βιολογική αποδόμηση των οργανικών ουσιών και στην συνέχεια δευτεροβάθμια καθίζηση των σχηματιζόμενων σωματιδίων είτε από χημική υποστήριξη της αρχικής απλής καθίζησης με κροκίδωση σε συνδυασμό άλλες χημικές μεθόδους. Κύρια προϊόντα της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας είναι οξειδωμένα προϊόντα όπως NO_3 .

Βασική προϋπόθεση για την επιτυχία του βιολογικού καθαρισμού είναι η απουσία υψηλών συγκεντρώσεων ρύπων τοξικών στην βιομάζα που αναπτύσσεται στα συστήματα βιολογικού καθαρισμού. Χλωριούχα, κυανιούχα, βαρέα μέταλλα προκαλούν σε ορισμένες περιπτώσεις αναστολή της ανάπτυξης ορισμένων μικροοργανισμών. Ο δευτεροβάθμιος καθαρισμός συνήθως οδηγεί σε μείωση του οργανικού φορτίου κατά 80-90% κατά μέσο όρο.

3.2.1 Αερόβιες βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

Ανάλογα με το πώς αναπτύσσονται οι μικροοργανισμοί στις μονάδες βιολογικού καθαρισμού διαχωρίζονται σε:

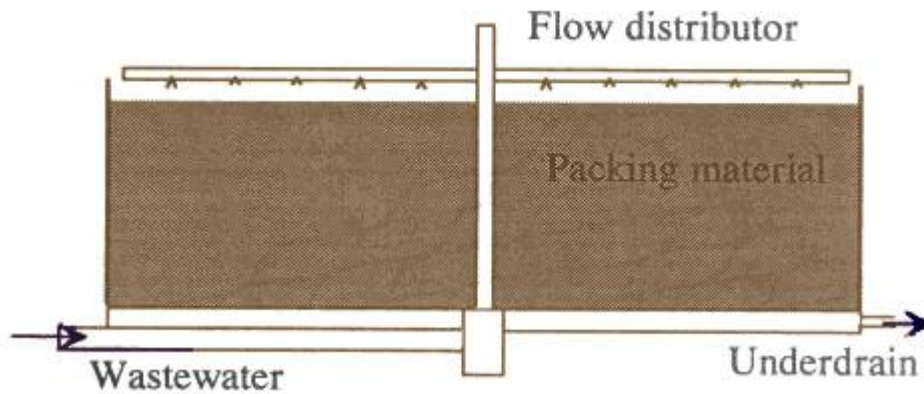
- Βιοαντιδραστήρες βιο-κροκιδών (Suspended growth bioreactors), όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή κροκιδών (floculates) και διατηρούνται σε διαλυτοποιημένη μορφή εντός των δεξαμενών επεξεργασίας ερχόμενοι σε άμεση επαφή με τους ρύπους. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης (Activated sludge systems), συστήματα αερόβιας χώνευσης (Aerobic digestion systems), συστήματα αναερόβιας χώνευσης (Anaerobic digestion systems) και Λίμνες (Lagoons).
- Βιοαντιδραστήρες βιοστρωμάτων (Attached growth bioreactors), όπου οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται με την μορφή βιοστρωμάτων (biofilms) σε αδρανής επιφάνειες που παρέχονται εντός των δεξαμενών καθαρισμού. Μερικά από τα συστήματα αυτής κατηγορίας είναι οι περιστρεφόμενοι βιολογικοί δίσκοι (Rotating biological contractors), τα σταλαγματικά φίλτρα (Trickling filters), οι κλίνες πλήρωσης (Packed bed) και αναερόβια φίλτρα (Anaerobic filtersystem).

3.2.1.1 Μέθοδοι προσαρτημένης αύξησης (βιολογικά φίλτρα, βιόφιλτρα).

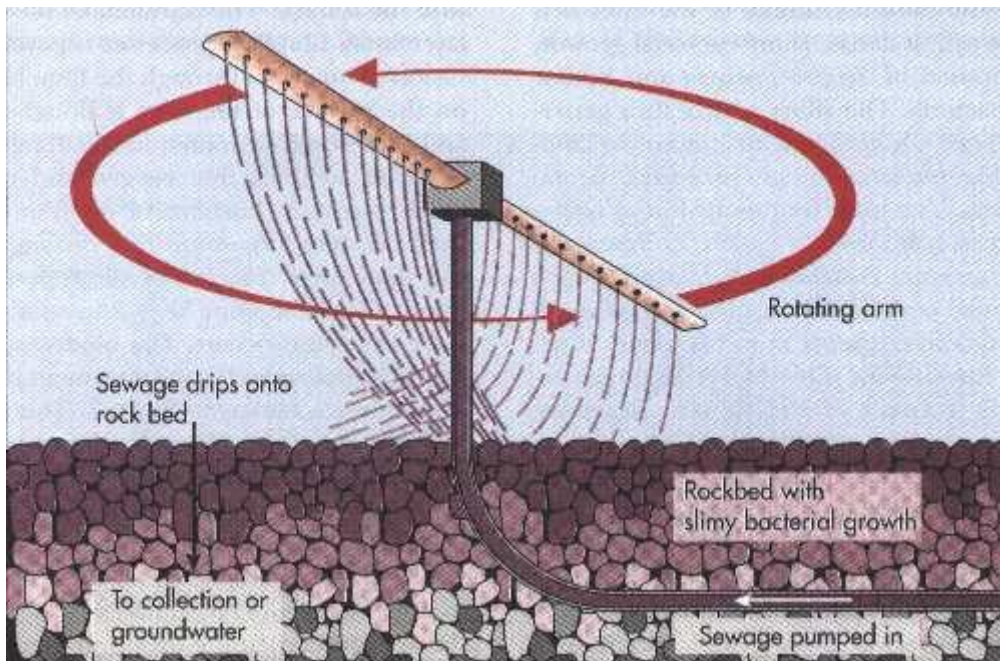
Στα συστήματα αυτά η βιομάζα συγκρατείται σε σταθερό υπόστρωμα, σχηματίζοντας ένα λεπτό φιλμ (biofilm), που έρχεται σε επαφή με το απόβλητο. Καθώς το φιλμ (που αποτελείται κυρίως από βακτήρια, πρωτόζωα και μύκητες) αναπτύσσεται, αποκολλάται από το μέσο και αντικαθίσταται από νέα καλλιέργεια ενεργών μικροοργανισμών. Διακρίνονται τα ακόλουθα συστήματα:

Ø **Σταλαγματικά φίλτρα (Trickling filters).** Ένα σταλαγματικό φίλτρο (Σχ. 3.1) αποτελείται από μια ορθογώνια ή κυλινδρική δεξαμενή γεμάτη με το πληρωτικό υλικό το οποίο μπορεί να είναι πέτρες (σχ. 3.2.), κόκκοι ενεργού άνθρακα ή κάποιο βιομηχανικό πλαστικό (σχ. 3.3). Τα απόβλητα τροφοδοτούνται σε όλη την έκταση

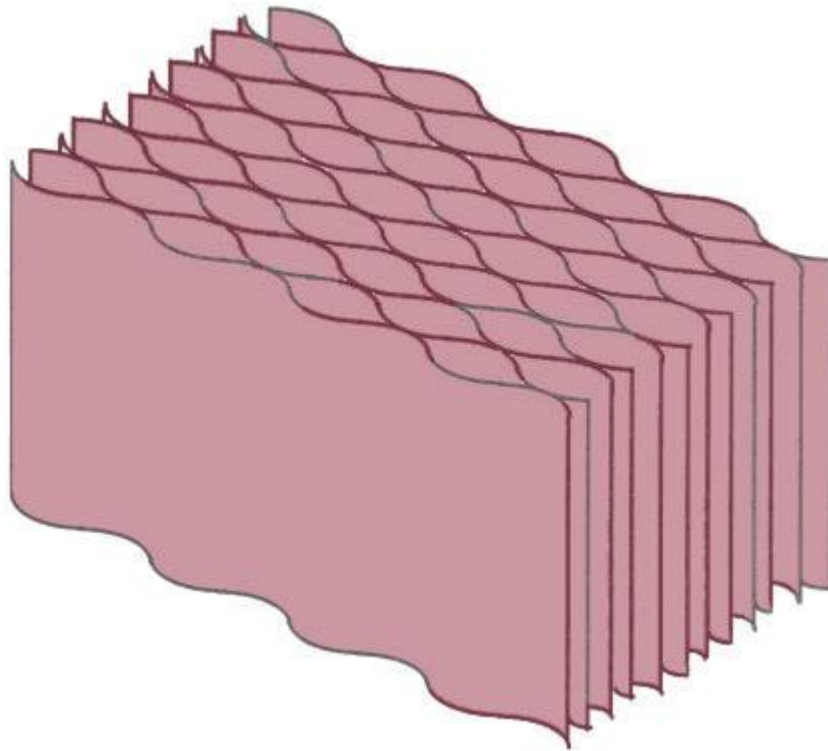
της δεξαμενής και διέρχονται σταλάζοντας από τα διάκενα που αφήνει το πληρωτικό υλικό. Οι μικροοργανισμοί προσκολλώνται στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού όπου αναπτύσσονται και δημιουργούν τη βιομάζα. Ο αερισμός γίνεται τεχνητά ή με φυσικό ελκυσμό από κάτω προς τα πάνω. Η βιολογική διάσπαση της οργανικής ύλης γίνεται κατά τη διέλευση των αποβλήτων μέσα από το φίλτρο.



Σχήμα 3.1: Σταλαγμικό φίλτρο (trickling filter)

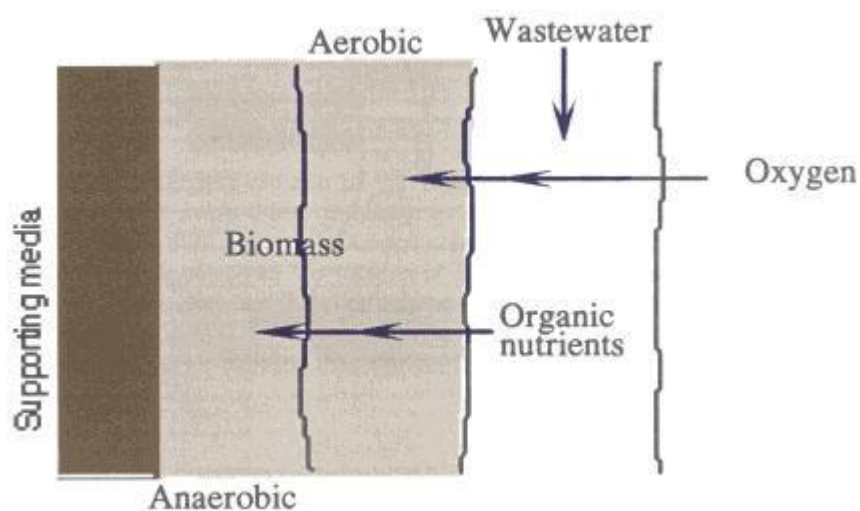


Σχήμα 3.2: Σταλαγμικό φίλτρο με πέτρες



Σχήμα 3.3: Βιομηχανικό πλαστικό που χρησιμοποιείται ως πληρωτικό μέσο.

Η αρχή λειτουργίας των σταλαγματικών φίλτρων δίνεται στο Σχήμα 3.4. Τα απόβλητα περνούν μέσα από τα διάκενα που αφήνει το πληρωτικό υλικό. Κατά τη διέλευση τα θρεπτικά συστατικά και το οξυγόνο διαχέονται στη στιβάδα της βιομάζας που καλύπτει την επιφάνεια του πληρωτικού υλικού.



Σχήμα 3 4: Αρχή λειτουργίας σταλαγματικού φίλτρου (trickling filter).

Στην αερόβια στιβάδα λαμβάνει χώρα η βιολογική οξειδωση των προϊόντων που προέρχονται από την αναερόβια στιβάδα τα οποία μαζί με το CO_2 εισέρχονται στη ροή των αποβλήτων και απομακρύνονται.

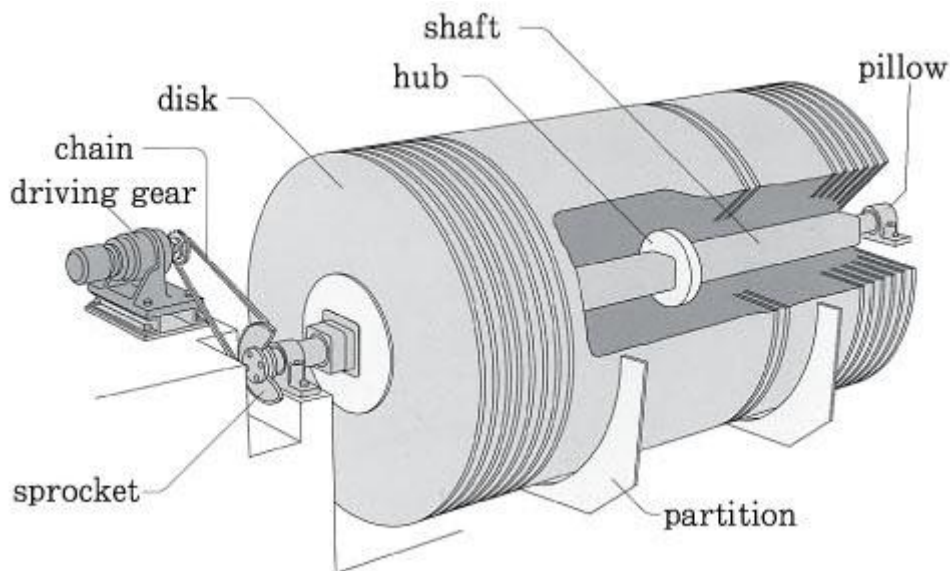
Η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου βασίζεται στη βιομάζα η οποία βρίσκεται προσκολλημένη στην επιφάνεια του πληρωτικού υλικού και στο χρόνο επαφής των αποβλήτων με την επιφάνεια της βιομάζας και στο πάχος της αερόβιας στιβάδας η οποία αναπτύσσεται.

Ø Περιστρεφόμενα βιολογικά φίλτρα επαφής (rotating biological contactors-RBC). Είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από βιοδίσκους (εικ. 3.1) που περιστρέφονται με μικρή ταχύτητα μέσα στα απόβλητα. Η βιομάζα εγκαθίστανται και αναπτύσσεται πάνω στους δίσκους. Κατά την περιστροφή του δίσκου η βιομάζα όταν βρίσκεται μέσα στα απόβλητα παίρνει τροφή και, όταν βρεθεί στον αέρα, παίρνει το απαιτούμενο οξυγόνο για τη βιολογική δράση.



Εικόνα 3.1: RBC

Αποτελούνται από συστοιχίες περιστρεφόμενων δίσκων αξονικής βάσης όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5. Η περίσσεια των μικροοργανισμών καθώς και τα λοιπά στερεά απομακρύνονται από τα φίλμ των δίσκων με τη δύναμη συνάφειας, που δημιουργείται από την περιστροφή τους.



Σχήμα 3.5: Σύστημα βιοδίσκων

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των RBC είναι:

- το είδος και η συγκέντρωση της οργανικής ύλης
- η ταχύτητα περιστροφής
- η επιφάνεια βύθισης.
- Ο αριθμός των βιοδίσκων (στάδια επεξεργασίας)
- Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στο σύστημα

Κατά το σχεδιασμό πρέπει να προβλέπεται επαρκής αερισμός των δεξαμενών, έλεγχος του pH και της θερμοκρασίας, και ανακύκλωση ιλύος. Τα RBC προσδίδουν ευελιξία σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας στραγγιδίων ΧΥΤΑ, όπου τα χαρακτηριστικά των στραγγισμάτων μεταβάλλονται σημαντικά. Η κατασκευή τους σε υπο-μονάδες εν σειρά δίνει την δυνατότητα αύξησης ή μείωσης της έντασης της επεξεργασίας, βελτιώνοντας την δυνατότητα επεξεργασίας αιφνίδιων υψηλών φορτίων.

Για απόβλητα με χαμηλό οργανικό φορτίο (BOD_5 μέχρι 300 mg/L) η απόδοση αυξάνει με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής μέχρι 18 στροφές/λεπτό. Η παραπέρα αύξηση της ταχύτητας περιστροφής δεν επηρεάζει την απόδοση. Για τα απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο, η αύξηση της περιστροφής αυξάνει την επαφή, τον αερισμό και την ανάμειξη και επομένως αυξάνεται και η απόδοση. Όμως, η υπερβολική αύξηση της περιστροφής αυξάνει την κατανάλωση ενέργειας και επιβαρύνει το κόστος λειτουργίας του συστήματος.

Ο αριθμός των σταδίων επεξεργασίας φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Η αύξηση των σταδίων από δύο σε τέσσερα βελτιώνει σημαντικά την απόδοση για τις περισσότερες περιπτώσεις λυμάτων ενώ η παραπέρα αύξηση δεν έχει αντίστοιχη επίπτωση στην απόδοση της επεξεργασίας. Αυτό οφείλεται στον χρόνο που απαιτείται για τον εγκλιματισμό της βιομάζας. Για απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο ή χαμηλή χημική δραστηριότητα συχνά απαιτούνται περισσότερα από τέσσερα στάδια.

Το ποσοστό εμβάπτισης των δίσκων κατά την περιστροφή τους είναι 40% και σχετίζεται με το χρόνο έκθεσης στον αέρα της οργανικής ύλης που επικάθεται και

μεταφέρεται με τη περιστροφή του δίσκου. Για το σχεδιασμό ενός συστήματος βιοδίσκων αντλούνται δεδομένα από πιλοτικές μελέτες που γίνονται σε απόβλητα δεδομένης προέλευσης.

3.2.1.2. Μέθοδοι μη-προσαρτημένης αύξησης

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο αερισμός σε λίμνες, τέλματα, ή δεξαμενές, όπου ο μικροβιακός πληθυσμός που διασπά και μεταβολίζει τα ρυπογόνα συστατικά αναπτύσσεται σε αερόβιες συνθήκες.

Στα συστήματα αυτά υπολογίζεται ότι ένας χρόνος παραμονής των αποβλήτων 10 έως 20 ημερών οδηγεί στην απομάκρυνση του 90% του αρχικού COD και αμμωνιακού αζώτου. Επισημαίνεται ότι :

- Τα συστήματα με αερισμό (aerated lagoons) είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά, τόσο βιολογικά όσο και μηχανικά.
- Λόγω του μεγάλου όγκο τους, η μικροβιακή μάζα που σχηματίζεται έχει αντοχή σε αιφνίδια φορτία και προσαρμόζεται εύκολα στην παρουσία τοξινών, μεταλλικών ιόντων, αμμωνιακού αζώτου και χλωριόντων.
- Ο σχεδιασμός μιας μονάδας διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος των αποβλήτων. Τα συστήματα π.χ. επεξεργασίας ιλύος από Ε.Ε.Λ., όπου επιζητείται αφαίρεση COD, αλλά όχι πλήρης αφαίρεση του αμμωνιακού αζώτου, σχεδιάζονται για μικρότερους χρόνους παραμονής.
- Για την καλή λειτουργία της εγκατάστασης απαιτείται επαρκής φώσφορος, που προσδίδεται συνήθως με μορφή φωσφορικού οξέως. Είναι ενδεχομένως απαραίτητη και η προσθήκη αλκαλικών ενώσεων (κατά προτίμηση υδροξειδίου του νατρίου), για την ρύθμιση του pH, που μειώνεται κατά την νιτροποίηση.

3.2.1.3 Ενεργός Ιλύς

Το σύστημα ενεργού ιλύος είναι το πιο διαδεδομένο και αποτελεσματικό σύστημα βιολογικής επεξεργασίας αστικών λυμάτων, όσον αφορά τόσο στην ποιότητα εκροής όσο και στην οικονομία του. Αναπτύχθηκε από τους Arden και Lockett στο Manchester της Αγγλίας το 1914 και ο πρωταρχικός στόχος του ήταν η απομάκρυνση του οργανικού φορτίου των λυμάτων με μηχανισμούς βιολογικής οξειδωσης, σύνθεσης και προσρόφησης. Η ευρεία εφαρμογή του άρχισε μετά το 1940.

Τα συστήματα ενεργού ιλύος περιγράφονται από συνεχή ροή του αποβλήτου σε αερόβια βιολογική επεξεργασία που επιτελείται από ενεργούς (διαλυτούς) μικροοργανισμούς, που αποδομούν τους οργανικούς ρυπαντές. Το ρεύμα των αποβλήτων εισάγεται σε δεξαμενή αερισμού όπου και αναμιγνύεται με την βιομάζα (εικ.3.2).



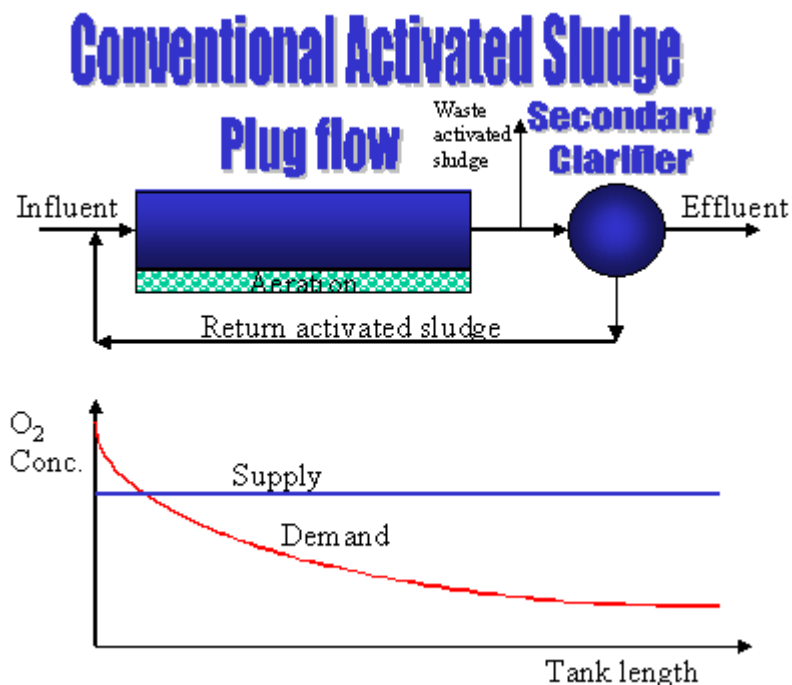
Εικόνα 3.2: Δεξαμενη αερισμου

Η απόδοση των συστημάτων εξαρτάται από μια σειρά παραμέτρων και ρυθμίσεων κατά τον σχεδιασμό και την λειτουργία. Βασικές παραμέτρους αποτελούν:

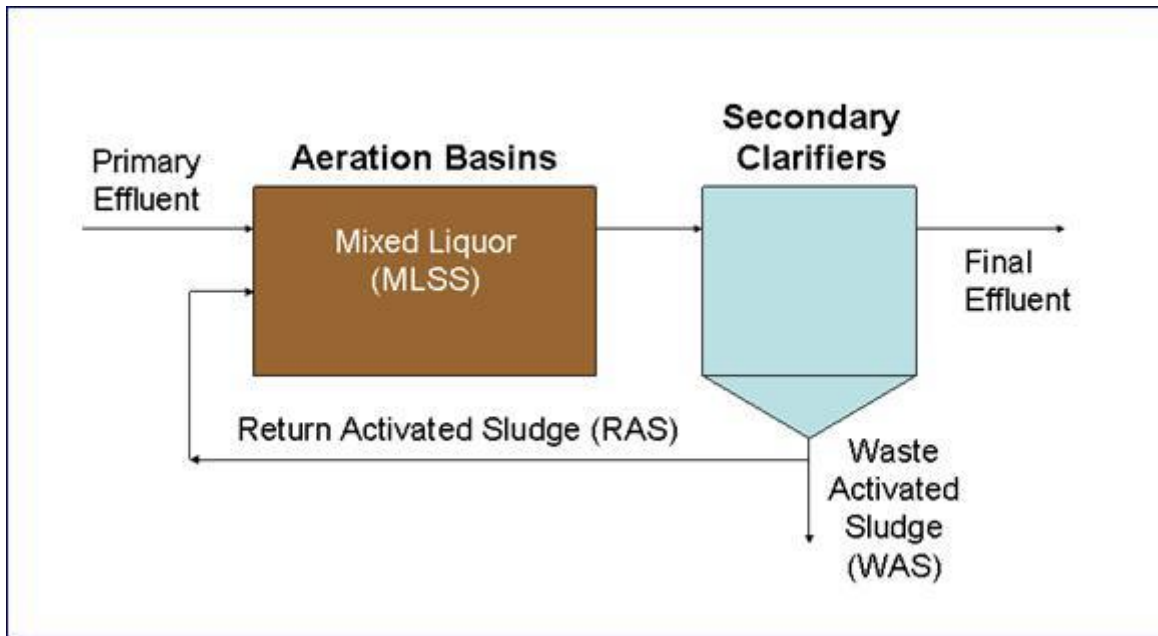
- Το οργανικό φορτίο (αναλογία τροφής προς βιομάζα ή κιλά BOD_5 εφαρμοζόμενα ημερήσια στο σύστημα, ανά κιλό αναμεμιγμένων αιωρούμενων στερεών -MLSS).
- Ο χρόνος παραμονής της ιλύος, ώστε τα βακτήρια να μην απομακρύνονται από το σύστημα πριν τον χρόνο αναπαραγωγής τους.
- Ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, ή χρόνος του αερισμού, για τον σχεδιασμό των δεξαμενών αερισμού σε σχέση με τις παραπάνω παραμέτρους.
- Η απαίτηση σε οξυγόνο.
- Η βιο-κινητική σταθερά / ρυθμός K (εξίσωση Monod), που εκφράζει την ταχύτητα απορρόφησης του βιοχημικά απαιτούμενου οξυγόνου και εξαρτάται από την θερμοκρασία.
- Η ικανότητα της δεξαμενής δευτεροβάθμιας καθίζησης να επιτρέπει την ταχεία καθίζηση της εισερχόμενης σε αυτή βιομάζας και τον διαχωρισμό της από τα επεξεργασμένα λύματα.
- Η επαρκής συμπύκνωση της βιομάζας, έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική και οικονομική η επανακυκλοφορία της

Οι κύριοι τύποι συστημάτων ενεργού ιλύος είναι:

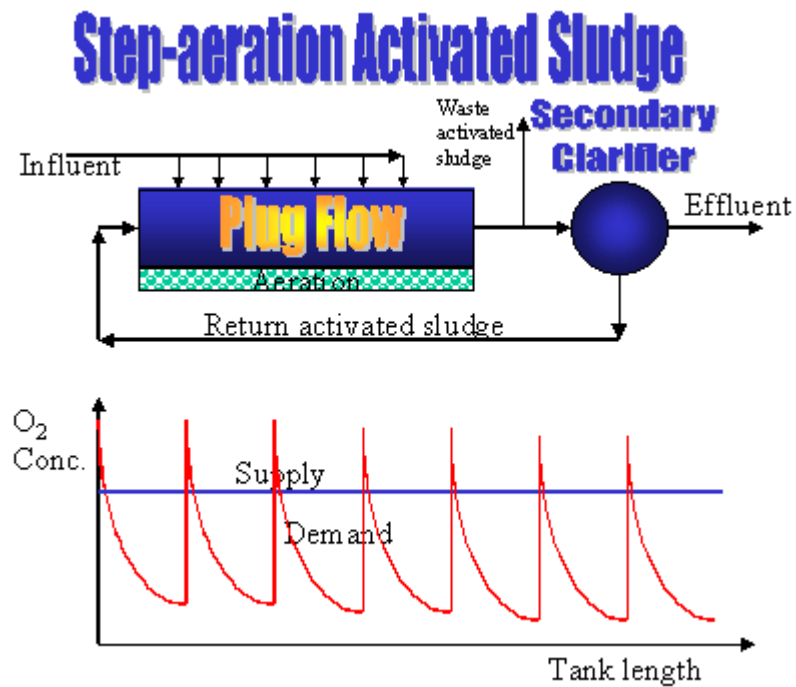
- Κλασικό σύστημα (σχ. 3.6)
- Σύστημα πλήρους ανάμειξης (σχ. 3.7)
- Σύστημα εκτεταμένου αερισμού. Είναι όμοιο σχηματικά με το σύστημα πλήρους ανάμειξης με διαφορά ότι έχει συστήματα αερισμού για την επεξεργασία συνθετών οργανικών ενώσεων που χρειάζονται περισσότερο χρόνο επεξεργασίας.
- Σύστημα βηματικού αερισμού (σχ. 3.8)
- Σύστημα επαφής – σταθεροποίησης (σχ. 3.9)
- Τάφροι οξειδωσης(σχ. 3.10)



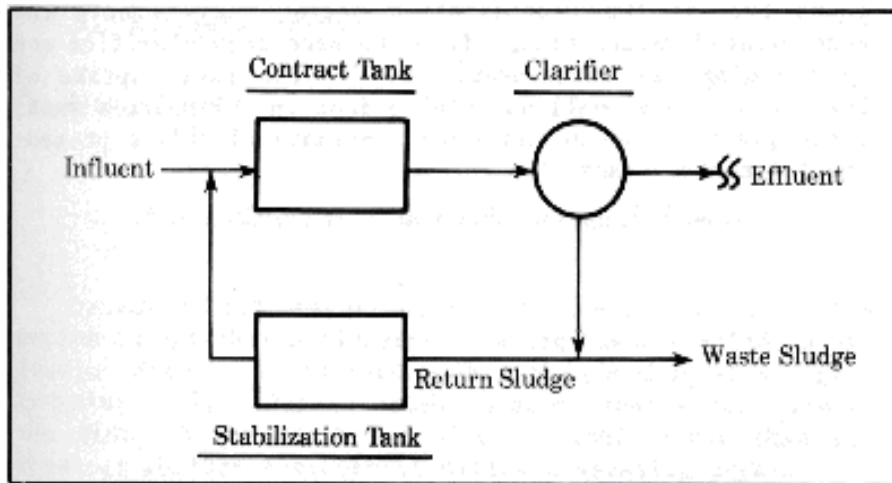
Σχήμα 3.6: Κλασικό σύστημα (Conventional plug-flow).



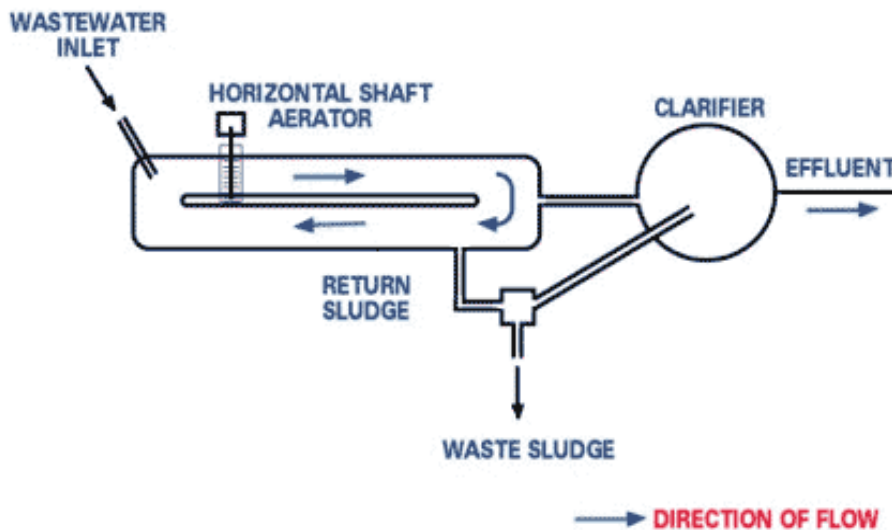
Σχήμα 3.7: Σύστημα πλήρους ανάμειξης (Completed mix).



Σχήμα 3.8: Σύστημα βηματικού αερισμού (Step aeration).



Σχήμα 3.9: Σύστημα επαφής-σταθεροποίησης (Contact-stabilization).



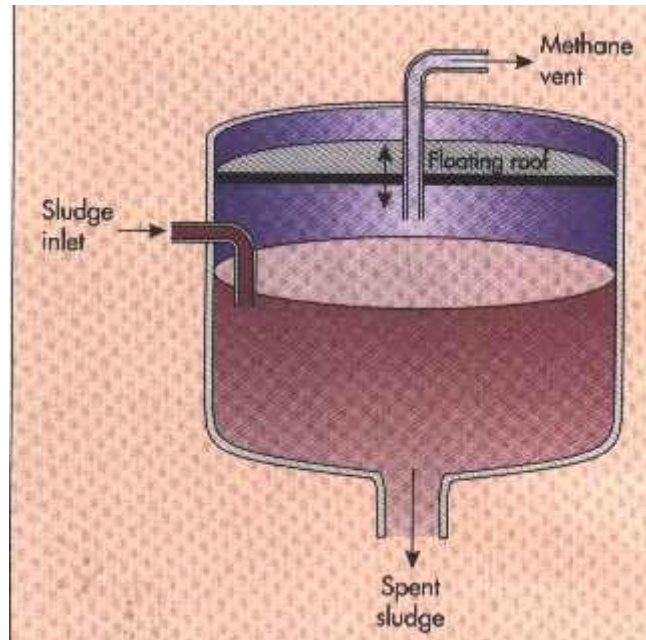
Σχήμα 3.10: Τάφρος οξείδωσης (Oxidation ditch).

3.2.2 Αναερόβιες βιολογικές μέθοδοι επεξεργασίας

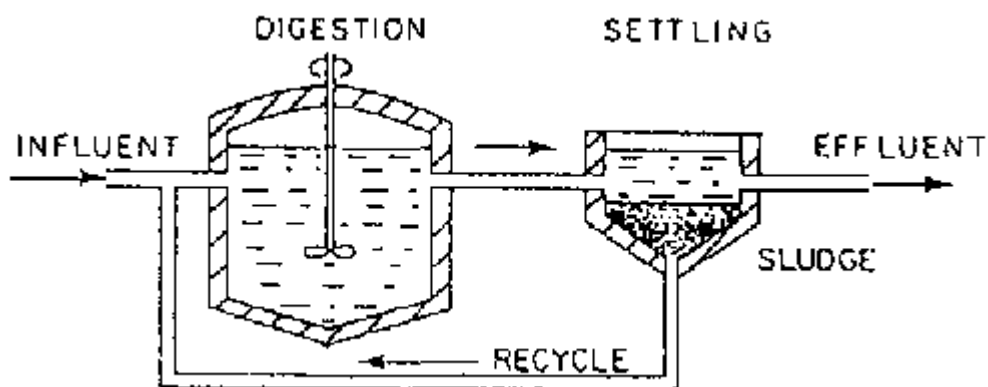
Εντοπίζονται διάφορα συστήματα αναερόβιας επεξεργασίας όπως χωνευτές σύνθετης ανάμειξης (σχ. 3.11), αντιδραστήρες επαφής με ανακύκλωση της ιλύος (σχ. 3.12), αναερόβια φίλτρα (σχ. 3.13). Η καλή λειτουργία των συστημάτων εξαρτάται από την ικανότητα τους να διατηρούν ενεργή μια καλλιέργεια αναερόβιων μικροοργανισμών. Κατά την αναερόβια επεξεργασία οργανικών ρυπών εκλύεται βιοαέριο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.11 και 3.13 το οποίο αποθηκεύεται σε κατάλληλη δεξαμενή και χρησιμοποιείται σαν βιοκαύσιμο.

Η αποδοτικότητα τους σχετίζεται με παραμέτρους όπως ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, χρόνος κράτησης των στερεών (Solids Retention Time), θερμοκρασία, θρεπτικά συστατικά που εισρέουν και την ύπαρξη ή μη τοξικών ουσιών.

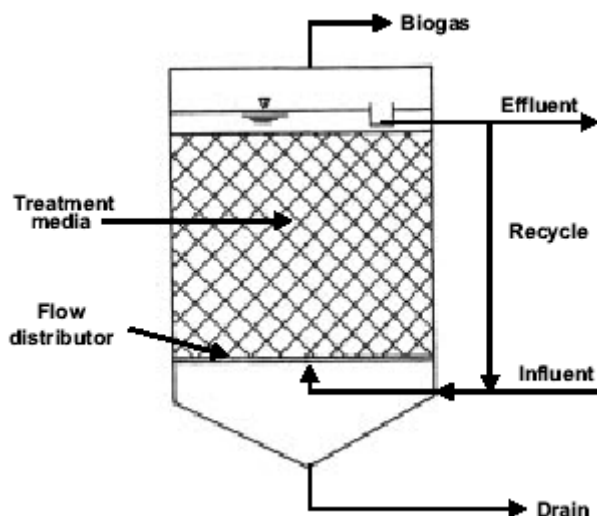
Οι μέθοδοι αυτοί δεν συνίστανται όταν προηγείται άλλη αναερόβια διεργασία καθώς το μεγαλύτερο μέρος των ρύπων που μπορεί να αποδομηθεί αναερόβια έχει ήδη εκλείψει και κανένα αναερόβιο σύστημα δεν μπορεί να αφαιρέσει το αμμωνιακό άζωτο.



Σχήμα 3.11: Αναερόβιος χωνευτής συνθέτης ανάμειξης.



Σχήμα 3.12 : Αντιδραστήρας επαφής με ανακύκλωση της ιλύος



Σχήμα 3.13: Αναερόβιο φίλτρο επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

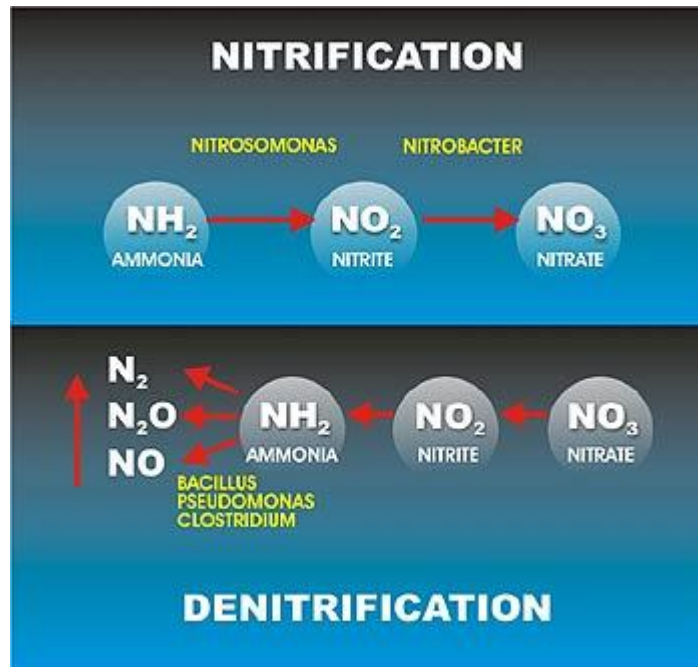
3.2.3. Συστήματα νιτροποίησης – απονιτροποίησης

Σημαντικό κεφάλαιο στην ιστορική εξέλιξη του σχεδιασμού των συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων αποτέλεσε η χρήση ανοξικών και αναερόβιων αντιδραστήρων για τη βιολογική απομάκρυνση αζώτου και φωσφόρου. Ένα μεγάλο τμήμα της έρευνας σε συστήματα ενεργού ιλύος, από την δεκαετία του 1980, στόχευσε στη διερεύνηση των περιβαλλοντικών εκείνων συνθηκών και των κλασμάτων της οργανικής ύλης που ευνοούν την ανάπτυξη βακτηρίων, τα οποία είναι ικανά για την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα, του αζώτου και του φωσφόρου.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΟΚ επιβάλλει σε πολλές περιπτώσεις (ευαίσθητοι αποδέκτες) πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις αζώτου και φωσφόρου στην εκροή μιας εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών λυμάτων. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σχεδιασμό της δευτεροβάθμιας επεξεργασίας λυμάτων με στόχο όχι μόνο την απομάκρυνση του οργανικού άνθρακα αλλά και την μείωση των θρεπτικών συστατικών.

Τα συστήματα ενεργού ιλύος που επιτελούν απομάκρυνση αζώτου μέσω διαδικασιών νιτροποίησης και απονιτροποίησης βασίζονται στη διαδοχική δημιουργία εναλλακτικών συνθηκών.

Η νιτροποίηση γίνεται από νιτροποιά βακτήρια σε αερόβιες συνθήκες που μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρικά άλατα. Η αντίδραση γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, βακτήρια όπως τα *nitrosomonas* μετατρέπουν την αμμωνία σε νιτρώδη και, στην συνέχεια, άλλα βακτήρια όπως τα *nitro-bacter* μετατρέπουν τα νιτρώδη σε νιτρικά. Την νιτροποίηση ακολουθεί συνήθως από-νιτροποίηση κατά την οποία, σε ανοξικές συνθήκες, το αμμωνιακό άζωτο μετατρέπεται σε στοιχειακό. Κατά την διεργασία αυτή τα βακτήρια (*Bacillus*, *Psuedomonas* και *Clostridium*) χρησιμοποιούν το υποξείδιο του αζώτου σαν πηγή ηλεκτρονίων αντί του οξυγόνου, για την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων που χρησιμοποιούν σαν τροφή. Η διαδικασία νιτροποίησης και απονιτροποίησης φαίνεται στο σχήμα 3.14.

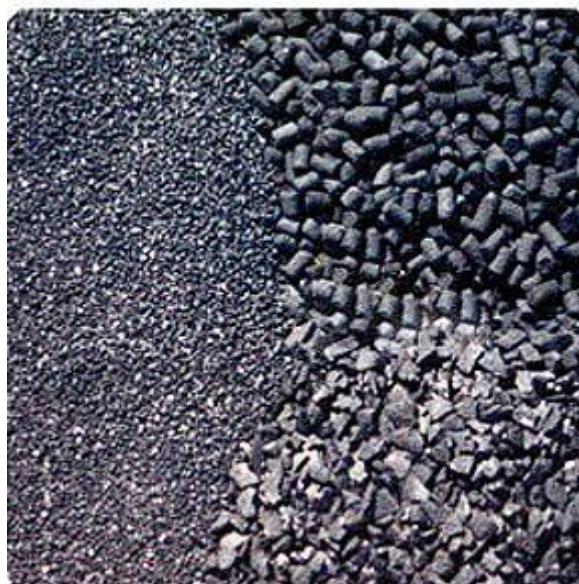


Σχήμα 3.14: Διαδικασία νιτροποίησης-απονιτροποίησης

Για τη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου σε ένα σύστημα νιτροποίησης-απονιτροποίησης είναι αναγκαία η κατασκευή μιας αναερόβιας δεξαμενής πριν από τη δεξαμενή απονιτροποίησης.

3.2.4 Ενεργός άνθρακας

Κόκκοι ενεργού άνθρακα (εικ. 3.3) χρησιμοποιούνται για την απορρόφηση του εναπομείναντος οργανικού υλικού των υγρών αποβλήτων, ως μέθοδος καθαρισμού (και αφού έχει επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή επεξεργασία τους με χρήση άλλων μεθόδων).



Εικόνα 3.3: Κόκκοι ενεργού άνθρακα

Η διαδικασία ορίζεται ως φυσικός διαχωρισμός, κατά τον οποίο το ανόργανο και οργανικό υλικό αφαιρείται από το απόβλητο με απορρόφηση ή προσρόφηση στην επιφάνεια των κόκκων του άνθρακα. Εκτός από την απορρόφηση (κύριος μηχανισμός), σε πολλές περιπτώσεις λαμβάνει χώρα και βιολογική αποδόμηση από μικροοργανισμούς που ζουν στην επιφάνεια των κόκκων του ενεργού άνθρακα (biofilms). Τα συστήματα ενεργού άνθρακα αποτελούνται από θαλάμους που περιέχουν στρώμα ενεργού άνθρακα (συνήθως 1,5 με 3,5 μέτρα βάθος), από όπου ρέει το προς επεξεργασία απόβλητο.

Κατά την διαστασιολόγηση τους, κρίσιμο στοιχείο αποτελεί η απορροφητική ικανότητα του ενεργού υλικού (μάζα απορροφούμενων συστατικών προς μοναδιαία μάζα ενεργού άνθρακα). Ο όγκος του απαιτούμενου υλικού καθορίζεται από την τιμή του COD (Chemical Oxygen Demand), την συγκέντρωση συγκεκριμένων ρύπων προς απομάκρυνση και την συχνότητα αλλαγής των στοιχείων. Για την καλή λειτουργία του συστήματος (αποφυγή μπλοκαρίσματος πόρων) είναι απαραίτητο να έχουν απομακρυνθεί προηγουμένως τα αιωρούμενα στερεά από το απόβλητο. Ο κορεσμένος ενεργός άνθρακας μπορεί να ανακυκλωθεί με οξειδωση υγρού αέρα ή να καεί.

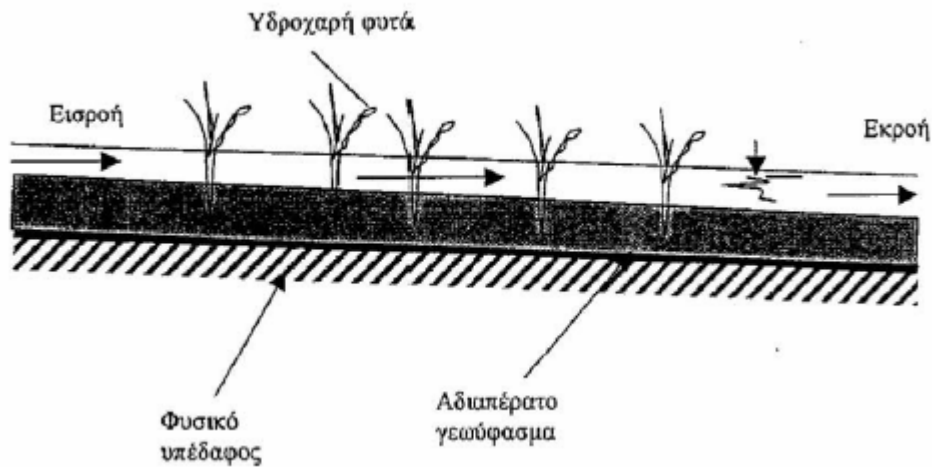
3.2.5 Τεχνητοί υγρότοποι

Οι τεχνητοί υγρότοποι, ως μέσο διαχείρισης των υγρών αποβλήτων μικρών οικισμών, αποτελούν μία από τις απλούστερες μεθόδους επεξεργασίας, που έχουν ως τελικό σκοπό την προστασία των εδαφο-υδατικών πόρων και την εξοικονόμηση νερού. Αποτελούν μία μίμηση φυσικών διατάξεων και διεργασιών, όπου η επεξεργασία γίνεται μέσα σε μεγάλες λεκάνες με τη βοήθεια υγροτοπικής βλάστησης.

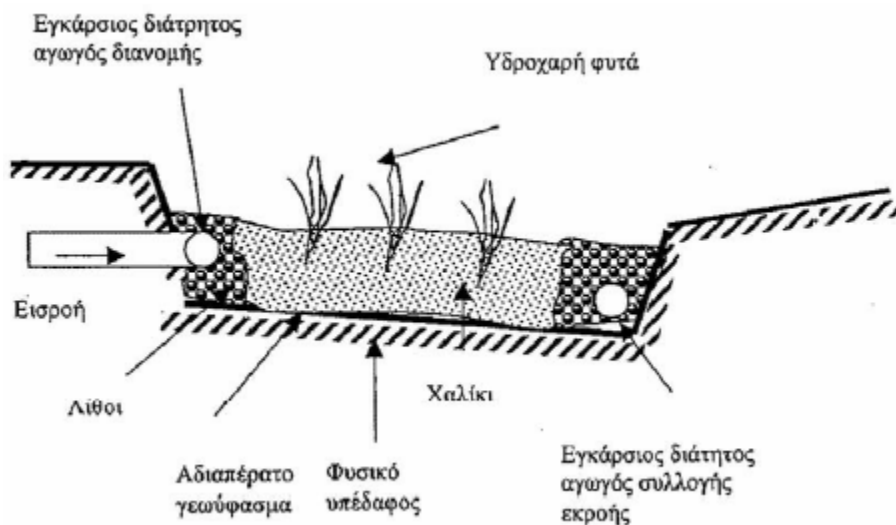
Για την επεξεργασία ρυπασμένων υδάτων έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί δύο τύποι τεχνητών υγρότοπων:

- Τεχνητοί υγρότοποι ελεύθερης επιφάνειας ή επιφανειακής ροής (free water surface wetland- FWS) (Σχ. 3.15).
- Τεχνητοί υγρότοποι υπόγειας ροής (subsurface flow wetland- SFS) (Σχ.3.16).

Τα συστήματα επιφανειακής ροής αποτελούνται, συνήθως, από παράλληλες λεκάνες, κανάλια ή τάφρους με αδιαπέρατους πυθμένες, με αναφυόμενη φυτική βλάστηση και μικρό βάθος νερού (0,1 ως 0,6 μέτρα). Σε τέτοια συστήματα εφαρμόζονται προ-επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η περαιτέρω επεξεργασία τους διενεργείται, καθώς η εφαρμοζόμενη παροχή ρέει με μικρή ταχύτητα δια μέσου των στελεχών των ριζωμάτων της υφιστάμενης φυτικής βλάστησης και του υφιστάμενου υποστρώματος.



Σχήμα 3.15: Τεχνητός υγρότοπος επιφανειακής ροής



Σχήμα 3.16: Τεχνητός υγρότοπος υπόγειας ροής

Τα συστήματα υπόγειας ροής καλούνται και συστήματα «ριζόσφαιρας» και αναπτύσσονται μέσα σε κανάλια ή τάφρους με σχετικά στεγανούς πυθμένες που περιέχουν χαλίκια ή άλλα στερεά μέσα για την υποστήριξη της αναπτυσσόμενης (επιφανειακά) φυτικής βλάστησης.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματά των τεχνητών υγρότοπων είναι η αποτελεσματικότητά τους στην απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου και των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα απόβλητα, η συμβολή τους στην αισθητική αναβάθμιση του περιβάλλοντος χώρου, οι μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια, μηχανολογικό εξοπλισμό και ειδικευμένο προσωπικό, καθώς επίσης και το χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησής τους.

Η ικανότητα διαφόρων φυτών, κυρίως καλαμιών να επεξεργάζονται απόβλητα προκύπτει από την ικανότητά τους να μεταφέρουν οξυγόνο στα ριζώματά τους, που προκαλεί την ανάπτυξη αερόβιων βακτηρίων στην περιοχή που τα περιβάλλει. Δημιουργούνται έτσι οξειδωτικές ζώνες κοντά στις ρίζες, ενώ μακριά από αυτές

επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Το μωσαϊκό οξειδωτικών - ανοξικών ζωνών που δημιουργείται επιτρέπει σε αερόβιες και αναερόβιες διεργασίες να αποδομήσουν οργανικές ουσίες και άλλους ρύπους. Ένας άλλος αριθμός ρύπων (κυρίως μετάλλων) κατακρατείται ή απορροφάται από τα ίδια τα φυτά.

Αποτελεί καινοτόμο μέθοδο με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, τόσο ως μετά-επεξεργασία ιλύων όσο και στραγγισμάτων ΧΥΤΑ, ιδιαίτερα για τις θερμές μεσογειακές συνθήκες (ήπιοι χειμώνες, έλλειψη συνθηκών παγετού).

3.3 ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Στερεά Απόβλητα ή Λύματα παράγονται από διάφορες πηγές όπως:

- Αστικά κέντρα-σκουπίδια σπιτιών, νοσοκομείων, σχολείων
- Βιομηχανίες επεξεργασίας τροφίμων & ποτών
- Γεωργία-υπολείμματα καλλιεργειών που ολοκληρώθηκαν και συγκομίσθηκαν και περιλαμβάνουν φύλλα, βλαστούς, καρπούς καθώς και άλλα φυτικά μέρη.
- Κτηνοτροφία & Πτηνοτροφία-ακαθαρσίες και κόπρανα των κτηνοτροφικών μονάδων

Οι βασικές μέθοδοι επεξεργασίας στερεών αποβλήτων είναι:

- Υγειονομική Ταφή (Χ.Υ.Τ.Α) -Landfilling
- Κομποστοποίηση-Composting
- Αναερόβια χώνευση –Anaerobic Digestion
- Αποσύνθεση από σκώληκες-Vermicomposting
- Θερμική Επεξεργασία

3.3.1 Κομποστοποίηση (Composting)

Η αερόβια αποσύνθεση των αποβλήτων βιολογικής προέλευσης χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων, άχυρου και λοιπών αγροτικών αποβλήτων.

Στην κομποστοποίηση τα οργανικά συστατικά των απορριμμάτων αποσυντίθενται από μικτούς πληθυσμούς μικροοργανισμών υπό υγρές, θερμές και αερόβιες συνθήκες.

Σε αντίθεση με την αναερόβια αποσύνθεση των απορριμμάτων κατά την ταφή τους που είναι αργή διαδικασία και συνοδεύεται από παραγωγή μεθανίου, η αερόβια αποσύνθεση είναι ταχύτερη διαδικασία που πραγματοποιείται παρουσία οξυγόνου. Η κομποστοποίηση στερεών αποβλήτων αποτελεί την βασικότερη εναλλακτική λύση για αντικατάσταση των Χ.Υ.Τ.Α. .

Χώρες όπως η Ολλανδία και η Γερμανία έχουν απαγορεύσει την ταφή των σκουπιδιών. Στην Ολλανδία τα βιοδιασπώμενα αστικά απορρίμματα κομποστοποιούνται κατά 90% με παραγωγή 1.4 εκατ. τόνων κομπόστας κάθε χρόνο. Στην Γερμανία παράγονται περίπου 6.3 εκατ. τόνων compost κάθε χρόνο.

Η διαδικασία διαχωρίζεται σε τέσσερα στάδια:

- **Αρχικό Στάδιο (Latent Phase):** Μικροοργανισμοί αποικίζουν, αναπτύσσονται και προσαρμόζονται στο υπόστρωμα και στις συνθήκες. (θερμοκρασία 20-22°C).
- **Στάδιο Ανάπτυξης (Growth Phase):** Οι μικροοργανισμοί αναπτύσσονται και πολλαπλασιάζονται με συνέπεια την αύξηση του ρυθμού αναπνοής και κατά συνέπεια αύξηση της θερμοκρασίας σε μεσοφιλικά επίπεδα (θερμοκρασία 22-40°C).
- **Θερμόφιλο Στάδιο (Thermophilic phase):** Η θερμοκρασία αυξάνεται με αποτέλεσμα την επικράτηση θερμοφίλων οργανισμών και θάνατο των παθογόνων. Στο τέλος του σταδίου η θερμοκρασία πέφτει στους 40°C. (θερμοκρασία 40-60°C).
- **Στάδιο Ωρίμανσης (Maturation phase):** Βραδεία φάση όπου η θερμοκρασία σταδιακά μειώνεται σε φυσιολογικά επίπεδα και η δράση των μικροοργανισμών στο εσωτερικό της κομπόστας μειώνεται.

Στο στάδιο ανάπτυξης επικρατούν μεσοφιλικά βακτήρια που αρχίζουν την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των απορριμμάτων με παράλληλη παραγωγή CO₂ μέχρι η θερμοκρασία να φθάσει τους 40°C.

Στο θερμομόφιλο στάδιο η παραγωγή CO₂ προσωρινά διακόπτεται και ξεκινά ξανά με την επικράτηση των θερμοφίλων βακτηρίων μέχρι η θερμοκρασία να φτάσει τους 70-75 °C οπότε και πεθαίνουν.

Στο στάδιο ωρίμανσης με την πτώση της θερμοκρασίας επικρατούν και πάλι μεσόφιλα βακτήρια αλλά κυρίως ακτινομύκητες και νιτροποιητικά βακτήρια. Οι ακτινομύκητες αποσυνθέτουν κυτταρίνη και ημικυτταρίνη ενώ τα νιτροποιητικά βακτήρια *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* που χρειάζονται χρόνο για να αναπτυχθούν μετατρέπουν τα αμμωνιακά ιόντα σε νιτρικά.

Η αποτελεσματικότητα της κομποστοποίησης μπορεί να αυξηθεί με:

- Προσθήκη θρεπτικών ουσιών όπως άζωτο (N) και φώσφορο (P) για επιτάχυνση της ανάπτυξης των μικροοργανισμών.
- Εμβολιασμό με υδρολυτικούς μικροοργανισμούς ή υδρολυτικά ένζυμα για επιτάχυνση του πρώτου σταδίου.
- Προετοιμασία των απορριμμάτων ώστε να είναι σε κατάσταση ιδανική για αποσύνθεση δηλαδή ανάμιξη ώστε να πάρουμε απόβλητα με C:N 20-25 ή άλεση σε υλικά κατάλληλου διαμετρήματος που θα προσδώσουν μεγαλύτερη επιφάνεια για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών και καλό αερισμό.

Ο λόγος C:N θεωρείται ως μέτρο καταλληλότητας των αποβλήτων για κομποστοποίηση. Τιμές > 30 πιθανότατα αναστέλλουν την διαδικασία λόγω έλλειψης N για τους μικροοργανισμούς ενώ τιμές < 25 οδηγούν σε παραγωγή NH₄, άσχημης οσμής και αναστολή της διαδικασίας.

Η ολοκλήρωση της κομποστοποίησης και η ποιότητα της παραγόμενης κομπόστας εκτιμάται με την χρήση διαφόρων θρεπτικών και μικροβιολογικών παραμέτρων όπως:

1. **Λόγος C/N:** Όταν ο λόγος C/N φθάσει περίπου την τιμή 15 τότε η κομπόστα που έχει παραχθεί είναι καλής ποιότητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενσωμάτωση σε αγροτικά εδάφη.
2. **N-P-K:** Περιεκτικότητα σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο για να διαπιστωθεί η καταλληλότητα της ως οργανικό λίπασμα.

3. Μικροβιολογικές μετρήσεις: Στηρίζονται στην μέτρηση των πληθυσμών 6 κύριων ομάδων μικροοργανισμών στην κομπόστα .

Παράμετροι που επηρεάζουν την Κομποστοποίηση είναι:

- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία
- Το pH
- Ο διαμερισμός των στερεών αποβλήτων
- Η φυσική κατάσταση των αποβλήτων
- Ο χρόνος διάρκειας της διεργασίας

Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά την διάρκεια των διαφόρων σταδίων της κομποστοποίησης και έτσι καθορίζεται το είδος των μικροοργανισμών που είναι υπεύθυνοι για την αποσύνθεση. Η θερμοκρασία πρέπει να φθάσει τουλάχιστον τους 60°C ώστε να θανατωθούν παθογόνοι οργανισμοί όπως *Salmonella*, *Escherichia coli* και το σύνολο των σπόρων των ζιζανίων αλλά δεν πρέπει να υπερβεί τους 75°C ώστε να μην προκληθεί μη-αντιστρεπτή καταστροφή της μικροχλωρίδας του συστήματος.

Η optimum υγρασία για επιτυχή κομποστοποίηση είναι γύρω στο 60% αλλά υγρασία μεταξύ 40-70% είναι ικανοποιητική για την πορεία της διεργασίας. Υγρασία 25-30% είναι χαμηλή και η διαδικασία επιβραδύνεται σταδιακά μέχρι την οριστική αναστολή της. Υγρασία > 75% ίσως να δημιουργήσει προβλήματα αερισμού και αναερόβιες συνθήκες στο εσωτερικό του συστήματος. Η υγρασία στο εσωτερικό του συστήματος θα πρέπει να ελέγχεται διότι αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας και ξήρανση του συστήματος.

Το pH μεταβάλλεται στα διάφορα στάδια κομποστοποίησης:

- Στα αρχικά στάδια το pH κυμαίνεται από 5-7
- Στο στάδιο ανάπτυξης, όταν και αυξάνονται τα μεσόφιλα βακτήρια, παρατηρείται μείωση του pH < 5 λόγω διάσπασης της οργανικής ύλης προς απλά οργανικά οξέα
- Στο θερμοφιλικό στάδιο παρατηρείται αύξηση του pH (8-8.5)
- Στο στάδιο ωρίμανσης παρατηρείται ελαφρά μείωση του pH σε τιμές 7-8

Η ανάμιξη των αποβλήτων είναι μια συνηθισμένη πρακτική ώστε να δημιουργήσουμε ένα ισορροπημένο ομογενές μίγμα αποβλήτων (με επιθυμητές τιμές C/N και υγρασίας) που μπορεί να διασπασθεί ταχύτερα και αποτελεσματικότερα από ότι το κάθε συστατικό ξεχωριστά. Αυτό συμβαίνει συνήθως με την ενεργοποιημένη βιομάζα και την κοπριά ζωικής προέλευσης. Βεβαίως θα πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο η ανάμιξη αποβλήτων διαφορετικής φύσης και ποιότητας να δημιουργήσει προβλήματα όπως παραγωγή τοξικών ουσιών ή αερίων.

Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διεργασίας κομποστοποίησης εξαρτάται από όλους τους προηγούμενους παράγοντες. Η επεξεργασία απορριμμάτων τροφών ή κηπουρικής μπορεί να επιτευχθεί σε 3 μήνες σε συστήματα in-vessel ή windrow αλλά μπορεί να χρειασθούν ακόμη και 12 μήνες για την επεξεργασία του ίδιου υποστρώματος σε static pile system.

Τα προϊόντα της κομποστοποίησης χρησιμοποιούνται ως προσθετικά εδάφους για να βελτιώσουν την θρεπτική κατάσταση των εδαφών. Έλεγχος της

σύστασης της κομπόστας πριν την εφαρμογή της στον αγρό είναι απαραίτητη διότι πολλές φορές η διαδικασία ίσως να μην ήταν αποτελεσματική με συνέπεια την παραγωγή compost που περιέχει παθογόνα, υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων ή τοξικών ουσιών.

Υπάρχουν δύο βασικά είδη συστημάτων κομποστοποίησης τα οποία είναι:

- Σύστημα Ατομικής Κομποστοποίησης (Homecomposting). Συνήθως εφαρμόζεται στους κήπους κατοικιών σε μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία που παραδίδονται από τις τοπικές αρχές. Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι ότι ο κάτοχος γνωρίζει τι εναποθέτει στο σύστημα και επίσης έχει άμεσο έλεγχο της διεργασίας. Το βασικό μειονέκτημα είναι ότι η καλή λειτουργία του εναποτίθεται στην καλή διάθεση του κάθε κατοίκου.
- Σύστημα Κεντρικής Κομποστοποίησης (Centralized composting). Οι βασικές αρχές είναι ταυτόσημες με το προηγούμενο σύστημα αλλά ο όγκος των αποβλήτων που πρέπει να επεξεργασθούν καθιστά απαραίτητη την δημιουργία πιο εξελιγμένων κατασκευών όπου η ανάμιξη και ο καλός αερισμός είναι απαραίτητος για την επιτυχία της μεθόδου. Μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η αδυναμία ελέγχου του περιεχομένου των αποβλήτων με αποτέλεσμα την εισροή και υλικών που δεν βιο-διασπώνται όπως πλαστικά.

Κανένα από τα συστήματα κεντρικής κομποστοποίησης δεν είναι το ιδανικό για όλες τις περιπτώσεις και η επιλογή κάθε φορά εξαρτάται από:

- Την φύση και την ποιότητα των αποβλήτων
- Την απαιτούμενη ποιότητα των προϊόντων
- Το διαθέσιμο χρόνο για την ολοκλήρωση της διαδικασίας
- Τη διαθεσιμότητα χώρου και εργασίας
- το κόστος

Οι κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την κομποστοποίηση στερεών αποβλήτων στα συστήματα κεντρικής κομποστοποίησης είναι:

- Μέθοδος Αναδευομένων Σωρών (Windrow)
- Μέθοδος Στατικών Σωρών (Static Pile)
- Μέθοδος Tunnel
- Μέθοδος Περιστρεφόμενου Τυμπάνου (Rotary Drum)
- Μέθοδος Κλειστού Αντιδραστήρα (In-Vessel)

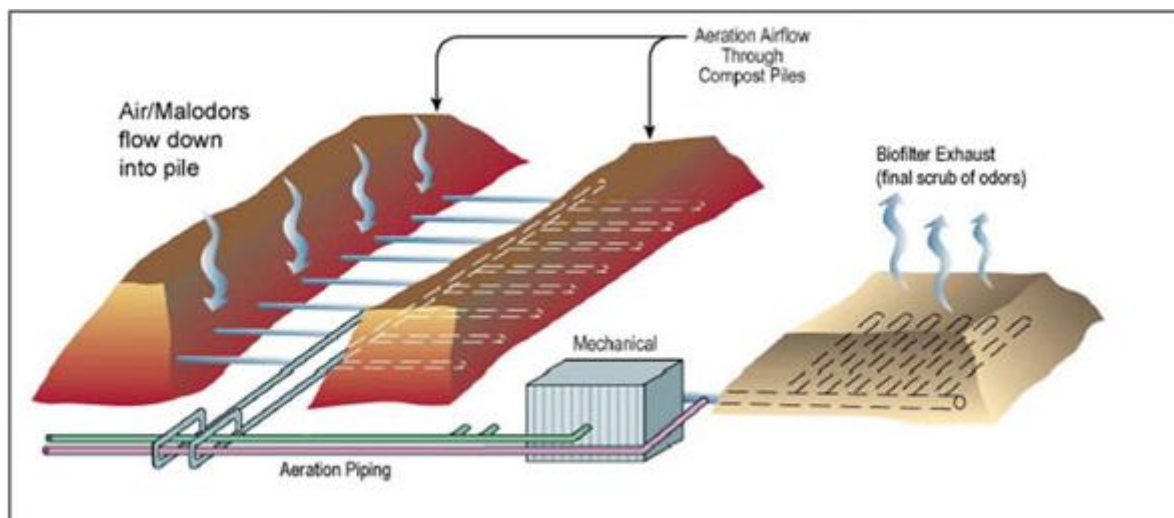
Ø Μέθοδος αναδευόμενων Σωρών (Windrow Composting). Αποτελεί το απλούστερο ανοιχτό σύστημα κομποστοποίησης (σχ.3.17). Τα απορρίμματα αποτίθενται σε σωρούς (συράδια) και συνήθως καλύπτονται από στρώμα άχυρου. Ο αερισμός και ανάμιξη του συστήματος επιτυγχάνεται με γύρισμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα που είναι πιο συχνά στα πρώτα στάδια της διεργασίας όταν οι ανάγκες σε αερισμό είναι υψηλές. Εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα χωρίς κάλυψη από καιρικά φαινόμενα καθώς δεν δημιουργούν προβλήματα έκπλυσης καθώς τοποθετούνται επάνω σε τσιμεντένιες βάσεις όπου η έκπλυση μπορεί να ελεγχθεί.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου αναδευόμενων σωρών είναι το ότι είναι απλό σύστημα στην χρήση και το χαμηλό κόστος συντήρησης. Μειονεκτήματα είναι η μεγάλη επιφάνεια που καταλαμβάνουν οι σωροί, η συχνή ανακίνηση των υλικών και η παραγωγή ενοχλητικών οσμών.

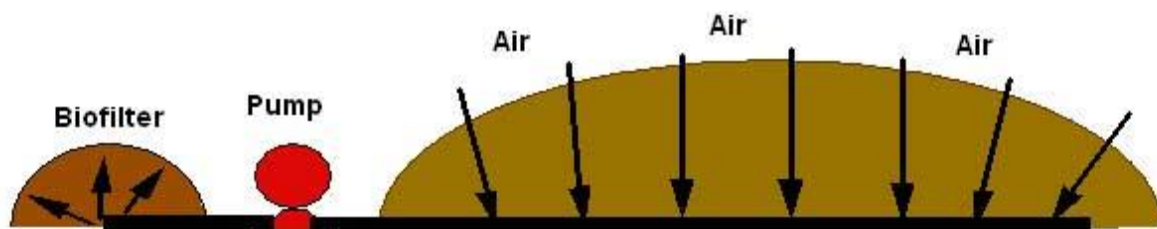


Σχήμα 3.17: Μέθοδος αναδευόμενων σωρών (Windrow Composting)

Ø **Μέθοδος Στατικών Σωρών (Static pile method).** Παρόμοιο σύστημα με το Windrow με την διαφορά ότι δεν έχουμε ανάδευση ή γύρισμα των υλικών. Ο απαραίτητος αερισμός του συστήματος εξασφαλίζεται από συστήματα αερισμού που διοχετεύουν με αέρα όλη την μάζα των αποβλήτων όπως φαίνεται στο σχήμα 3.18 και 3.19.



Σχήμα 3.18: Σύστημα αερισμού στατικών σωρών



Σχήμα 3.19: Σύστημα αερισμού στατικών σωρών

Ø **Σύστημα Τούνελ (Tunnel Composting).** Συστήματα που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παρασκευή compost που χρησιμοποιείται ως υπόστρωμα στην

καλλιέργεια μανιταριών. Αποτελούνται από τούνελ διαστάσεων π.χ. 33 x 3 x 3 m το οποίο γεμίζεται με μίγμα άχυρου, κοπριά από άλογα και πτηνά, βλαστούς καλαμποκιού και αλεσμένους σπόρους βαμβακιού σε ύψος 2.5 m. Το σύστημα αερίζεται από αεραγωγούς που βρίσκονται κατά μήκος του πατώματος του τούνελ εξασφαλίζοντας τον απαραίτητο αερισμό για την μικροβιακή δράση. Ο αέρας ανακυκλώνεται συνεχώς και η κατάσταση στο εσωτερικό του συστήματος ελέγχεται με ηλεκτρονικά μέσα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα επέμβασης στην περίπτωση προβλήματος.

Ø Σύστημα Περιστρεφόμενου Τύμπανου (Rotary Drum System).

Χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία μιγμάτων όπως ενεργοποιημένη βιομάζα με ινώδη υλικά όπως άχυρο, φυτικά υπολείμματα ή απορρίμματα κηπουρικής. Τα στερεά απόβλητα τοποθετούνται στο εσωτερικό δοχείου από ασάλι (εικ. 3.4, 3.5) το οποίο είναι μονωμένο για τον περιορισμό απωλειών θερμοκρασίας και το οποίο περιστρέφεται αργά. Η περιστροφή βοηθά στον αερισμό και την ανάδευση του υλικού.

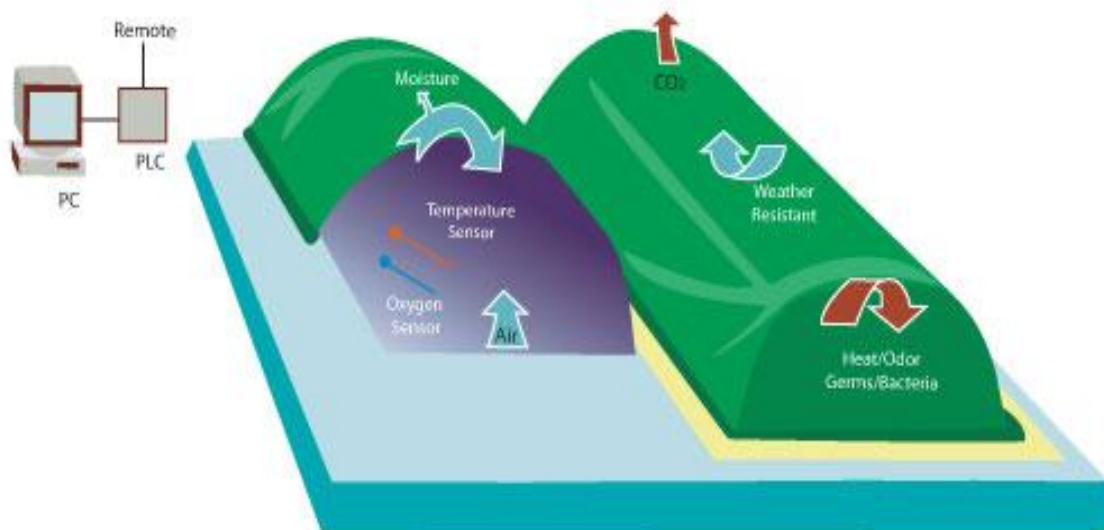


Εικόνα 3.4: Σύστημα περιστρεφόμενου τυμπάνου



Εικόνα 3.5: Εσωτερικό του περιστρεφόμενου τυμπάνου

Ø Μέθοδος Κλειστού Αντιδραστήρα (In-Vessel). Ονομάζονται και closed reactor διότι τα απόβλητα διασπώνται στο εσωτερικό κλειστών δοχείων όπου οι συνθήκες ελέγχονται με ακρίβεια (σχ. 3.20). Είναι συνήθως η καλύτερη λύση όταν δεν υπάρχει επάρκεια χώρου αλλά η χρήση μηχανικών μέσων για τον αερισμό αυξάνει το κόστος χρήσης αυτού του συστήματος. Δεν χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου πρέπει να επεξεργασθούν σημαντικές ποσότητες αποβλήτων λόγω των μικρών διαστάσεων του.



Σχήμα 3.20: Κλειστός αντιδραστήρας (In-Vessel)

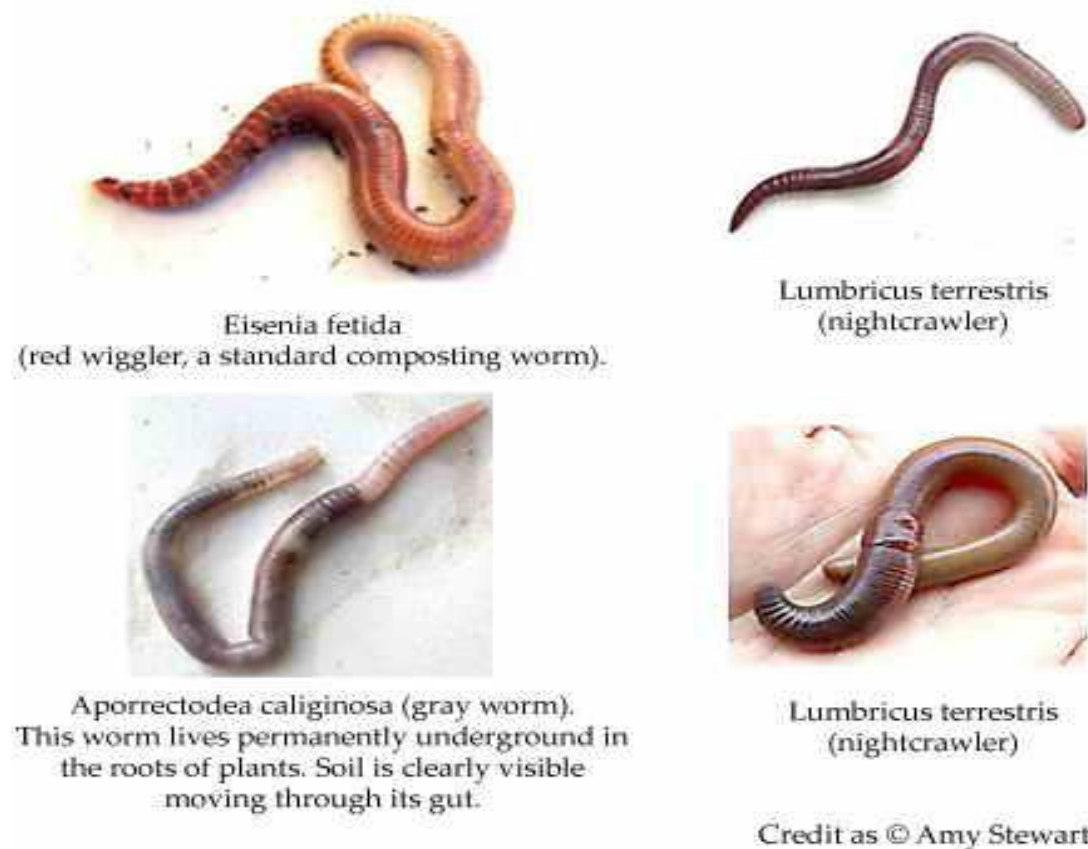
3.3.2 Αποσύνθεση από Σκώληκες (Annelidicconversion ή Vermicomposting)

Η αποσύνθεση από σκώληκες σαν μέθοδος παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες αλλά και διαφορές με το composting. Οι σκώληκες είναι κυρίως υπεύθυνοι για την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας των απορριμμάτων ενώ οι μικροοργανισμοί συμμετέχουν αλλά σε δεύτερο ρόλο. Στο συγκεκριμένο σύστημα τα απορρίμματα απλώνονται σε λεπτά στρώματα ώστε να εξασφαλίζονται ιδανικές συνθήκες αερισμού και θερμοκρασίας για τους σκώληκες.

Βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσει το σύστημα είναι η εξασφάλιση ιδανικών συνθηκών για την ανάπτυξη των σκωλήκων:

- Θερμοκρασία: βέλτιση 18-25°C
- Υγρασία: Υπερβολική υγρασία προκαλεί προβλήματα αερισμού και οι σκώληκες πιθανότατα θα εγκαταλείψουν το σύστημα για ξηρότερες συνθήκες
- Αερισμός: Καλός αερισμός εξασφαλίζεται καθώς τα απορρίμματα τοποθετούνται σε λεπτά στρώματα οπότε ο αερισμός με διάχυση είναι ικανοποιητικός.

Υπάρχουν αρκετά είδη σκωλήκων που χρησιμοποιούνται σε αυτά τα συστήματα (εικ. 3.6) αλλά οι κόκκινοι σκώληκες έχουν βρει μεγαλύτερη εφαρμογή λόγω της ικανότητας τους να τρέφονται άμεσα από την οργανική ύλη των απορριμμάτων για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους.



Εικόνα 3.6: Σκώληκες που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία στερεών αποβλήτων.

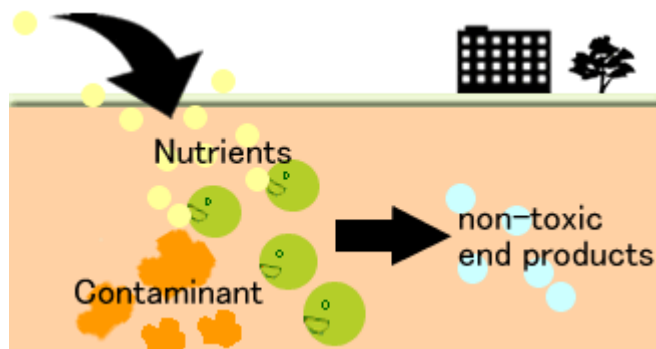
Μερικά από τα πλεονεκτήματα της επεξεργασίας από σκώληκες είναι η μείωση του όγκου των απορριμμάτων κατά περίπου 70% και η παραγωγή ενός σταθερού προϊόντος που περιέχει κάλιο (K), άζωτο (N), φώσφορο (P) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα.

3.4 ΑΠΟΡΡΥΠΑΝΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Υπάρχουν δυο μέθοδοι επεξεργασίας του εδάφους και των υπογείων υδάτων, η επιτόπου επεξεργασία στον αρχικό χώρο (in-situ) και η μεταφορά για επεξεργασία σε κάποιο διαφορετικό χώρο (ex-situ). Η δεύτερη μέθοδο όπου η επεξεργασία γίνεται σε διαφορετικό χώρο περιλαμβάνει την αφαίρεση του χώματος (εδάφους) και των υπογείων υδάτων (με σύστημα άντλησης) και επεξεργασία στην επιφάνεια. Το χώμα μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί για λίπασμα ή σαν ειδικό μείγμα σε βιοαντιδραστήρες. Τα υπόγεια ύδατα επεξεργάζονται σε βιοαντιδραστήρες και αντλούνται πίσω στο έδαφος ή μεταφέρονται στη θάλασσα.

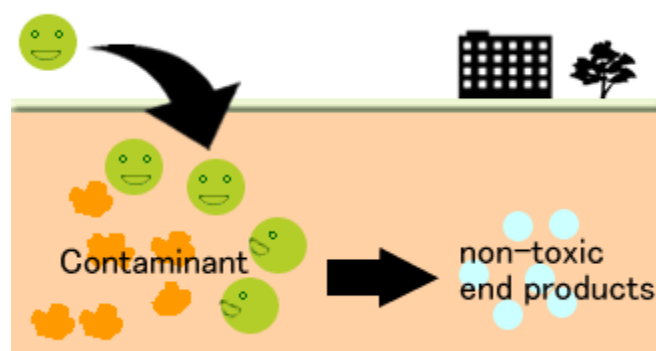
Η βιοαποκατάσταση του εδάφους είναι συχνά η φτηνότερη από τις φυσικές μεθόδους και τα προϊόντα της είναι άκακα αν γίνει πλήρης επεξεργασία. Ωστόσο η βιοαποκατάσταση μπορεί να είναι χρονοβόρα για εδάφη μέσα σε πόλεις. Η επιτόπου αποκατάσταση του εδάφους σε σταθμούς υγρών καυσίμων είναι πολύ συνηθισμένη πρακτική καθώς επίσης και για εδάφη που περιέχουν χλωριωμένους διαλυτές όπως τριχλωριοεθυλένιο και τετραχλωροαιθυλένιο. Η δυνατότητα εφαρμογής της επιτόπου αποκατάστασης είναι και πιθανώς θα παραμείνει εξαρτημένη από τις φυσικές παραμέτρους του εδάφους και την δυνατότητα μεταφοράς του. Η βιολογική απορρύπανση των εδαφών μπορεί να γίνει με τις παρακάτω τεχνικές :

Ø Βιολογική ενεργοποίηση (Biostimulation). Η ενεργοποίηση της ενδογενούς μικροβιακής κοινότητας του εδάφους ώστε να μεγιστοποιηθεί η αποδομητική της ικανότητα. Η εφαρμογή περιλαμβάνει προσθήκη θρεπτικών συστατικών (σχ.3.21), βελτιστοποίηση του αερισμού και διατήρηση της θερμοκρασίας και υγρασίας σε ιδανικά επίπεδα ώστε να δημιουργηθούν ιδανικές συνθήκες για την αύξηση και ανάπτυξη των ενδογενών μικροοργανισμών. Στηρίζεται στην παρουσία, σε ρυπασμένες περιοχές, μικροοργανισμών που έχουν την ικανότητα να αποδομούν τους ρύπους και να τους χρησιμοποιούν για αύξηση και ανάπτυξη τους. Προτιμάται για την αποκατάσταση περιοχών που έχουν εκτεθεί σε πολλαπλές χρήσεις και συνεπώς περιέχουν μίγμα διαφόρων ρύπων. Σε τέτοιες περιοχές οι ρύποι βρίσκονται συνήθως σε συγκεντρώσεις από μέτριες ως υψηλές και δεν υπάρχει πίεση χρόνου για αποκατάσταση των ρυπασμένων υλικών.



Σχήμα 3.21: Βιολογική ενεργοποίηση με προσθήκη θρεπτικών ουσιών

∅ Βιολογική προσθήκη (Bioaugmentation). Είναι η προσθήκη εξωγενών μικροοργανισμών (σχ. 3.22) με αυξημένη καταβολική ικανότητα με στόχο την επιτάχυνση της αποδόμησης των ρύπων. Η προσθήκη καταβολικών μικροοργανισμών χρησιμοποιείται είτε ως επικουρική μέθοδος ώστε να βοηθήσει την αποδομητική δραστηριότητα της ενδογενούς μικροβιακής κοινότητας είτε ως αυτοδύναμη μέθοδος με την προσθήκη σημαντικού πληθυσμού μικροοργανισμών που θα πρέπει να ανταγωνισθούν με την ενδογενή μικροβιακή κοινότητα για χώρο και υποστρώματα. Οι ιδανικοί μικροοργανισμοί για βιολογική προσθήκη πρέπει να έχουν γρήγορη δράση, μικρή υπολειμματικότητα στο έδαφος, κινητικότητα στο έδαφος, ανθεκτικότητα σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, χαμηλό κόστος μαζικής παραγωγής και ευρύ φάσμα αποδομητικής ικανότητας. Οι μικροοργανισμοί αυτοί μπορούν να προέρχονται από ενδογενείς μικροοργανισμούς οι οποίοι έχουν απομονωθεί από το ρυπασμένο έδαφος, εξωγενείς μικροοργανισμούς ή κοινότητες (consortia) μικροοργανισμών που έχουν απομονωθεί από άλλο έδαφος ή περιβάλλον και από Ενδογενείς ή εξωγενείς μικροοργανισμούς οι οποίοι έχουν γενετικώς τροποποιηθεί για την διάσπαση των ρύπων. Βιολογική προσθήκη μπορεί να γίνει όταν: α) η συγκέντρωση των ρύπων είναι πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή, β) απαιτείται άμεση απορρύπανση της περιοχής, γ) οι ρύποι είναι ιδιαίτερα τοξικοί, δ) διαπιστωμένη απουσία ενδογενών μικροοργανισμών που μπορούν να επιφέρουν διάσπαση των ρύπων.



Σχήμα 3.22: Βιολογική προσθήκη.

Ø Προσθήκη εξωγενών καταβολικών ενζύμων. Τα προβλήματα εφαρμογής που παρουσιάζουν οι βιολογικές μέθοδοι απορρύπανσης όπου προστίθενται αυτούσιοι μικροοργανισμοί μπορούν να λυθούν με την εφαρμογή αυτούσιων ενζύμων. Ενζυμικά καταβολικά συστήματα εξειδικευμένα στην αποδόμηση οργανικών ρύπων έχουν απομονωθεί από πλήθος μικροοργανισμών και η πειραματική εφαρμογή τους για την απορρύπανση εδαφών έχει παρουσιάσει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Βασικό πρόβλημα είναι η έλλειψη μεθόδων και τεχνολογιών εφαρμογής ώστε να μεγιστοποιηθεί η επαφή των ενζύμων με το υπόστρωμα-ρύπτο στο περιβάλλον.

Ø Φυτοεξυγίανση (Phytoremediation). Η βιοαποκατάσταση που χρησιμοποιεί φυτά ονομάζεται φυτοεξυγίανση. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται ήδη για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από μολυσμένα εδάφη και υπόγεια ύδατα και συνεχίζει να εξελίσσεται για την αποκατάσταση άλλων ρυπών. Η συνδυασμένη χρήση φυτών και βακτηριδίων είναι επίσης δυνατή. Ορισμένα βακτηρία ζουν εξαρτημένα από ουσίες που υπάρχουν στις ρίζες των φυτών. Ριζοβακτήρια (rhizobacteria) υπάρχουν πολύ περισσότερα από τα υπόλοιπα βακτήρια που υπάρχουν στο έδαφος και με γενετική τροποποίηση μπορούν να διασπούν τους ρύπους.

Παραδείγματα Βιολογικής ενεργοποίησης-Βιολογικής προσθήκης:

Kelly Air Force base: Εφαρμογή θρεπτικών στοιχείων (βιολογική ενεργοποίηση) οδήγησε σε περιορισμένη απομάκρυνση των χλωριωμένων οργανικών διαλυτών που αποτελούσαν τους κυρίως ρύπους. Εμβολισμός με εξωγενείς μικροοργανισμούς (*Dehalococcoides*) οδήγησε σε αυξημένη απομάκρυνση των ρύπων.

Vandenberg air force base: Έδαφος ρυπασμένο με υψηλές συγκεντρώσεις αποκαταστάθηκε με την εφαρμογή βιοενεργοποίησης (διάχυση O₂ στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα) και βιοπροσθήκης (προσθήκη βακτηρίων *Methylobium petroleophilum*).

3.4.1 Φυτοεξυγίανση (Phytoremediation)

Τα τελευταία χρόνια, η εφαρμογή αναλυτικών τεχνικών υψηλής ακρίβειας στον τομέα της περιβαλλοντικής ανάλυσης, παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του περιβάλλοντος στο οποίο ζούμε καθώς είναι δυνατή η ανίχνευση ουσιών σε πάρα πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Η σύγχρονη κοινωνία παράγει και χρησιμοποιεί ένα εντυπωσιακό αριθμό οργανικών χημικών ουσιών και οι ποσότητες αυτές συνεχώς αυξάνουν. Οι ουσίες αυτές αναφέρονται ως *ξενοβιοτικές* (Xenobiotics), δηλώνοντας με το όρο αυτό ότι δεν υπάρχουν και δεν συντίθενται στο φυσικό περιβάλλον.

Παρά το γεγονός ότι πολλές από τις ουσίες αυτές καταναλώνονται ή καταστρέφονται, ένα ορισμένο ποσοστό τους ελευθερώνεται στο έδαφος και το υπόγειο νερό (Πίνακας 3.1). Αρκετές από τις ουσίες αυτές είναι τοξικές για τον άνθρωπο ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις και ορισμένες από αυτές είναι δυνατόν να διατηρηθούν στο έδαφος και το υπόγειο νερό για πολλά χρόνια αποτελώντας σημαντικό περιβαλλοντικό κίνδυνο. Η παρουσία αυτών των ουσιών και η τοξικότητά τους αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την εφαρμογή τεχνολογιών

εξυγίανσης (Remediation Technologies). Στόχος των τεχνολογιών αυτών είναι είτε η εξολοκλήρου απομάκρυνση είτε η μείωση σε αποδεκτά επίπεδα των τοξικών ουσιών.

Πίνακας 3.1: Κατάταξη των πηγών ρύπανσης εδαφών και υπόγειων υδάτων

Κατηγορία ενώσεων	Τυπικές τοποθεσίες	Κινητικότητα	Τοξική δράση
Αγροχημικά	Βιομηχανίες Αγροτικές εκμεταλλεύσεις	Χαμηλή	Καρκίνος, ασθένειες του νευρικού συστήματος
Βενζίνη και Πετρέλαιο	Διυλιστήρια, Πρατήρια, Στρατιωτικές βάσεις	Μέτρια ως Χαμηλή	Καρκινογενέσεις
Διαλύτες	Βαφεία αυτοκινήτων, Στρατ. Βάσεις	Υψηλή ως μέτρια	Καρκινογενέσεις
PAHs	Εργοστάσια	Μέτρια ως Χαμηλή	Καρκινογενέσεις
PCBs Διοξίνες	Εργοστάσια Χημική βιομηχανία	Χαμηλή Χαμηλή	Καρκίνος Καρκίνος

Η τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης, παρουσιάζει έντονο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, ως εναλλακτική μέθοδος εξυγίανσης ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων. Βασίζεται στη διαπίστωση ότι τα φυτά έχουν τη δυνατότητα να προσλαμβάνουν και να διασπούν τοξικές οργανικές και ανόργανες ουσίες, τόσο από το έδαφος όσο και από την ατμόσφαιρα και επομένως μπορούν, υπό προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθούν για την οικονομική αντιμετώπιση του προβλήματος της ρύπανσης.

Πέρα από τα προφανή άμεσα περιβαλλοντικά οφέλη, η ανάπτυξη βιοτεχνολογικών μεθόδων για την εξυγίανση περιβαλλοντικά υποβαθμισμένων περιοχών μπορεί να συμβάλει και στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής, καθώς μεγάλες εκτάσεις μολυσμένων περιοχών θα μπορούσαν να αποδοθούν με ασφάλεια στην καλλιέργεια.

Η φυτοεξυγίανση με τη χρήση συμβατικών καλλιεργούμενων φυτικών ειδών (αγρωστώδη, μηδική, ηλίανθος, καπνός κ.α.) έχει ήδη να επιδείξει ικανοποιητικά αποτελέσματα στις περιπτώσεις όπου απαιτείται απομάκρυνση ρυπαντών από μεγάλες εκτάσεις (εικ. 3.7). Η χρησιμοποίηση των παραπάνω φυτικών ειδών περιορίζεται μόνο στις περιπτώσεις όπου η συγκέντρωση των οργανικών ή ανόργανων ρυπαντών βρίσκονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Επιπλέον η καθιερωμένες πρακτικές, οι οποίες περιλαμβάνουν την συγκομιδή και την ταφή των παραπάνω καλλιεργούμενων φυτών, έχουν περιορίσει την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης, κυρίως λόγω του μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για την ικανοποιητική μείωση των επιπέδων των ρυπαντών. Σε πολλές περιπτώσεις το απαιτούμενο χρονικό διάστημα μπορεί να περιλαμβάνει πολλές καλλιεργητικές περιόδους.



Εικόνα 3.7 : Πειραματικός αγρός φυτοεξυγίανσης στον Καναδά

Οι απαντήσεις της βιοτεχνολογίας στις παραπάνω προκλήσεις και προβλήματα είναι πολύπλευρες και περιλαμβάνουν τόσο τη χρησιμοποίηση καταλληλότερων φυτικών ειδών (πολλές φορές σε συνεργασία με μικροοργανισμούς του εδάφους), όσο και την έρευνα με σκοπό την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων φυτών με βελτιωμένες ικανότητες φυτοεξυγίανσης.

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

Παρά το γεγονός ότι ο όρος Φυτοεξυγίανση είναι σχετικά πρόσφατος, η ιδέα της εφαρμογής της μεθόδου φαίνεται να είχε γίνει αντιληπτή πριν από αρκετούς αιώνες. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το πρώτο σύστημα επεξεργασίας αστικών λυμάτων βασιζόμενο στη χρήση φυτών λειτούργησε στη Γερμανία στις αρχές του 17^{ου} αιώνα.

Από τότε μέχρι σήμερα έχει επιτευχθεί σημαντική ανάπτυξη στην εφαρμογή διαφόρων τεχνικών ακόμα και σε επίπεδο εμπορικής κλίμακας, για την δευτερογενή επεξεργασία αστικών υδατικών αποβλήτων, με τη χρήση φυτών. Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν τη χρήση υδρόβιων και υδροχαρών φυτών για τη δημιουργία τεχνητών υγροβιότοπων (Constructed Wetlands), δεξαμενών σταθεροποίησης (Stabilization Ponds) και γενικότερα φυσικών συστημάτων επεξεργασίας. Οι ανωτέρω τεχνικές συνδυάζουν την οικονομική λειτουργία με την ικανοποιητική απόδοση στην απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών (SS), και θρεπτικών στοιχείων (πχ. άζωτο, φώσφορος).

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

Σημαντική ερευνητική δραστηριότητα παρουσιάζει και η δυνατότητα εξυγίανσης της ατμόσφαιρας με τη χρήση φυτών. Τα φύλλα των φυτών καλύπτονται με κηρώδεις ουσίες, στόχος των οποίων είναι η υδατική οικονομία εντός του φυτικού σώματος. Οι ουσίες αυτές ευνοούν την προσρόφηση λιποφιλικών πτητικών οργανικών ουσιών, όπως για παράδειγμα οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Με τον τρόπο αυτό τα φυτά συμβάλουν στον περιορισμό της συγκέντρωσης αυτών των ουσιών στην ατμόσφαιρα.

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

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

Η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης έχει αποδειχθεί, κυρίως μέσω εργαστηριακών πειραμάτων ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση τόσο οργανικών (Υδρογονάνθρακες πετρελαίου, διαλύτες, εντομοκτόνα), όσο και ανόργανων ρυπαντών (Βαρέα μέταλλα). Τα περισσότερα από τα πειράματα πεδίου εξακολουθούν να βρίσκονται σε εξέλιξη, με αποτέλεσμα να μην είναι πλήρως τεκμηριωμένη η εφαρμογή της Φυτοεξυγίανσης σε πραγματικές συνθήκες. Παρά το γεγονός ότι στην παρούσα φάση η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης δεν εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα, οι ερευνητές θεωρούν ότι πρόκειται για μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία εξυγίανσης με σημαντική δυναμική εξέλιξη. Λόγοι που ευνοούν την εφαρμογή της Φυτοεξυγίανσης είναι μεταξύ άλλων:

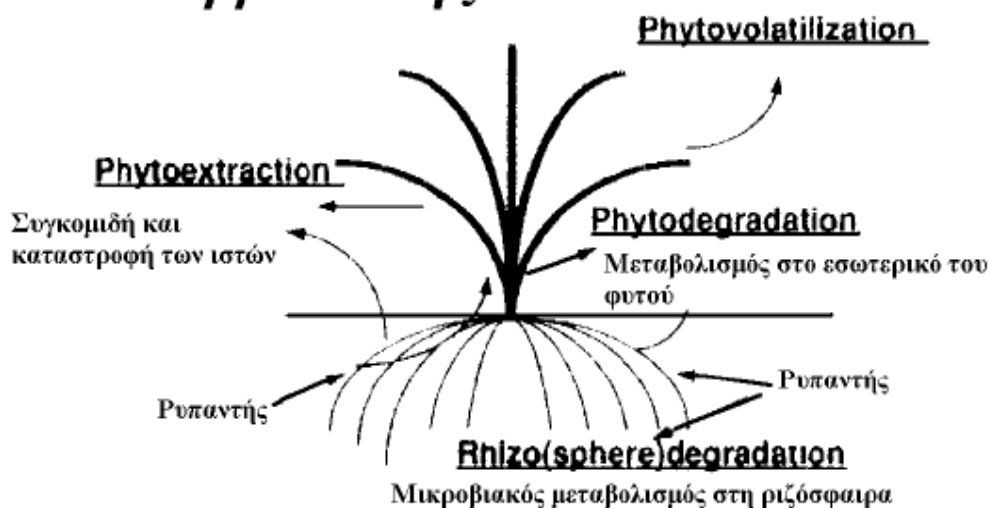
- Η επέκταση της επιστημονικής γνώσης σχετικά με το μεταβολισμό επικίνδυνων ρυπαντών και ιδιαίτερα των οργανικών ενώσεων.
- Η εύρεση νέων φυτικών ειδών που έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν ανθεκτικότητα σε διάφορους ρυπαντές.
- Η χρησιμοποίηση της γενετικής μηχανικής στη δημιουργία νέων μεταβολικών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

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

- § Φυτοαπορρύπανση (Phytodecontamination)
- § Φυτοσταθεροποίηση (Phytostabilization)

Η **φυτοαπορρύπανση**, περιλαμβάνει μηχανισμούς, με τη βοήθεια των οποίων, η συγκέντρωση του ρυπαντή στο έδαφος, το νερό και την ατμόσφαιρα μειώνεται σε αποδεκτά επίπεδα. Στο σχήμα 3.23 παρουσιάζονται οι μηχανισμοί που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν κατά τη διαδικασία της φυτοαπορρύπανσης.

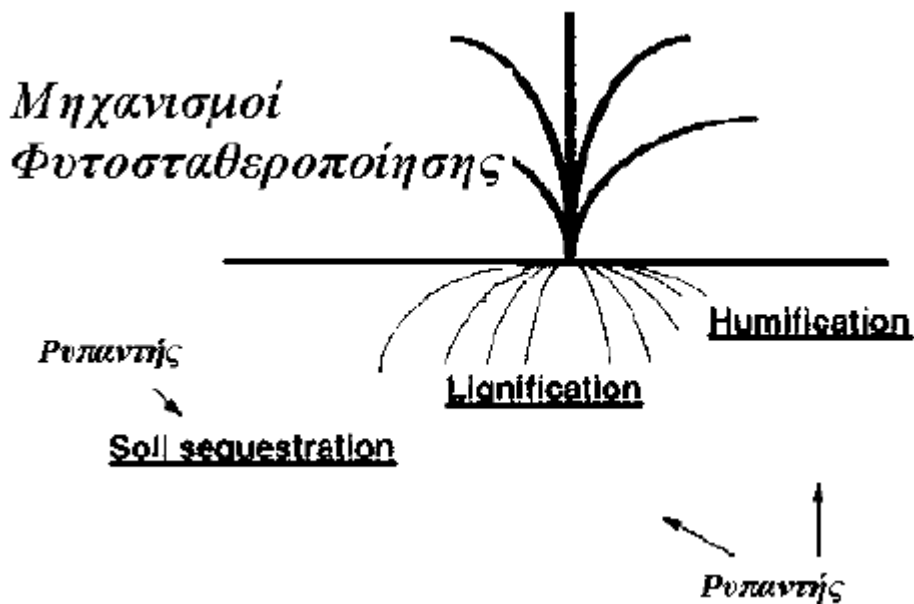
Μηχανισμοί Φυτοαπορρύπανσης



Σχήμα 3.23: Μηχανισμοί που εμπλέκονται στην διαδικασία της φυτοαπορρύπανσης.

Η **φυτοσταθεροποίηση**, (σχ. 3.24), περιλαμβάνει μηχανισμούς οι οποίοι έχουν ως στόχο την αδρανοποίηση και απομόνωση του ρυπαντή ώστε να παρεμποδιστεί η μετανάστευση του από το έδαφος στο υπόγειο νερό ή στην ατμόσφαιρα.

Η φυτοσταθεροποίηση βασίζεται στην ικανότητα των φυτών να εκκρίνουν ουσίες, μέσω των ριζών τους, οι οποίες ευνοούν μηχανισμούς όπως η χουμοποίηση (humification) - δέσμευση του ρυπαντή στα χουμικά συστατικά του εδάφους, η λιγνιτοποίηση (lignification)-δέσμευση στα κυτταρικά τοιχώματα των ριζών και δέσμευση στα εδαφικά σωματίδια (soil sequestration).

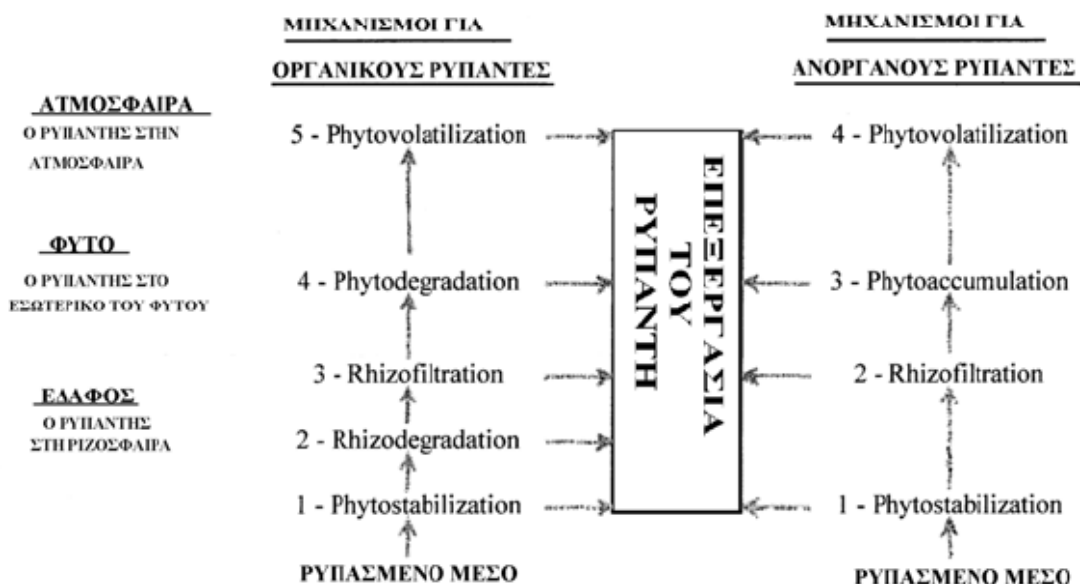


Σχήμα 3.24: Μηχανισμοί που εμπλέκονται στην διαδικασία της φυτοσταθεροποίησης

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

- Φυτοεξυγίανση Οργανικών ρυπαντών
- Φυτοεξυγίανση Ανόργανων ρυπαντών

Στο σχήμα 3.25, παρουσιάζονται οι μηχανισμοί εξυγίανσης για οργανικούς και ανόργανους ρυπαντές στο σύστημα έδαφος-φυτό-ατμόσφαιρα.



Σχήμα 3.25: Μηχανισμοί εξυγίανσης στο σύστημα έδαφος- φυτό- ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με την υπηρεσία προστασίας του περιβάλλοντος των Η.Π.Α, οι ορισμοί για τους διάφορους μηχανισμούς της Φυτοεξυγίανσης έχουν ως εξής :

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

Φυτοδιάσπαση-Phytodegradation: Η φυτοδιάσπαση (ή φυτομετασχηματισμός-phytotransformation), περιλαμβάνει διαδικασίες οι οποίες οδηγούν στη διάσπαση/αποδόμηση του ρυπαντή. Η διάσπαση του ρυπαντή είναι δυνατόν να πραγματοποιείται είτε εντός του φυτού, μέσω μεταβολικών διεργασιών είτε εξωτερικά στην περιοχή της ρίζας μέσω της παραγωγής ενζύμων. Μετά την διάσπαση του ρυπαντή, πραγματοποιείται η ενσωμάτωση του στους φυτικούς ιστούς. Σε μερικές περιπτώσεις τα τελικά προϊόντα της διάσπασης, ελευθερώνονται στο περιβάλλον, γεγονός που εξαρτάται από το είδος του φυτού και τον ρυπαντή. Ο μηχανισμός της φυτοδιάσπασης χρησιμοποιείται σε ρυπασμένα εδάφη, επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. Στην περίπτωση των υπόγειων υδάτων, θα πρέπει το ριζικό σύστημα του φυτού να βρίσκεται σε επαφή με τον υδροφορέα, διαφορετικά είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί άντληση και τοποθέτηση του νερού σε δεξαμενές στις οποίες υπάρχουν κατάλληλα φυτικά είδη.

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

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

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

3.4.1.1 Φυτοεξυγίανση ανόργανων ρυπαντών

Η ικανότητα φυτικών ειδών να συσσωρεύουν βαρέα μέταλλα, είναι γνωστή εδώ και πολλά χρόνια. Η τεχνολογία της Φυτοεξυγίανσης ανόργανων ρυπαντών εστιάζεται κυρίως στην επεξεργασία βαρέων μετάλλων και ραδιονουκλιδίων. Η Φυτοεξυγίανση βαρέων μετάλλων στηρίζεται στη χρησιμοποίηση φυτών τα οποία έχουν την ικανότητα να συσσωρεύουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων στη βιομάζα τους ως και 100 φορές περισσότερο σε σχέση με άλλα φυτά. Τα φυτά αυτά ονομάζονται υπερσυσσωρευτές (hyperaccumulators).

Στις περιπτώσεις όπου έχει γίνει χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων φυτικών ειδών για την απομάκρυνση βαρέων μετάλλων από υποβαθμισμένες περιοχές, τα τοξικά βαρέα μέταλλα απομακρύνονται απευθείας με τη συγκομιδή της φυτικής βιομάζας, ή εναλλακτικά μετατρέπονται σε λιγότερο τοξικές μορφές. Στην πράξη όμως, η χρησιμότητα των φυτών που υπερσυσσωρεύουν τα τοξικά κατιόντα είναι δυνατό να υπόκειται σε μια σειρά από περιορισμούς.

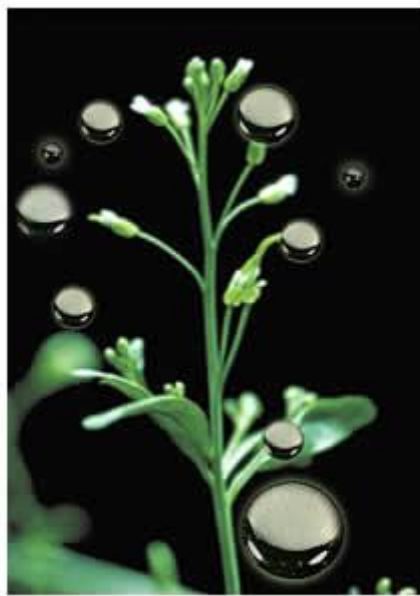
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση του είδους *Thlaspi caerulescens*, το οποίο παρότι υπερσυσσωρεύει βαρέα μέταλλα σε σημαντικές ποσότητες, η χρησιμότητα του περιορίζεται από τη μικρή βιομάζα του, καθώς η ποσότητα ενός ρυπαντή που απομακρύνεται καθορίζεται τόσο από τη συγκέντρωση του στα απομακρυνόμενα φυτικά όργανα, όσο και από τη συνολική βιομάζα τους.

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη γενετικά τροποποιημένων φυτών, με βελτιωμένες ιδιότητες ως προς την απομάκρυνση ρυπαντών από το έδαφος. Για το σκοπό αυτό, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς το είδος των επεμβάσεων και των γονιδίων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της ικανότητας συσσώρευσης βαρέων μετάλλων. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

- Η γενετική τροποποίηση με την εισαγωγή βακτηριακών γονιδίων που συντελούν στην αναγωγή τοξικών ρυπαντών και την αποθήκευσή τους σε λιγότερο τοξικές μορφές (εφαρμογή στην απομάκρυνση υδραργύρου).
- Αύξηση της ικανότητας πρόσληψης μετάλλων μέσω γενετικής τροποποίησης με τη χρήση του γονιδίου της συνθάσης της νικοτιαναμίνης, το οποίο και συμμετέχει στη βιοσύνθεση των φυτοσιδηροφόρων.
- Γενετική τροποποίηση με τη χρήση φυτικών γονιδίων που σχετίζονται με την ομοίωση των μετάλλων στους φυτικούς οργανισμούς. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί και τη συνηθέστερη επιλογή για την αύξηση της ικανότητας απομάκρυνσης μετάλλων από το έδαφος και περιλαμβάνει επεμβάσεις με τη χρήση φυτικών γονιδίων μεταλλοθειονινών, φυτοχελαιτινών και σχετίζονται με τη βιοσύνθεση της γλουταθειόνης αλλά και άλλων οργανικών μορίων που συμβάλουν στην αδρανοποίηση των τοξικών βαρέων μετάλλων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρησιμοποίηση του γονιδίου της ATP σουλφουριλάσης, το οποίο διευκολύνει την αναγωγή του σεληνίου και την αποθήκευσή του στο εσωτερικό του φυτού σε λιγότερο τοξικές μορφές. Επιπρόσθετο όφελος της επέμβασης ήταν η συσσώρευση στα γενετικά τροποποιημένα φυτά της αντικαρκινικής ουσίας μεθυλοσεληνοκουστεΐνης.
- Μία πολλά υποσχόμενη νέα προσέγγιση βασίζεται στην αύξηση της ικανότητας δέσμευσης βαρέων μετάλλων διαφόρων φυτικών πρωτεϊνών, μέσω της προσθήκης επιπλέον θέσεων δέσμευσης για τα αντίστοιχα μέταλλα. Στα πλαίσια αυτά έχει δοκιμαστεί η προσθήκη σε φυτική πρωτεΐνη, επιπλέον αμινοξέων ιστιδίνης, τα οποία δημιουργούν μια επιπλέον θέση

δέσμευσης μετάλλων. Η δοκιμή της συγκεκριμένης προσέγγισης σε πραγματικά υποβαθμισμένα πεδία έδωσε ενθαρρυντικά αποτελέσματα ως προς την απομάκρυνση μετάλλων όπως το κάδμιο, το νικέλιο και τον ψευδάργυρο. Σημαντικό πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης, αποτελεί το γεγονός ότι δεν στηρίζεται στην εισαγωγή σε φυτά, γονιδίων από άλλους οργανισμούς, αλλά βασίζεται στην τροποποίηση και την επαν-εισαγωγή ενδογενών γονιδίων.

Τα γενετικά τροποποιημένα φυτά *Arabidopsis thaliana* (εικ. 3.8) παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή και ικανότητα συσσώρευσης υδράργυρου και άλλων βαρέων μετάλλων σε σύγκριση με τα μη τροποποιημένα φυτά, όταν αναπτύσσονται σε υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των μετάλλων.



Εικόνα 3.8: *Arabidopsis thaliana*

Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζεται ο αριθμός των γνωστών μέχρι σήμερα υπερσυσσωρευτών για 8 βαρέα μέταλλα καθώς και η φυτικές οικογένειες στις οποίες ανήκουν.

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

Πίνακας 3.2 :Αριθμός γνωστών υπερσυσσωρευτών για 8 βαρέα μέταλλα και οι οικογένειες στις οποίες απαντώνται πιο συχνά.

Βαρέα μέταλλα	Αριθμός	Οικογένεια
Κάδμιο (Cd)	1	Brassicaceae
Κοβάλτιο (Co)	26	Lamiaceae, Scrophulariaceae
Χαλκός (Cu)	24	Cyperaceae, Lamniaceae, Poaceae, Scrophulariaceae
Μαγγάνιο (Mn)	11	Apocynaceae, Cunoniaceae, Proteaceae
Νικέλιο (Ni)	290	Brassicaceae, Violaceae, Cunoniaceae, Proteaceae
Σελήνιο (Se)	19	Fabaceae
Θάλιο (Tl)	1	Brassicaceae

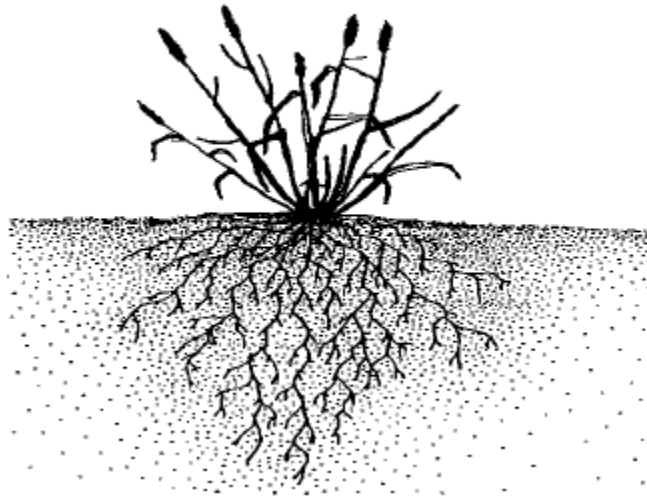
3.4.1.2 Φυτοεξυγίανση οργανικών ρυπαντών

Πέρα από την ανάπτυξη φυτών με αυξημένη ικανότητα απομάκρυνσης βαρέων μετάλλων και άλλων ανόργανων ρυπαντών από υποβαθμισμένες περιοχές, η βιοτεχνολογία συμβάλει και στην ανάπτυξη φυτών με αυξημένες ή και νέες ικανότητες αποδόμησης σταθερών οργανικών ρύπων. Βέβαια, οι βιοτεχνολογικές εφαρμογές απομάκρυνσης οργανικών ρύπων από το έδαφος, θα πρέπει να σχεδιάζονται με τρόπο ώστε να περιλαμβάνουν τη συνδυασμένη δράση των φυτών με μικροοργανισμούς του εδάφους.

Η αναγκαιότητα αυτή έγκειται στην μειωμένη ικανότητα των φυτικών οργανισμών να αποδομούν πλήρως πολλούς από τους οργανικούς ρύπους που απαντώνται στο περιβάλλον, σε σύγκριση με την αντίστοιχη ικανότητα των μικροοργανισμών του εδάφους. Βέβαια, και εδώ η βιοτεχνολογία έρχεται να δώσει πιθανές λύσεις, καθώς στη σχετική βιβλιογραφία αναφέρονται πολλές περιπτώσεις γενετικά τροποποιημένων φυτικών οργανισμών με αυξημένη ικανότητα αποδόμησης πολλών οργανικών ρύπων. Ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογών στον συγκεκριμένο τομέα αποτελούν:

- *Αποδόμηση υπολειμμάτων εκρηκτικών υλών (TNT και RDX) με τη χρήση γενετικά τροποποιημένων φυτών τα οποία παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα που βιοαποδομούν τους ανθεκτικούς αυτούς οργανικούς ρύπους.*
- *Αποδόμηση αλογονούχων υδρογονανθράκων με τη βοήθεια γενετικά τροποποιημένων φυτών με το γονίδιο του κυτοχρώματος P450 2E1.*
- *Αποδόμηση της φαινόλης από φυτά ντομάτας τα οποία υπερπαραγάγουν το ένζυμο της βασικής υπεροξειδάσης.*
- *Αποδόμηση πολυχλωροδιφαινυλίων (polychlorinated diphenyls, PCBs), μέσω της συνεργιστικής δράσης φυτών με μικροοργανισμούς, καθώς τα φυτά δεν διαθέτουν το ένζυμο που ευθύνεται για το άνοιγμα του διφαινυλικού δακτυλίου.*

Ø Ο ρόλος της ριζόσφαιρας. Η ριζόσφαιρα (Σχ. 3.26), αποτελεί την περιοχή γύρω από το ριζικό σύστημα των φυτών, στην οποία παρατηρείται έντονη μικροβιακή δραστηριότητα. Εκτός από τους μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες), στην περιοχή της ριζόσφαιρας υπάρχουν πρωτόζωα, νηματώδεις, και έντομα τα οποία συμβάλουν μέσω της μεταβολικής τους δραστηριότητας στις διαδικασίες αποδόμησης που συντελούνται στα οικοσυστήματα.



Σχήμα 3.26: Η ριζόσφαιρα των φυτών αποτελεί περιοχή έντονης μικροβιακής δραστηριότητας.

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

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

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

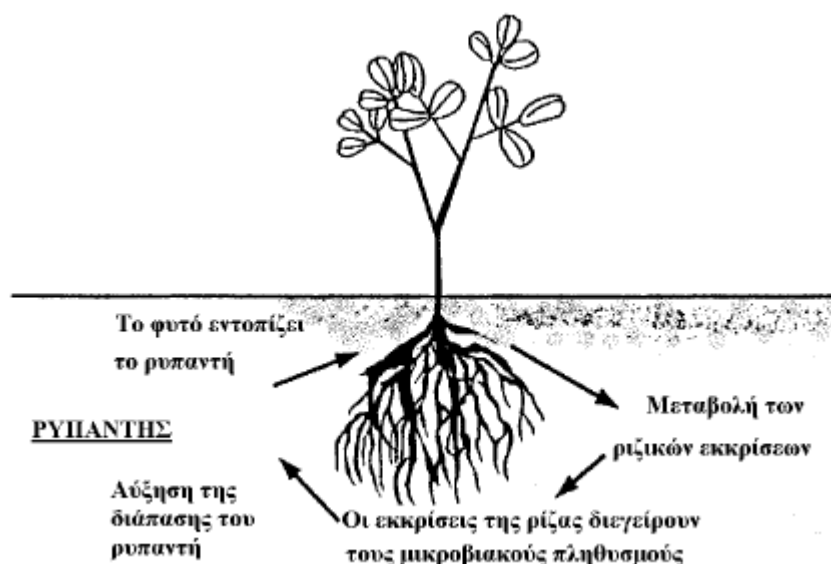
Η χρησιμοποίηση του συστήματος φυτού-μικροοργανισμών της ριζόσφαιρας στην τεχνολογία της φυτοεξυγίανσης, παρουσιάζει έντονο πρακτικό και ερευνητικό ενδιαφέρον, για την *in situ* επεξεργασία ρυπασμένων εδαφών και υπόγειων υδάτων. Από τις αρχές της δεκαετίας του '70, διάφορες αναφορές παρουσιάζουν την

ικανότητα που έχουν τα φυτά να εντείνουν τη διάσπαση οργανικών ουσιών στην περιοχή της ριζόσφαιρας. Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια, στην περιοχή της ριζόσφαιρας.

Πίνακας 3.3: Οργανικές ουσίες που διασπώνται από βακτήρια στη περιοχή της ριζόσφαιρας.

Βακτήριο (γένος)	Υπόστρωμα
Achromobacter	Υδρογονάνθρακες
Acinetobacter	Υδρογονάνθρακες
Alcaligenes	Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες
Azotobacter	Υδρογονάνθρακες
Nitrosomonas	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
Nocardia	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
Pseudomonas	Υδρογονάνθρακες
Xanthobacter	Αλιφατικές ενώσεις

Οι γνώσεις μας για τους μηχανισμούς με τους οποίους τα φυτά εντείνουν τη δράση των μικροοργανισμών της ριζόσφαιρας για τη διάσπαση ξενοβιοτικών ουσιών, είναι πολύ περιορισμένες. Στο Σχήμα 3.27 παρουσιάζεται υποθετικός μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο ο μικροβιακός πληθυσμός της ριζόσφαιρας επηρεάζεται από το φυτό. Σύμφωνα με το μηχανισμό αυτό, η ξενοβιοτική ουσία στο έδαφος εντοπίζεται από το φυτό το οποίο αντιδρά μεταβάλλοντας την ποσότητα και την ποιότητα των εκκρίσεων μέσω του ριζικού συστήματος. Αυτή η τροποποίηση του εδαφικού περιβάλλοντος έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των μικροβιακών κυττάρων και μάλιστα εκείνου του είδους το οποίο έχει την ικανότητα να διασπά τον ρυπαντή. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την μείωση της συγκέντρωσης του ρυπαντή σε αποδεκτές, από το φυτό συγκεντρώσεις.



Σχήμα 3.27: Μηχανισμός σύμφωνα με τον οποίο, η παρουσία του φυτού επηρεάζει την μικροβιακή δραστηριότητα

3.4.1.3 Σχεδιασμός συστημάτων φυτοεξυγίανσης

Ο σχεδιασμός των συστημάτων της Φυτοεξυγίανσης ποικίλει ανάλογα με το είδος του ρυπαντή και το επιθυμητό επίπεδο μείωσης της συγκέντρωσης του, τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες και από τα φυτά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Για την εφαρμογή της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης αποτελεί κοινή πρακτική η πραγματοποίηση προκαταρκτικών εργαστηριακών ερευνών. Στόχος των ερευνών αυτών είναι να αποφασιστεί ή όχι η χρήση των βιολογικών διαδικασιών της Φυτοεξυγίανσης απαντώντας σε ερωτήσεις σχετικά με την βιοαποικοδόμηση των ρυπαντών, το ποσοστό βιοδιαθεσιμότητας τους στο έδαφος και το υπόγειο νερό και τέλος τον καθορισμό των βέλτιστων συνθηκών για την ανάπτυξη των φυτών. Γενικά, οι παράμετροι σχεδιασμού διαφέρουν ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται. Παρ'όλα αυτά είναι δυνατόν να προσδιοριστούν ορισμένοι παράμετροι σχεδιασμού, οι οποίοι είναι κοινοί σε όλες τις περιπτώσεις εφαρμογής της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης. Οι παράμετροι αυτοί περιλαμβάνουν τα παρακάτω στάδια:

1) Προσδιορισμός του επιπέδου της ρύπανσης. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος φυτοεξυγίανσης, πρέπει να προσδιοριστεί το είδος και η συγκέντρωση των ρυπαντών καθώς και το βάθος στο οποίο εκτείνεται η ρύπανση. Στην περίπτωση οργανικών ρυπαντών θα πρέπει να υπάρχουν στοιχεία για τη δομή τους, τη λιποφιλικότητα τους ($\log K_{ow}$) καθώς και για τις ιδιότητες προσρόφησης τους.

2) Επιλογή του φυτικού υλικού. Τα φυτά τα οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν επιλέγονται με βάση τον επιθυμητό μηχανισμό φυτοεξυγίανσης και το είδος του ρυπαντή. Στην περίπτωση του φυτομετασχηματισμού οργανικών ρυπαντών και της φυτοεξαγωγής βαρέων μετάλλων τα φυτά πρέπει να παρουσιάζουν γρήγορο ρυθμό ανάπτυξης, αρκετά βαθύ ριζικό σύστημα για την περίπτωση υπογείων υδάτων και να μετατρέπουν το ρυπαντή σε μη τοξικά παράγωγα.

3) Έλεγχος της δυνατότητας χρησιμοποίησης των επιλεγμένων φυτών (Treatability tests). Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται έλεγχος της τοξικότητας των ρυπαντών καθώς και προϊόντων που προκύπτουν από την εφαρμογή της φυτοεξυγίανσης. Σε εργαστηριακά πειράματα εφαρμόζονται διαφορετικές συγκεντρώσεις του ρυπαντή στα προτεινόμενα φυτικά είδη και μελετώνται τα παραγόμενα προϊόντα του μεταβολισμού.

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

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

(controlled incineration). Άλλες μέθοδοι που εφαρμόζονται είναι η κομποστοποίηση (composting) καθώς και διάθεση σε χωματερές (landfilling).

ύ Αξιολόγηση της τεχνολογίας της φυτοεξυγίανσης

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

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

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

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της φυτοεξυγίανσης είναι ότι έχει τη δυνατότητα να επιτυγχάνει την επεξεργασία των ρυπαντών σε απλούστερες και λιγότερο τοξικές ενώσεις. Οι περισσότερες από τις συμβατικές τεχνολογίες, όπως προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα, απόθεση σε χωματερές, καθίζηση, απλά μεταφέρουν τους ρυπαντές σε άλλη περιοχή ή άλλη φάση.

Άλλα πλεονεκτήματα είναι η δυνατότητα in situ επεξεργασίας χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντικές διαταραχές με αποτέλεσμα να μην παρεμποδίζει τη λειτουργία εμπορικών ή βιομηχανικών δραστηριοτήτων, η αποδοχή της από την κοινή γνώμη και η δυνατότητα ανάκτησης των συσσωρευμένων στη φυτική βιομάζα, βαρέων μετάλλων, διαδικασία γνωστή ως Phytomining.

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

3.5 ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

3.5.1 Κύριοι ρύποι της ατμόσφαιρας

Οι κυριότεροι ρύποι της ατμόσφαιρας είναι:

- Το διοξείδιο και μονοξείδιο του άνθρακα
- Τα οξείδια του αζώτου (N)
- Τα οξείδια του θείου (S)
- Οι υδρογονάνθρακες
- Τα αιωρούμενα σωματίδια

∅ **Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)**. Κύριες πηγές σχηματισμού CO είναι :

- Οξείδωση υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα
- Πυρκαγιές στα δάση
- Διάφορες βακτηριακές δράσεις

Στα αστικά κέντρα κύρια πηγή εκπομπής CO είναι τα αυτοκίνητα και αναλόγως με τις κλιματικές συνθήκες η συγκέντρωση του μπορεί να φτάσει και 50ppm. Φυσικοί μηχανισμοί μείωσης της συγκέντρωσης CO στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του προς CO₂.

∅ **Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**. Πηγές εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα είναι :

- Πλήρη καύση ανθρακούχων ενώσεων
- Φωτοσύνθεση
- Διεργασίες διάσπασης οργανικών ουσιών

Το κυριότερο πρόβλημα είναι ότι το CO₂ επιτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Γενικότερα η μισή περίπου ποσότητα CO₂ που εκλύεται στην ατμόσφαιρα απορροφάται από τα επιφανειακά νερά και οργανισμούς που βιοσυνθέτουν.

∅ **Οξείδια του αζώτου**. Τα βασικότερα οξείδια που θεωρούνται ρύποι είναι:

- Μονοξείδιο του αζώτου (NO)
- Διοξείδιο του αζώτου (NO₂)
- Υποξείδιο του αζώτου N₂O

Το N₂O παράγεται φυσικά στο περιβάλλον, δεν είναι τοξικό αλλά έχει βρεθεί ότι επιτείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα οξείδια NO και NO₂ σχηματίζονται από αντιδράσεις καύσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων στις πόλεις μπορεί να φτάσουν και τα 500 ppm ενώ στην ύπαιθρο κυμαίνονται από 0.2 –12 ppm.

∅ **Οξείδια του θείου**. Οι κυριότερες μορφές S στην ατμόσφαιρα είναι:

- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Τριοξείδιο του θείου (SO₃)
- Υδρόθειο (H₂S)

Οι ωκεανοί αποτελούν σημαντικές πηγές θειούχων ενώσεων και κυρίως H₂S το οποίο οξειδώνεται προς SO₂. Το SO₂ εκπέμπεται στο μεγαλύτερο ποσοστό από τις θειούχες ενώσεις που περιέχονται στο κάρβουνο, σε πετρέλαιο και ορυκτά του θείου.

Οι συγκεντρώσεις των H₂S και SO₂ αποτελούν και μέτρο του βαθμού ρύπανσης της ατμόσφαιρας.

Κυριότεροι μηχανισμοί απομάκρυνσης του SO₂ είναι:

- Διάλυση με το νερό της βροχής προς H₂SO₄.
- Φωτοοξειδωση προς SO₃.

Το SO₂ σε υψηλές συγκεντρώσεις (>20 ppm) μπορεί να οδηγήσει σε πνευμονικό οίδημα ενώ μακροχρόνια έκθεση σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε αναπνευστικά προβλήματα.

Ø Υδρογονάνθρακες. Προέρχονται από την εξάτμιση διαλυτών και καυσίμων καθώς και την ατελή καύση οργανικών ουσιών. Το σύνολο των οργανικών ενώσεων σε αέρια φάση χαρακτηρίζονται σαν ολικοί υδρογονάνθρακες (TOC).

- Μεθάνιο, βουτάνιο, προπάνιο, αιθάνιο προέρχονται κυρίως από διαρροή φυσικού αερίου και εξάτμιση υγρών καυσίμων.
- Αρωματικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους όπως PAHs (πολυκυκλικό αρωματικό υδρογονάνθρακες) που βρίσκονται είτε σε αέρια φάση είτε καταμερισμένοι στα αιωρούμενα σωματίδια.
- Τερπένια αποτελούν κατά μέσο όρο το 8% των TOC και εκλύονται κυρίως από τα κωνοφόρα δένδρα.

Ø Αιωρούμενα Σωματίδια. Ως αιωρούμενα σωματίδια ορίζεται το σύνολο των σωματιδίων (στερεά ή υγρά) με διαστάσεις (0.0002-500 μm) τα οποία βρίσκονται σε διασπορά στην ατμόσφαιρα. Η σκόνη, ο καπνός, η ομίχλη, η ιπτάμενη τέφρα θεωρούνται αιωρούμενα σωματίδια. Πηγές εκπομπής αιωρούμενων σωματιδίων:

- Φυσικές πηγές: ανεμοθύελλες, ηφαίστεια, σταγονίδια από ωκεανούς
- Ανθρωπογενής πηγές: καύση λιθάνθρακα και άνθρακα

Τα σωματίδια έχουν μεγάλη ενεργό επιφάνεια και εμφανίζουν μεγάλη ικανότητα προσρόφησης τοξικών ουσιών γεγονός που τα καθιστά επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία όπως προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα όπως πνευμοκονιάσεις και άσθμα. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν ότι υπάρχει συνεργιστική δράση μεταξύ αιωρούμενων σωματιδίων και SO₂.

Μέθοδοι απομάκρυνσης αιωρούμενων σωματιδίων:

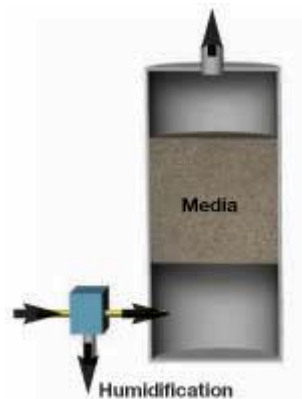
- Θάλαμος κατακάθισης
- Κυκλώνες
- Συσκευές έκπλυσης
- Φίλτρα

- Ηλεκτροστατική κατακάθιση

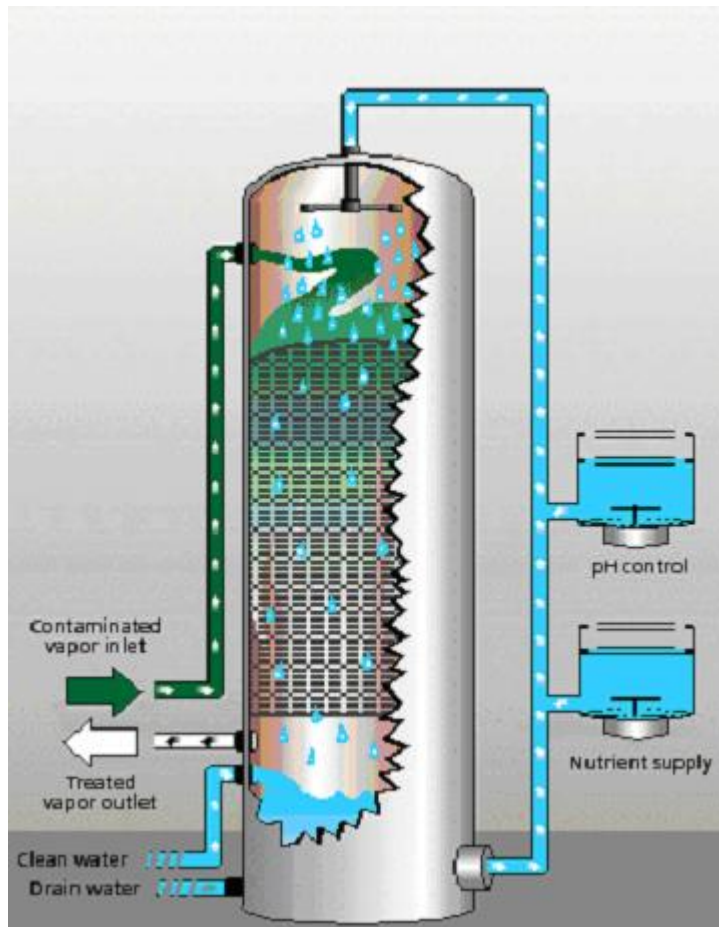
3.5.2 Βιολογικά συστήματα επεξεργασίας αέριων ρυπών

Αρχικά τα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας αερίων ρυπών ήταν βασισμένα σε φτηνά φίλτρα τα οποία αφαιρούν την οσμή (σχ 3.28). Ωστόσο ο αργός ρυθμός επεξεργασίας και η μικρή διάρκεια ζωής αυτών των φίλτρων οδήγησε στην ερευνά για καλύτερες μεθόδους όπως βιοαντιδραστήρες ή βιο-παγίδες (bioscrubbers) στα οποία οι ρύποι διασπώνται καθώς περνάνε μέσα από το πληρωτικό μέσο, στην επιφάνεια του οποίου υπάρχουν μικροοργανισμοί (biofilm) οι οποίοι συντηρούνται από ένα σταλαγμικό φίλτρο (biotrickling filter). Οι θρεπτικές ουσίες εισέρχονται ελεγχόμενα μέσα στο φίλτρο μέσω του κλειστού κυκλώματος νερού όπως φαίνεται στα σχήματα 3.29 και 3.31.

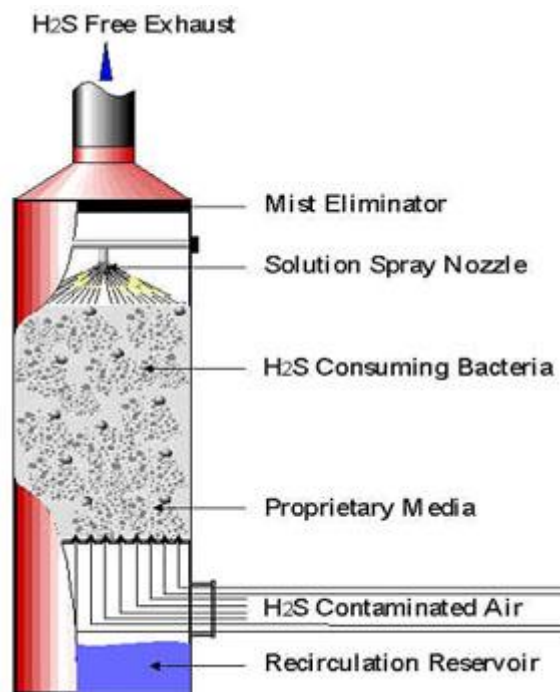
Η επιλογή των καταλλήλων μικροοργανισμών οι οποίοι είναι ποιο αποδοτικοί στο μεταβολισμό των ρυπών έχει οδηγήσει στην κατασκευή ακόμα καλύτερων φίλτρων καθαρισμού του αέρα. Υπάρχουν αρκετά παραδείγματα συστημάτων επεξεργασίας με βιοφίλτρα, μερικά από τα οποία είναι: α) ένα σύστημα βασισμένο σε βιοφίλτρα για την ταυτόχρονη απομάκρυνση του αζώτου και οξειδίου του θείου από την γραμμή εξαγωγής αερίου από φούρνο αναπτύχθηκε σαν μια εναλλακτική λύση σε σχέση με τη κλασική χρήση του ασβεστόλιθου (limestone gypsum), β) βιοφίλτρα για την απομάκρυνση του στυρόλιου από τα αέρια απόβλητα από βιομηχανίες επεξεργασίας πολυεστέρων και γ) βιοφίλτρα για την απομάκρυνση υδρόθειου (σχ. 3.30).



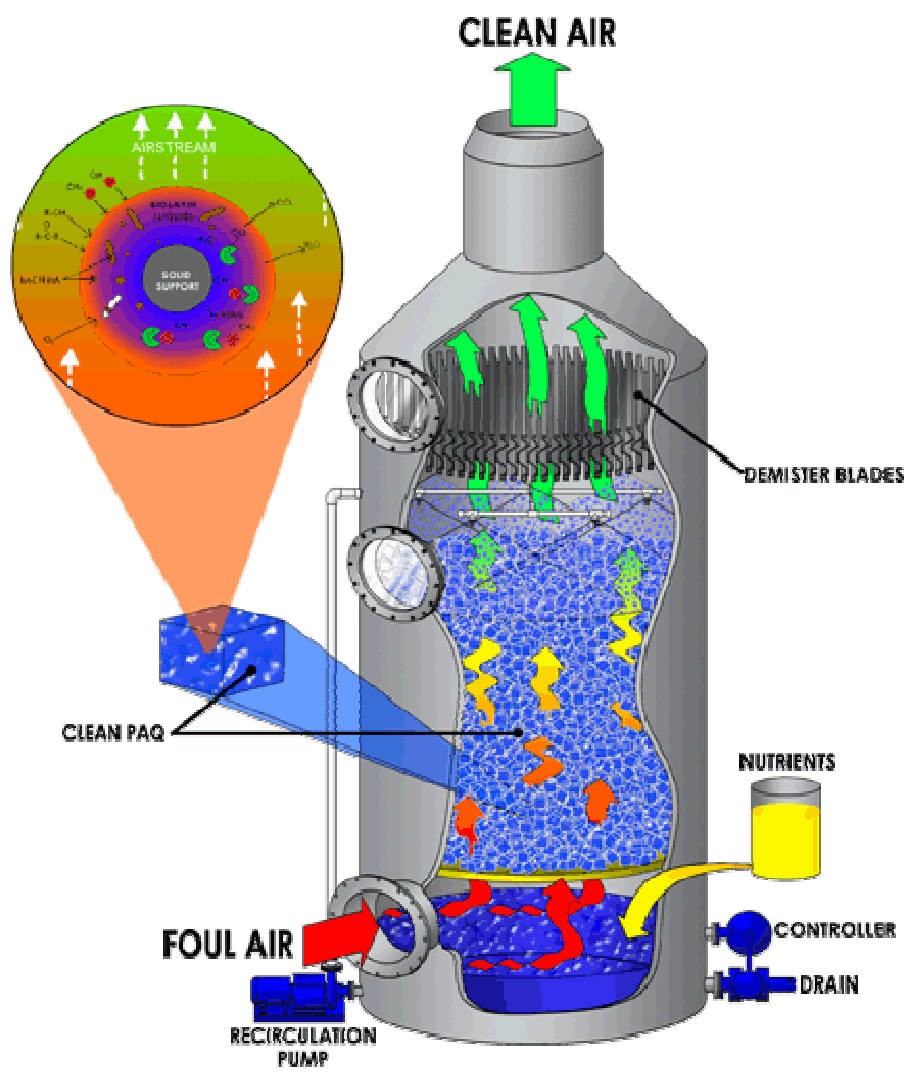
Σχήμα 3.28: Απλό φίλτρο αερίων



Σχήμα 3.29: Σταλαγμικό βιοφίλτρο αερίων.



Σχήμα 3.30: Σταλαγμικό βιοφίλτρο απομάκρυνσης υδρόθειου (H₂S)



Σχήμα 3.31: Σταλαγμικό βιοφίλτρο αερίων.

3.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Βιομηχανίες που παράγουν απόβλητα προς βιολογική επεξεργασία:

- Βιομηχανίες μεταποίησης φρούτων και λαχανικών
- Βιομηχανίες γάλακτος
- Βιομηχανίες κρέατος, πουλερικών και ιχθύων
- Βιομηχανίες ποτών
- Ελαιοτριβεία
- Υφαντουργεία –Βαφεία
- Βυρσοδεψία
- Χαρτοβιομηχανίες
- Υψικάμινοι και Χαλυβουργεία
- Διύλιση πετρελαίου -Πετροχημικά

∅ **Βιομηχανίες μεταποίησης φρούτων και λαχανικών.** Τα υγρά απόβλητα περιέχουν κυρίως επιπλέοντα στερεά, οργανική ύλη και υπολείμματα φυτοφαρμάκων (Πίν. 3.4).

Πίνακας 3.4: Σύνθεση αποβλήτων βιομηχανιών μεταποίησης φρούτων και λαχανικών.

N	4-20 mg/L
P	0.5-20 mg/L
Αιωρούμενα στερεά	0-4500 mg/L
Διαλυμένα στερεά	1300-3000 mg/L
Φυτοφάρμακα	0.2-0.9 mg/L

Η επεξεργασία υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει:

- Εσχάρωση
- Κατακάθιση
- Ρύθμιση του pH
- Χημική με κροκυδωτικά $Al_2(SO_4)_3$
- Απολύμανση με Cl ή άλλο οξειδωτικό μέσο

Τέλος η βιολογική επεξεργασία με το σύστημα ενεργοποιημένης λάσπης μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα μείωση του BOD ως και 95%

∅ **Βιομηχανίες Γάλακτος.** Το κυριότερο πρόβλημα αποτελεί ο ορός γάλακτος (τυρόγαλα) που παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και οξέα. Άλλοι σημαντικοί ρυπαντές είναι τα αιωρούμενα στερεά, φωσφορικά και αζωτούχες ενώσεις (πίν. 3.5).

Πίνακας 3.5: Σύνθεση αποβλήτων βιομηχανιών γάλακτος.

BOD ₅	100-4000 mg/L
Αιωρούμενα στερεά	2000 mg/L
Θερμοκρασία Αποβλήτων	8-38 °C
P	12-210 mg/l
CL	50-2500 mg/l
N	1-14 mg/l

Διεργασίες και συστήματα που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων της βιομηχανίας γάλακτος:

Πρωτοβάθμια Επεξεργασία:

- Λεπτό Κοσκίνισμα
- Καθίζηση
- Επίπλευση
- Χημική Κατακρήμνιση

Δευτεροβάθμια Επεξεργασία:

- Χαλικοδιυλιστήρια
- Ενεργοποιημένη λάσπη
- Δεξαμενή διαχωρισμού

∅ **Βιομηχανίες κρέατος, πουλερικών και ιχθυών.** Τα παραπροϊόντα περιέχουν αίμα, λίπη, αζωτούχα, αιωρούμενα στερεά και ιόντα ως κύριους ρυπαντές (πίν. 3.6).

Πίνακας 3.6: Σύνθεση αποβλήτων βιομηχανιών κρέατος, πουλερικών και ιχθυών.

BOD ₅	500-1500 mg/L
Λίπη	250-1000 mg/L
N	50-115 mg/L
Cl	50-550 mg/L
PO ₄	7-27 mg/L

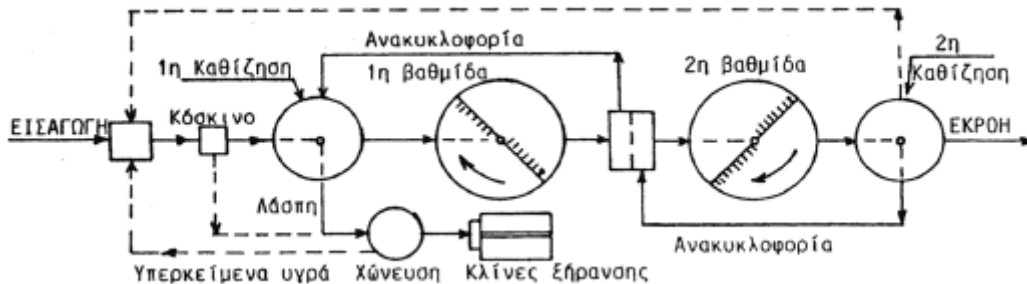
Η επεξεργασία περιλαμβάνει απομάκρυνση των στερεών με πλέγματα (πρωτοβάθμια) και βιολογική επεξεργασία σε αναερόβια συστήματα χώνευσης με μείωση του BOD κατά 97%. Αερόβια συστήματα οδηγούν σε μείωση του BOD κατά 40-60% για χρόνους παραμονής 2-10 ημέρες.

∅ **Βιομηχανίες Ποτών.** Τα υγρά απόβλητα των διαφόρων βιομηχανιών ποτών περιέχουν κυρίως αιωρούμενα στερεά (700 mg/L) και υψηλό οργανικό φορτίο που κυμαίνεται σε τιμές BOD 1600 mg/L. Η επεξεργασία αποβλήτων από τέτοιες βιομηχανίες περιλαμβάνει:

- Πρωτοβάθμια απομάκρυνση των στερεών με πλέγματα

- Δευτεροβάθμια μείωση του οργανικού φορτίου σε αεροβικά συστήματα (χαλικοδιυλιστήρια, λίμνες ενεργοποιημένης λάσπης) με μείωση του BOD5 ως και 85% .

Για την ζυθοποιεία χρησιμοποιούνται το διβάθμιο χαλικοδιυλιστήριο υψηλού βαθμού (σχ. 3.32).



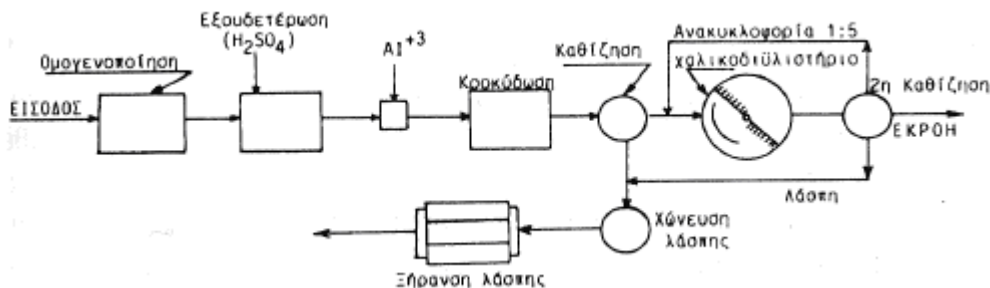
Σχήμα 3.32: Διβάθμιο χαλικοδιυλιστήριο.

Ø Ελαιοτριβεία. Τα ελαιοτριβεία παράγουν απόβλητα με υψηλό οργανικό φορτίο (14,000-62,000 mg/L BOD) και υψηλή οξύτητα.

Η επεξεργασία των αποβλήτων περιλαμβάνει εξουδετέρωση της οξύτητας με CaO (ασβέστη) σε συνδυασμό με κροκύδωση. Ακολουθεί καθίζηση για 2 ώρες τουλάχιστον με συνεχή αφαίρεση όμως λάσπης που καθιζάνει. Η λάσπη που συγκομίζεται διατίθεται απευθείας σε αγρούς ή ακολουθεί χώνευση και στράγγιση σε κλίνες ξήρανσης.

Ø Υφαντουργεία-Βαφεία. Τα απόβλητα περιέχουν κυρίως λίπη, διαλυμένα στερεά, ίνες, ανόργανα άλατα ή οργανικά χημικά (χρώματα) και βαρέα μέταλλα.

Το BOD κυμαίνεται ανάλογα με το υλικό που επεξεργάζεται η βιομηχανία από 200-600 mg/L για βαμβάκι ως και 1800-8000 mg/L για συνθετικά υλικά (nylon). Η επεξεργασία περιλαμβάνει εξουδετέρωση του pH, προσθήκη κροκυδωτικών ($Al_2(SO_4)_3$), καθίζηση, βιολογική επεξεργασία σε χαλικοδιυλιστήρια ή συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης και τέλος απολύμανση με Cl_2 ή O_3 . Παράδειγμα συστήματος επεξεργασίας αποβλήτων από μονάδες επεξεργασίας βάμβακος φαίνεται στο σχήμα 3.33.



Σχήμα 3.33: Σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων από μονάδες επεξεργασίας βάμβακος

Τα απόβλητα από βαφεία περιέχουν συνήθως χρωστικές που απομακρύνονται με προσρόφηση σε κλίνες με ενεργό άνθρακα.

Ø **Βυρσοδεψεία.** Τα απόβλητα των βυρσοδεψείων είναι ιδιαίτερα δύσσομα και έχουν μεγάλο μικροβιακό φορτίο. Περιέχουν υποπροϊόντα πρώτης ύλης όπως τρίχες, λίπη, αίμα και σημαντικές ποσότητες χημικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία και βαφή των δερμάτων. Η σύνθεση των αποβλήτων βυρσοδεψείων φαίνεται στον πίνακα 3.8 .

Πίνακας 3.8: Σύνθεση αποβλήτων βυρσοδεψείων.

BOD ₅	89000 mg/L
Λίπη	20000 mg/L
Αιωρούμενα Στερεά	138000 mg/L
Cr ολικό	3500 mg/L
Θειούχα	7000 mg/L
Αλκαλικότητα (CaCO ₃)	99 mg/L

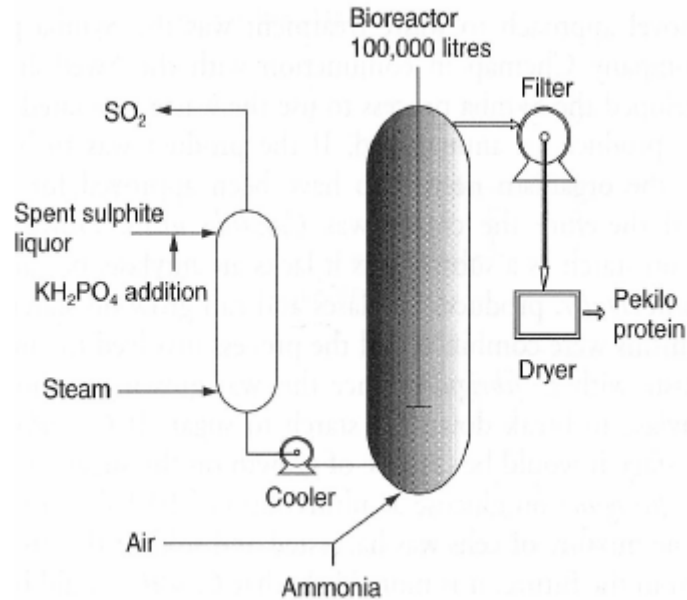
Στάδια Επεξεργασίας των Αποβλήτων:

- Εσχάρωση για απομάκρυνση στερεών
- Κροκύδωση και κατακάθιση με την προσθήκη Fe₂(SO₄)₃ ή Al₂(SO₄)₃
- Αναγωγή Cr⁺⁶ με την προσθήκη θειικού υποσιδήρου FeSO₄
- Βιολογική επεξεργασία με αεροβική χώνευση όπου απομακρύνεται συνήθως 90-95% του οργανικού φορτίου
- Απομάκρυνση αζωτούχων ρύπων NH₄ και NO₃ με νιτροποιητικά και απονιτροποιητικά βακτήρια σε αεροβικές και αναεροβικές διεργασίες αντίστοιχα.

Ø **Χαρτοβιομηχανίες.** Τα απόβλητα των χαρτοβιομηχανιών περιέχουν λιγνίνη, ταννίνες, σάκχαρα, κυτταρίνη και ανόργανα χημικά αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται κατά την παρασκευή πολτού όπως Na₂S, NaOH (μέθοδος Kraft). Τα χημικά αντιδραστήρια για την παρασκευή του πολτού ανακυκλώνονται ενώ τα εναπομείναντα απόβλητα υφίστανται επεξεργασία που περιλαμβάνει :

- Κατακάθιση που οδηγεί σε μείωση του BOD κατά 30%
- Βιολογική επεξεργασία σε συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης ή άλλα αεροβικά συστήματα που οδηγούν σε περαιτέρω μείωση του BOD ως και 95%.

Η **διεργασία pekilo** (σχ. 3.34) χρησιμοποιείται για την επεξεργασία αποβλήτων που προκύπτουν κατά την παραγωγή χαρτιού.



Σχήμα 3.34: Διεργασία pekilo

- § Το **πρώτο στάδιο** της διεργασίας pekilo περιλαμβάνει την απομάκρυνση SO_2 που είναι τοξικό για μικροοργανισμούς.
- § Το **δεύτερο στάδιο** περιλαμβάνει την αποστείρωση των αποβλήτων και την διοχέτευση σε βιο-αντιδραστήρα.
- § Στο **τρίτο στάδιο** προστίθενται φώσφορος, καλιούχα άλατα και αμμωνία και ο αντιδραστήρας εμβολιάζεται με τον μύκητα *Paecilomyces* sp.
- § Στο **τελικό στάδιο** ο μύκητας αναπτύσσεται ταχύτατα και παράγει βιομάζα που συγκομίζεται με φιλτράρισμα, ξηραίνεται και χρησιμοποιείται ως ζωική τροφή αφού αποτελείται από 69% πρωτεΐνες.

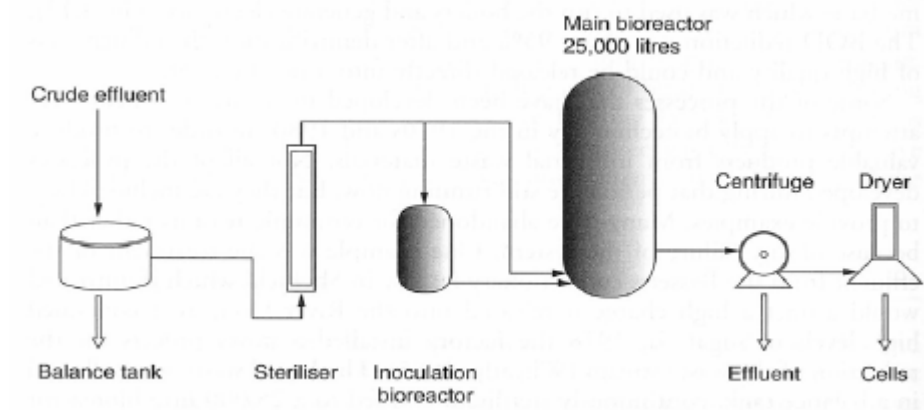
Ø Υψικάμινι και Χαλυβουργεία. Οι κύριοι ρύποι που περιέχονται στα απόβλητα χαλυβουργείων είναι φαινόλες, αιωρούμενα στερεά, NH_3 και τα κυανιούχα ενώ συχνά παρατηρείται και υψηλή οξύτητα. Για την επεξεργασία των ρύπων απαιτούνται οι παρακάτω διεργασίες:

- Οι φαινόλες απομακρύνονται με εκχύλιση
- Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται με διήθηση και κατακάθιση μετά από χημική επεξεργασία με πολυηλεκτρολύτες
- Η οξύτητα μειώνεται με προσθήκη $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Τα κυανιούχα καταστρέφονται συνήθως με χλωρίωση σε αλκαλικό περιβάλλον αν όμως στα απόβλητα περιέχονται υψηλές συγκεντρώσεις φαινολών τότε τα κυανιούχα θα πρέπει να απομακρυνθούν βιολογικά διότι υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστούν χλωροφαινόλες.

Ø Διύλιση Πετρελαίου –Πετροχημικά. Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν κύριους οργανικούς ρύπους στα απόβλητα διυλιστηρίων πετρελαίου. Οι υδρογονάνθρακες απομακρύνονται σε διαχωριστικές δεξαμενές με βαρύτητα παραμένει όμως μια ποσότητα γύρω στα 5-35 mg/L κυρίως σε γαλακτοποιημένη μορφή, τα οποία

μπορούν να απομακρυνθούν με επίπλευση. Τα αιωρούμενα στερεά απομακρύνονται με κροκύδωση με πολυηλεκτρολύτες και καθίζηση. Η βιολογική επεξεργασία πραγματοποιείται σε αεριζόμενες δεξαμενές και συστήματα ενεργοποιημένης λάσπης που οδηγούν σε μείωση του BOD κατά 80-90%.

Ø Επεξεργασία Αποβλήτων Βιομηχανίας Ζάχαρης. Υγρά απόβλητα που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις σακχάρων διοχετεύονται, αφού πρώτα αποστειρωθούν, σε αντιδραστήρα (σχ. 3.35) που περιείχε τη ζύμη *Candida utilis*. Η ζύμη αυτή χρησιμοποιεί τα σάκχαρα για την ανάπτυξη της με συνέπεια την παραγωγή υψηλών ποσοτήτων μυκηλιακής μάζας αλλά και μείωση του BOD κατά 50%. Τα απόβλητα διοχετεύονται στο περιβάλλον ενώ η μυκηλιακή μάζα συγκεντρώνεται, ξηραίνεται και πουλιέται σε βιομηχανίες παραγωγής ζωικών τροφών καλύπτοντας έτσι έξοδα συντήρησης του συστήματος.



Σχήμα 3.35: Σύστημα βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων βιομηχανίας ζάχαρης.

Ø Βιολογική επεξεργασία αποβλήτων βιομηχανίας μεταποίησης πατάτας. Η διαδικασία είχε ως στόχο την παραγωγή ζωικής τροφής από την αποσύνθεση αποβλήτων από την μεταποίηση πατάτας.

Η χρήση δύο ζυμών των *Candida utilis* και *Endomycopsis fibuliger* που έχουν συμπληρωματική δράση καθώς ο *Endomycopsis* διασπούσε το άμυλο με την βοήθεια αμυλασών και στην συνέχεια ο *Candida* αναπτύσσονταν ταχύτατα στα παραγόμενα σάκχαρα. Η κυτταρική μάζα των δύο ζυμών συγκομιζόταν και χρησιμοποιούνταν για ζωική τροφή ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία.

4. ANTIΡΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

4.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" (ΑΠΕ) ή "ήπιες μορφές ενέργειας" είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "ήπιες" αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδεσμύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Ως "ανανεώσιμες πηγές" θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός "ανανεώσιμες" είναι κάπως καταχρηστικός, μια και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετών. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και πολλά κράτη υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Είδη ήπιων μορφών ενέργειας:

- **Αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Σήμερα χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από ανεμογεννήτριες.
- **Ηλιακή ενέργεια.** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδροηλεκτρική ενέργεια.** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά εργοστάσια στα οποία υπάρχουν γεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενεργεία του νερό σε ηλεκτρική. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Βιομάζα.** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί ευρέως στο μέλλον.

- **Γεωθερμική ενέργεια.** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.
- **Ενέργεια από παλίρροιες.** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- **Ενέργεια από κύματα.** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- **Ενέργεια από τους ωκεανούς.** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ήπιων μορφών ενέργειας:

∅ Πλεονεκτήματα:

- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

∅ Μειονεκτήματα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το

γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

4.1.1 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Μια μορφή βιομάζας είναι τα pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών (εικ. 4.1).

Ο Νόμος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Ν. 3468/06 παρέχει κίνητρα για την εκμετάλλευση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας, ενώ ο ορισμός που δίνει (ΦΕΚ Α'129/27.06.2006) έχει ως εξής: Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων που προέρχονται από τις γεωργικές, συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών, τις δασοκομικές και τις συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα βιομηχανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων και απορριμμάτων.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι υποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Ακόμα και σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή *πράσινη ενέργεια*) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση. Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας

με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.



Εικόνα 4.1: pellets βιομάζας φτιαγμένα από πριονίδι.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό. Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης της βιομάζας είναι τα παρακάτω:

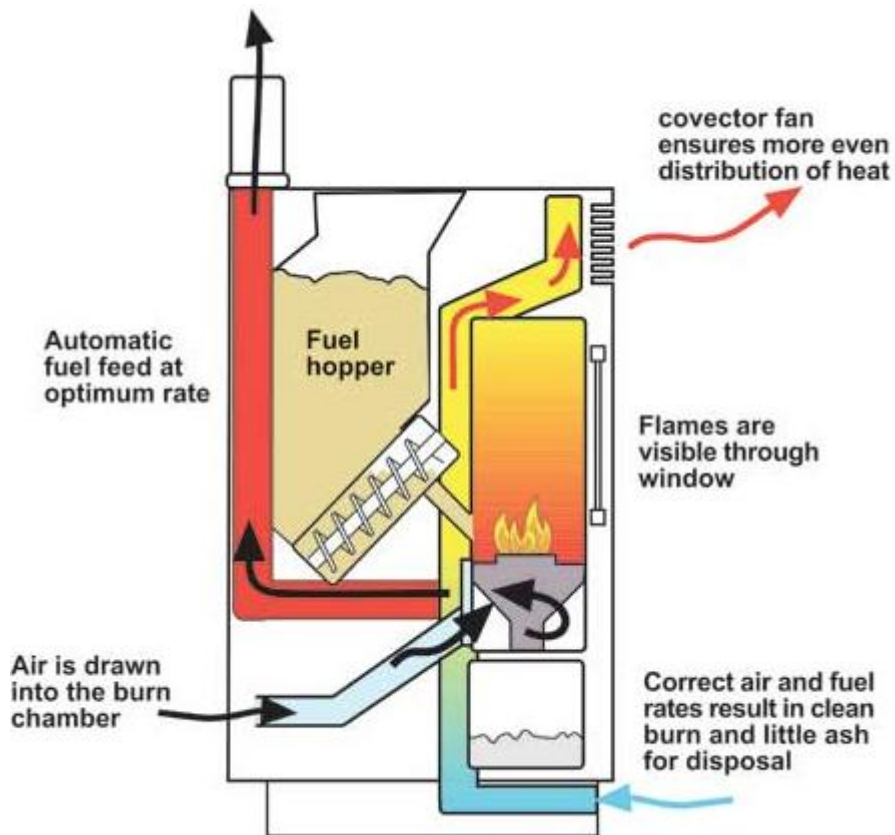
Ø Πλεονεκτήματα:

- Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
- Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
- Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
- Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφι), τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

Ø Μειονεκτήματα:

- Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
- Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
- Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

Τα pellets από πριονίδι χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια ως καθαρή καύσιμη ύλη στην Ευρώπη, ενώ τελευταία έχει αρχίσει να διαδίδεται η χρήση τους και στην Ελλάδα. Στην αγορά προωθούνται ειδικές σόμπες (σχ. 4.1) που λειτουργούν με την καύση τέτοιων pellets, οι οποίες διατίθενται τόσο σε κλασικό, όσο και σε μοντέρνο σχεδιασμό, και αναπαράγουν την θαλπωρή ενός τζακιού με ξύλα χωρίς τις δυσκολίες στην εγκατάσταση και συντήρηση που παρουσιάζουν τα τζάκια. Προς το παρόν η καύσιμη ύλη είναι κατ'εξοχήν εισαγόμενη, αφού οι μονάδες παραγωγής pellets στην Ελλάδα είναι ελάχιστες και η τεχνολογία δεν έχει διαδοθεί ακόμη αρκετά ώστε να είναι ανταγωνιστική η εγχώρια παραγωγή. Μια τέτοια σόμπα καίει κατά μέσο όρο από 0,6 έως 2,5 κιλά καυσίμου την ώρα, ενώ το κόστος των pellets αυτή τη στιγμή είναι περίπου 0,30 Ευρώ ανά κιλό.



Σχήμα 4.1: Σόμπτα που λειτουργεί με pellets (Pellet Stove)

4.1.2 Βιοκαύσιμα

Βιοκαύσιμα (αγγλ. biofuels) ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα στερεά, υγρά ή αέρια τα οποία προέρχονται από τη βιομάζα, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ιστορικά τα πρώτα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ανήκαν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Έτσι το ξύλο, το λίπος, τα φυτικά λάδια αλλά και τα αποστάγματα οργανικής προέλευσης εμπίπτουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Η μεγάλη ανάγκη σε φθηνά καύσιμα μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου μετά την βιομηχανική επανάσταση, η οποία συνεχίζει αυξανόμενη έως σήμερα, ενίσχυσε σημαντικά τη χρήση ορυκτών καυσίμων, άνθρακα αρχικά και πετρελαϊκών παραγώγων αργότερα, σε βάρος των παραδοσιακών βιοκαυσίμων. Τα προβλήματα θέρμανσης του πλανήτη (βλ. φαινόμενο του θερμοκηπίου), τα οποία σχετίζονται άμεσα με το περιεχόμενο των καυσίμων σε άνθρακα και το εκπεμπόμενο κατά την καύση διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) έχουν δημιουργήσει κατά τα τελευταία χρόνια ένα κλίμα στροφής προς βιοκαύσιμα τα οποία καλούνται να υποκαταστήσουν σταδιακά τα συμβατικά καύσιμα.

Τα βιοκαύσιμα προερχόμενα από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται ανανεώσιμα καύσιμα. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των

χαμηλότερων εκπομπών CO₂ στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO₂ με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υπεισέρχονται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO₂ το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου βιοκαυσίμου πρέπει να πραγματοποιήσει εξειδικευμένη ανάλυση κύκλου ζωής.

Σε μια προσπάθεια να προωθήσει την χρήση των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών στην Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθέτησε την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ. Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/ΕΚ βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα. Σύμφωνα με την ίδια οδηγία στην κατηγορία των βιοκαυσίμων εμπίπτουν η βιοαιθανόλη, το βιοντίζελ (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων), το βιοαέριο, η βιομεθανόλη, ο βιοδιμεθυλαιθέρας, ο βιο-ETBE (αιθυλοτριτοβουτυλαιθέρας, ο βιο-MTBE (μεθυλοτριτοβουτυλαιθέρας), τα συνθετικά βιοκαύσιμα (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα), το βιο-υδρογόνο και τα καθαρά φυτικά έλαια. Επίσης η νομοθεσία προβλέπει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να διασφαλίσουν ότι μια ελάχιστη αναλογία βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων διατίθεται στις αγορές τους, αναλογία η οποία για το 2005 ορίζεται στο 2 %, υπολογιζόμενη βάσει του ενεργειακού περιεχομένου, επί του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου ντίζελ που διατίθεται στις αγορές τους προς χρήση στις μεταφορές. Η αναλογία αυτή οφείλει να αυξηθεί στο 5.75% έως το τέλος του 2010. Η Ελλάδα το καλοκαίρι του 2005 ενσωμάτωσε την οδηγία αυτή στην εθνική νομοθεσία. Η Ελλάδα δεν κατάφερε να επιτύχει το στόχο του 2% στο τέλος του 2005 ενώ αμφιβολίες εκφράζονται για το κατά πόσο θα επιτευχθεί και ο στόχος για το 2010.

4.2 ΒΙΟΠΛΑΣΤΙΚΑ Ή ΒΙΟΠΟΛΥΜΕΡΗ

Το 30% των στερεών αστικών αποβλήτων αποτελούνται από συμβατικά πλαστικά που δεν βιοαποικοδομούνται με συνέπεια την αυξημένη ζήτηση βιοαποικοδομούμενων πλαστικών (βιοπλαστικά). Ως βιοαποικοδόμηση ορίζεται η ανάλυση των υλικών στα βασικά συστατικά τους υπό την επίδραση ζωντανών οργανισμών. Οι σημαντικότεροι οργανισμοί που μπορούν να αποικοδομήσουν τα βιοπλαστικά είναι βακτηρίδια, μύκητες, ακτινομύκητες, αλλά εξίσου σημαντικό ρόλο μπορούν να παίξουν και ορισμένα έντομα. Βιοπλαστικά δύναται να παρασκευασθούν με μια ποικιλία χημικών, φυσικών και βιολογικών μεθόδων:

- Με προσθήκη τροποποιημένου αμύλου σε πολυαιθυλένιο ή και σε άλλα πλαστικά, όπως πολυστυρένιο και πολυπροπυλένιο (starch - loaded thermoplastics).

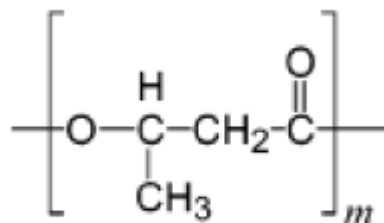
- Με πρώτη ύλη άμυλο και πρωτεΐνες, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία τους (starch - based plastics).
- Με συμπολυμερισμό π.χ. αιθυλενίου/ ακρυλικού οξέος και προσθήκη αμύλου ή αιθερο/εστεροποιημένου αμύλου.
- Με τροποποίηση φυσικών πολυμερών όπως το άμυλο και η κυτταρίνη π.χ. παραγωγή συνπολυμερών (graft copolymers).
- Από βακτήρια που έχουν την ικανότητα να παράγουν πολυμερή σε ενδοκυτταρικούς κόκκους.

Βακτήρια έχουν την ικανότητα να παράγουν σε ενδοκυτταρικούς κόκκους πολυμερή που έχουν ανάλογες ιδιότητες και χαρακτηριστικά με τα συνθετικά πλαστικά. Αυτή η μέθοδος παραγωγής βιοπλαστικών έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον.

Ο φυσιολογικός ρόλος των βιοπλαστικών αυτών είναι πιθανότατα η αποθήκευση άνθρακα (C) και ενέργειας σε συνθήκες έλλειψης κάποιων βασικών θρεπτικών στοιχείων. Διάφορα βακτήρια έχουν την ικανότητα, σε συνθήκες έλλειψης αζώτου (N), θείου (S) και φώσφορου (P) να αναστέλλουν την χρήση των ακέτυλομονάδων (λόγω έλλειψης θρεπτικών συστατικών) και να τις χρησιμοποιούν για τον σχηματισμό πολυμερών με δομική μονάδα υδροξυ-αλκανοϊκά οξέα. Επαναφορά των βακτηρίων σε συνθήκες μη-έλλειψης θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε διάσπαση των πολυμερών στα αντίστοιχα μονομερή για εξοικονόμηση ενέργειας. Ανάλογα με το είδος των μονομερών που αποτελούν τις δομικές μονάδες των πολυμερών βιοπλαστικών διαχωρίζονται σε:

- Πολυμερή που αποτελούνται από μονομερή C4 ή C5 υδροξυ-αλκανοϊκά οξέα
- Πολυμερή που αποτελούνται από μονομερή C6 – C12 υδροξυ-αλκανοϊκά οξέα (PHAs)

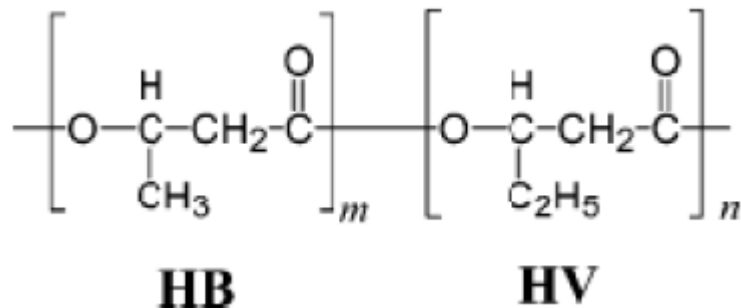
Το πιο εκτεταμένα μελετημένο αλλά και ταυτόχρονα πρώτο που απομονώθηκε από καλλιέργειες του βακτηρίου *Bacillus megaterium* ήταν το [R]-3-Υδροξυβουτυρικό Οξύ (HB).



HB

Το πολυμερές HB παρουσίαζε ποιοτικά προβλήματα κατά την πλαστικοποίηση όπως κρυσταλλική στερεοποίηση, χαμηλή ανθεκτικότητα στην θέρμανση, εύθραυστο κατά την στερεοποίηση και για αυτούς του λόγους εγκαταλείφθηκε η βιομηχανική

παραγωγή του. Το περισσότερο γνωστό και διαδεδομένο είναι το ετεροπολυμερές από μονάδες [R]-3-Υδροξυβουτυρικό Οξύ (HB) και [R]-3-Υδροξυβαλερικό Οξύ (HV). Περίπου 300 βακτήρια που παράγουν PHAs έχουν απομονωθεί αλλά ελάχιστα έχουν χρησιμοποιηθεί στην πράξη (*W. eutrophus*, *Pseudomonas oleovorans*).



Το συγκεκριμένο πολυμερές χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές με το εμπορικό όνομα Biopol® και απομονώθηκε για πρώτη φορά από το βακτήριο *Wautersia eutrophus* σε καλλιέργειες με πηγή C, γλυκόζη και προπιονικό οξύ. Τα βιοπλαστικά πλεονεκτούν των συμβατικών πλαστικών διότι:

- Είναι βιοαποικοδομήσιμα καθώς έχουν απομονωθεί μικροοργανισμοί που τα διασπούν ενώ και τα ίδια τα βακτήρια που τα συνθέτουν έχουν ένζυμα για να τα αποσυνθέτουν.
- Παράγονται από ανανεώσιμες πηγές.

Βιομηχανικές χρήσεις βιοπλαστικών:

- Κατασκευή πλαστικών μπουκαλιών σαμπουάν
- Κατασκευή βαλβίδων καρδιάς (ιατρική)
- Παραγωγή χρωμάτων/βαφών (ATO, Ολλανδία)
- Biopol™ βιολογικό πλαστικό που διατίθεται από την εταιρία Metabolix
- Nodax™ βιολογικό πλαστικό που διατίθεται από την εταιρία Proctor & Gamble

Μειονεκτήματα εφαρμογής των βιοπλαστικών στη βιομηχανία:

- Συγκριτικά υψηλό κόστος (τιμή πώλησης Biopol® 16\$/kg με κατώτερη τιμή στο μέλλον 5\$/kg) που θα πρέπει να μειωθεί ώστε να καταστεί ανταγωνιστική η παραγωγής τους.
- Περιορισμένη εμπειρία σε μηχανικές προσεγγίσεις για την παραγωγή βιοπλαστικών σε βιομηχανική κλίμακα.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ

Οι εφαρμογές της βιοτεχνολογίας στην γεωργία έχουν στόχο την μείωση της χρήσης χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων τα οποία δημιουργούν μεγάλα προβλήματα ρύπανσης στο έδαφος και στα υπόγεια ύδατα. Τα προϊόντα της βιοτεχνολογίας στον τομέα της γεωργίας χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

Ø Φυτοπροστατευτικά προϊόντα βιολογικής προέλευσης.

Στα φυτοπροστατευτικά προϊόντα οι δραστικές ουσίες είναι μικροοργανισμοί που έχουν την δυνατότητα να σκοτώνουν έντομα, φυτά ή άλλους μικροοργανισμούς (βιολογικά εντομοκτόνα, μυκητοκτόνα και ζιζανιοκτόνα) και φυσικά προϊόντα, ουσίες και εκχυλίσματα που παράγονται από μικροοργανισμούς ή φυτά και έχουν βιοκτόνο δράση.

Η χρήση τους οδηγεί σε περιορισμό της χρήσης συνθετικών γεωργικών φαρμάκων που έχει αποδειχθεί ότι δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα αλλά και προβλήματα υγείας στον άνθρωπο.

Τα Φυτοπροστατευτικά προϊόντα βιολογικής προέλευσης καταλαμβάνουν περίπου το 1.3% της παγκόσμιας αγοράς με τα βιολογικά εντομοκτόνα να καταλαμβάνουν το 4-5% της αγοράς εντομοκτόνων. Η εισαγωγή ευνοϊκών νομοθετικών ρυθμίσεων για τα βιολογικά σκευάσματα οδήγησε εταιρείες παραγωγής αγροχημικών να επενδύσουν περισσότερο στην παραγωγή τους. Για να εκδοθεί άδεια χρήσης για ένα συνθετικό γεωργικό φάρμακο απαιτούνται περίπου 36-45 μήνες ενώ το αντίστοιχο χρονικό διάστημα για ένα βιολογικό σκευάσμα είναι 12 μήνες.

Ø Ενισχυτικά φυτικής ανάπτυξης – βιολογικά λιπάσματα

Βιολογικό λίπασμα είναι κάθε σκευάσμα που περιέχει ζωντανούς μικροοργανισμούς, οι οποίοι όταν εφαρμοστούν σε σπόρους, φυτικές επιφάνειες ή στο έδαφος μπορούν να αποικίσουν την ριζόσφαιρα ή το εσωτερικό του φυτού και να βοηθήσουν την ανάπτυξη του φυτού αυξάνοντας την παροχή ή την διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για το φυτό.

Τα βιολογικά λιπάσματα διαχωρίζονται από τα οργανικά λιπάσματα (κοπριά, κομποστοποιημένα υλικά) καθώς τα πρώτα περιέχουν ζωντανούς οργανισμούς. Τα οργανικά λιπάσματα περιέχουν οργανικές ουσίες που άμεσα ή διαμέσου της διάσπασης τους βελτιώνουν την γονιμότητα του εδάφους.

Είδη βιολογικών λιπασμάτων:

- Συμβιωτικά αζωτοδεσμευτικά βακτήρια
- Συμβιωτικοί μυκορριζικοί μύκητες
- Βακτήρια Ενίσχυσης Φυτικής Ανάπτυξης (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)

Ø Γενετικά τροποποιημένα φυτά

Είναι φυτά με μοναδικούς συνδυασμούς γονιδίων που δεν υπάρχουν στην φύση και δημιουργούνται με την χρήση μεθόδων ανασυνδυασμένου DNA ή ένωση πρωτοπλάστων. Τα χαρακτηριστικά που ενσωματώνονται στα φυτά είναι:

- Ανθεκτικότητα σε ζιζανιοκτόνα
- Ανθεκτικότητα σε έντομα
- Βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων
- Ανθεκτικότητα σε προσβολή από ιούς και μύκητες
- Βελτίωση αγρονομικών χαρακτηριστικών

4.4 Αγορά περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας

Η αγορά της βιοτεχνολογίας και ειδικότερα στον τομέα της βιολογικής απορρύπανσης αποτελείται κυρίως από μικρές εταιρίες που δεν έχουν συνήθως μηχανολογική υποστήριξη ενώ υπάρχουν και κάποιες μεγάλες εταιρίες που αναλαμβάνουν συνήθως και την απορρύπανση συστημάτων σε μεγάλη κλίμακα.

Για παράδειγμα στην Ελλάδα η εταιρία [bionova \(www.bionova.gr\)](http://www.bionova.gr) προσφέρει τεχνολογία για διάφορες εφαρμογές όπως:

- **Σύστημα βιολογικής απομάκρυνσης οργανικών και αζώτου από αστικά λύματα με παράκαμψη της παραγωγής Νιτρικών.** Η τεχνολογία διασφαλίζει απομάκρυνση οργανικών και αζώτου και καθίζηση ιλύος σε μια και μόνο δεξαμενή. Η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε νέες εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών τύπου SBR είτε στην ανακατασκευή/τροποποίηση της λειτουργίας παλαιότερων μονάδων τόσο τύπου SBR όσο και συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος συνεχούς λειτουργίας. Το επεξεργάσιμο από τη μονάδα νερό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια, για πότισμα του περιβάλλοντος χώρου ή παρακείμενων γεωργικών εκτάσεων. Επιπλέον βασικά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας σε σχέση με τη λειτουργία συμβατικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνουν τη μείωση των απαιτήσεων σε οργανική ύλη κατά την απονιτροποίηση κατά 40%, τον υψηλότερο ρυθμό απονιτροποίησης κατά 63%, τη μείωση των απαιτήσεων αερισμού κατά 25% και τη μείωση κατά 75% της παραγόμενης ιλύος από τη μονάδα βιολογικού καθαρισμού, με αυτονόητα οικονομικά οφέλη λόγω της μείωσης τόσο του παγίου όσο και του λειτουργικού κόστους των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.
- **Περιοδικός αναερόβιος αντιδραστήρας με ανακλαστήρες.** Έχει αναπτυχθεί καινοτόμος αντιδραστήρας για την αναερόβια επεξεργασία υγρών αποβλήτων με παραγωγή βιοαερίου, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο (αποτελείται κατά 50-70% από μεθάνιο). Ο αντιδραστήρας είναι ταχύρρυθμος και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερη λειτουργική ευελιξία, κάτι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η τροφοδοσία έχει σοβαρές διακυμάνσεις ποσοτικές ή/και ποιοτικές. Έχει κατασκευαστεί εργαστηριακό πρότυπο και έχει αποκτηθεί δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.
- **Διβάθμιος αναερόβιος αντιδραστήρας για παραγωγή βιοαερίου από στερεά απόβλητα και βιομάζα.** Έχει αναπτυχθεί καινοτόμο σύστημα δύο συζευγμένων αντιδραστήρων για την επεξεργασία στερεών αποβλήτων ή/και φυτικής βιομάζας από ενεργειακές καλλιέργειες με στόχο την παραγωγή βιοαερίου (50- 70% μεθάνιο). Το σύστημα αποτελείται από έναν υδρολυτικό αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας στον οποίο τα στερεά οργανικά υδρολύονται, παράγοντας λιπαρά οξέα, και από ένα ταχύρρυθμο αναερόβιο αντιδραστήρα στον οποίο παράγεται βιοαέριο (μεθανογένεση). Στον ταχύρρυθμο αναερόβιο αντιδραστήρα τροφοδοτείται το εκχύλισμα των στερεών αποβλήτων μαζί με το υγρό κλάσμα της απορροής του υδρολυτικού αντιδραστήρα. Το σύστημα αυτό έχει δοκιμαστεί επιτυχώς σε εργαστηριακή κλίμακα για την παραγωγή βιοαερίου από γλυκό σόργο (ενεργειακή καλλιέργεια). Είναι σημαντικό να αναπτυχθεί και δοκιμαστεί σε πιλοτική κλίμακα.

- **Παραγωγή αέριων βιοκαυσίμων από απόβλητα και βιομάζα.** Έχει αναπτυχθεί ένα διβάθμιο σύστημα παραγωγής υδρογόνου και μεθανίου από απόβλητα και βιομάζα με καθαρά βιοτεχνολογικό τρόπο. Ο πρώτος αντιδραστήρας δέχεται τα απόβλητα σε αιώρηση και παράγει υδρογόνο. Ο δεύτερος δέχεται την απορροή του πρώτου αντιδραστήρα και παράγει βιοαέριο (μείγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα). Η υγρή απορροή μπορεί να διαχωρισθεί σε υγρό και στερεό κλάσμα. Το υγρό μέρος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για τη διαλυτοποίηση/αιώρηση των αποβλήτων ενώ το στερεό κλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα/ εδαφοβελτιωτικό. Η λογική αυτή έχει εφαρμοστεί (α) σε ενεργειακή καλλιέργεια γλυκού σόργου και (β) στην αξιοποίηση του ελαιοπυλτού που παράγεται ως παραπροϊόν από τα φυγοκεντρικά ελαιοτριβεία δύο φάσεων. Μελετάται η εφαρμογή σε απόβλητα τυροκομείου. Έχουν κατασκευαστεί και μελετηθεί εργαστηριακά πρότυπα καθώς και πιλοτική εγκατάσταση για την αξιοποίηση του ελαιοπυλτού.
- **Απομάκρυνση αμμωνίας, σιδήρου και μαγγανίου από το πόσιμο νερό.** Έχει αναπτυχθεί βιόφιλτρο (χαλικοδυλιστήριο) για την απομάκρυνση αμμωνίας, σιδήρου και μαγγανίου από το πόσιμο νερό. Η μελέτη έχει γίνει σε πιλοτική κλίμακα.
- **Απομάκρυνση ξενοβιοτικών ουσιών από την ιλύ των βιολογικών καθαρισμών.** Η παρουσία επιφανειοδραστικών ουσιών, φθαλικών εστέρων, πολυαρωματικών υδρογονανθράκων και άλλων ξενοβιοτικών ουσιών στα λύματα συνεπάγεται ενδεχόμενη παρουσία τους στην ιλύ που παράγεται από τους βιολογικούς καθαρισμούς. Η παρουσία τους στην ιλύ περιορίζει τη χρησιμότητά/καταλληλότητά της για εφαρμογή σε αγροτική γη, διάθεση η οποία είναι κατά κανόνα και η πλέον επιθυμητή από οικονομική και περιβαλλοντική σκοπιά. Η τύχη των ουσιών αυτών έχει μελετηθεί στο εργαστήριό μας για τις σημαντικότερες τεχνολογίες επεξεργασίας ιλύος. Έχει διαπιστωθεί ότι ενώ η αναερόβια χώνευση της ιλύος επιτυγχάνει περιορισμένη μόνο μείωση των ουσιών αυτών, η κομποστοποίηση είτε της ιλύος ως έχει, είτε της αναερόβιας επεξεργασμένης ιλύος οδηγεί σε μείωση των συγκεντρώσεων σε αποδεκτά για διάθεση επίπεδα. Ακόμη έχει αναπτυχθεί βραχύχρονη αερόβια διεργασία η οποία επιτυγχάνει τη μείωση των επιφανειοδραστικών ουσιών που περιέχει η αναερόβια εκροή.
- **Αποτοξικοποίηση των αποβλήτων επεξεργασίας της βρώσιμης ελιάς και των ελαιοτριβείων με μύκητες λευκής σήψης.** Τα απόβλητα αυτά περιέχουν σημαντικό οργανικό φορτίο που μπορεί να αξιοποιηθεί για παραγωγή βιοαερίου. Η παρουσία, ωστόσο, φαινολικών αναστέλλει ή περιορίζει την απόδοση των αναερόβιων μεθανογόνων οργανισμών. Έχει αποδειχτεί ότι η χρήση μυκήτων λευκής σήψης σε κάποιο στάδιο προεπεξεργασίας μπορεί να καταναλώσει το φαιολικό κλάσμα των αποβλήτων χωρίς σημαντική μείωση των υπολοίπων οργανικών. Έτσι τα απόβλητα καθίστανται αξιοποιήσιμα για παραγωγή βιοαερίου. Αναπτύσσεται καινοτόμος ετερογενής βιοαντιδραστήρας ο οποίος βασίζεται σε ακινητοποιημένους μύκητες για την αποτελεσματική αποφαινοποίηση των αποβλήτων ελαιοτριβείων.

Γενικότερα ο συγκεκριμένος κλάδος δεν αντιμετωπίζει ακόμη πρόβλημα κορεσμού και πιθανότατα θα διευρυνθεί περαιτέρω τα επόμενα χρόνια ανοίγοντας νέες θέσεις εργασίας. Η διεύρυνση της αγοράς της Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας οφείλεται:

- 1) Στην αποδοχή της βιοτεχνολογίας ως μεθόδου για την ανάπτυξη νέων βιομηχανικών μεθόδων και διεργασιών
- 2) Στην εφαρμογή νομοθεσίας που επέβαλε την αναζήτηση νέων μεθόδων που συμβάδιζαν με τις αρχές της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας
- 3) Σε τραγικά γεγονότα που οδήγησαν σε περιβαλλοντικές καταστροφές όπως το ναυάγιο του πετρελαιοφόρου Exxon Valdez.

Το σημαντικότερο πρόβλημα των εταιρειών που δραστηριοποιούνται στο τομέα της περιβαλλοντικής βιοτεχνολογίας είναι ότι τα προϊόντα τους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη κλίμακα αλλά είναι εξειδικευμένα με περιορισμένο φάσμα δράσης. Αυτό οφείλεται σε ιστορικούς κυρίως λόγους καθώς παραδοσιακά οι βιοτεχνολογικές μέθοδοι εκλαμβάνονταν ως μη οικονομικά βιώσιμες και απορρίπτονταν χωρίς δεύτερη σκέψη. Αυτό οδήγησε σε μειωμένη παροχή κονδυλίων στον ιδιωτικό τομέα και συνεπώς περιορισμένο φάσμα προϊόντων που παράγονταν μόνο ως απάντηση σε συγκεκριμένα προβλήματα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η βιοτεχνολογία αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία αδιαμφισβήτητα συμβάλλει στην προσπάθεια για καθαρότερο περιβάλλον. Όσον αφορά το κόστος της βιοτεχνολογίας είναι πολύ λίγες οι δημοσιευμένες μελέτες, από πανεπιστημιακά ιδρύματα ή κυβερνητικούς οργανισμούς, οι οποίες πραγματοποιούν συγκρίσεις με συμβατικές φυσικοχημικές διεργασίες επεξεργασίας.

Τελικά η Βιοτεχνολογία είναι σε θέση να προτείνει λύσεις στα διαρκώς αυξανόμενα περιβαλλοντικά προβλήματα. Παρόλα αυτά, η χρησιμοποίηση σε ευρεία κλίμακα των εφαρμογών της βιοτεχνολογίας θα πρέπει πάντα να γίνεται μετά από εξαντλητική μελέτη των ευρύτερων περιβαλλοντικών επιπτώσεων τέτοιων επεμβάσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

Σαββάκης Κ., Χημική Τεχνολογία-εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Τεχνολογία, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, 2002 .

Αλμπανης Τ., Ρύπανση και Τεχνολογία Προστασίας Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1996.

Strinivas T., Environmental Biotechnology, New Age International (P) Ltd.,GITAM UNIVERSITY, 2008.

Evans G., Furlong J., Environmental Biotechnology Theory and Application, WILEY, 2003.

Jordening H., Winter J., Environmental Biotechnology Concepts and Applications, WILEY, 2005.

Θεοδωροπούλου Μαρία, Τεχνολογία Ρύπανσης, Τ.Ε.Ι. Πάτρας

Καρπούζας Δημήτριος, Περιβαλλοντική Βιοτεχνολογία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Καρπούζας Δημήτριος, Τεχνολογίες Επεξεργασίας Αποβλήτων, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Συνέδρια:

Σπανομήτσιος Μάριος-Παύλος , Γιαννουλάκη Ασημίνα, Γιαννουλάκης Θεολόγος , Σπανομήτσιος Στέφανος, Μελέτη της Ρύπανσης των Υδατίνων Πόρων με χρήση Ζωντανών Οργανισμών, 4^ο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Ναύπλιο 12-14/12/2008

Γιαννουλάκη Ασημίνα, Σπανομήτσιος Μάριος-Παύλος, Γεωργέλλης Παναγιώτης, Γιαννουλάκης Θεολόγος, Σπανομήτσιος Στέφανος, Μελέτη της Ρύπανσης των Εδαφών από Φυτοφάρμακα, Τοξικά Στερεά και Υγρά Απόβλητα, 4^ο Συνέδριο ΠΕΕΚΠΕ, Ναύπλιο 12-14/12/2008

Διευθύνσεις διαδικτύου:

<http://natura.minenv.gr/batelv/Docs/ΒΔΤ%20ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ%20ΥΓΡΩΝ%20ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ%20ΑΠΟ%20ΕΕΛ-ΧΥΤΑ-ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ%20ΟΡΥΚΤΕΛΑΙΩΝ.pdf>

<http://www.library.tuc.gr/artemis/MT2002-0017/MT2002-0017.pdf>

http://www.efb-central.org/images/uploads/Environmental_biotechnology_English.pdf

<http://www.hydromedia.gr/content.asp?contentid=67>

www.epa.gov/nerlesd1/factsheets/bem.pdf

http://www.greekagriotech.com/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=27&Itemid=31

<http://www.gelis.gr/Βιομεμβράνες ή Biofilms.html>

<http://www.qualitynet.gr/displayITM1.asp?ITMID=60302>

www.acenz.com/biotrickling_filters/index.htm

<http://www.ehponline.org/docs/2000/108-4/innovations.html>

<http://www.tri-mer.com/biofilters.html>

<http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=52425>

<http://www.bridgewaterma.org/Government/Sewer/WWTP/rbc.html>

<http://www.gm.ca/inm/gmcanada/english/about/MissionGreen/Daily/Oct06/O11.jpg>

<http://biomine.skelleftea.se/html/BioMine/Reactors/Bioreractors/images/pic012.png>

<http://www.ppti.usm.my/Hakimi/ecological.html>

http://www.parembasis.gr/2005/05_10_01.htm

http://www.asalab.it/docs/Image/Daphnia_magna.jpg

<http://kpe-edess.pel.sch.gr/ygrotopos.htm>

<http://www.ci.livermore.ca.us/wrd/wrptour2.html>

<http://rydberg.biology.colostate.edu/Phytoremediation/2003/Amy/phytoremediationtechnologies.html>

<http://www.giantbomb.com/biotechnology/92-2359/>

<http://astro.pblogs.gr/2008/06/sos-to-periballon-kai-o-anthrwpos.html>

<http://www.wholeearth-solutions.com/bioremediation.html>

<http://environe.blogspot.com/2008/04/politics-and-environment.html>

<http://www.compostguy.com/composting/hot-composting-vs-vermicomposting/>

<http://www.molecular-plant-biotechnology.info/applied-biotechnology/environmental-biotechnology/biosensors.html>

http://www.ekby.gr/ekby/el/ECOS-Ouverture_main_el.html

<http://climatechange.edu.gr/tag/βιοδείκτες/>

http://fpagetest.com/Subweb03Secondary/A_Theory/A2_ActivatedSludgeBasics.htm

<http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/group12/types.htm>

<http://www.wastewatersystem.net/2009/06/activated-sludge-process-control.html>

<http://water.me.vccs.edu/concepts/oxidation.html>

<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/TechPublications/TechPub-15/2-4/4-2-3.asp>

<http://web.deu.edu.tr/atiksu/toprak/ani4061.html>

http://www.brentwoodindustries.com/water/trickling_main.html

<http://www.fao.org/DOCREP/003/V9922E/V9922E05.htm#4.1.4%20Trickling%20filters>

<http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/FUNDAMNT/streem/methods.htm>

<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r00008/html/html/tfs5.htm>

http://ggbpl.recursive.gr/system/files/_%CF%80%CE%BB%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC.pdf

<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Freshwater/FMS2/1.asp>

<http://www.gesodorcontrol.com/bioscrubber.html>

<http://www2.binghamton.edu/biology/faculty/davies/research.htm>

<http://www.intlcommerce.com.sg/ac.html>

<http://www.emeraldinsight.com/fig/0870230405005.png>

<http://www.emeraldinsight.com/fig/0870230405002.png>

<http://eprints.teikoz.gr/101/>

<http://www.fao.org/docrep/t0541e/T0541E02.GIF>

http://postgrasrv.hydro.ntua.gr/gr/edmaterial/thesis/abstract/Poulopoulou_Triseygeni.pdf

<http://www.nsspo.com/Pics/Nitrification.jpg>

http://www.leics.gov.uk/index/environment/waste/compost_pages.htm

http://www.grand-island.com/Departments/Public_Works/Wastewater/wwtp_where_were_going.htm

<http://www.nps.gov/plants/restore/pubs/biosolids/what.htm>

http://www.gec.jp/WASTE/data/waste_H-2.html

<http://odourstop.com/specifics.php>

http://www.ecocycle.co.jp/e_bioremediation/e_bioremediation.html

http://www.buildingforafuture.co.uk/autumn03/wood_pellets_page_2.php

http://www.bionova.gr/texnomesia/who_we_are.html