

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΕΛΔΑΦΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

#### 8.1. Επιπτώσεις των υγρών αποβλήτων και των λυμάτων στο γεωπεριβάλλον

Ο σύγχρονος βιομηχανικός τρόπος ζωής έχει οδηγήσει στην αύξηση των παραγόμενων λυμάτων και αποβλήτων με σοβαρές επιπτώσεις στο γεωπεριβάλλον (Σχ. 8.1). Με την έννοια *γεωπεριβάλλον* αναφερόμαστε στο έδαφος και το νερό και η προστασία του περιλαμβάνει:

- Έλεγχο κάθε μορφής ρύπανσης και μόλυνσης
- Προστασία της πανίδας, της χλωρίδας και των υγροτόπων
- Προστασία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (πολιτιστικά μνημεία, αρχαιολογικοί χώροι).



**Σχήμα 8.1:** Ο ανθρωπογενής κύκλος του νερού ([www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)).

Οι ρυπαντές που συναντώνται στα υγρά απόβλητα και τα αστικά λύματα μπορούν να διακριθούν σε:

1. Οργανικά υλικά βιοαποικοδομήσιμα. Χρησιμοποιούν σαν τροφή από τους ζωντανούς οργανισμούς. Μια ουσία θεωρείται βιοαποδομήσιμη αν μπορεί να καταναλωθεί κατά 80% μέσα σε 5 ημέρες. Το βιοαποδομήσιμο οργανικό φορτίο των οικιακών λυμάτων

και των βιομηχανιών τροφίμων διακρίνεται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες χημικών ενώσεων: υδατάνθρακες, πρωτεΐνες και λιπαρές ουσίες.

2. Οργανικά υλικά μη βιοαποδομήσιμα. Περιλαμβάνονται διάφορα προϊόντα της χημικής βιομηχανίας (χρώματα, απορρυπαντικά, οργανικοί διαλύτες κ.ά), κυτταρίνες, λιγνίνες, καθώς και φαινόλες (βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα ελαιουργείων).
3. Θρεπτικά συστατικά. Περιλαμβάνονται άλατα φωσφόρου, θείου και αζώτου με τα οποία τρέφονται οι οργανισμοί και συνθέτουν πρωτεΐνες και πεπτίδια. Η απουσία των θρεπτικών συστατικών οδηγεί σε περιορισμό του πληθυσμού των ζωντανών οργανισμών, ενώ αντίθετα η περίσσειά τους οδηγεί σε υπερανάπτυξη (ευτροφισμό).
4. Τοξικές ουσίες. Είναι ανόργανες ενώσεις και στοιχεία (θειούχα, χρωμικά άλατα, αρσενικό, σελήνιο, αντιμόνιο, τελούριο) και οργανικές ενώσεις (κυανιούχα, φαινόλες, οργανοφωσφορικές ενώσεις κ.ά).
5. Βαρέα μέταλλα. Περιλαμβάνονται τα μέταλλα Hg, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Sn, Co κ.ά. Σε μεγάλες ποσότητες τα βαρέα μέταλλα έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στους ζωντανούς οργανισμούς, λόγω της βιοσυσσωρευσης.
6. Ανόργανα υλικά. Περιλαμβάνουν τις ουσίες εκτός από τα βαρέα μέταλλα, τα ανόργανα τοξικά και τα θρεπτικά άλατα.

Οι επιπτώσεις των αποβλήτων και των λυμάτων, ιδιαίτερα αυτών που δεν έχουν υποστεί επεξεργασία είναι σημαντικές στο περιβάλλον. Η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων είναι μόνιμη απειλή για το περιβάλλον, τους υδατικούς πόρους, το έδαφος και τη δημόσια υγεία. Επειδή τα λύματα είναι πλούσια σε οργανικά θρεπτικά συστατικά, όταν αποβάλλονται στους υδάτινους αποδέκτες (θάλασσα, λίμνες, ποτάμια) δημιουργούν μεγάλες απαιτήσεις σε οξυγόνο, προκειμένου να διασπαστούν αερόβια από βακτήρια και μύκητες. Οι υδάτινοι αποδέκτες των υγρών αποβλήτων μπορεί να είναι επιφανειακοί (θάλασσα, έλη, λίμνες, ποταμοχείμαρροι) ή υπόγειοι.

Ευαίσθητες περιοχές είναι τα επιφανειακά νερά που προορίζονται για άντληση πόσιμου νερού, οι φυσικές λίμνες γλυκών νερών, οι εκβολές ποταμών, οι όρμοι και άλλα παράκτια νερά με ασθενή εναλλαγή νερού ή που δέχονται μεγάλες ποσότητες θρεπτικών συστατικών.

Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την απόρριψη οργανικών ρύπων στους επιφανειακούς αποδέκτες είναι οι εξής:

- αποσύνθεση ή υδρόλυση των ρύπων
- εξαέρωση στην ατμόσφαιρα

- βιοδιάσπαση με ενδιάμεσες ενώσεις
- φωτόλυση με την επίδραση ηλιακού φωτός
- ρόφηση από τα ιζήματα
- βιοσυγκέντρωση (βιοσυσώρευση) στην τροφική αλυσίδα

Η αραίωση είναι βασικός παράγοντας που ελέγχει τις συγκεντρώσεις των ρύπων στα υδρορεύματα και εκφράζεται με τον **δείκτη αραίωσης** (stream dilution factor), ο οποίος είναι το πηλίκο της απορροής του υδρορεύματος προς τον αθροιστικό όγκο αποβλήτων, που διατέθηκαν σε αυτό. Ο δείκτης κυμαίνεται από 25-100.000 και εκφράζει πρακτικά το ποσοστό της απορροής του υδρορεύματος που προέρχεται από τη διάθεση αστικών ή βιομηχανικών αποβλήτων σε αυτό (Καλλέργης, 2001).

Κοινή για τα περισσότερα απόβλητα είναι η **μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου** στον υδάτινο αποδέκτη. Η μείωση αυτή οφείλεται στη διάσπαση του οργανικού υλικού από μικροοργανισμούς του αποδέκτη, που αφαιρεί  $O_2$ , το οποίο αναπληρώνεται μόνο κατά ένα μικρό μέρος από τη διαλυτοποίηση του ατμοσφαιρικού οξυγόνου.

Γενικά η προσφορά οξυγόνου από ένα υδάτινο αποδέκτη χαρακτηρίζεται από το **διαλυμένο οξυγόνο**. Αν το διαλυμένο οξυγόνο βρίσκεται στα όρια κορεσμού, αυτό σημαίνει ότι το οργανικό φορτίο είναι περιορισμένο ή μηδενικό. Επίσης απόρριψη πετρελαιοειδών ή άλλων ελαφρύτερων ουσιών μπορεί να δημιουργήσει τεχνητό αποκλεισμό οξυγόνου από τον υδάτινο αποδέκτη.

Τα επιπλέοντα, αιωρούμενα χρωστικά και αφρίζοντα υλικά προκαλούν μείωση της διαφάνειας, αισθητική όχληση, αλλά και ρύπανση των επιφανειακών νερών.

Όταν αποβάλλονται θερμά απόβλητα σε υδάτινους αποδέκτες (ποτάμια, λίμνες) ελαττώνεται η διαλυτότητα του οξυγόνου με δυσμενείς επιπτώσεις στο βιόκοσμό τους.

Η παρουσία φωσφόρου και αζώτου συμβάλλει στην **ανάπτυξη φυκών** και στον **ευτροφισμό** του αποδέκτη. Η παρουσία αμμωνίας είναι τοξική για τα ψάρια και προκαλεί ζήτηση οξυγόνου με τη μετατροπή του αμμωνιακού σε νιτρικό άζωτο.

Τα λύματα περιέχουν άζωτο σε τρεις μορφές: οργανική μορφή (κυρίως στα στερεά), αμμωνιακό άζωτο ( $NH_4^+$ ,  $NH_3$ ) και οξειδωμένες μορφές του αζώτου ( $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ). Το οργανικό άζωτο συγκρατείται από το έδαφος και με τη βοήθεια μικροοργανισμών μετατρέπεται σε αμμωνιακό άζωτο που προσροφάται στο έδαφος. Το αμμωνιακό άζωτο μπορεί να προσληφθεί από τα φυτά, να εξαερωθεί ως  $NH_3$  ή να οξειδωθεί σε  $NO_3^-$ . Τα  $NO_3^-$  δεν προσροφώνται εύκολα, είναι ευκίνητα και αν δεν χρησιμοποιηθούν από τα φυτά ή υποστούν απονιτροποίηση καταλήγουν στα υπόγεια νερά.

Το βόριο δεν συγκρατείται από το έδαφος και υπάρχει ο κίνδυνος ρύπανσης των υπόγειων νερών. Ο φωσφόρος απομακρύνεται κατά ένα μέρος από τα φυτά και το υπόλοιπο αδρανοποιείται στο έδαφος, σχηματίζοντας αδιάλυτες φωσφορικές ενώσεις.

Οι τοξικές ουσίες που δεν είναι βιοαποικοδομήσιμες συσσωρεύονται στα ιζήματα των λιμνών και θαλασσών που καταλήγουν και η δράση τους είναι μακρόχρονη. Παρατηρούνται κυτταρικές αλλοιώσεις στα υδρόβια είδη από μακροχρόνιες δόσεις τοξικών ουσιών, βαρέων μετάλλων, φυτοφαρμάκων, παρασιτοκτόνων, καθώς και συσσώρευση ρυπαντών στο σώμα τους, οι οποίοι διαμέσου της τροφικής αλυσίδας καταλήγουν στον άνθρωπο. Γενικά η μακρόχρονη διάθεση των αποβλήτων και λυμάτων στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, τα καθιστά ακατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση.

Η ανεξέλεγκτη διάθεση των αποβλήτων στο *έδαφος* έχει ως αποτέλεσμα τον εμποτισμό του με ανεπιθύμητα συστατικά, καθιστώντάς το ακατάλληλο για καλλιέργεια. Επιπλέον υπάρχει κίνδυνος στην υγεία από την κατανάλωση προϊόντων, των οποίων τα φυτά αρδεύονται με ανεπεξέργαστα απόβλητα που περιέχουν επιβλαβείς ουσίες..

## **8.2. Το έδαφος ως μέσο επεξεργασίας και διάθεσης υγρών αποβλήτων**

Η επεξεργασία των λυμάτων στο έδαφος στηρίζεται στην ικανότητα της εδαφικής και ακόρεστης ζώνης να μειώνουν το ρυπαντικό φορτίο, μέχρι και πλήρους εξασθένησης. Για τον λόγο αυτό τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα ή τα υποβαθμισμένα ποιοτικά νερά διηθούνται στο έδαφος, καθαρίζονται κινούμενα προς την κορεσμένη ζώνη και αντλούνται ως αναγεννημένα νερά ή εκφορτίζονται από τον υδροφορέα.

Τα συστήματα επεξεργασίας του εδάφους περιλαμβάνουν:

- το έδαφος όπου φιλτράρονται τα απόβλητα και μειώνεται η συγκέντρωση των ρύπων, μέσω των διαδικασιών προσρόφησης, ιοντοανταλλαγής, κατακρήμνισης κ.ά.
- τα φυτά, τα οποία χρησιμοποιούν τις ανόργανες ουσίες και τα θρεπτικά στοιχεία των αποβλήτων
- τους μικροοργανισμούς και τα βακτήρια που επιταχύνουν διάφορες αντιδράσεις.

Οι φυσικές διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την εδαφική επεξεργασία των λυμάτων είναι η κίνηση των ρύπων και του νερού στο έδαφος, η συγκράτηση αιωρούμενων στερεών κ.λπ. Οι χημικές διαδικασίες σχετίζονται με φαινόμενα ιοντο-ανταλλαγής, προσρόφησης, κατακρήμνισης και αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Οι

βιολογικές διεργασίες περιλαμβάνουν την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών από τα φυτά και τις διάφορες μικροβιακές διασπάσεις.

Ο βαθμός αναγέννησης των υγρών αποβλήτων εξαρτάται από τα εδαφικά χαρακτηριστικά, τις φυσικοχημικές ιδιότητες των ρύπων, τη βλάστηση, τους κλιματικούς παράγοντες, καθώς και τον τρόπο διάθεσης των λυμάτων.

Το έδαφος έχει την ικανότητα συγκράτησης των οργανικών ουσιών κατά τη διέλευσή τους από αυτό και τη βιολογική διάσπασή τους. Ο ρυθμός διάθεσης στο έδαφος δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μέγιστη οργανική φόρτιση που μπορεί αυτό να δεχθεί. Υπέρβαση του ρυθμού αυτού δημιουργεί αναερόβιες συνθήκες με συνέπεια τη συσσώρευση οργανικής ύλης στο έδαφος και την εμφάνιση οσμών και φράξιμο των πόρων.

Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης γίνεται, αφού πρώτα ληφθούν υπόψη τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων και η αφομοιωτική ικανότητα του εδάφους. Αυτό γίνεται με τον προσδιορισμό του *περιοριστικού συστατικού του εδάφους* (land limiting constituent). Η ανάλυση αυτή στηρίζεται στον προσδιορισμό του συστατικού εκείνου (οργανικές ουσίες, τοξικά μέταλλα, νιτρικά ιόντα κ.ά), που απαιτεί τη μεγαλύτερη εδαφική έκταση.

### 8.3. Διάθεση λυμάτων στο έδαφος (φυσικά συστήματα επεξεργασίας)

Η παροχή των υγρών αστικών αποβλήτων μιας περιοχής καθορίζεται από την πυκνότητα των κατοίκων της. Στην Ελλάδα η μέση ημερήσια παροχή των λυμάτων κυμαίνεται από 150-350 L/άτομο. Τα λύματα που καταλήγουν στην Ψυττάλεια από το λεκανοπέδιο Αττικής ανέρχονται σε 750.000 m<sup>3</sup>/ημέρα με προοπτική το 1.000.000 m<sup>3</sup>/ημέρα.

Οι μέσες τιμές των παραμέτρων (mg/L) των αστικών λυμάτων, όπως μετρήθηκαν σε τέσσερις μονάδες βιολογικού καθαρισμού της χώρας μας, φαίνονται στον Πίνακα 8.1.

**Πίνακας 8.1:** Ποιοτικά χαρακτηριστικά αστικών λυμάτων (Λέκκας, 2001 με τροποποιήσεις).

Παράμετροι (mg/L)	Ηράκλειο	Λάρισα	Κόρινθος	Μυτιλήνη
BOD <sub>5</sub>	334	288	280	420
COD	733	483	460	925
Αιωρούμενα στερεά	302	192	322	450
Ολικό άζωτο	67	70	45	84
Ολικός φωσφόρος			16	74

Η επεξεργασία των αστικών λυμάτων γίνεται:

### **1) Συμβατικά με τις μονάδες επεξεργασίας λυμάτων (βιολογικοί καθαρισμοί)**

Η επιλογή του χώρου για την εγκατάσταση της μονάδας επεξεργασίας και του τελικού αποδέκτη γίνεται με βάση την αξιολόγηση μιας σειράς παραμέτρων, όπως: χωροταξικές, γεωλογικές, υδρολογικές, κλιματολογικές, τεχνικές και περιβαλλοντικές.

Τα υγρά αστικά απόβλητα μετά την επεξεργασία τους έχουν τη δυνατότητα ή να καταλήξουν σε κάποιον αποδέκτη (θάλασσα, λίμνες, ποταμούς) ή επαναχρησιμοποιούνται (άρδευση, τεχνητός εμπλουτισμός). Η διάθεση των αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες ρυθμίζεται νομοθετικά, σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΚΥΑ 5673/400/97, ΦΕΚ 192Β/14-3-1997).

Η συγκέντρωση των ρύπων μειώνεται με την απόσταση από το σημείο απόρριψης στον υδάτινο αποδέκτη. Οι παράμετροι του αποδέκτη, που επηρεάζονται από την απόρριψη αποβλήτων είναι: το διαλυμένο οξυγόνο, ο φωσφόρος και το άζωτο, το οργανικό φορτίο, τα τοξικά μέταλλα και οι τοξικές ενώσεις. Οι ρύποι που περιέχονται στα υγρά απόβλητα όταν φθάσουν στους υδάτινους αποδέκτες υφίστανται μεταβολές, λόγω: βιο-οξειδωσης, καθίζησης και προσρόφησης (Λέκκας, 2001).

### **2) Φυσικά συστήματα (διάθεση στο έδαφος ή υπέδαφος)**

Η διάθεση των υγρών αστικών αποβλήτων στο έδαφος είναι μια φθινή μέθοδος, αρκετά δημοφιλής όταν διατίθεται ο κατάλληλος χώρος. Το βασικότερο πλεονέκτημα είναι η αποτελεσματικότητα στην απομάκρυνση των παθογόνων μικροοργανισμών, η δυνατότητα δημιουργίας τεχνητών υγροτόπων και η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για άρδευση με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού. Τα φυσικά συστήματα δεν απαιτούν ενέργεια για τη λειτουργία τους (εκτός αυτής που απαιτείται για τη μεταφορά τους στις επιλεγμένες θέσεις), σε αντίθεση με τα συμβατικά που απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας και συνεπώς μεγάλο κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Κυριότερο μειονέκτημα είναι η ανάγκη ύπαρξης μεγάλων επιφανειών γης. Η τεχνική της διάθεσης στο έδαφος πρέπει να εφαρμόζεται, αφού πρώτα γίνει υδρογεωλογική έρευνα και μελετηθούν ενδελεχώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Να σημειωθεί ότι το έδαφος δεν έχει απεριόριστη αφομοιωτική ικανότητα και πρέπει να αξιοποιούνται οι φυσικοχημικές ιδιότητές του για την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων στο έδαφος είναι οι κάτωθι:

#### **1. Άρδευση**

Χρησιμοποιούνται τα θρεπτικά συστατικά των λυμάτων (φωσφόρος, άζωτο) ως λίπασμα. Η μέθοδος λειτουργεί σαν τριτοβάθμια επεξεργασία, αλλά αυξάνει το σύνολο διαλυμένων αλάτων του νερού που κατεισδύει στον υδροφόρο ορίζοντα. Το έδαφος πρέπει να είναι ιλύουχος πηλός επαρκούς υδροπερατότητας με ελάχιστο πάχος ακόρεστης ζώνης 1,5 m.

Οι αζωτούχες ενώσεις απομακρύνονται από το ριζικό σύστημα των φυτών ή την απονίτρωση (εξαέρωση με τη μορφή αμμωνίας ή εξαέρωση με μορφή ελεύθερου αζώτου). Η αφομοιωτική ικανότητα των φυτών εξαρτάται από το είδος τους, περιορίζεται όμως σε μερικές εκατοντάδες kg/εκτάριο/έτος. Υπέρβαση της ικανότητας του εδάφους επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις σε πολλές καλλιέργειες.

Η μέθοδος αυτή συμβάλλει στην αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων και στην απελευθέρωση πολύτιμων υδατικών πόρων για άλλες χρήσεις πέραν της άρδευσης.

## **2. Κατεισδυση-Διήθηση (συστήματα βραδείας εφαρμογής)**

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής περιλαμβάνουν την επεξεργασία των αποβλήτων στο έδαφος με τη διήθηση. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε υδροπερατά εδάφη (άμμοι, αμμούχοι πηλοί), όπου τα απόβλητα διοχετεύονται σε μικρές λεκάνες (διαστάσεων 10 m x 10 m), βάθους 20-50 cm, που διαχωρίζονται με χαμηλά αναχώματα και αφήνονται για αρκετές ημέρες για να γίνει η εξάτμιση και η διήθηση. Οποιαδήποτε επιφανειακή απορροή συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται στο σύστημα. Η διάθεση του υγρού αποβλήτου στο έδαφος μπορεί να γίνει και με καταιονισμό ή με τεχνικές επιφανειακών αρδεύσεων.

Η φυτοκάλυψη του εδάφους κατακρατά μεγάλο μέρος των αιωρούμενων στερεών και οργανικών υλικών. Βασικός περιορισμός για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ότι το πάχος της ακόρεστης ζώνης, στην οποία τα απόβλητα υφίστανται φυσικοχημική και βιολογική αναγέννηση πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 5-6 m (Paranychanakis et al., 2006).

Τα συστήματα βραδείας εφαρμογής που εγκαθίστανται σε υδροπερατούς αμμώδεις σχηματισμούς λειτουργούν πολλές φορές, ως τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων. Σε μερικές περιπτώσεις η διηθούμενη εκροή μπορεί να ανακτηθεί με τη βοήθεια στραγγιστικών αγωγών ή φρεατίων ανάκτησης (Tzanakakis et al., 2006).

Οι συγκεντρώσεις του φωσφόρου, BOD και των μετάλλων στο ανακτημένο νερό είναι πολύ μικρές σε σχέση με αυτές των λυμάτων, αλλά περιέχει σε υψηλή συγκέντρωση οργανικό άνθρακα. Το άζωτο, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί από τα φυτά, εκτός μόνο με απονίτρωση.

## **3. Συστήματα επιφανειακής απορροής**

Τα συστήματα επιφανειακής ροής εφαρμόζονται σε στεγανά εδάφη, όπου τα προεπεξεργασμένα απόβλητα οδηγούνται σε αναβαθμούς με κλίση (2-8%) και με φυτοκάλυψη (γρασίδι) και αφήνονται να κινηθούν μέχρι να συλλεχθούν από μια τάφρο. Τα λύματα αναγεννώνται καθώς κινούνται αργά και υφίστανται βακτηριακή αποσύνθεση. Ο χρόνος παραμονής καθορίζει και τον βαθμό απομάκρυνσης του ρυπαντικού φορτίου. Το συνηθισμένο μήκος διαδρομής για αστικά λύματα είναι περίπου 50 m (Καλλέργης, 2000).

#### **4. Χρήση φυσικών ή τεχνητών υγροτόπων**

Η φυτο-αποκατάσταση δηλ. η μείωση της ρύπανσης μέσω της φύτευσης συγκεκριμένων φυτών βρίσκει τα τελευταία χρόνια πολλές εφαρμογές, κυρίως για την αποκατάσταση εδαφών που έχουν ρυπανθεί, καθώς και την επεξεργασία λυμάτων.

Μια διαδεδομένη μέθοδος επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποτελούν οι τεχνητοί υγρότοποι (wetlands) ή στρώμα καλαμιών (reed bed system).

Οι υγρότοποι είναι μικρού βάθους (μέχρι 60 cm) φυσικοί ή τεχνητοί, όπου υπάρχει πυκνή βλάστηση από υδρόβια φυτά. Βασίζεται στην ικανότητα που έχουν τα φυτά να προσλαμβάνουν και να αποθηκεύουν στους ιστούς τους διάφορα στοιχεία, καθώς επίσης και στη μικροβιακή πανίδα που αναπτύσσεται στο χώρο των ριζών και είναι υπεύθυνη για τη διάσπαση ανόργανων και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Τα αιωρούμενα στερεά αποσυντίθενται στην επιφάνεια του εδάφους.

Οι κύριοι τύποι τεχνητών συστημάτων υγροβιοτόπων είναι (Αγγελάκης, 2005): 1) οι ελεύθερης επιφάνειας νερού (FWS) και 2) οι υποεπιφανειακής ροής (SWF). Τα συστήματα SWF αποτελούνται από λεκάνες ή τάφρους με πορώδες υλικό (άμμος, χάλικες), εντός των οποίων αναπτύσσεται φυτική βλάστηση. Πλεονεκτούν δε στο ότι έχουν περιορισμένες οχλήσεις (οσμές, κουνούπια).

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή είναι η προεπεξεργασία των αποβλήτων και ο έλεγχος των κουνουπιών. Τα φυτά που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι (Αντωνόπουλος, 2001): βούρλα (*Scirpus*), κοινό καλάμι (*Phragmites communis*), νεροκάλαμο (*Phragmites australis*), ψαθί (*Typha*).

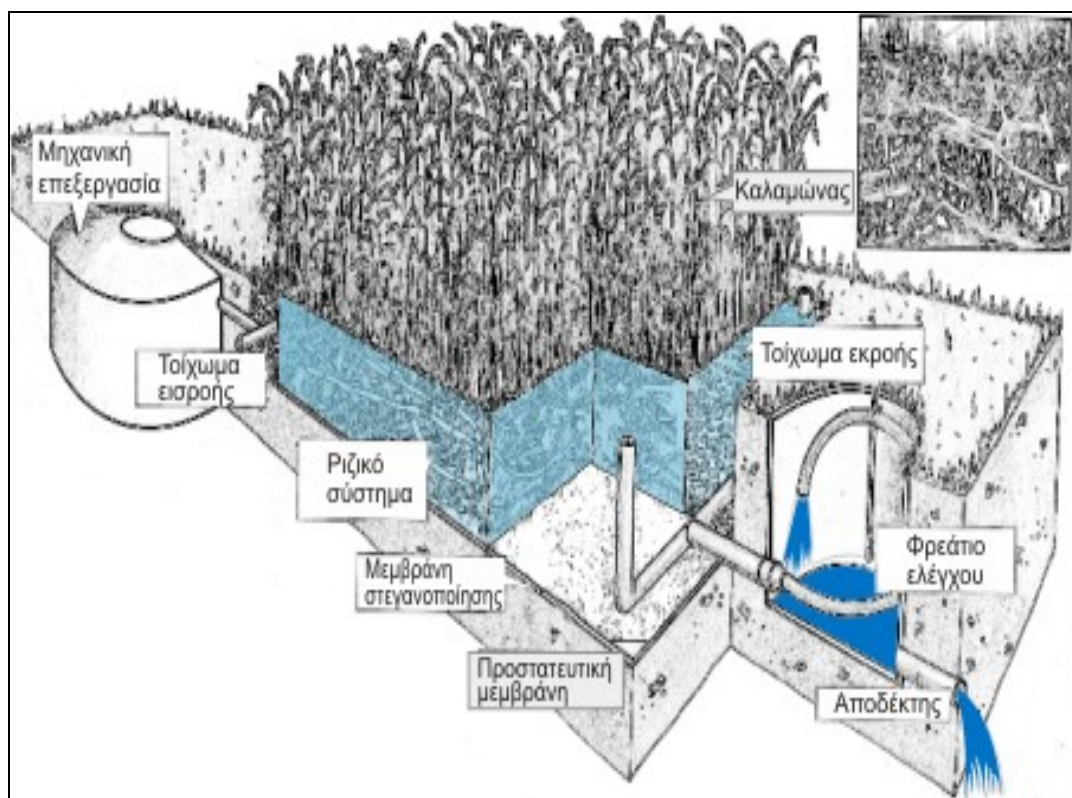
Οι διαστάσεις των υγροτόπων καθορίζονται από την ποσότητα των λυμάτων και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά (πορώδες). Σύμφωνα με τον Αντωνόπουλο (2001) η έκταση του υγρότοπου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A=5,2 Q \ln (BOD_{in} / BOD_{out})$$



όπου  $A$  η επιφάνεια σε  $m^2$ ,  $Q$  η μέση ημερήσια παροχή ( $m^3/day$ ),  $BOD_{in}$  είναι η συγκέντρωση BOD στα εισερχόμενα λύματα ( $mg/L$ ) και  $BOD_{out}$  η αναμενόμενη συγκέντρωση BOD στα εξερχόμενα λύματα ( $mg/L$ ). Για αστικά λύματα η έκταση περίπου ανέρχεται σε  $2,2 m^2/pe$  ( $pe$ = ισοδύναμο πληθυσμού, που αντιστοιχεί σε  $56 g BOD/$ ανά άτομο και ημέρα ή  $170 L/$ άτομο και ημέρα).

Στην Ελλάδα λειτουργεί σύστημα τεχνητού υγροβιότοπου στην Πόμπια του Νομού Ηρακλείου (πληθυσμός 1000 κάτοικοι). Ο υγροβιότοπος έχει έκταση 5,5 στρέμματα και έχει φυτευθεί με καλάμια (διάρκεια ζωής 100 χρόνια). Οι ρίζες των καλάμιών έχουν την ικανότητα, μέσω φυσικών διαδικασιών, να καθαρίζουν το νερό που περνάει μέσα από αυτές. Ο πυθμένας του υγροβιότοπου στεγανοποιείται με πλαστική μεμβράνη ή άργιλο (Σχ. 8.2).



**Σχήμα 8.2:** Σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων με καλάμια.

Τα λύματα εισέρχονται στον καλάμιώνα από τον αγωγό εισροής, αφού απαλλαγούν από τα στερεά υλικά. Κατά τη διάρκεια παραμονής που παραμένει στο σύστημα τα λύματα περνώντας από τις ρίζες των καλάμιών υφίστανται χημικές και βιολογικές επεξεργασίες και απαλλάσσονται από τους ρύπους και παθογόνους οργανισμούς. Το νερό από την έξοδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άρδευση, τροφοδοσία τεχνητών λιμνών κ.λπ.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι, τα φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να εφαρμοσθούν σε μικρούς Δήμους και οικισμούς, που η λειτουργία των συμβατικών μονάδων βιολογικού καθαρισμού είναι οικονομικά ασύμφορη.

Η επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου διάθεσης λυμάτων είναι συνάρτηση: της διαθέσιμης γης, των υδρογεωλογικών συνθηκών, του κλίματος, της ποσότητας και της ποιότητας των λυμάτων και των εδαφικών συνθηκών.

Φυσικά συστήματα επεξεργασίας λυμάτων έχουν γίνει στον Μούδρο της Λήμνου από το ΕΘΙΑΓΕ, καθώς και στην περιοχή της λίμνης Βεγορίτιδας του Δήμου Φιλώτα του Νομού Φλώρινας. Λειτουργεί επίσης πιλοτικά μονάδα του ΕΘΙΑΓΕ στη λεκάνη του Γαλλικού ποταμού στο Νομό Κιλκίς, έκτασης 3,5 στρεμμάτων (Σχ. 8.3). Τα αποτελέσματα των φυσικών συστημάτων επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων μικρών οικισμών είναι ενθαρρυντικά.



**Σχήμα 8.3:** Σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων στο Γαλλικό ποταμό (ΕΘΙΑΓΕ).

Στην κεντρική Εύβοια έχει εφαρμοσθεί ένα σύστημα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από μικρούς οικισμούς, που αποτελείται από μία σηπτική δεξαμενή, ένα κανάλι διανομής, μία λεκάνη με διαβαθμισμένα υποστρώματα (κροκάλες, χάλικες, φυσικό έδαφος), όπου έχουν φυτευτεί δασικά δένδρα (λεύκες, ευκάλυπτοι), ένα κανάλι συλλογής και ένα πηγάδι διήθησης, όπου γίνεται η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων. Τα συστήματα αυτά (περίπου 15) καλύπτουν ανάγκες οικισμών με δυναμικότητα 240-1500 ισοδυνάμων κατοίκων και προσομοιάζουν με τα γνωστά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων με τη μέθοδο των τεχνητών υδροβιοτόπων υποεπιφανειακής οριζόντιας ροής (Σιαράπη κ.ά,

2005). Η έκταση της λεκάνης εφαρμογής ανέρχεται σε 2-3 m<sup>2</sup>/i.κ. και το βάθος 0,5 m περίπου.

Το εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής και Τεχνολογίας του ΔΠΘ λειτουργεί πιλοτικά μονάδες τεχνητών υδροβιοτόπων επιφανειακής και οριζόντιας υπόγειας ροής, καθώς και συστήματα πλήρους κλίμακας στη Βάσοβα, τη Νέα Μάδυτο (Ν. Θεσσαλονίκης), το Γομάτι (Ν. Χαλκιδικής) και το Δήμο Κορεστίων (Ν. Καστοριάς). Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι η απόδοση των συστημάτων αυτών στην απομάκρυνση ρύπων είναι ικανοποιητική και μπορεί να αποτελέσουν μια αξιόπιστη και οικονομική λύση για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα (Ακράτος κ.ά., 2006, Γκίκας κ.ά., 2006).

Το εργαστήριο Γενικής και Ανόργανης Χημείας Χημικής Τεχνολογίας του ΑΠΘ διερευνά τη δυνατότητα χρήσης των κατασκευασμένων υδροτόπων για την επεξεργασία των υπερχειλίσεων μικτής απορροής (Προχάσκα & Ζουμπούλης, 2005).

### **5. Λίμνες σταθεροποίησης**

Οι λίμνες σταθεροποίησης χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια, αυτόνομα ή σε συνδυασμό με άλλα συστήματα επεξεργασίας, για την επεξεργασία των υγρών αστικών αποβλήτων και έχουν υψηλή αποτελεσματικότητα και μικρό κόστος. Στην Ελλάδα η χρήση τους είναι περιορισμένη και μόνο στους Νομούς Σερρών (6) και Καβάλας (2) λειτουργούν τέτοια συστήματα επεξεργασίας αποβλήτων για την εξυπηρέτηση μικρών οικισμών (< 3000 i.κ.).

Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από διαδοχικές λίμνες (Γκράτζιου κ.ά., 2006). Ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, ο πυθμένας μπορεί να μονωθεί με αργιλικό υλικό ή γεωφάσμα. Οι εκροές τους οδηγούνται σε υδάτινους αποδέκτες ή για άρδευση. Μειονέκτημα της χρήσης των λιμνών είναι οι απαιτήσεις σε γη και ορθολογική διαχείριση της λάσπης.

Τελευταία για την επεξεργασία λυμάτων μικρών οικισμών χρησιμοποιούνται τα φίλτρα υφάσματος, που η λειτουργία τους στηρίζεται στην ανάπτυξη βιομάζας πάνω σε ένα πορώδες ύφασμα. Η επεξεργασία είναι αερόβια και η απαιτούμενη έκταση εγκατάστασης είναι 0,2 m<sup>2</sup>/κάτοικο. Τα λύματα υφίστανται αρχικά προεπεξεργασία σε δεξαμενές καθίζησης και μετά απαλλαγμένα από στερεά και λίπη οδηγούνται προς τα φίλτρα με αντλία κατά αραιά χρονικά διαστήματα. Περνώντας τα λύματα από τα φίλτρα μεταβολίζονται, λόγω της ύπαρξης βιομάζας και παράγεται CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O και αέριο N<sub>2</sub>.

### **8.4. Συστήματα επεξεργασίας εδάφους-υδροφόρου (SAT)**

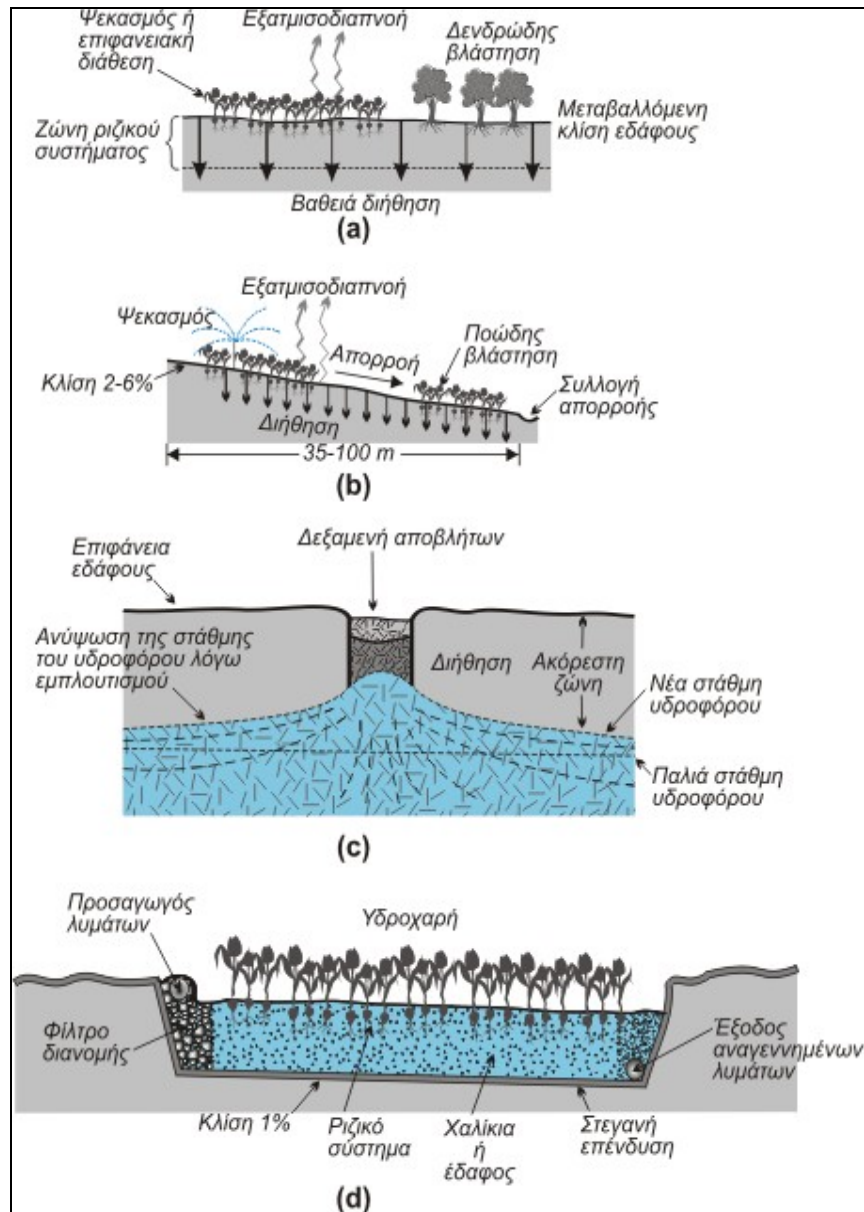
Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων με επεξεργασμένα απόβλητα είναι μια τεχνολογία που εφαρμόζεται με μεγαλύτερο ρυθμό, ειδικά σε ημίξηρες περιοχές. Η επεξεργασία των μερικώς επεξεργασμένων αστικών λυμάτων στο υπέδαφος μπορεί να γίνει με τα *συστήματα εδάφους-υδροφόρου* (Soil-Aquifer-Treatment, SAT). Η επιφανειακή επεξεργασία των μεταχειρισμένων νερών εφαρμόζεται και στην περίπτωση των βιομηχανικών και γεωργο-κτηνοτροφικών αποβλήτων. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επιλογή της κατάλληλης υδρογεωλογικής θέσης με βάση την υδροπερατότητα, το πάχος της ακόρεστης ζώνης, την κοκκομετρία κ.λπ.

Μέσω των συστημάτων αυτών γίνεται κίνηση των αποβλήτων στο έδαφος και σε ένα τμήμα του υδροφορέα. Κατά την κίνηση αυτή απομακρύνονται τελείως τα αιωρούμενα στερεά, οι μικροοργανισμοί και ο βιοαποδομήσιμος άνθρακας, καθώς και σημαντικό μέρος των φωσφορικών και των βαρέων μετάλλων.

Η προεπεξεργασία των λυμάτων γίνεται συνήθως σε λεκάνες καθίζησης (επεξεργασία με Ca και Mg) και διαύγασης για την απομάκρυνση της αμμωνίας και τη μείωση του pH. Ακολούθως οδηγούνται σε μια σειρά από λεκάνες εμπλουτισμού, που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Η ανάκτηση του αναγεννημένου νερού μπορεί να γίνει με γεωτρήσεις (βαθείς υδροφόροι), με υπόγεια στραγγιστήρια (ρηχοί υδροφόροι ορίζοντες) ή από γειτονικά υδρορεύματα (Σχ. 8.4).

Πρέπει να γίνεται περιορισμένη ανάμειξη του αναγεννημένου νερού με το φυσικό νερό των υδροφόρων. Επίσης ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε τα αναγεννημένα νερά να παραμένουν για αρκετό χρόνο στο υπέδαφος, ώστε να είναι αποδεκτής ποιότητας όταν ανακτηθεί. Ο χρόνος παραμονής εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και του υδροφόρου. Ένας μέσος χρόνος παραμονής είναι 30 ημέρες και η διανυόμενη απόσταση 100 m.

Τα συστήματα SAT πρέπει να τοποθετούνται σε πρόσφατες λεπτοκλαστικές αποθέσεις, ενώ αν τα υλικά είναι χονδρόκοκκα ο χρόνος παραμονής είναι μεγαλύτερος. Ο υδροφόρος ορίζοντας που χρησιμοποιείται για αναγέννηση των χρησιμοποιούμενων νερών θα πρέπει να είναι ελεύθερος και με σημαντική μεταβιβαστικότητα. Οι ποσότητες των νερών που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να είναι δυνατή η ανάκτησή τους, αντί να μεταναστεύουν στον υδροφόρο ορίζοντα.



**Σχήμα 8.4:** Μέθοδοι επεξεργασίας στο έδαφος (Tchobanoglous-Burton, 1991, Καλλέργης, 2000):  
 (α) μέθοδος άρδευσης, (β) μέθοδος επιφανειακής απορροής,  
 (γ) μέθοδος κατείσδυσης-διήθησης, (δ) υπεδάφιος υγροβιότοπος.

Το ανακτημένο νερό εμφανίζει σημαντική μείωση φωσφόρου (προσρόφηση από τα αργιλικά ορυκτά του εδάφους), στην εξ' ολοκλήρου απομάκρυνση των BOD, των παθογόνων μικροοργανισμών και των ιχνοστοιχείων (χημική κατακρήμνιση). Τα ολικά διαλυμένα άλατα αυξάνονται ελαφρά, μειώνεται η τιμή του SAR (λόγω κατιοντοανταλλαγής), ενώ η απομάκρυνση του αζώτου ρυθμίζεται από τις διαδικασίες απονίτρωσης. Επίσης το ανακτημένο νερό εξακολουθεί να περιέχει ίχνη οργανικού άνθρακα. Η διάρκεια των φυσικοχημικών διεργασιών κυμαίνεται από μικρή (απομάκρυνση Na, B) έως μεγάλη (απομάκρυνση ιχνοστοιχείων).

Με βάση τα ανωτέρω προκύπτει ότι τα συστήματα επεξεργασίας εδάφους-υδροφόρου μπορεί να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά ως μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων. Το ανακτημένο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αρδευτικών και βιομηχανικών αναγκών, αναψυχή και τεχνητό εμπλουτισμό.

Στην Ελλάδα αναπτύσσονται γεωλογικοί σχηματισμοί κατάλληλοι για την αναγέννηση των οικιακών λυμάτων, δηλ. σχηματισμοί με μεγάλη ικανότητα αυτοκαθαρισμού και χαμηλή τρωτότητα (λεπτομερής φάση νεογενών, φλύσχης, φυλλίτες, σχιστογενέσις, λεπτόκκοκα τεταρτογενή ιζήματα).

### 8.5. Χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων

Τα επεξεργασμένα υγρά αστικά απόβλητα μπορούν να αξιοποιηθούν για:

- Άρδευση (καλλιέργειών, πάρκων, γηπέδων)
- Βιομηχανική χρήση (ψύξη μηχανών, τροφοδοσία λεβήτων)
- Μη πόσιμες αστικές χρήσεις (πυρόσβεση, καθαρισμός χώρων, κλιματισμός)
- Δημιουργία χώρων αναψυχής (τεχνητές λίμνες, αύξηση παροχής χειμάρρων, ανάπτυξη αλιευτικών χώρων)
- Αποκατάσταση απερημωμένων περιοχών και
- Εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων

Η επαναχρησιμοποίηση για **άρδευση** των επεξεργασμένων λυμάτων, είτε προέρχονται από βιολογικούς καθαρισμούς, είτε από φυσικά συστήματα είναι ασφαλής αν γίνει κάτω από προϋποθέσεις. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται:

- εξοικονόμηση φρέσκου νερού
- εξοικονόμηση λιπασμάτων, λόγω των θρεπτικών ουσιών των λυμάτων
- περιβαλλοντική προστασία των υδάτινων αποδεκτών (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα).

Η άρδευση είναι ο καλύτερος τρόπος επαναχρησιμοποίησης των επεξεργασμένων λυμάτων γιατί αποφεύγεται η υποβάθμιση της ποιότητας των αποδεκτών και γίνεται εξοικονόμηση νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου οι υδατικοί πόροι είναι σε ανεπάρκεια.

Επίσης γίνεται φυσική προσθήκη θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, όπως άζωτο, φωσφόρος, κάλιο, ψευδάργυρος, βόριο και θείο, που βοηθούν την ανάπτυξη των φυτών. Τα στοιχεία αυτά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ποσότητας λίπανσης που χορηγείται στις καλλιέργειες με τις κλασικές μεθόδους.

Η τυπική περιεκτικότητα των επεξεργασμένων λυμάτων σε θρεπτικά συστατικά είναι: άζωτο 50 mg/L, φωσφόρος 10 mg/L. Θεωρώντας ότι η απαιτούμενη ποσότητα άρδευσης είναι 400-600 m<sup>3</sup>/στρέμμα, ανάλογα με το είδος της καλλιέργειας, προκύπτει ότι, αρδεύοντας τις καλλιέργειες με επεξεργασμένα αστικά λύματα προσφέρεται ετησίως: άζωτο 20-30 Kg/στρέμμα και φωσφόρος 4-6 Kg/στρέμμα. Έτσι οι απαιτούμενες ποσότητες σε θρεπτικά συστατικά μπορούν να προσφερθούν από τα επεξεργασμένα λύματα (Πανώρας & Ηλίας, 1999).

Η μέθοδος άρδευσης που θα επιλεγεί εξαρτάται από το έδαφος, τις κλιματικές συνθήκες, το είδος της καλλιέργειας, την ποσότητα και ποιότητα του νερού κ.ά. Η άρδευση με καταιονισμό (τεχνητή βροχή) μπορεί να μολύνει τόσο τις καλλιέργειες, όσο και τους αγρότες. Επίσης δημιουργεί προβλήματα έμφραξης των ακροφυσίων των εκτοξευτήρων. Στην περίπτωση που τα απόβλητα μεταφέρονται με σωλήνες και διανέμονται σε αυλάκια ο κίνδυνος για τους αγρότες είναι ελάχιστος. Τα σωληνωτά δίκτυα μπορεί να εμφανίσουν προβλήματα διάβρωσης, όταν τα απόβλητα έχουν χαμηλό pH ή χαμηλές τιμές οξυγόνου με αποτέλεσμα τον σχηματισμό υδρόθειου, που είναι διαβρωτικό (Πανώρας & Ηλίας, 1999). Η χρήση συστήματος με σταγόνες έχει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλων φίλτρων στην αρχή του συστήματος.

Επιπλέον άλλες θετικές επιπτώσεις είναι η δυνατότητα δημιουργίας ζωνών πρασίνου, η αποφυγή της ερημοποίησης γόνιμων εδαφών και η βελτίωση υποβαθμισμένων εκτάσεων (Πανώρας & Ηλίας, 1999). Από τις υφιστάμενες έρευνες προκύπτει ότι η διάθεση αστικών λυμάτων σε δασικές φυτείες επιτρέπει την ανάπτυξη βιολογικών δασών με άριστα προϊόντα ξυλείας. Η παραγόμενη ξυλεία παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές, θερμικές και ακουστικές ιδιότητες. Επίσης τα αστικά λύματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την άρδευση δενδροστοιχιών πλησίον των εθνικών οδών, αλλά και εντός πόλεων.

Στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ το ποσοστό των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων που χρησιμοποιείται για αρδευτικούς σκοπούς ανέρχεται σε 75%. Επίσης στο Ισραήλ σημαντικό ποσοστό των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων χρησιμοποιείται στη γεωργία για άρδευση (κυρίως βαμβάκι). Στη Γαλλία επίσης η χρήση λυμάτων είναι μια παραδοσιακή τεχνική. Στην Κύπρο, λόγω της ανομβρίας των τελευταίων ετών αξιοποιούνται τα αστικά λύματα για αρδευτικούς σκοπούς. Υπάρχουν και άλλες χώρες όπως: Νότια Αφρική, Τυνησία, Ουγγαρία, Αυστραλία κ.ά, που χρησιμοποιούν επεξεργασμένα αστικά λύματα για αρδευτικούς σκοπούς.

Στη χώρα μας άμεση εφαρμογή των υγρών αποβλήτων δεν γίνεται. Η έμμεση χρήση διαμέσου των νερών των ποταμών και των λιμνών είναι συνηθισμένη. Από το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικών Ερευνών (ΕΘΙΑΓΕ) έχουν εκπονηθεί τα τελευταία χρόνια πολλά ερευνητικά προγράμματα για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για αρδευτικούς σκοπούς ή τη δημιουργία τεχνητών υγροτόπων. Από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων (Πανώρας, 1999) που αφορούν στην αρδευτική χρήση επεξεργασμένων αστικών λυμάτων Θεσσαλονίκης στα ζαχαρότευτλα-βαμβάκι, προκύπτει ότι τα νερά μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάτω υπό προϋποθέσεις.

Από το έτος 2000 στον Δήμο Χερσονήσου του Νομού Ηρακλείου χρησιμοποιούνται τα επεξεργασμένα λύματα από τον βιολογικό καθαρισμό για αρδευτικούς σκοπούς, κυρίως για την άρδευση ελαιόδενδρων. Στη Χαλκίδα εγκαινιάσθηκε τον Ιούλιο του 2002 έργο επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων λυμάτων, όπου περιλαμβάνει άρδευση 13.000 δένδρων στη ζώνη εργατικών κατοικιών στις παρυφές της πόλης. Έτσι επετεύχθη αλλαγή της εικόνας υποβαθμισμένων περιοχών και δημιουργήθηκαν χώροι αναψυχής για τους κατοίκους της πόλης. Επίσης σχεδιάζεται η βιομηχανική χρήση των επεξεργασμένων λυμάτων για ψύξη στην υδροβόρο βιομηχανία ΤΣΙΜΕΝΤΑ ΧΑΛΚΙΔΑΣ, καθώς επίσης και για αστική χρήση (πλύσεις δρόμων, δασοπυρόσβεση) εξοικονομώντας πολύτιμους υδατικούς πόρους.

Οι Δρακάτος κ.ά (1997) με βάση ερευνητικά αποτελέσματα προτείνουν την αξιοποίηση των επεξεργασμένων για άρδευση δασικών ειδών, όπως το *Eucalyptus*, καθώς και καλλιεργήσιμων δενδροκομικών ειδών, όπως η *Olea europaea*.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Γεωργίας και Τροφίμων (FAO) τα φυτά που αρδεύονται με επεξεργασμένα λύματα ταξινομούνται σε μια φθίνουσα σειρά κινδύνου μεταφοράς παθογόνων μικροοργανισμών στον άνθρωπο (Πανώρας & Ηλίας, 1999):

1. Λαχανικά που καταναλώνονται νωπά
2. Λαχανικά που καταναλώνονται μαγειρεμένα
3. Ανθοκομικά είδη που καλλιεργούνται σε θερμοκήπια
4. Φρούτα που καταναλώνονται με τη φλούδα
5. Γρασίδια σε χώρους αναψυχής
6. Φρούτα που καταναλώνονται χωρίς τη φλούδα
7. Γρασίδια με περιορισμένη πρόσβαση στο κοινό
8. Φυτά που προορίζονται για ζωοτροφές
9. Δένδρα που παράγουν ξηρούς καρπούς



## 10. Βιομηχανικά φυτά.

Γενικά καλλιέργειες που καταναλώνονται νωπές απαιτούν υψηλή ποιότητα επεξεργασμένων λυμάτων, απαλλαγμένων από παθογόνους μικροοργανισμούς.

Οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό, ιδιαίτερα στις ημίξηρες περιοχές, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη επαναχρησιμοποίησης του νερού. Η εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων, δηλ. η επαναπλήρωση των υπόγειων υδροφορέων με αξιοποίηση περίσσειας φυσικών νερών ή επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων γίνεται όλο και πιο σημαντική (βλ. παράγραφο 1.9).

Η χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων λυμάτων για **τεχνητό εμπλουτισμό** συμβάλλει στην αποθήκευση νερού για την κάλυψη αναγκών σε περιόδους, που οι ανάγκες είναι αυξημένες (ξηρές περίοδοι).

Οι κυριότερες μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού είναι:

-η **επιφανειακή διήθηση μέσω λεκανών** και

-η **απευθείας εισαγωγή διαμέσου γεωτρήσεων**.

Η απευθείας εισαγωγή απαιτεί υψηλή ποιότητα επεξεργασμένων αποβλήτων, επειδή είναι αδύνατη η φυσική επεξεργασία διαμέσου της κίνησης στην ακόρεστη ζώνη.

Η τεχνική με λεκάνες διήθησης, συνήθως όπως προαναφέρθηκε, ονομάζεται SAT και είναι οικονομικά πιο φθηνή, επειδή δεν απαιτεί προωθημένη προεπεξεργασία. Όταν γίνεται εφαρμογή της μεθόδου αυτής τα επεξεργασμένα λύματα κινούνται κατακόρυφα στην ακόρεστη ζώνη προς το σύστημα συλλογής (τάφρος, γεωτρήσεις άντλησης, αγωγούς υπόγειας ροής κ.λπ). Ο μέσος ρυθμός διήθησης κυμαίνεται από  $0,5-1 \times 10^6 \text{ m}^3$  ανά έτος για κάθε εκτάριο λεκάνης διήθησης.

Το βασικό στοιχείο που απαιτεί προσεκτική θεώρηση κατά την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα είναι οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία από την εισαγωγή παθογόνων οργανισμών και τοξικών στοιχείων. Γι' αυτό απαιτούνται αυστηρές προδιαγραφές και συνθηκών για την εφαρμογή της μεθόδου.

Σημαντικά παραδείγματα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού με επεξεργασμένα λύματα έχει γίνει στην Καλιφόρνια, Νέα Υόρκη, Τέξας, Φλόριδα των ΗΠΑ (με λεκάνες διήθησης και με γεωτρήσεις) και στο Ισραήλ (λεκάνες διήθησης).

Η αυξανόμενη ζήτηση υδατικών πόρων για την κάλυψη των αναγκών, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη επεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των υγρών λυμάτων. Τα επεξεργασμένα λύματα ανήκουν πλέον στους μη συμβατικούς υδατικούς πόρους μιας περιοχής και είναι πλούτος, όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα.

## 8.6. Διάθεση βιομηχανικών αποβλήτων

Η υγειονομική διάταξη που αναφέρεται στη διάθεση λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων είναι η ΚΥΑ Ε1β. 221/65 (ΦΕΚ 138B/24-2-65). Τα μέτρα και οι όροι για την επεξεργασία των επικίνδυνων αποβλήτων αναφέρονται στην ΚΥΑ 19396/1546/97 (ΦΕΚ 604B/18-7-97). Τα υγρά βιομηχανικά απόβλητα φέρουν ρυπαντικό φορτίο που ανήκει σε μια από τις ακόλουθες κατηγορίες (Λέκκας, 2001):

- αδιάλυτα στερεά
- οργανικές ενώσεις (φαινόλες, χρώματα, απορρυπαντικά, χλωριωμένοι CxHy κ.λπ.)
- ιόντα τοξικών ή μη μετάλλων (Fe, Cu, Zn, Ni, Al, Hg, Pb, Cr, Cd, Ti, Be)
- ανιόντα ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  κ.λπ.)
- αέρια  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$
- ανόργανα οξέα και βάσεις ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NaOH}$  κ.ά.)
- βιοαποδομήσιμες ουσίες (σάκχαρα, πρωτεΐνες, φαινόλες κ.λπ.)
- ραδιενεργά στοιχεία

Η απόρριψη των βιομηχανικών αποβλήτων γίνεται διαμέσου βαθέων γεωτρήσεων έκχυσης (injection wells) και οδηγούνται σε βαθύτερους μη αξιοποιήσιμους υδροφόρους ορίζοντες. Οι γεωτρήσεις αυτές έχουν βάθος 300-4.000 m και ο ρυθμός απόρριψης κυμαίνεται από 500-1400 L/min (Καλλέργης, 2000). Η μέθοδος αυτή είναι περιβαλλοντικά αποδεκτή με την προϋπόθεση ότι, για να αποφευχθεί ο κίνδυνος μόλυνσης των υπόγειων υδροφόρων, πριν την έκχυση απαιτείται υδρογεωλογική έρευνα της ευρύτερης περιοχής.

Λόγω της αύξησης της πίεσης των πόρων κατά μήκος ρηγμάτων από την έκχυση αποβλήτων σε βαθιές γεωτρήσεις έχει καταγραφεί η πρόκληση σεισμικών δονήσεων.

Η τάση σήμερα είναι η επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων βιομηχανικών αποβλήτων, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ανακύκλωσή τους. Σε βιομηχανικές περιοχές δημιουργούνται μονάδες επεξεργασίας όλων των διαφορετικών αποβλήτων των βιομηχανιών. Η λάσπη των βιομηχανιών και των μονάδων επεξεργασίας συχνά θάβεται μαζί με τα αστικά απορρίμματα σε χωματερές βλ. παράγραφο 8.7).

Τα υγρά **απόβλητα ελαιοτριβείων** θεωρούνται ισχυρά βιομηχανικά απόβλητα και αποτελούν μια σοβαρή πηγή ρύπανσης του περιβάλλοντος στη χώρα μας. Περιέχουν νερό (83-91%), οργανικά συστατικά (4-12%), ανόργανα συστατικά (1-2%) με πυκνότητα 1,024  $\text{g}/\text{cm}^3$  και αγωγιμότητα 8.000-15.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  και pH 3,0-4,5. Το ρυπαντικό φορτίο εκβάλλεται την ελαιοκομική περίοδο Νοεμβρίου-Φεβρουαρίου στους ποταμοχειμάρρους

χωρίς καμία επεξεργασία. Ορισμένα ανόργανα συστατικά όπως το K, P, Mg παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί συνιστούν πολύτιμα λιπαντικά στοιχεία.

Το είδος της ρύπανσης εντοπίζεται σε πέντε παράγοντες (Τσώνης, 1996):

1) η οξύτητα (pH=3,0-4,5), 2) η θερμοκρασία που κυμαίνεται από 25-33 °C, 3) τα αιωρούμενα στερεά, 4) οι χρωστικές ουσίες, οι οποίες διαλύονται εύκολα, αλλά πολύ δύσκολα βιοαποικοδομούνται, 5) το οργανικό φορτίο με τη μορφή απλών σακχάρων, οργανικών οξέων, πρωτεϊνών, αμινοξέων και φαινολών, ταννινών και λιπαρών ουσιών.

Η ορθολογική διαχείριση των υγρών αποβλήτων ελαιοτριβείων είναι δύσκολο πρόβλημα. Πολυάριθμες ερευνητικές εργασίες έχουν δημοσιευτεί και πολλές μέθοδοι (αναερόβια επεξεργασία, ιονίζουσα ακτινοβολία, μέθοδος Fenton κ.ά.) έχουν προταθεί τα τελευταία χρόνια, χωρίς όμως καμία να γίνει αποδεκτή από όλους (ΓΕΩΤΕΕ, 1991, Israilides et al, 1998, Ισραηλίδης, Βλυσίδης κ.ά, 2006, Κουτσερής, 2006).

Η μέθοδος της εδαφικής διάθεσης σε *λυματοστάσια ή χωματοδεξαμενές* (lagooning) εφαρμόζεται στην Κρήτη, Κορινθία κ.ά, όπου το πρόβλημα είναι οξύτατο. Η ηλιοφάνεια που επικρατεί στις περιοχές αυτές συντελεί στην εξάτμιση και κατά συνέπεια στη μείωση του όγκου των υγρών αποβλήτων. Είναι ίσως οικονομικά πιο προσιτή μέθοδος, όπου υπάρχουν κατάλληλοι στεγανοί γεωλογικοί σχηματισμοί με μικρή ρυπαντική επιδεκτικότητα (μάργες, αργιλικά εδάφη κ.λπ.) και ξηροθερμικό κλίμα για γρήγορη εξάτμιση (Βουδούρης, 2006).

Το βάθος των χωματοδεξαμενών κυμαίνεται μεταξύ 1,0-2,5 m, ανάλογα με τον παραγόμενο όγκο αποβλήτων. Οι απώλειες απορρόφησης και εξάτμισης υπολογίζονται σε 0,6-1,0 m ετησίως, για τα ψυχρά κλίματα και σε 3 m ετησίως για τα θερμά κλίματα, εκ των οποίων το 20% κατά το χειμώνα και το 80% κατά το θέρος. Το ξηρό υπόλειμμα που προκύπτει από την εξάτμιση των αποβλήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λίπανση διαφόρων καλλιεργειών.

Γενικά τα λυματοστάσια κατασκευάζονται μακριά από κατοικημένες περιοχές, επειδή δημιουργούνται αντιαισθητικές καταστάσεις, δυσσομία κ.λπ. και περιμετρικά δεν πρέπει να υπάρχουν σημεία ύδατος (γεωτρήσεις, πηγάδια, πηγές). Η απόσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον 200 m από υδρευτικές γεωτρήσεις και μικρότερη (<200 m) από αρδευτικές (Βουδούρης, 2000). Η εξεύρεση κατάλληλου χώρου διάθεσης των αποβλήτων θα πρέπει να γίνεται σε συνεργασία με τους φορείς της τοπικής αυτοδιοίκησης για την απορρόφηση των κοινωνικών αντιδράσεων που κατά κανόνα εγείρονται σε αυτές τις περιπτώσεις.

Η γεωλογική-υδρογεωλογική μελέτη εκτός από τη στρωματογραφία θα καθορίζει το είδος των υδροφόρων και την υφιστάμενη κατάσταση υδροφορίας στην περιοχή, όπου πρόκειται να εγκατασταθεί το λυματοστάσιο, τις τεκτονικές συνθήκες της περιοχής (ύπαρξη ρηγμάτων, κλίσεις στρωμάτων, συνθήκες αποστράγγισης κ.λπ.) και τα κλιματικά στοιχεία (διεύθυνση ανέμου, ηλιοφάνεια κ.ά). Η θέση πρέπει να καθορίζεται κατόπιν εμπειριστατωμένης υδρογεωλογικής μελέτης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα των γεωλογικών σχηματισμών και η αποφυγή ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Ο πυθμένας με κλίση εδάφους 0-1% και τα τοιχώματα της δεξαμενής πρέπει να επιστρώνονται με στρώμα αργίλου, πάχους τουλάχιστον 0,5 m, αν κατά την εκσκαφή παρατηρηθούν υδροπερατοί σχηματισμοί. Πρέπει επίσης να επιτυγχάνεται ελαφριά κλίση (1%) της ελεύθερης επιφάνειας των λυμάτων με κατεύθυνση αντίθετη από αυτήν του μορφολογικού αναγλύφου. Τα επεξεργασμένα απόβλητα από τη δεξαμενή καθίζησης θα οδεύουν στο λυματοστάσιο μέσω πλαστικής σωλήνας PVC, με φυσική ροή ή με αντλία ανάλογα με τη θέση του. Σε τακτά χρονικά διαστήματα ( $\approx 10$  days) θα πρέπει στην επιφάνεια του λυματοστάσιου να διαχέεται σκόνη ασβέστη για την εξουδετέρωση της οξύτητας των αποβλήτων, τη γρηγορότερη καθίζηση και την αποφυγή έκλυσης οσμών. Συνιστάται η περίφραξη και δένδροφύτευση του λυματοστάσιου, όπου είναι δυνατόν για προστασία και την αποφυγή δυσοσμίας.

### **8.7. Διάθεση της ιλύος από μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων στο έδαφος**

Η ιλύς (λυματολάσπη ή κατακάθι) που παράγεται από τις μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων έχει μεγάλη υγρασία (75-85%), μικρή συνοχή (δεν επιτρέπει την απόθεση σε μεγάλους σωρούς) και χαρακτηρίζεται από δυσάρεστη οσμή. Περιέχει οργανικές ουσίες, θρεπτικά συστατικά, βαρέα μέταλλα (κατά περιοχές) και παθογόνους μικροοργανισμούς. Η διαχείριση της ιλύος περιλαμβάνει τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και διάθεση αυτής με στόχο την ελάττωση του όγκου, την αποδόμηση των οργανικών ουσιών, τη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών και την προστασία του γεωπεριβάλλοντος.

Οι τεχνικές προδιαγραφές διαχείρισης ιλύων από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών αποβλήτων καθορίζονται με την ΚΥΑ 114218/97 (ΦΕΚ 1016B/17-11-1997) «Κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων».

Η ποσότητα της παραγόμενης ιλύος ανέρχεται περίπου σε 20 kg ξηράς ουσίας ανά κάτοικο το χρόνο. Από τη μονάδα επεξεργασίας στη Ψυττάλεια, όπου καταλήγουν τα

λύματα από το λεκανοπέδιο Αττικής, παράγονται ημερησίως 400 τόννοι λάσπης, με προοπτική να φθάσουν τους 700 τόννους έως το 2020.

Η επεξεργασία της ιλύος πριν την τελική διάθεση περιλαμβάνει τη συμπύκνωση, τη βιολογική χώνευση (αποδόμηση οργανικών ουσιών), την παχυρευστοποίηση (αφαίρεση νερού με μηχανικά μέσα), την αφυδάτωση και ξήρανση (μέγιστη δυνατή απομάκρυνση νερού). Η ξήρανση μπορεί να γίνει σε αμμοκλίνες ξήρανσης, σε δεξαμενές εξάτμισης, με δύλιση υπό πίεση (φιλτρόπρεσσα), με φυγοκέντρηση και δόνηση και τέλος με θερμική ξήρανση. Με την ξήρανση επιτυγχάνεται μείωση του νερού της λάσπης από 70% σε 5-8%, καθώς και ολοσχερής εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών. Η ξήρανση αποτελεί μέθοδο επεξεργασίας και όχι μέθοδο τελικής διάθεσης της ιλύος. Η αποξηραμένη ιλύς μπορεί να καεί, να οδηγηθεί σε χώρους υγειονομικής ταφής ή να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υλικού.

Η τελική διάθεση της ιλύος γίνεται με: 1) υγειονομική ταφή, 2) καύση και 3) παραγωγή εδαφοβελτιωτικού αξιοποιώντας τα οργανικά και ανόργανα θρεπτικά συστατικά της. Καθεμιά από τις ανωτέρω λύσεις έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

Η μέθοδος της καύσης της ιλύος στοχεύει στη μείωση του όγκου της στο ελάχιστο δυνατό, στην παραγωγή αποστειρωμένου αδρανούς υπολείμματος και στην παραγωγή ενέργειας. Η παραγόμενη τέφρα περιέχει βαρέα μέταλλα και η διάθεσή της σε ΧΥΤΑ εγκυμονεί κινδύνους για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης κατά την καύση της λάσπης εκπέμπονται διοξίνες και φουράνια (PCDD/PCDF), που είναι επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία. Η καύση ιλύος στην τσιμεντοβιομηχανία έχει τα κάτωθι πλεονεκτήματα: περιορίζει εκπομπές CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>, εξασφαλίζει την καταστροφή των μικροοργανισμών, δεν αφήνει υπολείμματα, υποκαθιστά φυσικά διαθέσιμα ορυκτά καύσιμα και τέλος τα βαρέα μέταλλα της τέφρας γίνονται αδιάλυτα συστατικά του τσιμέντου. Για την καύση της ιλύος στην τσιμεντοβιομηχανία απαιτείται αφυδάτωση πριν την καύση της, αποστείρωση και έλεγχος των παραγόμενων αερίων και ιδιαίτερα του υδραργύρου. Εναλλακτική λύση αποτελεί η καύση της ιλύος στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Πειράματα έχουν δείξει ότι ανάμειξη τσιμέντου και βιομηχανικής στάχτης (fly ash) στερεοποιεί την ιλύ.

Σύμφωνα με τους Ανδρεαδάκη κ.ά (2006) η επεξεργασία της ιλύος με υδράσβεστο (Ca(OH)<sub>2</sub>) σε δόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 8-10% σε συνδυασμό με την αποθήκευση της ιλύος για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 90 ημερών επιτυγχάνει σημαντικό βαθμό υγειονομοποίησης, που πλησιάζει τα όρια ή καλύπτει τα όρια για την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στη γεωργία χωρίς περιορισμούς.

Η εδαφοποίηση της λυματολάσπης και η μετατροπή της σε υλικό κατάλληλο για περαιτέρω χρήσεις διαρκεί 5-10 έτη και γίνεται ως εξής: Τοποθετείται στον πυθμένα μιας διαμορφωμένης εκσκαφής ένα στρώμα χαλίκια και από πάνω στρώμα άμμου, στο οποίο φυτεύονται καλαμοειδή φυτά και στη συνέχεια απλώνεται η λάσπη. Ένα μέρος της υγρασίας της λυματολάσπης κινείται κατακόρυφα και απάγεται με αγωγούς για επεξεργασία σε βιολογικούς καθαρισμούς και ένα άλλο μέρος εξατμίζεται με τη βοήθεια των φυτών. Μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών διοχετεύεται οξυγόνο στη λυματολάσπη και δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη μικροοργανισμών που θα εδαφοποιήσουν τη λυματολάσπη. Να σημειωθεί ότι, η εδαφοποίηση δεν οδηγεί σε αποδόμηση των επικίνδυνων συστατικών, τα οποία περιέχονται στη λυματολάσπη.

Η κομποστοποίηση της ιλύος μαζί με το οργανικό μέρος των οικιακών απορριμμάτων είναι μια μέθοδος κατά την οποία παράγεται εδαφοβελτιωτικό. Στη Θεσσαλονίκη εφαρμόστηκε πιλοτικό πρόγραμμα περιβαλλοντικής διαχείρισης της ιλύος βιολογικού καθαρισμού-λυματολάσπης. Σύμφωνα με αυτό η ιλύς αναμειγνύεται με αδρανή υλικά, φύλλα και κλαδιά δένδρων, πριονίδια κ.ά. και το μίγμα αυτό μπορεί να διατεθεί ως υλικό αποκατάστασης χωματερών, λατομείων ή ορυχείων, σε πρανή δρόμων ή ως εδαφοβελτιωτικό για κήπους, πάρκα κ.λπ. Το πρόγραμμα αυτό, παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, δεν προχώρησε τελικά σε επίπεδο οριστικής μελέτης.

Για τη διαχείριση της λυματολάσπης της Ψυτάλλειας εξετάζεται η καύση της σε εργοστάσια της ΔΕΗ ή σε τσιμεντοβιομηχανίες, καθώς επίσης και η μεταφορά της σε ανενεργά λατομεία, όπου μπορεί να γίνει εδαφοποίηση της λάσπης με παράλληλη αποκατάστασή τους. Τέλος εξετάζεται η μεταφορά της με τάνκερ σε ξερονήσια, όπου θα υποστεί φυσική εδαφοποίηση, μετατρέποντας αυτά σε γόνιμα εδάφη. Η λύση αυτή απαιτεί λιμενικές εγκαταστάσεις και ενέχει κινδύνους ρύπανσης των θαλασσών.

Ο Σταμπολίδης (2005) προτείνει τη σβολοποίηση (pelletizing) της βιολογικής ιλύος, χρησιμοποιώντας συνδετικό υλικό την ιπτάμενη τέφρα από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ. Το σβολοποιημένο υλικό οδηγείται περαιτέρω για κομποστοποίηση και αξιοποίηση σαν βελτιωτικό εδάφους.

Στη χώρα μας η παραγόμενη ιλύς σε ποσοστό 93% διατίθεται στους ΧΥΤΑ. Οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τείνουν να περιορίσουν την απόθεση της βιολογικής λάσπης στους ΧΥΤΑ και φροντίζουν για την επαναχρησιμοποίησή της σε ποσοστά από 30-68%. Η μέθοδος της καύσης εφαρμόζεται κυρίως σε Αυστρία, Γαλλία, Γερμανία, Ολλανδία, Δανία σε ποσοστά που κυμαίνονται από 25-49%. Οι μέθοδοι, οι όροι και οι περιορισμοί για τη

χρησιμοποίηση στη γεωργία της ιλύος που προέρχεται από την επεξεργασία οικιακών και αστικών λυμάτων καθορίζονται με την ΚΥΑ 80568/4225/91 (ΦΕΚ 641/Β/7-8-1991). Συγκεκριμένα τίθενται οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, Cr) στα εδάφη που πρόκειται να δεχθούν την ιλύ, οριακές τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία και οριακές τιμές για τις ποσότητες βαρέων μετάλλων που μπορούν να εισαχθούν κατ' έτος στα προς καλλιέργεια εδάφη, στους βοσκότοπους και στις δασικές εκτάσεις.

Η επιλογή της κατάλληλης θέσης για τη διάθεση της ιλύος στο έδαφος πρέπει να συνεκτιμά τη συγκέντρωση αυτής σε ρυπαντές, σε βαρέα μέταλλα, σε θρεπτικά συστατικά, καθώς και τη χρήση γης (δασική, γεωργική κ.λπ.). Κατάλληλες περιοχές είναι αυτές με μεγάλο βάθος της στάθμης του υπόγειου νερού και αλκαλικά εδάφη (pH>6,5) με ικανοποιητική στράγγιση. Η παρουσία καρστικών μορφών επιβάλλει λεπτομερέστερο έλεγχο για την απόρριψη της ιλύος. Τέλος, οι περιοχές απόθεσης πρέπει να ικανοποιούν τα μέτρα προστασίας των υδροληπτικών έργων και πηγών και να είναι μακριά από οικιστικές περιοχές για τη μη όχληση των κατοίκων.

### Ερωτήσεις

- 8.1.** Ποιες είναι οι τεχνικές για τη διάθεση υγρών αποβλήτων στο έδαφος;
- 8.2.** Ποιος είναι ο ρόλος του εδάφους στην αναγέννηση των υγρών αποβλήτων;
- 8.3.** Τι είναι τα συστήματα εδάφους-υδροφορέα (SAT);
- 8.4.** Αναφέρατε τρόπους για τη χρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων;
- 8.5.** Σε τι αποσκοπεί ο τεχνητός εμπλουτισμός με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα;
- 8.6.** Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των τεχνητών υδροβιοτόπων στη διαχείριση υγρών αποβλήτων;
- 8.7.** Τι προβλήματα μπορεί να δημιουργήσει η απόρριψη αποβλήτων σε βαθιές γεωτρήσεις;
- 8.8.** Ποιες προϋποθέσεις πρέπει να εκπληρούνται για τη διάθεση της ιλύος από τις μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων στο έδαφος;
- 8.9.** Τι είναι το περιοριστικό συστατικό του εδάφους;
- 8.10.** Ποια μέθοδος εδαφικής διάθεσης των υγρών αποβλήτων ελαιουργείων εφαρμόζεται;

