

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

A.1 Εισαγωγικά.....	
A.2 Υγρά Απόβλητα.....	
A.3 Προέλευση και Σύσταση Υγρών Αποβλήτων.....	
A.3.1 Ευδιάλυτες Οργανικές Ενώσεις	
A.3.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί	
A.3.3 Στερεά Σωματίδια.....	
A.3.4 Καθορισμός Βιοστερεών.....	
A.3.5 Προέλευση – Χαρακτηριστικά των στερεών.....	
A.3.6 Προέλευση στερεών.....	
A.3.7 Χαρακτηριστικά στερεών	
A.3.8 Ποσότητα στερεών	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β. ΑΠΟΒΛΗΤΑ

B.1 Στερεά απόβλητα.....	
B.2 Επιπτώσεις από την Τελική Διάθεση Ανεπεξέργαστων Λυμάτων.....	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ. ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Γ.1 Κοινοτική Νομοθεσία περί διαχείρισης & επαναχρησιμοποίησης ιλύος.....	
Γ.2 Παραχθείσα - Χρησιμοποιηθείσα ιλύς.....	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Δ.1 Διαθέσιμες Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων.....	
---	--

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε. ΠΑΡΑΓΩΓΗ , ΧΡΗΣΗ & ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ

E.1 Επεξεργασία Βιοστερεών.....	
E.1.2 Conditioning.....	
E.1.3 Πάχυνση.....	
E.1.4 Αφυδάτωση.....	
E.1.5 Σταθεροποίηση /Απολύμανση.....	
E.1.5.1 Σταθεροποίηση με αναερόβια χώνευση (μεθανοποίηση)	
E.1.5.2 Σταθεροποίηση με αερόβια χώνευση της ιλύος.....	
E.1.5.3 Σταθεροποίηση με κομποστοποίηση/λιπασματοποίηση.....	
E.1.5.4 Σταθεροποίηση ιλύος με ασβέστη.....	
E.1.5.5 Σταθεροποίηση με χρήση αλκαλικών.....	
E.1.5.6 Σταθεροποίηση με λίμνες σταθεροποίησης ιλύος	
E.1.5.7 Σταθεροποίηση με ξήρανση.....	
E.1.5.8 Σταθεροποίηση με Καύση ή αποτέφρωση.....	
E.1.5.9 Σταθεροποίηση με υγρή οξείδωση	
E.1.5.10 Σταθεροποίηση με αποστείρωση.....	
E.1.5.11 Σταθεροποίηση με ακτινοβολία.....	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ. ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΙΛΥΟΣ – ΜΕΘΟΔΟΙ

- Z.1 Σκοπός βελτίωσης ιλύος.....
- Z.2 Μέθοδοι βελτίωσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η. ΑΝΑΚΤΗΣΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟ-ΑΕΡΙΟΥ

- H.1 Διαχείριση μίγματος αερίων που παράγονται κατά την επεξεργασία της ιλύος.....
- H.1.2 Νομοθετική αναφορά.....
- H.1.3 Συλλογή.....
- H.1.4 Προεπεξεργασία.....
- H.1.5 Θερμική Επεξεργασία.....
- H.1.6 Αξιοποίηση.....
- H.1.7 Εφαρμογές.....

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Θ. ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΒΙΟΣΤΕΡΕΩΝ

- Θ.1 Εισαγωγικά.....
- Θ.2.1 Διάθεση βιοστερεών στο έδαφος.....
- Θ.2.2 Χρήση λάσπης αστικών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς.....
- Θ.3 Διάθεση για αστική χρήση.....
- Θ.4 Διάθεση σε δασικές περιοχές.....
- Θ.5 Διάθεση σε περιοχές για αναβάθμιση.....
- Θ.6 Διάθεση σε περιοχές που αποκλειστικά διατίθεται ιλύς.....
- Θ.7 Διάθεση σε ΧΥΤΑ.....
- Θ.8 Θαλάσσια διάθεση.....
- Θ.9 Παραγωγή τροφής ζώων.
- Θ.10 Παραγωγή βιοδομικών υλικών.....
- Θ.11 Παραγωγή τσιμέντου.
- Θ.12 Καύσιμο από βιοστερεά.
- Θ.13 Εμπορία ιλύος.
- Θ.14 Αξιοποίηση της βιολογικής λάσπης με τη μέθοδο της σβολοποίησης
- Θ.15 Εναλλακτικές χρήσεις μίγματος ιλύς με τσιμέντο και ζαροσίτη

Λίστα σχημάτων

Σχήμα Α.1. Τυπική Σύσταση Υγρών Αποβλήτων

Σχήμα Γ.1. Παραγωγή ιλύος στις 15 χώρες τις ΕΕ

Σχήμα Γ.2. Συνολική παραγωγή ιλύος στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2000

Σχήμα Γ.3. Ποσοστό παραγωγής ιλύος % στην Ε.Ε το 2000

Σχήμα Γ.4. Ιλύς που χρησιμοποιήθηκε στη γεωργία το 2000

Σχήμα Ε.1. Τύποι σχαρών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

Σχήμα Ε.2. Μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος

Σχήμα Ε.3. Λειτουργία μονάδας επίπλευσης διαλυμένου αέρα

Σχήμα Ε.5. Φυγόκεντρος συνεχούς λειτουργίας

Σχήμα Ε.6. Φυγόκεντρος τύπου κάδου.

Σχήμα Ε.7. Φίλτρο Κενού

Σχήμα Ε.8. Ταινιοφιλτρόπρεσσα

Σχήμα Ε.9. Σχηματική παράσταση της λειτουργίας της φιλτρόπρεσσας
Σχήμα Ε.10. Ρυθμός αφυδάτωσης της λυματολάσπης με τη μέθοδο των γαιόσακων

Σχήμα Ε.11. Χωνευτής χαμηλής φόρτισης

Σχήμα Ε.12. Αναερόβια χώνευση υψηλής φόρτισης δύο σταδίων

Σχήμα Ε.13. Θερμοκρασία Κομποστοποίησης

Σχήμα Ε.14. Επίδραση υγρασίας στην διαδικασία της λιπασματοποίησης

Σχήμα Ε.15. Διάγραμμα λιπασματοποίησης ιλύος

Σχήμα Ε.16. Διάγραμμα ροής διεργασιών πριν τη λιπασματοποίηση

Σχήμα Ε.17. Απεικόνιση του φυσικά αεριζόμενο σωρού

Σχήμα Ε.18. Αναμοχλευτής σειραδίων

Σχήμα Ε.19. Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (σύστημα Rudgers)

Σχήμα Ε.20. Σχηματική διάταξη σταθερού σωρού (σύστημα Beltsville)

Σχήμα Ε.21. Κατακόρυφος αντιδραστήρας

Σχήμα Ε.22. Οριζόντιος αντιδραστήρας

Σχήμα Ε.23. Παραδείγματα κλειστών συστημάτων λιπασματοποίησης: (α) κατακόρυφος

κυλινδρικός πύργος, (β) κατακόρυφος ορθογωνικός πύργος, (γ) οριζόντιο σύστημα τύπου τούνελ και (δ) οριζόντιο σύστημα τύπου καναλιού

Σχήμα Ε.24. Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου

Σχήμα Ε.25. Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών στερεών κατά

την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου

Σχήμα Ε.26. Διάγραμμα ροής συστήματος απότομης ξήρανσης

Σχήμα Ε.27. Διάγραμμα ροής ξηραντή περιστρεφόμενου τυμπάνου

Σχήμα Ε.28. Διάγραμμα ροής για ξηραντή τύπου κοίλου υμένα/δίσκου ή πτερυγίου

Σχήμα E.29. Πολυ-εστιακός αποτεφρωτήρας

Σχήμα E.30. Αντιδραστήρας, καύσης ιλύος ρευστοποιημένου στρώματος

Σχήμα Z.1. Σχηματική διάταξη θερμικής επεξεργασίας και αφυδάτωσης της ιλύος

Σχήμα Z.2. Σχηματική διάταξη συστήματος θερμικής επεξεργασίας *zimpro* (υγρή οξείδωση)

Σχήμα Θ.1. Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης της ιλύος στη ΕΕ

Λίστα Πινάκων

Πίνακας A.1. Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων μέτρησης της ποιότητας των υγρών αποβλήτων στα διάφορα στάδια επεξεργασίας

Πίνακας A.2. Βασικές μέθοδοι και διεργασίες παραγωγής στερεών σε συμβατικό σύστημα.

Πίνακας A.3. Τυπικές συνθέσεις ανεπεξέργαστης ιλύος και χωνευμένων βιοστερεών

Πίνακας A.4. Φυσικά χαρακτηριστικά και ποσότητες ιλύος που παράγονται από τις διεργασίες επεξεργασίας

Πίνακας B.1. Σημαντικοί Ρύποι σε Υγρά Απόβλητα

Πίνακας Γ.1. Εθνικές Νομοθεσίες σε σχέση με την 86/278/EC

Πίνακας Γ.2. Κριτήρια μετάλλων στην ιλύ σε χώρες της Ε.Ε αλλά και στις Η.Π.Α

Πίνακας Γ.3. Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια συγκεντρώσεων μετάλλων στην ιλύ για εδαφική διάθεση

Πίνακας Γ.4. Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια μετάλλων, από την ΕΕ, στην ιλύ για το 2005, 2015 & 2025

Πίνακας Γ.5 Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια συγκεντρώσεων μετάλλων στην ιλύ, από την ΕΕ, για φόρτιση

Πίνακας Γ.6. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων που διέπονται από τα άρθρα 4 και 5 της παρούσας οδηγίας. Εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το ποσοστό μείωσης

Πίνακας Γ.7 Συνολική παραγωγή ιλύος και χρησιμοποιηθείσες ποσότητες σε γεωργικά εδάφη κατά τα έτη 1998-2000

Πίνακας Δ.1 Συσχέτιση ρυπαντών και επιπτώσεων

Πίνακας Δ.2. Συσχέτιση ρυπαντών - επεξεργασίας

Πίνακας Δ.3. Διαθέσιμες τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

Πίνακας Ε.1 Περιγραφή των χονδρών σχαρών

Πίνακας Ε.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων σχαρών

Πίνακας Π.3. Μέθοδοι Διαθέσιμοι για την επεξεργασία της ιλύος των υγρών αποβλήτων

Πίνακας Ε.4. Σύγκριση Διεργασιών Τελικού Καθαρισμού – Φινιρίσματος

Πίνακας Ε.5. Χαρακτηριστικά ιλύος και φορτία μηχανικών παχυντών βαρύτητας

Πίνακας Ε.6. Χαρακτηριστικά παχυντών

Πίνακας Ε.7. Σύγκριση μεθόδων πάχυνσης

Πίνακας Ε.8. Σύγκριση των διαφόρων μεθόδων αφυδάτωσης

Πίνακας Ε.9. Γενικοί όροι αναερόβιος χώνευσης ιλύος.

Πίνακας Ε.10. Σύνθεση βιοαερίου

Πίνακας Ε.11. Περιεκτικότητα αζώτου χαρακτηριστικών ζυμώσιμων συστατικών

Πίνακας Ε.12. Χαρακτηριστικά αργίλου, ανεπεξέργαστης και λιπασματοποιημένης ιλύος

Πίνακας Ε.13. Περιεκτικότητα θρεπτικών στις ιλύες

Πίνακας Ε.14. Μεταβολή της συγκέντρωσης των οργανικών στερεών κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου ως ποσοστό του βάρους της υγρής ιλύος.

Πίνακας Ε.15. Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου ως ποσοστό του βάρους της υγρής ιλύος

Πίνακας Ε.16. Σύγκριση των συχνότερα χρησιμοποιούμενων διεργασιών σταθεροποίησης

Πίνακας Η.1. Χαρακτηριστικά στοιχεία των δύο κύριων συστατικών του βιοαερίου

Πίνακας Η.2. Όρια ποιότητας καυσαερίων στο Γερμανικό κράτος

Πίνακας Η.3. Κρίσιμα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για τον περιορισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα

Πίνακας Η.4. Εγκεκριμένες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο

Πίνακας Θ.1. Ενδεικτική σύνθεση χημικών λιπασμάτων, κομπόστ, κοπριάς και ιλύος

Πίνακας Θ.2 Κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης

Πίνακας Θ.3. Συγκεντρώσεις συστατικών ιλύος στην ΕΕ

Πίνακας Θ.4. Συγκέντρωση καδμίου σε χημικά φωσφορούχα λιπάσματα.

Πίνακας Θ.5. Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (mg/kg dry wt) για γεωργική διάθεση της ιλύος

Πίνακας Θ.6. Μέγιστες συγκεντρώσεις μικροοργανισμών (mg/kg dry wt) για γεωργική χρήση της ιλύος

Πίνακας Θ.7. Οδηγίες για τον προσδιορισμό της εδαφικής ρύπανσης από μικροοργανικά (mg/kg dry matter).

Πίνακας Θ.8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σβολοποίησης με προσθήκη ασβέστου και με ιπτάμενη τέφρα

Λίστα Εικόνων

Εικόνα Δ.1. Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (κυκλική και ορθογώνια)

Εικόνα Δ.2. Σχηματική αναπαράσταση διαδοχικής επεξεργασίας υγρών λυμάτων σε απλή συμβατική μονάδα

Εικόνα Ε.1. Μονάδα Conditioning

Εικόνα Ε.2. Μηχανική αφυδάτωση με φυγόκεντρο

Εικόνα. Ε.3. α) Κλίνες αποξήρανσης ιλύος β) Σύστημα κλινών ξήρανσης με καλάμια που καθιερώθηκε τον Οκτώβριο του 1996 στη Δανία

Εικόνα Ε.4. Ταινιοφιλτρόπρεσες: (α) Γενική άποψη και (β) αφυδατωμένη ιλύς

Εικόνα Ε.5. Σύστημα κλινών ξήρανσης για την επεξεργασία λάσπης

Εικόνα Ε.6. Το βάθος που βρίσκεται η λάσπη και περιοχές δειγματοληψιών

Εικόνα Ε.7. (α)Υφαντό γεωύφασμα από πολυαιθυλένιο τύπου PE 525 (β)Υφαντό γεωύφασμα από πολυπροπυλένιο PP 120S

Εικόνα Ε.8. (α)Αποστράγγιση με τη μέθοδο των γαιόσακων(β)Η διαδικασία αποστράγγισης εντείνεται κάτω από την παραμικρή πίεση

Εικόνα Ε.9. Δίκτυο γαιόσακων αφυδάτωσης σε Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στις ΗΠΑ, Συγκέντρωση στερεών λυματολάσπη 6-9%

Εικόνα Ε.10. Μονάδα αναερόβιας χώνευσης ιλύος

Εικόνα Ε.11. Ασβεστοποίηση ιλύος ΕΕΛ Σίνδου – Δοκιμές πεδίου από την ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Χριστόφορος Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε

Εικόνα Ε.12. Από την Ασβεστοποίηση ιλύος ΕΕΛ Σίνδου – Δοκιμές πεδίου

Εικόνα Ε.13. Μηχανισμοί αφαίρεσης Ν στους κατασκευασμένους υγρότοπους

Εικόνα Ε.14. Μηχανισμοί αφαίρεσης οργανικών

Εικόνα Ζ.1. Μονάδα ρύθμισης ιλύος

Εικόνα Η.1. Συνδιασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Εικόνα Η.2. Γενική άποψη των εγκαταστάσεων αποτεφρωτήρων λάσπης στο Bilbao

Εικόνα Η.3 Ο στρόβιλος ατμού.

Εικόνα Η.4 Εγκαταστάσεις ανάκτησης ενέργειας στο Bilbao της Ισπανίας.

Εικόνες Θ.5. Μακροσκοπική μορφή σβόλων

Εικόνες Θ.6. α) Μορφή σβόλων στο μικροσκόπιο β) Καλλιέργεια κολοκυθιάς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ & ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

A.1 Εισαγωγικά

Στον Ελλαδικό χώρο δεκαετίες ολόκληρες, τα λύματα κατέληγαν χωρίς καμία επεξεργασία στους υδάτινους αποδέκτες, ρυπαίνοντας τους και αλλοιώνοντας την οικολογική τους ισορροπία. Τα εκατομμύρια κάτοικων και οι βιομηχανίες των πόλεων, επιβάρυναν τις θάλασσες με τις υπέρογκες ποσότητες λυμάτων που απέβαλαν σε αυτές την ημέρα.

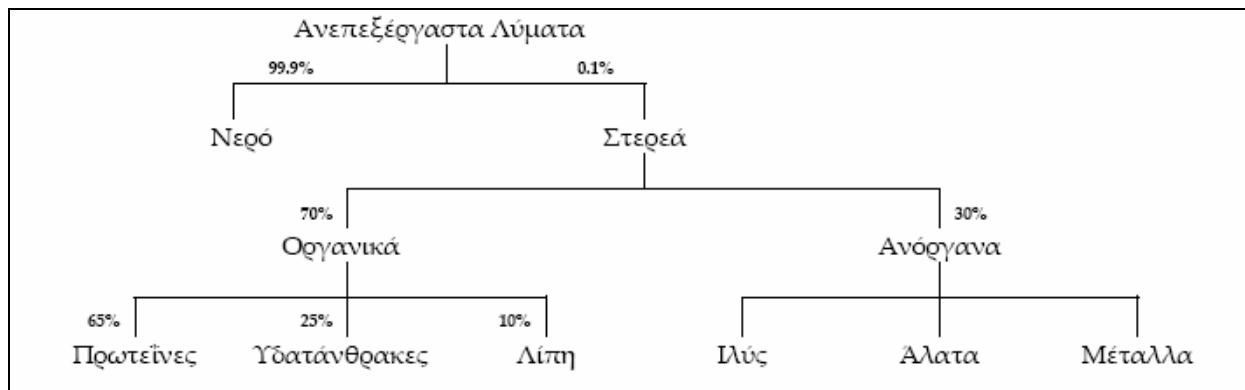
Σήμερα όμως, μπορούμε να αντικρίσουμε το μέλλον με περισσότερη αισιοδοξία. Τα μεγάλα κέντρα επεξεργασίας λυμάτων των πόλεων αλλά και τα μικρότερης δυναμικότητας έργα Βιολογικών Καθαρισμού πανελληνίως, συμβάλλουν αποφασιστικά στην εξυγίανση των υδάτινων οικοσυστημάτων, με άμεσο στόχο την αναβίωση της χλωρίδας και της πανίδας τους.

A.2 Υγρά Απόβλητα

Η σύσταση των υγρών αποβλήτων/λυμάτων, εξαρτάται από την πηγή προέλευσης τους, η οποία σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις που μπορεί να προκληθούν σε περίπτωση διάθεσης τους στο περιβάλλον χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία, αποτελούν τα στοιχεία εκείνα που χρησιμεύουν για το σχεδιασμό των σταθμών επεξεργασίας των αστικών λυμάτων ή των υγρών αποβλήτων.

A.3 Προέλευση και Σύσταση Υγρών Αποβλήτων

Αποτελούνται κυρίως από στερεά σωματίδια, ευδιάλυτες οργανικές ενώσεις και παθογόνους μικροοργανισμούς (Σχήμα Α.1). Η παρουσία τους οφείλεται στην χρήση του καθαρού νερού σε βιομηχανίες αλλά και σε οικίες. Το ποσοστό παρουσίας τους ποικίλλει και σχετίζεται με τις συνήθειες του πληθυσμού κατά τη χρήση του νερού σε κατοικίες, από τους κλάδους και τις διεργασίες των βιομηχανιών καθώς και την αραίωση που πιθανόν να υφίστανται κατά τη διοχέτευση τους προς στους σταθμούς επεξεργασίας, τη διήθηση που πιθανόν να υφίστανται κ.λπ.



Σχήμα Α.1. Τυπική Σύσταση Υγρών Αποβλήτων (Butler and Smith, 2003)

Α.3.1 Ευδιάλυτες Οργανικές Ενώσεις

Αποτελούνται κυρίως από πρωτεΐνες (αμινοξέα), υδατάνθρακες, (ζάχαρη, άμυλο, κυτταρίνη) και λιπίδια (λίπη, έλαια). Όλες αυτές οι ουσίες περιέχουν άνθρακα ο οποίος μέσω βιολογικών διεργασιών μπορεί να μετατραπεί σε διοξείδιο του άνθρακα. (Δ. Φάττα et al., 2006)

Α.3.2 Παθογόνοι Μικροοργανισμοί

Πρόκειται κυρίως για βακτήρια, ιούς και πρωτόζωα. Αυτοί οι οργανισμοί επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία. Τα κολοβακτηρίδια χρησιμοποιούνται ως δείκτης της παρουσίας των παθογόνων μικροοργανισμών στα υγρά απόβλητα. Μέταλλα και άλατα επίσης περιέχονται στα υγρά απόβλητα. Άζωτο περιέχεται λόγω της παρουσίας πρωτεϊνών και άλλων θρεπτικών συστατικών όπως είναι ο φωσφόρος (6-20 mg/l). Η συγκέντρωση της αμμωνίας (NH₃) ποικίλλει (12-50 mg/l). Παράμετροι υψίστης σημασίας στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων αποτελούν το Βιολογικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD) και τα Αιωρούμενα στερεά (SS). Το BOD αποτελεί μέτρηση της ποσότητας των βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών στο νερό. Καθώς τα βακτήρια καταναλώνουν αυτές τις οργανικές ουσίες λαμβάνουν για την αναπνοή τους οξυγόνο από το υδάτινο σώμα και χρησιμοποιούν τις ουσίες αυτές για ανάπτυξη και παραγωγή ενέργειας. Συνεπώς, η ζήτηση/απαίτηση οξυγόνου στους υδάτινους αποδέκτες οφείλεται στις ευδιάλυτες οργανικές ενώσεις. Το BOD λοιπόν, εκφράζει την απαίτηση σε mg/l οξυγόνου για την βιολογική οξείδωση/αποδόμηση των οργανικών ενώσεων που περιέχονται στα απόβλητα από μικροοργανισμούς. Κατά μέσο όρο κάθε άτομο παράγει

περίπου 60 g BOD ανά ημέρα (κοπρανώδη και άλλα υλικά). Η συγκέντρωση του BOD στα υγρά απόβλητα εξαρτάται από τον όγκο του νερού που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή

των κοπρανωδών υλικών. Παραδείγματος χάρη, εάν κάθε άτομο καταναλώνει 200 l νερού ανά ημέρα, τότε τα παραγόμενα υγρά απόβλητα θα έχουν συγκέντρωση 300 mg/l. Τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα έχουν συνήθως τιμή η οποία κυμαίνεται μεταξύ 100 mg/l και 300 mg/l. Τυπικές τιμές παραμέτρων για ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα, για απόβλητα μετά το στάδιο της καθίζησης και τέλος για απόβλητα από το τελικό ρεύμα στην έξοδο σε σταθμό επεξεργασίας, παρουσιάζονται παρακάτω, στον Πίνακα Α.1.

(Δ. Φάττα et al., 2006)

Παράμετρος (mg/l)	Στάδιο επεξεργασίας		
	Είσοδος	Μετά την καθίζηση	Τελικό ρεύμα εξόδου
BOD	300	175	20
COD	700	400	90
TOC	200	90	30
SS	400	200	30
NH ₄ - N	40	40	5
NO ₃ - N	<1	<1	20

Πίνακας Α.1. Χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων μέτρησης της ποιότητας των υγρών αποβλήτων στα διάφορα στάδια επεξεργασίας (Δ. Φάττα et al., 2006)

Α.3.3 Στερεά Σωματίδια

Αποτελούνται από οργανικά και ανόργανα συστατικά σε αναλογία περίπου 70:30. Το οργανικό κλάσμα αποτελείται από ανθρώπινα εκκρίματα, υπολείμματα τροφών, χαρτί, υφασμάτινες ίνες και βιολογικά κύτταρα ενώ το ανόργανο κλάσμα αποτελείται από εδαφικό υλικό και αλλά ανόργανα στοιχεία. Τα στερεά θα πρέπει να απομακρύνονται σε αρχικό στάδιο κατά την επεξεργασία, με στόχο την αποφυγή της κατάληξης τους στους τελικούς υδάτινους αποδεκτές.

(Δ. Φάττα et al., 2006)

Α.3.4 Καθορισμός Βιοστερεών

Συγκεκριμένα στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων εκτός από την τελική εκροή (που ανάλογα με το βαθμό επεξεργασίας που πραγματοποιείται σε αυτή επαναχρησιμοποιείται και διατίθεται κατάλληλα) παράγονται αρκετά μεγάλες ποσότητες ιλύος (λυματολάσπης), αλλά και άλλα παραπροϊόντα, όπως είναι τα εσχαρίσματα, η άμμος, τα επιπλέοντα, τα στερεά και τα βιοστερεά.

Τα δύο τελευταία, στερεά και βιοστερεά, αποτελούν την λυματολάσπη και έχουν την μορφή υγρού ή ημιστερεού υγρού που συνήθως περιέχει από 0,25 έως 12% στερεά κατά βάρος α-

νάλογα με την επεξεργασία που έχει γίνει. Παρακάτω γίνεται μία περιεκτική επεξήγηση των όρων, βιοστερεά, ιλύς και στερεά.

Βιοστερεά → ο όρος αυτός χρησιμοποιείται επειδή τα στερεά των υγρών αποβλήτων είναι οργανικά προϊόντα, τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία με διεργασίες όπως η σταθεροποίηση και η κομποστοποίηση, μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Ιλύς → ο όρος ιλύς αναφέρεται πριν τις διεργασίες που θα οδηγήσουν το υλικό σε ωφέλιμη επαναχρησιμοποίηση. Χρησιμοποιούνται οι όροι συνήθως πρωτοβάθμια ιλύς, ενεργός ιλύς και δευτεροβάθμια ιλύς αναλόγως με την διεργασία που βρίσκεται σε εξέλιξη.

Στερεά → ο όρος των στερεών χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου δεν είναι σίγουρο αν μπορεί να γίνει ωφέλιμη χρήση του προϊόντος.

Από τα παραπάνω και γενικότερα από όλα τα προϊόντα που απομακρύνονται τα *στερεά* και τα *βιοστερεά* είναι αυτά που έχουν τον μεγαλύτερο όγκο, εν συγκρίσει με τα υπόλοιπα. Ιδιαίτερα σημαντικές είναι η επεξεργασία, η διάθεση και η επαναχρησιμοποίηση αυτών τόσο για το ότι, τα παραπροϊόντα αυτά διαθέτουν μεγάλο αριθμό πολύτιμων συστατικών, όπως θρεπτικά και οργανική ύλη, με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλα για ένα μεγάλο εύρος χρήσεων, όσο και για το ότι οι διαδικασίες αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ιδιαιτέρως πολύπλοκες. Αφού α) η σύσταση τους αποτελείται κατ' ένα μεγάλο ποσοστό από ουσίες που προκαλούν τον μολυσματικό χαρακτήρα των υγρών αποβλήτων. β) Από τη βιολογική επεξεργασία παράγονται βιοστερεά που αποτελούνται από την οργανική ύλη, που περιέχεται στα υγρά απόβλητα, η οποία όταν αποδομηθεί μπορεί να αυξηθεί η επικινδυνότητα της. γ) Τέλος μόνο ένα μικρό μέρος είναι στερεές ουσίες.

Γενικότερα τα εν λόγω παραπροϊόντα, συγχρόνως είναι και φορείς ανεπιθύμητων ρυπαντών, όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, με αποτέλεσμα ο τρόπος τελικής τους διάθεσης να έχει σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι οι εκπομπές στον αέρα, ο κίνδυνος για τη δημόσια υγεία και η πιθανότητα ρύπανσης εδαφικών και υδατικών πόρων. Συνεπώς η επεξεργασία και η διάθεση των παραπροϊόντων επεξεργασίας είναι μία σημαντική παράμετρος, που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό των εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.

Οι διάφορες διεργασίες επεξεργασίας των στερεών απαιτούνται για να:

1. μειώσουν το ποσοστό του νερού και τις οργανικές ουσίες
2. και μετά από κατάλληλη επεξεργασία να καταστήσουν τα επεξεργασμένα στερεά κατάλληλα για διάθεση και επαναχρησιμοποίηση.

(Αγγελάκης et al., 2004)

A.3.5 Προέλευση – Χαρακτηριστικά των στερεών

Τα τρία βασικά στοιχεία που επιβάλλεται να είναι γνωστά για τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης επεξεργασίας και διάθεσης βιοστερεών είναι:

1. η προέλευση των στερεών, που καθορίζεται κυρίως από το σημείο και τη διαδικασία δημιουργίας των στερεών,
2. τα χαρακτηριστικά των στερεών τα οποία εξαρτώνται κυρίως από το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων, τη μέθοδο επεξεργασίας και το σημείο παραγωγής των στερεών
3. και η ποσότητα των στερεών, η οποία είναι ανάλογη της ποσότητας των υγρών αποβλήτων και του ρυπαντικού φορτίου τους και εξαρτάται από τις λειτουργικές συνθήκες της Μονάδας Επεξεργασίας των Υγρών Αποβλήτων.

(Αγγελάκης et al., 2004)

A.3.6 Προέλευση στερεών

Η προέλευση των στερεών όπως προαναφέρθηκε εξαρτάται από τα σημεία παραγωγής σε μια Μονάδα επεξεργασίας, τα οποία ποικίλουν και είναι συνάρτηση του τύπου της μονάδας και της μεθόδου εφαρμογής. Οι κύριες μέθοδοι και διεργασίες παραγωγής στερεών σε μια κοινή Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων παρουσιάζονται στον πίνακα Α.2:

Ογκώδη στερεά	<i>Εσχάρωση</i>
Χονδρόκοκκος άμμος και επιπλέοντα λίπη και αφροί	<i>Εξάμμιση - απολίπανση</i>
Λεπτόκοκκα στερεά. Οι ποσότητες ιλύος εξαρτώνται από την ποιότητα των υγρών αποβλήτων (βιομηχανικά απόβλητα).	<i>Πρωτοβάθμια καθίζηση</i>
Αιωρούμενα στερεά παράγονται από την μετατροπή των διαλυμένων οργανικών ενώσεων σε βακτηριακή μάζα.	<i>Βιολογική επεξεργασία</i>
Στερεά από συμπύκνωση της ενεργού ιλύος, καθώς ένα ποσοστό της απομακρύνεται από το σύστημα, ενώ ένα άλλο επιστρέφει στη δεξαμενή αερισμού	<i>Δευτεροβάθμια καθίζηση</i>
Παραγωγή βιοστερεών ως τελικό προϊόν. Το τελικό προϊόν έχει μικρότερο όγκο από την αρχική ιλύ και είναι σταθεροποιούμενο. Έτσι μπορεί να διατεθεί στο περιβάλλον ευκολότερα και ασφαλέστερα.	<i>Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων</i>

Πίνακας Α.2. Βασικές μέθοδοι και διεργασίες παραγωγής στερεών σε συμβατικό σύστημα.
(Αγγελάκης et al., 2004)

A.3.7 Χαρακτηριστικά στερεών

Για να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή απόδοση στην επεξεργασία αλλά και τη διάθεση των στερεών επιβάλλεται να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά των στερεών. Τα οποία εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από το οργανικό φορτίο των υγρών αποβλήτων, τη μέθοδο επεξεργασίας και το σημείο παραγωγής των στερεών.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των στερεών απαριθμούνται και αναλύονται παρακάτω:

1. **Εσχαρίσματα** → Αποτελούνται από όλους τους τύπους των οργανικών και ανόργανων υλικών μεγάλου μεγέθους για αυτό επιβάλλεται να απομακρύνονται από τις εσχάρες.
2. **Άμμος** → Αποτελείται από τα βαρύτερα ανόργανα στερεά που καθιζάνουν με σχετικά μεγάλη ταχύτητα
3. **Αφροί και λίπη** → Τα επιπλέοντα υλικά που απομακρύνονται στις δεξαμενές πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας καθίζησης και εξάμμωσης δημιουργούν τους αφρούς. Οι τελευταίοι μπορεί να περιέχουν λίπη, φυτικά έλαια και ορυκτέλαια, σαπούνια, υπολείμματα τροφών, τρίχες, χαρτιά και διάφορα άλλα επιπλέοντα υλικά.
4. **Πρωτοβάθμια ιλύς** → Αποτελεί το 40-70% των αιωρούμενων στερεών, που εισέρχονται στη δεξαμενή και στη περίπτωση των αστικών υγρών αποβλήτων περιέχει 6-8% στερεά, από τα οποία τα 60-80% είναι πτητικά. Τα χαρακτηριστικά της ιλύς πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι ότι συνήθως έχει έντονη δυσοσμία, είναι φαιόχρωμη και παχύρρευστη. Συνήθως αντλείται κατάντι της διεργασίας πρόσθετης καθίζησης ή σταθεροποίησης. Η πρωτοβάθμια ιλύς μπορεί εύκολα να υποστεί χώνευση υπό κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας.
5. **Χημική ιλύς** → Η χημική ιλύς προκύπτει από την προσθήκη αντιδραστηρίων. Όπως για παράδειγμα άλατα αργιλίου ή σιδήρου και ασβέστου με στόχο την αύξηση του ρυθμού απομάκρυνσης των αιωρούμενων στερεών ή την κατακρήμνιση του φωσφόρου. Σε γενικές γραμμές, η προσθήκη του ασβέστου βελτιώνει την καθίζηση και την αφυδάτωση της ιλύος. Οι διάφορες χημικές ιδιότητες του υγρού αποβλήτου, το pH, η ανάμειξη, ο χρόνος αντίδρασης, και οι πιθανότητες κροκίδωσης επιδρούν στα χαρακτηριστικά της χημικής ιλύος.
6. **Ενεργός ιλύς** → Η ενεργός ιλύς είναι χρώματος σκούρη – καφέ και έχει μορφή κροκίδων. Από το χρώμα της μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα αφού όταν το χρώμα της αποκτά σκούρη απόχρωση σημαίνει ότι η ιλύς εισέρχεται σε σηπτική φάση. Η ιλύς σε φυσιολογική κατάσταση έχει μια άσχημη γήινη οσμή ενώ παράλληλα έχει τη τάση να μετατρέπεται με επιταχυνόμενους ρυθμούς σε σηπτική φάση και δύσοσμη κατάσταση. Αυτή

περιέχει από 0,5 έως 2% στερεά, από τα οποία ένα μεγάλο ποσοστό της τάξεως των 70-80% είναι πτητικά.. Η ενεργός ιλύς συμπυκνώνεται σημαντικά με επίπλευση ή φυγοκέντρωση και χωνεύει εύκολα μόνη της η σε ανάμειξη με πρωτοβάθμια ιλύ.

7. **Βιοστερεά από αερόβια χώνευση** → Τα Βιοστερεά από αερόβια χώνευση είναι χρώματος καφέ έως σκούρου καφέ και έχει μορφή κροκκίδων. Αυτή η μορφή στερεών δεν έχουν τόσο ενοχλητική οσμή αλλά αρκετές φορές λαμβάνει οσμή μούχλας. Στις περιπτώσεις αποτελεσματικά χωνεμένης αερόβιας ιλύς μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα αφυδάτωση σε κλίνες ξήρανσης.

8. **Βιοστερεά από αναερόβια χώνευση** → Είναι σκούρου χρώματος και αρκετές φορές και μαύρου, πυκνόρρευστα και περιέχουν πολλά αέρια κυρίως CO₂ και CH₄. Όταν επιτευχθεί σωστή χώνευση, δεν αναδίδει ενοχλητική οσμή αλλά οσμή που μοιάζει με αυτή της ζεστής πίσσας, του καμένου λάστιχου ή του βουλοκεριού. Στη περίπτωση της πρωτοβάθμια ιλύς αλλά και της ενεργού ιλύος όταν χωνευτούν αναερόβια παράγεται διπλάσιο μεθάνιο. Αυτή αφυδατώνεται εύκολα σε κλίνη ξήρανσης, εν συνεχεία σχηματίζει επιφάνεια ρηγματώδη και εκκλύει οσμή εδάφους από κήπο. Το ξερό υπόλειμμα είναι από 30-60% σε πτητική κατάσταση.

9. **Κόμποστ**→ Και τέλος το Κόμποστ, κατηγορία των στερεών που είναι κατά κύριο λόγο σκουρόχρωμα έως και μαύρα, αφού το χρώμα βέβαια δεν είναι σταθερό ποικίλει αφού προκύπτει από την ανάμειξη διογκωτικών υλικών κατά τη κομποστοποίηση, όπως ανακυκλωμένο Κόμποστ ή κομματάκια ξύλου. Τα στερεά αυτά δεν είναι δύσσομα αντιθέτως η οσμή τους μοιάζει με αυτή των εδαφοβελτιωτικών. Συνήθης τυπικές τιμές και συνθέσεις της ανεπεξέργαστης ιλύος και των χωνευμένων βιοστερεών παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

Στοιχεία σύνθεσης	Ανεπεξέργαστη πρωτοβάθμια ιλύς		Χωνευμένη πρωτοβάθμια ιλύς		Ανεπεξέργαστη ενεργός ιλύς
	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή	Εύρος τιμών	Τυπική τιμή	Εύρος τιμών
Ολικά στερεά (TS), %	5-9	6	2-5	4	0,8-1,2
Πτητικά στερεά (% των TS)	60-80	65	30-60	40	59-88
Αζωτο, (N, % των TS)	1,5-4	2,5	1,6-3	3	2,4-5
Φωσφόρος, (P ₂ O ₅ , % των TS)	0,8-2,8	1,6	1,5-4	2,5	2,8-11
PH	5-8	6	6,5-7,5	7	6,5-8
Αλκαλικότητα, mg/L CaCO ₃	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Οργανικά οξέα, mg/L	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Θερμογόνος δύναμη, MJ TS/kg	23-29	25	9-14	12	19-23

Πίνακας Α.3. Τυπικές συνθέσεις ανεπεξέργαστης ιλύος και χωνευμένων βιοστερεών (Αγγελάκης et al., 2004)

Α.3.8 Ποσότητα στερεών

Η ποσότητα της ιλύος που παράγεται εξαρτάται από την περιεκτικότητα αρχικά των στερεών στα υγρά απόβλητα και βεβαίως από την μέθοδο επεξεργασίας και την απόδοση της επεξεργασίας καθαρισμού. Είναι αναμενόμενο να μην είναι γνωστά επακριβώς όλα τα στοιχεία αυτά. Τα φυσικά χαρακτηριστικά και οι ποσότητες της ιλύος που παράγονται από τις διεργασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται στον πίνακα που εμφανίζεται παρακάτω.

Φάσεις επεξεργασίας ιλύος	Ειδικό βάρος στερεών (tn/m ³)	Ειδικό βάρος της ιλύος (tn/m ³)	Περιεχόμενα στερεά (Kg/10 ³ m ³)
Πρωτοβάθμια καθίζηση	1,40	1.020	150
Ενεργός ιλύς	1,25	1.005	80
Βιολογικά φίλτρα	1,45	1.025	70
Παρατεταμένος αερισμός	1,30	1.015	100
Αεριζόμενες δεξαμενές	1,30	1.010	100
Διήθηση	1,20	1.005	20
Φυσικοχημική επεξεργασία και απομάκρυνση P	2,00	1.045	300/800

Πίνακας Α.4. Φυσικά χαρακτηριστικά και ποσότητες ιλύος που παράγονται από τις διεργασίες επεξεργασίας (Αγγελάκης et al., 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β

ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Β.1 Στερεά απόβλητα

Με τον όρο **στερεά απόβλητα** ή **απορρίμματα** περιγράφονται τα, ανθρωπογενούς κυρίως προέλευσης, στερεά ή ημιστερεά υλικά, τα οποία στερούνται άμεσης αξίας και είναι ανεπιθύμητα για τον κάτοχό τους ο οποίος επιθυμεί να τα απορρίψει. Με την ευρύτερη έννοια τα στερεά απόβλητα περιλαμβάνουν υλικά που παράγονται όχι μόνον σε αστικές περιοχές αλλά και λόγω αγροτικών, βιομηχανικών και εξορυκτικών δραστηριοτήτων. Στα πλαίσια της παρούσας διερεύνησης έμφαση δίνεται στη διαχείριση των **απορριμμάτων αστικής προέλευσης**. Η ορθολογική διαχείριση των στερεών αποβλήτων προϋποθέτει επαρκή γνώση της προέλευσης, του ρυθμού παραγωγής και της σύστασής των. Οι κύριες πηγές στερεών αποβλήτων είναι οι ακόλουθες:

- οικιακά στερεά απόβλητα
- εμπορικά στερεά απόβλητα (καταστήματα, εστιατόρια, γραφεία)
- βιομηχανικά στερεά απόβλητα
- στερεά απόβλητα από διάφορες αστικές δραστηριότητες (νοσοκομεία, ιδρύματα καθαρισμός δρόμων και κήπων, ογκώδη αντικείμενα κλπ)
- στερεά απόβλητα από κατασκευές δραστηριότητες
- **στερεά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας νερού και λυμάτων (ιλύς).**

Η έννοια της διαχείρισης των απορριμμάτων εμφανίζει μια δυναμική με το χρόνο εξέλιξη. Η συσχέτιση μεταξύ δημόσιας υγείας και ανεπαρκών μεθόδων αποθήκευσης, συλλογής και τελικής διάθεσης απορριμμάτων (που οδηγεί στην παρουσία τροφτικών και άλλων φορέων ασθενειών), είναι γνωστή από παλιά. Δεν είναι περίεργο λοιπόν που ιστορικά ο πρώτος στόχος της διαχείρισης αφορούσε αποκλειστικά στην **προστασία της δημόσιας υγείας**. Με την έντονη ευαισθητοποίηση γύρω από τα περιβαλλοντικά προβλήματα (κυρίως μετά τη δεκαετία του 70) ο στόχος διευρύνεται και αποσκοπεί στην προστασία και αποτροπή δυσμενών επιπτώσεων στον αέρα, στα νερά και στο έδαφος. Αυτή είναι η επικρατούσα σε πολλές χώρες, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, άποψη ως προς το θέμα του περιβαλλοντικά αποδεκτού τρόπου διαχείρισης, σύμφωνα με την οποία τα απορρίμματα αποτελούν άχρηστο προϊόν (απόβλητο) που θα πρέπει όμως να διατεθεί με μεθόδους που να εξασφαλίζουν **την προστασία όχι μόνον της δημόσιας υγείας αλλά και του περιβάλλοντος**.

Παρά την μετατόπιση του ενδιαφέροντος από το στενό πλαίσιο της δημόσιας υγείας στον ευρύτερο της προστασίας του περιβάλλοντος και της αποτροπής της ρύπανσης, ορισμένα βασικά γνωρίσματα του καθεστώτος διαχείρισης δεν τροποποιούνται ουσιαστικά. Έτσι, για παράδειγμα, δεν αμφισβητείται το "δικαίωμα" του δημότη να απορρίπτει τα ανεπιθύμητα στερεά απόβλητα που παράγει. Η έμφαση δίνεται στην κατάλληλη επεξεργασία και ασφαλή διάθεση των αποβλήτων ώστε να αποτραπούν οι δυσμενείς επιπτώσεις (κίνδυνος για τη δημόσια υγεία, ρύπανση του περιβάλλοντος αργότερα). Τέλος η πολιτεία μέσω της τοπικής αυτοδιοίκησης (έστω και χωρικά διευρυμένης) είναι επιφορτισμένη με το καθήκον της διαχείρισης των αποβλήτων, επιμερίζοντας τις συνεπαγόμενες δαπάνες στους δημότες.

Αξίζει ωστόσο να επισημανθεί ότι σε πολλές χώρες της Ευρώπης, άλλα και στα πλαίσια της εξελισσόμενης ενιαίας Ευρωπαϊκής πολιτικής, προβάλλεται με αυξανόμενη επίταση, κατά τη δεκαετία του 90, η έννοια της διαχείρισης στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης, με έμφαση στην ελαχιστοποίηση παραγωγής και στη θεώρηση των απορριμμάτων ως αξιοποιήσιμου υλικού (μέσω ανάκτησης υλικών ή ενέργειας). Αποτέλεσμα της θεώρησης αυτής είναι η ριζική αλλαγή στον τρόπο αξιολόγησης των διαφόρων μεθόδων διαχείρισης, με προτεραιότητα σε εκείνες που συνεισφέρουν στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, έτσι ώστε να εξυπηρετείται η αρχή της αειφορίας. Παράλληλα αναδύονται νέες αντιλήψεις για τον καταμερισμό της ευθύνης και τον τρόπο οργάνωσης της διαχείρισης. Έστω και εμβρυακά, αρχίζει να τίθεται υπό αμφισβήτηση το δικαίωμα απόρριψης των αποβλήτων. Επεκτείνεται η ευθύνη διαχείρισης στους παραγωγούς των αποβλήτων (π.χ. βιομηχανίες παραγωγής και χρήσης των υλικών συσκευασίας) οι οποίοι καλούνται να έχουν ενεργή συμμετοχή, με επακόλουθο να περιορίζεται η ευθύνη και ο ρόλος της πολιτείας. Τέλος η χωρική κλίμακα αντιμετώπισης του προβλήματος αρχίζει να ξεφεύγει από τα στενά πλαίσια των τοπικών κοινωνιών και επεκτείνεται όχι μόνον σε εθνική αλλά και υπερεθνική κλίμακα.

Με την κλασική έννοια της διαχείρισης απορριμμάτων νοείται το σύνολο των απαιτούμενων ενεργειών που περιλαμβάνει:

- την εκτίμηση της ποσότητας και ποιότητας των απορριμμάτων
- την προσωρινή αποθήκευση
- τη συλλογή (με ενδεχόμενη διαλογή στην πηγή)
- τη μεταφορά στη θέση επεξεργασίας/διάθεσης
- την τελική επεξεργασία και διάθεση

Λαμβάνοντας όμως υπόψη τις προαναφερθείσες πρόσφατες τάσεις, η έννοια της διαχείρισης των απορριμμάτων επεκτείνεται όλο και περισσότερο σε θέματα πολιτικής, που σχετί-

ζονται αφ' ενός μεν με τις δυνατότητες ελαχιστοποίησης των παραγόμενων προϊόντων και αξιοποίησής των μέσω επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης υλικών και ανάκτησης ενέργειας, αφ' ετέρου δε με τη σύσταση και λειτουργία κατάλληλων για τον σκοπό αυτό οργανικών σχημάτων διαχείρισης.

(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

B.2 Επιπτώσεις από την Τελική Διάθεση Ανεπεξέργαστων Λυμάτων

Οι πιο σημαντικοί ρύποι που περιέχονται στα ανεπεξέργαστα λύματα είναι τα αιωρούμενα στερεά, οι βιοαποδομήσιμες οργανικές ενώσεις, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, τα θρεπτικά στοιχεία, τα βαρέα μέταλλα και τα διαλυμένα ανόργανα στερεά συστατικά (Πίνακας Β.1).

Ρύπος	Πηγή	Περιβαλλοντική Επίδραση
Αιωρούμενα Στερεά (SS)	Οικιακή Χρήση, βιομηχανικά απόβλητα, μεταφορά υλικών κατά τη ροή	Παράγεται ιλύς και δημιουργούνται αναερόβιες συνθήκες στο υδάτινο περιβάλλον.
Βιοαποδομήσιμες Οργανικές ενώσεις	Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα	Προκαλείται βιολογική αποσύνθεση με αποτέλεσμα τη δημιουργία μη επιθυμητών συνθηκών.
Παθογόνοι Μικροοργανισμοί	Αστικά Απόβλητα	Κίνδυνος μετάδοσης ασθενειών
Θρεπτικά Συστατικά	Αστικά και βιομηχανικά απόβλητα	Πιθανή δημιουργία ευτροφισμού
Μη βιοαποδομήσιμες Οργανικές ενώσεις	Βιομηχανικά απόβλητα	Δημιουργία προβλημάτων οσμής και γεύσης, μπορούν να είναι τοξικές ή καρκινογόνες
Βαρέα Μέταλλα	Βιομηχανικά απόβλητα, απόβλητα μεταλλείων, κ.λπ.	Είναι τοξικά
Διαλυμένα Ανόργανα Στερεά	Οικιακή και Βιομηχανική Χρήση	Παρεμποδίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών επεξεργασμένων εκροών

Πίνακας Β.1. Σημαντικοί Ρύποι σε Υγρά Απόβλητα

(Δ. Φάττα *et al.*, 2006)

Τα στερεά σωματίδια που περιέχονται στα αστικά λύματα προκαλούν / δημιουργούν ίζημα το οποίο επιβαρύνει τις αποχετεύσεις, τα ρέματα, τα ποτάμια, κ.λπ. Τα λιπαρά σωματίδια δημιουργούν αφρό και γενικά είναι αισθητικώς ανεπιθύμητα. Τα θρεπτικά συστατικά Ν και Ρ προκαλούν ευτροφισμό στο υδάτινο σήμα. Οι λίμνες και γενικά τα στάσιμα ή αργώς κινούμενα ύδατα επηρεάζονται περισσότερο από τα ταχέως κινούμενα ύδατα. Στα πρώτα, τα άλγη αναπαράγονται παρουσία θρεπτικών και καθιζάνουν ως ίζημα μετά την αποσύνθεσή τους. Τα θρεπτικά μεταφέρονται συχνά στη στήλη του νερού από το ίζημα των υδάτινων σωμάτων (επαναδιάλυση). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εντατικοποίηση του κύκλου της άνθησης και αποσύνθεσης των αλγών. Στα αρχικά στάδια του ευτροφισμού η υδρόβια ζωή παρουσιάζεται πλουσιότερη λόγω του ότι οι διάφοροι οργανισμοί όπως τα ψάρια τρέφονται από τα άλγη. Καθώς η παρουσία των αλγών αυξάνεται, η αποσύνθεσή τους οδηγεί σε αυ-

ξημένο BOD, με αποτέλεσμα να μειώνεται η περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο. Γι' αυτό το λόγο, υγρά απόβλητα υψηλής περιεκτικότητας σε θρεπτικά επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στους υδάτινους αποδέκτες. Επιπλέον, κάποια άλγη παράγουν τοξίνες οι οποίες μπορούν να είναι επιβλαβείς για τα πουλιά και βλαβερές για το δέρμα που έρχεται σε επαφή με το νερό. Εάν το επεξεργασμένο νερό πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς ύδρευσης και το υδάτινο σώμα παρουσιάζει ευτροφισμό, τότε το κόστος της επεξεργασίας αυξάνεται. Τα βαρέα μέταλλα καθώς και άλλες τοξικές και επικίνδυνες ουσίες που προέρχονται από την οικιακή χρήση του νερού αποτελούν επίσης πηγές ρύπανσης. Στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων εμπίπτουν ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το κάδμιο, το νικέλιο, το χρώμιο και ο μόλυβδος και συνήθως προέρχονται από υλικά που χρησιμοποιούνται στις σωληνώσεις παροχής νερού ύδρευσης, υλικά μόνωσης, κατασκευής υπονόμων και οικιακά καθαριστικά μέσα. Σε αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις αυτά τα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά για τα βακτήρια, για τη χλωρίδα, τη πανίδα και για τον άνθρωπο. Άλλα τοξικά υλικά αποτελούν και άλλες ουσίες που παρουσιάζονται στα αστικά λύματα, όπως είναι τα φάρμακα, τα εντομοκτόνα και τα παρασιτοκτόνα, διαλύτες, μπογιές και άλλα χημικά. Αυτές οι ουσίες μπορούν να διαβρώσουν σωλήνες υπονόμων και να επηρεάσουν τη λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας. Επίσης περιορίζουν τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της τελικής εκροής με αποτέλεσμα οι ουσίες αυτές να είναι απαγορευτικό να αναμιγνύονται με τα αστικά λύματα. Για να αποφευχθεί η υποβάθμιση του τελικού αποδέκτη, τα υγρά απόβλητα θα πρέπει να επεξεργάζονται κατάλληλα. Η επεξεργασία κυρίως περιλαμβάνει την απομάκρυνση των στερεών και τη μείωση του BOD. Ο βαθμός επεξεργασίας εξαρτάται από την τελική επιθυμητή χρήση των εκροών. Στην περίπτωση διάθεσης σε υδάτινο αποδεκτή, ο βαθμός επεξεργασίας θα πρέπει να καθορίζεται από τη φέρουσα ικανότητα του αποδεκτή να αφομοιώνει την επεξεργασμένη ροή των αποβλήτων.

(Δ. Φάττα et al., 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Γ.1 Κοινοτική Νομοθεσία περί διαχείρισης& επαναχρησιμοποίησης ιλύος

Η υφιστάμενη νομοθεσία, στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη, εστιάζεται κυρίως στη χρήση ιλύος στη γεωργία. Άλλες χρήσεις ή τρόποι διάθεσης της ιλύος, προς το παρόν, εμπίπτουν σε πιο γενικές διατάξεις που σχετίζονται με την διαχείριση αποβλήτων.

Η οδηγία 86/278/ΕΟΚ του Συμβουλίου σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος και ιδίως του εδάφους κατά τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία είναι η βασική νομοθεσία της Ε.Ε. Η οδηγία αυτή ρυθμίζει τη χρήση, κατά τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο. Επίσης, αποσκοπεί στην ενθάρρυνση της επαναχρησιμοποίησης της ιλύος σε γεωργικά εδάφη αλλά με βασική προϋπόθεση τον ορθό τρόπο επαναχρησιμοποίησης. Συγκεκριμένα, η ιλύς υγρών αποβλήτων θεωρείται ότι είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη στη γεωργία. Βέβαια για τη χρησιμοποίηση της θα πρέπει απαραίτητως να λαμβάνονται υπόψη οι θρεπτικές ανάγκες των φυτών χωρίς βέβαια αυτό να γίνεται εις βάρος τόσο της ποιότητας του εδάφους όσο και των επιφανειακών αλλά υπόγειων υδάτων. Τύποι βαρέων μετάλλων που περιέχονται στην ιλύ μπορούν να αποτελέσουν τοξικά μετά την εφαρμογή τους για τις καλλιέργειες και εν συνεχεία και για τον άνθρωπο.

Ειδικότερα, καθορίζονται:

- (α) Οι τιμές συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων στην ιλύ και στο έδαφος και ανώτατες ετήσιες ποσότητες βαρέων μετάλλων, που μπορούν να προστίθενται στο έδαφος.
- (β) Οι τιμές τις οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνουν οι συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στο έδαφος,
- (γ) Ότι η ιλύς πρέπει να υφίσταται προεπεξεργασία πριν από την εφαρμογή της στο έδαφος,
- (δ) Ότι ιλύς δεν μπορεί να χρησιμοποιείται σε ορισμένες καλλιέργειες, μετά από την πάροδο μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.

Ειδικότερα, απαγορεύεται η χρησιμοποίηση ιλύος:

- i. Σε χορτολιβαδικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι ή σε καλλιέργειες χορτονομής προτού παρέλθει ορισμένη προθεσμία, που δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τρεις εβδομάδες πριν τη χρήση της.

- ii. Σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης (εξαιρούνται οι καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων).
- iii. Σε εδάφη προοριζόμενα για καλλιέργειες οπωροκηπευτικών (που συνήθως κατανalώνονται ωμά) και βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος, επί δέκα μήνες πριν αρχίσει η συγκομιδή και φυσικά κατά τη διάρκεια της συγκομιδής.
- iv. Η χρησιμοποίηση ιλύος στο έδαφος πρέπει να θεωρεί τις ανάγκες των καλλιεργειών,
- v. Μέθοδοι δειγματοληψίας και ανάλυσης του εδάφους και της ιλύος.

(Αγγελάκης et al., 2004)

Παράλληλα τα κράτη μέλη μπορούν να θεσπίζουν μέτρα αυστηρότερα από τα προβλεπόμενα στην Οδηγία 86/278/EC. Σύμφωνα με Έκθεση της ΕΕ (2001), οι εθνικές νομοθεσίες αρκετών μελών είναι πιο αυστηρές από τις απαιτήσεις της 86/278 (Πίνακας Γ.1).

Εθνικές προδιαγραφές σε σύγκριση με αυτές της ΕΕ	
Πολύ πιο αυστηρές	Δανία, Φινλανδία, Σουηδία, Ολλανδία
Πιο αυστηρές	Αυστρία, Βέλγιο, Γαλλία, Γερμανία, Πολωνία
Παρόμοιες	Ελλάδα, Ιρλανδία, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Πορτογαλία, Ισπανία, Μ. Βρετανία, Εσθονία, Λιθουανία

Πίνακας Γ.1. Εθνικές Νομοθεσίες σε σχέση με την 86/278/EC

Ήδη έχει συνταχθεί το 3^ο Σχέδιο Αναθεώρησης της Οδηγίας 86/278/EC στο οποίο προτείνονται:

1. Αυστηρότερες οριακές τιμές όσον αφορά τα βαρέα μέταλλα
2. Οριακές τιμές σχετικά με τους οργανικούς ρυπαντές
3. Περιορισμοί όσον αφορά το μικροβιολογικό φορτίο της ιλύος

(N. Κάρτσωνας et al., 2005)

Αναλυτικότερα, στόχος της παρούσας οδηγίας είναι να ρυθμίσει τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων στη γεωργία ώστε να αποφεύγονται τυχόν επιβλαβείς επιπτώσεις στο έδαφος, τη βλάστηση, τα ζώα και τον άνθρωπο, ενθαρρύνοντας παράλληλα την ορθή χρήση της.

Επίσης, σκοπός της είναι να ενθαρρύνει την αξιοποίηση της ιλύς στη γεωργία αφού μπορεί να παρουσιάζει χρήσιμες από γεωπονικής πλευράς ιδιότητες και, συνεπώς δικαιολογείται, υπό τον όρο ότι θα χρησιμοποιείται ορθά και ότι η χρήση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων

δεν πρέπει να βλάπτει την ποιότητα του εδάφους και της γεωργικής παραγωγής. Επιπλέον να επιβάλλει πως πρέπει να προβλεφθεί ειδικό καθεστώς που να εγγυάται την προστασία του ανθρώπου, των ζώων, των φυτών και του περιβάλλοντος από τις επιβλαβείς επιπτώσεις της ανεξέλεγκτης χρησιμοποίησης της ιλύος. Αλλά και να θεσπίσει ορισμένα πρώτα κοινοτικά μέτρα στα πλαίσια της προστασίας του εδάφους. Επιπλέον διευκρινίζει ότι μετά τη χρησιμοποίηση της ιλύος πρέπει να παρέλθει ορισμένο χρονικό διάστημα για τη χρησιμοποίηση των λειμώνων για βοσκή και τη συγκομιδή των ζωοτροφών ή ορισμένων καλλιεργειών που έρχονται συνήθως σε άμεση επαφή με το έδαφος και καταναλώνονται κανονικά σε νωπή κατάσταση. Ότι η χρησιμοποίηση της ιλύος σε καλλιέργειες οπωροκηπευτικών κατά την περίοδο της βλάστησης, εκτός από τις καλλιέργειες οπωροφόρων δένδρων, πρέπει να απαγορεύεται.

Σημαντικό επίσης και το ότι προσεγγίζει και το ζήτημα του ότι για να γίνει χρήση, είναι απαραίτητο να ελέγχεται η ποιότητα της ιλύος και του εδάφους όπου χρησιμοποιείται ιλύς και, συνεπώς, να πραγματοποιείται η ανάλυσή τους και ορισμένα αποτελέσματα να ανακοινώνονται στους χρήστες. Αφού τα μέτρα που προβλέπονται στην οδηγία 78/319/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 20ής Μαρτίου 1978 περί των τοξικών και επικίνδυνων αποβλήτων, ισχύουν επίσης και για την ιλύ καθαρισμού λυμάτων στο μέτρο που αυτή περιέχει ή έχει μολυνθεί από ουσίες ή ύλες που περιλαμβάνονται στο παράρτημα της εν λόγω οδηγίας, ή φύση των οποίων είναι τέτοια ή οι οποίες παρουσιάζονται σε ποσότητες ή συγκεντρώσεις τέτοιες, που να αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου ή για το περιβάλλον. Ομοίως ορισμένα βαρέα μέταλλα είναι τοξικά για τα φυτά και για τον άνθρωπο λόγω της παρουσίας τους στη συγκομιδή και θα πρέπει να οριστούν υποχρεωτικές οριακές τιμές για τα στοιχεία αυτά στο έδαφος. Με αποτέλεσμα την απαγόρευση της χρησιμοποίησης της ιλύος όταν η συγκέντρωση αυτών των μετάλλων στο έδαφος υπερβαίνει τις οριακές αυτές τιμές.

Πριν από κάθε χρησιμοποίηση της ιλύος, εκτός από εκείνη που προέρχεται από τους σταθμούς καθαρισμού του άρθρου 11, τα κράτη μέλη πρέπει να βεβαιώνονται ότι η περιεκτικότητα του εδάφους σε βαρέα μέταλλα δεν υπερβαίνει τις οριακές τιμές που καθορίζονται στα παραρτήματα της νομοθεσίας της Ε.Ε, αλλά φαίνονται και κάποιες τιμές στους παρακάτω πίνακες. Για να επιτύχουν το σκοπό αυτό, τα κράτη μέλη αποφασίζουν τη διενέργεια αναλύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα επιστημονικά στοιχεία για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εδάφους και την ομοιογένειά του.

Τα κράτη μέλη αποφασίζουν για τη συχνότητα των επομένων αναλύσεων λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα του εδάφους σε μέταλλα πριν από τη χρησιμοποίηση ιλύος, την ποσότητα και τη σύνθεση της ιλύος που χρησιμοποιήθηκε καθώς και κάθε άλλο σχετικό στοιχείο. Για τους παραπάνω λόγους πρέπει να αναλύονται οι εξής παράμετροι:

- pH,
- κάδμιο, χαλκός, νικέλιο, μόλυβδος, ψευδάργυρος, υδράργυρος, χρώμιο.

Μέγιστες συγκεντρώσεις (mg/kg ξηρό βάρος) στην ιλύ						
Στοιχείο	ΕΕ(86/278/ΕΚ)	Γερμανία	Σουηδία	Ολλανδία	Δανία	ΗΠΑ
Cd	20-40	5-10	4*	1,25	0,8	39
Cu	1000-1750	800	1200*	75	1000	1500
Ni	300-400	200	50	38	30	420
Pb	750-1200	1000	200*	225	120	300
Zn	2500-4000	2000	800	300	4,000	2800
Hg	16-25	6-10	5*	0,75	0,8	17
Cr	510 (Ελλάδα)	900	100	75	100	1200

Πίνακας Γ.2. Κριτήρια μετάλλων στην ιλύ σε χώρες της Ε.Ε αλλά και στις Η.Π.Α

	$5 \leq \text{pH} \leq 6$	$6 \leq \text{pH} \leq 7$	$\text{pH} \geq 7$
Στοιχείο	mg/kg ξηράς ουσίας		
Cd	0,5	1	1,5
Cr (ολικό)	30	60	100
Cu	20	50	100
Hg	0,1	0,5	1
Ni	15	50	70
Pb	70	70	100
Zn	60	150	200

Πίνακας Γ.3. Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια συγκεντρώσεων μετάλλων στην ιλύ για εδαφική διάθεση

	2005	2015	2025
Στοιχείο	mg/kg ξηράς ουσίας		
Cd	10	5	2
Cr (ολικό)	30	800	600
Cu	1.000	800	600
Hg	10	5	2
Ni	300	200	100
Pb	750	500	200
Zn	2.500	2.000	1.500

Πίνακας Γ.4. Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια μετάλλων, από την ΕΕ, στην ιλύ για το 2005, 2015 & 2025.

	2015	2025
Στοιχείο	kg/ha/έτος	
Cd	0,015	0,006
Cr (ολικό)	2,4	1,8
Cu	2,4	1,8
Hg	0,015	0,006
Ni	0,6	0,3
Pb	1,5	0,6
Zn	6	4,5

Πίνακας Γ.5 Προτεινόμενα αναθεωρημένα όρια συγκεντρώσεων μετάλλων στην ιλύ, από την ΕΕ, για φόρτιση

Όσον αφορά τη μέθοδο δειγματοληψίας και ανάλυσης μπορούν να πραγματοποιηθούν τα εξής:

1. Για τη δειγματοληψία του εδάφους τα προς ανάλυση αντιπροσωπευτικά δείγματα εδάφους παρασκευάζονται με ανάμειξη 25 πυρήνων γεωτρήσεων «καρώτων», που λαμβάνονται από έκταση μικρότερη ή ίση με 5 εκτάρια η οποία καλλιεργείται κατά τρόπο ομοιόμορφο. Οι δειγματοληψίες πρέπει να γίνονται σε βάθος 25^{cm} εκτός αν το βάθος του καλλιεργήσιμου στρώματος είναι μικρότερο από το όριο αυτό, αλλά στην περίπτωση αυτή δεν θα πρέπει η δειγματοληψία να γίνει σε βάθος μικρότερο από 10^{cm}.

2. Για τη δειγματοληψία της ιλύος απαιτείται να υπόκειται σε δειγματοληψία η ιλύς μετά την επεξεργασία της, πριν παραδοθεί στους χρήστες και θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική της παραγωγής της.

3. Όσον αφορά τη μέθοδο ανάλυσης των βαρέων μετάλλων πραγματοποιείται ύστερα από κατεργασία με ισχυρά οξέα. Η μέθοδος αναφοράς για την ανάλυση είναι η φασματομετρία

ατομικής απορρόφησης. Το όριο ανίχνευσης για κάθε μέταλλο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το 10% της αντίστοιχης οριακής τιμής.

Όσον αφορά τη χρήση ιλύος στη γεωργία σύμφωνα λοιπόν με την υφιστάμενη νομοθεσία ισχύει η θεμελιώδης αρχή «Συσσώρευση σε επιτρεπτά όρια». Ο προσδιορισμός των οριακών τιμών εφαρμογής των ρυπαντικών ουσιών, κατά τη γεωργική χρήση της ιλύος, βασίζεται στον καθορισμό των μέγιστων αποδεκτών τιμών πρόσληψης από τον άνθρωπο (ADI) για κάθε ουσία και στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση των διαφορετικών οδών μεταφοράς των ρύπων (συνήθως μέσω της τροφικής αλυσίδας) ώστε μέσω κατάλληλων ποσοτικοποιήσεων να καταλήξει κανείς σε επιτρεπτές εφαρμοζόμενες φορτίσεις στο έδαφος. Σύμφωνα με την εν προκειμένω θεμελιώδη αρχή, θα πρέπει να αξιοποιείται πλήρως η ικανότητα του εδάφους να αδρανοποιεί τους τοξικούς ρύπους. Στις περιπτώσεις ορθολογικής εφαρμογής λυμάτων και ιλύων, τα οφέλη στα αγρονομικά χαρακτηριστικά του εδάφους είναι σημαντικά, ενώ οι ρυπαντικές ουσίες περιορίζονται σε χαμηλά επίπεδα τα οποία δεν είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο.

Ενώ η 2^η θεμελιώδης αρχή σύμφωνα πάλι με τη προτεινόμενη νομοθεσία είναι η μηδενική συσσώρευση. Ο στόχος της διαχείρισης θα πρέπει να είναι να αποτρέψει τη συσσώρευση των ρυπαντών στο έδαφος, όπου γίνεται η εφαρμογή και κατά συνέπεια η εφαρμογή της ιλύος δεν θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεων των ρυπαντικών ουσιών. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, η εφαρμοζόμενη ποσότητα της ρυπαντικής ουσίας δεν θα πρέπει να ξεπερνά την προσροφητική ικανότητα των φυτών και λοιπών διαφυγών. Έτσι υπό αυτή την προϋπόθεση, διατηρείται η ικανότητα του εδάφους για μελλοντική του αξιοποίηση και ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος μεταφοράς ρυπαντικών ουσιών στην τροφική αλυσίδα. Η δημόσια υγεία προστατεύεται από πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις μέσω αποφυγής της μόλυνσης των εδαφών όπου γίνεται εφαρμογή της ιλύος.

Επίσης όσον αφορά τους περιορισμούς λόγω παθογόνων σύμφωνα με την ισχύουσα Νομοθεσία δεν καθορίζονται όρια απλώς απαίτηση για σταθεροποίηση της ιλύος. Όμως κατά την εδαφική διάθεση οι περιορισμοί είναι ιδιαίτερος σημαντικοί. Στα πλαίσια της προτεινόμενης αναθεώρησης Ε.Ε (αντιστοίχιση με κατηγορία Α USEPA) για απεριόριστη επαναχρησιμοποίηση προτείνεται η Υγειονοποίηση ιλύος ώστε να επιτυγχάνεται απουσία της *Salmonella* spp σε 50 g (υγρό βάρος) και τουλάχιστον 6log10 μείωση σε *E Coli* με τελικές συγκεντρώσεις μικρότερες 500 CFU/g. Δόκιμες μέθοδοι υγειονοποίησης παρουσιάζονται παρακάτω:

Προτεινόμενες δόκιμες μέθοδοι υγειονοποίησης

1. Ξήρανση με θερμοκρασία της λάσπης μεγαλύτερη από 80°C και μείωση του περιεχόμενου νερού κάτω από 10%, διατηρώντας την ενεργό δραστηριότητα του νερού (water activity) πάνω από 0,90 κατά την πρώτη ώρα της επεξεργασίας. Η ενεργός δράση (Aw) ορίζεται ως το μέτρο διαθεσιμότητας νερού στους μικροοργανισμούς και ισούται με το 1/100 της σχετικής υγρασίας στο σωματίδιο ιλύος και όχι το περιεχόμενο νερού του συνόλου της ιλύος. Στην πράξη βέβαια είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί αυτή η παράμετρος και έτσι δεν είναι μία κατάλληλη παράμετρος προς καθημερινή παρακολούθηση.
2. Θερμοφιλική αερόβια σταθεροποίηση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 55oC για 20 λεπτά σε κλειστή (batch) διεργασία
3. Θερμοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία τουλάχιστον 53oC για 20 λεπτά ως κλειστή (batch) διεργασία
4. Θέρμανση της λάσπης για τουλάχιστον 30 λεπτά σε 70oC και κατόπιν μεσοφιλική αναερόβια χώνευση σε θερμοκρασία 35oC με μέσο χρόνο παραμονής 12 ημερών
5. Επεξεργασία με ασβέστη σε pH 12,0 ή και άνω διατηρώντας τη θερμοκρασία του μίγματος τουλάχιστον 55oC για 2 ώρες.
6. Επεξεργασία με ασβέστη διατηρώντας το pH του μίγματος στο 12 ή παραπάνω για διάστημα 3 μηνών.

(www.hydro.ntua.gr)

Επιπρόσθετα, για να εξασφαλιστεί η καλύτερη γνώση της χρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία, στη παρούσα οδηγία επισημαίνεται και το ότι πρέπει να συγκεντρώνονται ορισμένες ουσιώδεις πληροφορίες. Οι πληροφορίες αυτές θα διαβιβάζονται στην Επιτροπή με τη μορφή περιοδικών εκθέσεων και με βάση τις εκθέσεις αυτές, θα κάνει, αν είναι απαραίτητο, προτάσεις για την εξασφάλιση μεγαλύτερης προστασίας του εδάφους και του περιβάλλοντος.

Η τεχνολογική και επιστημονική πρόοδος είναι δυνατόν να καταστήσει αναγκαία την ταχεία προσαρμογή ορισμένων από τις διατάξεις που περιλαμβάνονται στην παρούσα οδηγία και στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες. Όμως τονίζεται παράλληλα για λόγους πρακτικότητας ότι για να διευκολυνθεί η εφαρμογή των αναγκαίων για το σκοπό αυτό μέτρων, πρέπει να προβλεφθεί μια διαδικασία, που να καθιερώνει στενή συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών της Επιτροπής.

Παράλληλα η Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή (ΟΚΕ) όσον αφορά την συγκεκριμένη οδηγία (86/278/ΕΟΚ) επιθυμούσε την αναθεώρηση της ώστε να προβλέπεται ότι η αρχή της προφύλαξης και η αρχή "ο ρυπαίνων πληρώνει" εφαρμόζονται όσον αφορά την αξιολόγηση των πηγών λυμάτων που συνδέονται με το αποχετευτικό σύστημα, την παραγωγή και τη χρησιμοποίηση της ιλύος καθαρισμού λυμάτων και να υιοθετείται μία ολιστική προσέγγιση για όλα τα υγρά απόβλητα. Έτσι διατυπώνει ειδικότερα ένα σύνολο προτάσεων για τα όρια που πρέπει να καθορισθούν σχετικά με την περιεκτικότητα της ιλύος σε μέταλλα, για τη δέουσα απόδοση της ευθύνης καθώς και για τις πληροφορίες που πρέπει να παρέχονται όσον αφορά την προέλευση των λυμάτων, τις ουσίες που έχουν προστεθεί σε αυτά και τις διεργασίες στις οποίες έχουν υποβληθεί τα τελευταία. Η ΟΚΕ καλεί την Επιτροπή να καταρτίσει μια νομοθεσία που να επιτρέπει τον καθορισμό ελάχιστων κοινοτικών απαιτήσεων για την προστασία του εδάφους. (www.europa.eu/gr)

Εν συνεχεία γίνεται αναθεώρηση της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ ώστε να εξασφαλιστεί η εμπιστοσύνη των καταναλωτών στην επαναχρησιμοποίηση της ιλύος σε γεωργικές γαίες, και σχεδιάζεται η πλήρης αναθεώρηση των διατάξεων της Οδηγίας. Οι διατάξεις αυτές πρέπει να εκτιμούνται με βάση τα επιστημονικά στοιχεία, που έχουν προκύψει μετά την έκδοση της Οδηγίας. Η αναθεώρηση αυτή αποσκοπεί στη διασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας του περιβάλλοντος. Άρα εφόσον η επαναχρησιμοποίηση πραγματοποιείται σύμφωνα με τους κανόνες της ορθής πρακτικής και σύμφωνα με τις διατάξεις της Οδηγίας, επιβεβαιώνεται ότι η χρήση ιλύος σε γεωργικά εδάφη, δεν παρουσιάζει σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων και για το περιβάλλον. Επιπροσθέτως, θα εξετασθεί η ανάγκη να θεσπιστούν σαφή και διαφανή κριτήρια για τη διεξαγωγή αναλυτικών ελέγχων της χρησιμοποιούμενης ιλύος στη γεωργία, έτσι ώστε να αποφευχθεί η εξάπλωση μολυσματικών παραγόντων στο περιβάλλον ή η ανακύκλωση τους στις καλλιέργειες γεωργικών προϊόντων, που καταναλώνονται από τον άνθρωπο.

Η Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή όμως εκτιμά, ότι πολλά κράτη μέλη (Αυστρία, Ιταλία, Λουξεμβούργο, Ηνωμένο Βασίλειο) δεν έχουν μεταφέρει σωστά την έννοια των "αποβλήτων" στο εθνικό τους δίκαιο, αν και ο ορισμός αυτός αποτελεί τη βάση της σχετικής κοινοτικής νομοθεσίας.

Επισημαίνει, όμως παράλληλα, μια βελτίωση σε ότι αφορά την έννοια των "επικίνδυνων αποβλήτων", αν και ορισμένα κράτη μέλη δεν ανταποκρίνονται απόλυτα σε όλα τα στοιχεία του ορισμού. Εξάλλου, η Επιτροπή διαπιστώνει ότι ο αριθμός των χωρών που έχουν καθιερώσει συστήματα χωριστής συλλογής για τα επικίνδυνα οικιακά απόβλητα έχει αυξηθεί

από την περίοδο 1995-1997. Επίσης, καταλήγει και στο ότι η επιτυχία της ανακύκλωσης των αποβλήτων ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από το ένα κράτος μέλος στο άλλο. Το μέσο ποσοστό ανακύκλωσης οικιακών αποβλήτων στα 15 κράτη μέλη είναι 26 % (με διακύμανση από 8 έως 63 %). Καταγράφει επομένως μία ανοδική τάση, που ωστόσο κρίνεται ανεπαρκής, δεδομένων των ζημιών που προκαλούνται στο περιβάλλον. Παρά τα θετικά αποτελέσματα που έχουν επιτευχθεί, η Επιτροπή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι δεν εφαρμόζονται ικανοποιητικά όλες οι αρχές και όλοι οι μηχανισμοί που προβλέπονται στις διάφορες οδηγίες όσον αφορά τα απόβλητα και την επεξεργασία τους και ότι πρέπει να σημειωθεί περισσότερη πρόοδος στον τομέα αυτό. (www.europa.eu/gr)

Σε αυτά λοιπόν τα σημεία βασίζεται η Οδηγία 91/156/ΕΟΚ. Σύμφωνα με την Οδηγία πλαίσιο περί στερεών αποβλήτων (91/156/ΕΚ που τροποποίησε την 75/442/ΕΚ) όπου προτεραιότητα δείχνει πως πρέπει να δοθεί στις διαχειριστικές τεχνικές που έχουν σαν στόχο τη μείωση αποβλήτων, όπως η επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ενεργειακή ανάκτηση. Αυτή η οδηγία καθιερώνει τις αρχές για τη χρήση και τη διάθεση των αποβλήτων, διαχειριστικά σχέδια των αποβλήτων και έγκριση διεργασιών και έλεγχο. Επιπλέον, αυτή η οδηγία παρέχει τον ορισμό για τον όρο "απόβλητα". Ένας κατάλογος του διαφορετικού τύπου αποβλήτων παρέχεται με την πρόσφατη απόφαση της Επιτροπής 2001/118/ΕΚ, που τροποποιεί τις Οδηγίες απόφασης 2000/532/ΕΚ που αναφέρεται σε ορισμένα απόβλητα (όπως την ιλύ) και εφαρμόζεται πρόσθετα με την οδηγία πλαισίου αποβλήτων.

Για την επεξεργασία των αστικών αποβλήτων συντάσσεται η Οδηγία 91/271/ΕΟΚ. Η Οδηγία αυτή, στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος από τις δυσμενείς επιπτώσεις από τη διάθεση των αστικών υγρών αποβλήτων. Η Οδηγία υποστηρίζει τη χρήση της ιλύος από σταθμούς επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Με το ψήφισμα του Συμβουλίου της 28ης Ιουνίου 1988 για την προστασία της Βόρειας Θάλασσας και άλλων υδάτων, η Επιτροπή καλείται να υποβάλει προτάσεις για τα μέτρα που απαιτούνται σε κοινοτικό επίπεδο όσον αφορά την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Συμπεραίνεται πως α) η ρύπανση που οφείλεται σε ανεπαρκή επεξεργασία των λυμάτων σε ένα κράτος μέλος συχνά επηρεάζει τα ύδατα άλλων κρατών μελών β) πως απαιτείται δράση σε κοινοτικό επίπεδο, σύμφωνα με το άρθρο 130Π, γ) ότι για να αποφεύγονται οι αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον από τη διάθεση ανεπαρκώς επεξεργασμένων αστικών λυμάτων, απαιτείται γενικώς η δευτεροβάθμια επεξεργασία τους, δ) ότι στις ευαίσθητες ζώνες είναι ανάγκη να επιβάλλεται αυστηρότερη επεξεργασία ε) ότι σε ορισμένες λιγότερο ευαίσθητες ζώνες ενδέχεται να επαρκεί η πρωτοβάθμια επεξεργασία ζ) ότι η διοχέτευση βιομηχανικών αποβλήτων στα δίκτυα αποχέτευ-

σης η) καθώς και για την απόρριψη λυμάτων και λυματολάσπης από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων, πρέπει να ρυθμίζεται από γενικές διατάξεις, κανόνες ή/και να απαιτείται ειδική έγκριση, η)ότι, για την απόρριψη, από ορισμένους βιομηχανικούς κλάδους, βιοαποικοδομήσιμων βιομηχανικών λυμάτων που δεν διοχετεύονται σε σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων πριν από την απόρριψη στα ύδατα πρέπει να ισχύουν κατάλληλες απαιτήσεις, θ)ότι πρέπει να ενθαρρύνεται η ανακύκλωση της λυματολάσπης που προκύπτει από την επεξεργασία των λυμάτων.

Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και η ιλύς που παράγεται κατά την επεξεργασία τους υποβάλλονται, όταν κρίνεται σκόπιμο, κατά προτεραιότητα σε επαναχρησιμοποίηση. Οι τεχνικές διάθεσης των εκροών και της ιλύος πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε, να ελαχιστοποιούν τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, συγκεκριμένα ι) ότι πρέπει να σταματήσει σταδιακά η απόρριψη λυματολάσπης στα επιφανειακά ύδατα, κ)ότι οι σταθμοί επεξεργασίας λυμάτων, τα ύδατα και η διάθεση της λυματολάσπης πρέπει να παρακολουθούνται ώστε να διασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος από τις αρνητικές επιδράσεις της απόρριψης λυμάτων, λ)ότι πρέπει να εξασφαλισθεί η ενημέρωση του κοινού για τη διάθεση των λυμάτων και της λυματολάσπης, με τη μορφή περιοδικών εκθέσεων, μ)ότι τα κράτη μέλη πρέπει να εκπονούν και να υποβάλλουν στην Επιτροπή εθνικά προγράμματα για την εφαρμογή της παρούσας οδηγίας, ν)ότι πρέπει να συσταθεί επιτροπή, η οποία θα επικουρεί την Επιτροπή σε θέματα εφαρμογής της παρούσας οδηγίας και προσαρμογής της στην τεχνική πρόοδο.

Για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, νοούνται ως:

1. «Πρωτοβάθμια επεξεργασία»: η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με φυσική ή/και χημική μέθοδο που περιλαμβάνει την καθίζηση των αιωρούμενων στερεών, ή με άλλες μεθόδους με τις οποίες το BOD₅ των εισερχομένων λυμάτων μειώνεται τουλάχιστον κατά 20 % πριν από την απόρριψη και το συνολικό φορτίο των αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα λύματα μειώνεται κατά 50 % τουλάχιστον.
2. «Δευτεροβάθμια επεξεργασία»: η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο που, κατά κανόνα, περιλαμβάνει βιολογική επεξεργασία με δευτεροβάθμια καθίζηση, ή με άλλες μεθόδους δια των οποίων τηρούνται διάφορες απαιτήσεις που καθορίζονται στο παρακάτω πίνακα .

Οι αναλύσεις που αφορούν απορρίψεις από τελμάτωση διεξάγονται σε διηθημένα δείγματα. Ωστόσο, η συγκέντρωση του συνόλου των αιωρούμενων στερεών σε αδιάλυτα δείγματα υδάτων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 150 mg/l.

Παράμετροι	Συγκέντρωση	Ελάχιστη εκατοστιαία μείωση ⁽¹⁾	Μέθοδοι μέτρησης αναφοράς
Βιομηχανικές ανάγκες σε οξυγόνο (BOD5 στους 20 °C) χωρίς νιτροποίηση ⁽²⁾	25 mg/l O ₂	70-90 40 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2	Ομοιογενοποιημένο, αδιήθητο, ακατακάθιστο δείγμα, προσδιορισμός του διαλελυμένου οξυγόνου πριν και μετά πενθήμερη επώαση στους 20 °C ± 1 °C, σε απόλυτο σκότος. Προσθήκη παρεμποδιστή της νιτροποίησης
Χημικές ανάγκες σε οξυγόνο (COD)	125 mg/l O ₂	75	Ομοιογενοποιημένο, αδιήθητο, ακατακάθιστο δείγμα Διχρωμικό κάλιο
Ολικά αιωρούμενα στερεά	35 mg/l ⁽³⁾ 35 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (άνω των 10 000 ι.π.) 60 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (2 000-10 000 ι.π.)	90 ⁽³⁾ 90 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (άνω των 10 000 ι.π.) 70 δυνάμει άρθρου 4 παράγραφος 2 (2 000-10 000 ι.π.)	— Διήθηση αντιπροσωπευτικού δείγματος μέσω φίλτρου μεμβράνης των 0,45 μm. Ξήρανση σε θερμοκρασία 105 °C και ζύγιση. — Φυγοκέντρωση αντιπροσωπευτικού δείγματος (επί 5 τουλάχιστον λεπτά, με μέση επιτάχυνση 2 800-3 200 g). Ξήρανση σε θερμοκρασία 105 °C και ζύγιση
⁽¹⁾ Μείωση ανάλογα με το φορτίο των εισρεόντων λυμάτων. ⁽²⁾ Η παράμετρος αυτή μπορεί να αντικατασταθεί από άλλη: ολικός οργανικός άνθρακας (TOC) ή ολικές ανάγκες σε οξυγόνο (TOD) αν μπορεί να ευρεθεί σχέση μεταξύ του BOD5 και της υποκατάστατης παραμέτρου. ⁽³⁾ Η απαίτηση αυτή είναι προαιρετική.			

Πίνακας Γ.6. Απαιτήσεις για απορρίψεις από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων που διέπονται από τα άρθρα 4 και 5 της παρούσας οδηγίας. Εφαρμόζεται η τιμή συγκέντρωσης ή το ποσοστό μείωσης (Δ. Φάττα *et al.*, 2006)

3. «Κατάλληλη επεξεργασία»: η επεξεργασία των αστικών λυμάτων με μέθοδο ή/και σύστημα διάθεσης που επιτρέπει στα ύδατα υποδοχής να ανταποκρίνονται στους σχετικούς ποιοτικούς στόχους και στις συναφείς διατάξεις της παρούσας οδηγίας και άλλων κοινοτικών οδηγιών.
4. «Ιλύς»: το κατάλοιπο ιλύος, επεξεργασμένο ή όχι, που προέρχεται από σταθμούς επεξεργασίας αστικών λυμάτων.

(www.europa.eu/gr)

Στα πλαίσια αυτά, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ψηφίζει σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας 91/271/ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων εμμένοντας στη σημασία του

νομικά δεσμευτικού χρονοδιαγράμματος που προβλέπει η οδηγία 91/271/ΕΟΚ όσον αφορά την εφαρμογή της. Τονίζει ότι διάφορα κράτη μέλη έχουν αντιδράσει περιοριστικά και αναβλητικά όσον αφορά τον ορισμό ευαίσθητων περιοχών, υποτιμώντας τους συναφείς επιδιωκόμενους στόχους. Ως εκ τούτου, καλεί την Επιτροπή να χρησιμοποιήσει όλα τα διαθέσιμα μέσα για την τήρηση των διατάξεων της οδηγίας σχετικά με την επεξεργασία των αστικών λυμάτων. Ενώ σε μία δεύτερη έκθεση της Επιτροπής σχετικά με την *εφαρμογή* της οδηγίας 91/271/ΕΟΚ του Συμβουλίου για την *επεξεργασία των αστικών λυμάτων*, όπως τροποποιήθηκε από την οδηγία 98/15/ΕΚ της Επιτροπής υπογραμμίζει ότι έχουν καταβληθεί ουσιαστικές προσπάθειες από τα κράτη μέλη για την εφαρμογή της οδηγίας, με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της ποιότητας των υδάτων πολλών ποταμών και λιμνών στην Ευρώπη, η Επιτροπή επισημαίνει ωστόσο τις σημαντικές αδυναμίες πολλών κρατών μελών, ιδίως για τους οικισμούς πολύ μεγάλου μεγέθους, όπου ο απαιτούμενος βαθμός επεξεργασίας των λυμάτων έχει υποτιμηθεί σε ορισμένες περιπτώσεις. (www.europa.eu/gr)

Ενώ για την Οδηγία περί υγειονομικής ταφής των αποβλήτων έχει ψηφιστεί η Οδηγία 99/31/ΕΚ. Ιδιαίτερος σημαντική αφού σύμφωνα με αυτή, μέχρι το έτος 2020 τα βιοδιασπάσιμα υλικά που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ, πρέπει να μην υπερβαίνουν το 35% της ποσότητας του 1995. Ενώ επίσης, απαγορεύει την υγειονομική ταφή των υγρών και μη επεξεργασμένων αποβλήτων.

Αντίστοιχα η Οδηγία 2000/76/ΕΚ είναι η Οδηγία αποτέφρωσης των αποβλήτων η οποία θέτει τις οριακές τιμές για τις εκπομπές ρυπαντών στον αέρα.

Με στόχο την καλύτερη απόδοση επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων ψηφίστηκε επίσης ο κανονισμός 782/2005/ΕΚ από την επιτροπή στις 24 Μαΐου 2005 όπου καθορίστηκε ο μορφότυπος για τη μετάδοση των αποτελεσμάτων των στατιστικών των αποβλήτων. Τα δεδομένα θα διαβιβάζονται με τρόπο ανεξάρτητο του συστήματος αλλά σύμφωνα με το πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων που πρότεινε η Επιτροπή (Eurostat). Ο κανονισμός αυτός βοηθάει στον εκσυγχρονισμό, στην αυτοματοποίηση της επεξεργασίας των λυμάτων επομένως και στην καλύτερη και μεγαλύτερη απόδοση του όλου συστήματος επεξεργασία – ανάκτηση - διάθεση επεξεργασμένων λυμάτων (επεξεργασμένο νερό και κατεργασμένη ιλύς).

Το πεδίο που καλύπτεται από τον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2150/2002 για τις στατιστικές των αποβλήτων συνίσταται σε πέντε σύνολα πληροφοριών:

- a. δημιουργία αποβλήτων (GENER),
- b. αποτέφρωση (INCIN),
- c. εργασίες που μπορούν να οδηγήσουν σε ανάκτηση (RECOV),

- d. διάθεση (DISPO),
- e. αριθμός και δυναμικότητα των εγκαταστάσεων ανάκτησης και διάθεσης· κάλυψη του σχεδίου συλλογής αποβλήτων ανά περιφέρεια NUTS 2 (REGIO).

Τέλος στην Ελληνική Νομοθεσία ο κύριος κανονισμός σχετικά με τη χρήση της ιλύος στη γεωργία είναι η ΚΥΑ 80568/4225/91, η οποία θέτει τις οριακές τιμές ίδιες με εκείνους της Οδηγίας 86/278/ΕΟΚ. Παρόλα ταύτα, η επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στην γεωργία αποτελεί μόνο μικρό ποσοστό της συνολικής ιλύος που παράγεται. Επιπλέον, η ΚΥΑ 114218/97 για την κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών και γενικών προγραμμάτων διαχείρισης στερεών αποβλήτων, θέτει τις τεχνικές προδιαγραφές για τη διαχείριση των ιλύων εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, έτσι, ώστε η ιλύς που παράγεται να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην γεωργία.

Στη παρούσα φάση, η επικρατούσα κατάσταση στον Ελλαδικό χώρο παρόλη τη ορθά συντασσόμενη Κοινοτική νομοθεσία η Επιτροπή κινεί νομική διαδικασία κατά της Ελλάδας για εννέα υποθέσεις παράβασης της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της ΕΕ από το 2005. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αποφάσισε να κινήσει διαδικασία για παραβάσεις κατά της Ελλάδας. Σε δύο υποθέσεις, η Επιτροπή παραπέμπει την Ελλάδα στο Ευρωπαϊκό Δικαστήριο γιατί αγνόησε τις προειδοποιήσεις της. Οι δύο αυτές περιπτώσεις αφορούν τη μη ασφαλή επεξεργασία ιλύος καθαρισμού λυμάτων (λυματολάσπης) από μονάδα επεξεργασίας λυμάτων στην περιοχή των Αθηνών, έναν παράνομο χώρο υγειονομικής ταφής (χωματερή) στην Κρήτη. Με τις ενέργειες αυτές, η Επιτροπή επιδιώκει να διασφαλίσει την ορθή εφαρμογή της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της ΕΕ στην Ελλάδα. Η παράλειψη εφαρμογής αυτής της νομοθεσίας έχει σαν αποτέλεσμα οι πολίτες να μην απολαύουν του υψηλού επιπέδου προστασίας που δικαιούνται.

Αφού η μεταφορά ιλύος καθαρισμού λυμάτων (λυματολάσπης) από την Αθήνα θέτει σε κίνδυνο την υγεία του ανθρώπου και μολύνει το περιβάλλον. Η Επιτροπή λοιπόν παραπέμπει την Ελλάδα στο Δικαστήριο εξαιτίας της ανεπαρκούς επεξεργασίας και της επικίνδυνης μεταφοράς ιλύος καθαρισμού λυμάτων από τη μονάδα επεξεργασίας αστικών λυμάτων της Ψυτάλλειας, στα περίχωρα των Αθηνών. Η κατασκευή της μονάδας συγχρηματοδοτείται από το Ταμείο Συνοχής της ΕΕ. Στη μονάδα αυτή, στην οποία καταλήγουν τα λύματα των Αθηνών, παράγονται σε ημερήσια βάση 300 τόνοι λυματολάσπης. Η ποσότητα αυτή θα αυξηθεί σε 800 τόνους ημερησίως όταν θα τεθεί πλήρως σε λειτουργία το νέο σύστημα επεξεργασίας λυμάτων. Η λυματολάσπη που παράγεται δεν τυγχάνει επιτόπιας επεξεργασίας

αλλά διοχετεύεται στο χώρο υγειονομικής ταφής των Άνω Λιοσίων, ο οποίος απέχει 21 χιλιόμετρα. Η μεταφορά γίνεται με φορτηγά και πλωτά μέσα, δια μέσου πυκνοκατοικημένων περιοχών. Το γεγονός αυτό ενέχει κινδύνους για την υγεία του ανθρώπου, δεδομένου ότι η λυματολάσπη μπορεί να περιέχει μολυσματικούς μικροοργανισμούς οι οποίοι, κατά τη μεταφορά τους, ενδέχεται να καταλήξουν στις δημόσιες οδούς λόγω διαρροών από τα φορτηγά. Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι η λυματολάσπη διατίθεται σε υγρή μορφή, η οποία απαιτεί τριπλάσιο χώρο από ό,τι η αποξηραμένη λυματολάσπη. Κατά συνέπεια, ο χώρος υγειονομικής ταφής των Άνω Λιοσίων έχει κορεσθεί. Εξαιτίας της ζύμωσης της λυματολάσπης παράγονται ρυπογόνα εκχυλίσματα και αέρια θερμοκηπίου. Αυτό δεν θα συνέβαινε σε περίπτωση αποξήρανσης της λυματολάσπης και χρησιμοποίησής της ως υλικό καύσης. Οι πρακτικές αυτές συνιστούν παράβαση της οδηγίας της ΕΕ για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, βάσει της οποίας η λυματολάσπη που προέρχεται από την επεξεργασία λυμάτων πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, όταν κρίνεται σκόπιμο, ενώ θα πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα ώστε, κατά τη διάθεσή της, να ελαχιστοποιούνται οι τυχόν επιζήμιες επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι πρακτικές αυτές αντιβαίνουν, επίσης, στην οδηγία πλαίσιο για τα στερεά απόβλητα, η οποία απαιτεί από τα κράτη μέλη να διασφαλίσουν την ανάκτηση και τη διάθεση των αποβλήτων δίχως να τίθεται σε κίνδυνο η υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Η Επιτροπή έχει ήδη προειδοποιήσει την Ελλάδα αρκετές φορές για την ανάγκη επίλυσης αυτών των προβλημάτων. Οι ελληνικές αρχές δήλωσαν ότι σχεδιάζουν την κατασκευή μονάδας αποξήρανσης στην Ψυτάλλεια και ότι έχουν ολοκληρώσει την απαιτούμενη μελέτη αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Ωστόσο, η διαδικασία προκήρυξης του σχετικού διαγωνισμού δεν ξεκίνησε λόγω του αιτήματος για επιπλέον χρηματοδότηση από την ΕΕ. Εν τω μεταξύ, συνεχίζεται η μεταφορά λυματολάσπης από την Ψυτάλλεια στα Άνω Λιόσια, με κίνδυνο για την υγεία του πληθυσμού και το περιβάλλον. Η αναμενόμενη αύξηση της παραγόμενης ιλύος θα επιδεινώσει περαιτέρω την κατάσταση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η Επιτροπή αποφάσισε να προσφύγει στο Δικαστήριο.

Επιπροσθέτως ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι η λυματολάσπη αποθηκεύεται σε υγρή μορφή, η οποία απαιτεί τριπλάσιο χώρο απ' ό,τι η αποξηραμένη λυματολάσπη. Κατά συνέπεια, ο Χώρος Υγειονομικής Ταφής Άνω Λιοσίων έχει κορεσθεί. Εξαιτίας της ζύμωσης της λυματολάσπης παράγονται ρυπογόνα αέρια θερμοκηπίου. Στο θέμα έχει παρέμβει και η Ευρωπαϊκή Ένωση. «Οι πρακτικές που δημιουργούνται στην πόλη της Αθήνας συνιστούν παράβαση της οδηγίας για την επεξεργασία αστικών λυμάτων, βάσει της οποίας η λυματολάσπη που προέρχεται από την επεξεργασία λυμάτων πρέπει να επαναχρησιμοποιείται», αναφέρει στην ιστοσελίδα της η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. (www.news.in.gr)

Στη πράξη στην Ελλάδα, θα μπορούσε να σημειωθεί, πως τα τελευταία χρόνια ως συνέπεια της εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας 91/271 και χάρη στη διάθεση Εθνικών και Κοινοτικών Πόρων κατασκευάστηκε και κατασκευάζεται ένας σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Η λειτουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας ιλύος έχει ως συνέπεια την παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ιλύων που σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία ανέρχονται σε περίπου 20 tn ξηρών στερεών το χρόνο ανά 1.000 άτομα εξυπηρετούμενου ισοδύναμου πληθυσμού. Η παραγόμενη ιλύς περιέχει πλήθος πολύτιμων συστατικών όπως θρεπτικά, υψηλή θερμογόνο δύναμη, συγχρόνως όμως είναι φορέας ανεπιθύμητων ρύπων όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, τα συνθετικά οργανικά και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, γεγονός που καθιστά την διαχείριση της ιλύος ένα από τα πιο δυσεπίλυτα προβλήματα που σχετίζονται με την λειτουργία μιας εγκατάστασης επεξεργασίας λυμάτων. Συνεπώς αν και συχνά υποβαθμίζεται η σημασία της εφαρμογής μιας βιώσιμης μεθόδου διαχείρισης της ιλύος δεν θα πρέπει να θεωρείται ακραία η άποψη που διατύπωσε ο Δρ Imholf ότι “μια εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων, η οποία δεν διαθέτει αποτελεσματική επεξεργασία και διάθεση της ιλύος, θεωρείται άχρηστη”. Βέβαια από τις ημέρες του Δρ. Imholf έχουν αυξηθεί σημαντικά τα στάδια και οι δυνατότητες επεξεργασίας των ιλύων. Παρόλα αυτά, με εξαίρεση τη διάθεση στη θάλασσα, οι μέθοδοι διάθεσης της επεξεργασμένης ιλύος παραμένουν ουσιαστικά ίδιες τα τελευταία πενήντα χρόνια και είναι:

- α) διάθεση σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις,
- β) διάθεση σε ΧΥΤΑ,
- γ) αποκατάσταση εδαφών, λατομείων και άλλων χώρων,
- δ) και καύση.

Η κατά κανόνα εφαρμοζόμενη πρακτική διαχείρισης της ιλύος στη χώρα μας, συνίσταται στη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ, μέθοδος η οποία δεν αποτελεί βιώσιμη λύση τόσο σε μεσοπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Ακόμη και για την περίπτωση αυτή όμως το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει τους όρους διάθεσης της ιλύος από ΕΕΛ σε ΧΥΤΑ δεν είναι επαρκώς καθορισμένο. Στην υφιστάμενη Ελληνική νομοθεσία δεν καθορίζονται οι ακριβείς όροι διάθεσης της ιλύος σε ΧΥΤΑ αλλά διατυπώνεται μάλλον γενικόλογα ότι θα πρέπει να αποτρέπονται: α) η δημιουργία επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον, λόγω περιεκτικότητας σε επικίνδυνες ουσίες δύσκολα βιοδιασπάσιμες ή με μεγάλη βιοσυσσωρευση και β) η εκπομπή ενοχλητικών οσμών στους εργαζόμενους στο ΧΥΤΑ και στους περιοίκους. Ο εύλογος σε ορισμένες περιπτώσεις προβληματισμός του κατά πόσο η ουσία των όρων αυτών εξασφαλίζεται με τις συνήθεις εφαρμοζόμενες πρακτικές επεξεργασίας ιλύων συχνά οδηγεί σε αντιπαραθέσεις και αυθαί-

ρετες στην ουσία τους αποφάσεις για την αποδοχή ή μη αποδοχή ιλύων σε ΧΥΤΑ. Σχετική ασάφεια, τουλάχιστον ως προς την υγειονομοποίηση της ιλύος, παρουσιάζεται και στο θεσμικό πλαίσιο που περιγράφεται με την ΚΥΑ 80568/4225/91 και ρυθμίζει στη χώρα μας την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία στη γεωργία. Βάσει της ΚΥΑ 80568/4225/91 ο όρος "επεξεργασία ιλύος" αφορά στην παραγόμενη από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων ιλύ, που έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία, ακολουθούμενη από μακροχρόνια αποθήκευση στο έδαφος, με βασικό στόχο την επαρκή σταθεροποίηση της. Ωστόσο, η απαιτούμενη μέθοδος επεξεργασίας δεν προδιαγράφεται με ακρίβεια και μόνο έμμεση ποιοτικού χαρακτήρα αναφορά γίνεται ως προς τον απαιτούμενο βαθμό απομάκρυνσης παθογόνων (εξασφάλιση ασφαλούς διάθεσης χωρίς πρακτικά πλήρη καταστροφή των παθογόνων) ή του βαθμού σταθεροποίησης. Με βάση τα ανωτέρω, το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει δύο από τις σημαντικότερες μεθόδους τελικής διάθεσης των ιλύων στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό ασάφειας που αφορά κυρίως στον απαιτούμενο βαθμό υγειονομοποίησης της ιλύος.

(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)

Γ.2 Παραχθείσα - Χρησιμοποιηθείσα ιλύς

Συμπερασματικά, όσον αφορά τα ποσοτικά στοιχεία της ιλύος, από στατιστικά στοιχεία, όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα και τα σχήματα, στην Ε.Ε., η παραγωγή ιλύος δεν έχει μεταβληθεί σημαντικά τα τελευταία έτη. Εν τούτοις παρατηρείται μείωση της χρήσης ιλύος στη γεωργία (στην Ε.Ε), από 43% περίπου το 1995 σε 37% το 2000. Βεβαίως όμως υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις και μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ των διαφόρων κρατών. Σε ορισμένα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πραγματοποιείται σημαντική μείωση της χρήσης της ιλύος και από ότι δείχνουν και τα πραγματικά πρόσφατα ποσοστά χρήσης φαίνεται ότι αυτή η τάση μείωσης αυτή θα συνεχιστεί.

Όσον αφορά ποιοτικά στοιχεία της ιλύς στην Ε.Ε, οι μέσες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων στην ιλύ που χρησιμοποιείται στη γεωργία., είναι αρκετά κατώτερες των προβλεπόμενων τιμών κατωφλίου. Η γενική τάση, που σημειώνεται στις χώρες της Ε.Ε, παρόλες τις διαφοροποιήσεις στο θέμα αυτό μεταξύ των κρατών – μελών, είναι προς σταθερή ελάττωση των συγκεντρώσεων των βαρέων μετάλλων στην ιλύ.

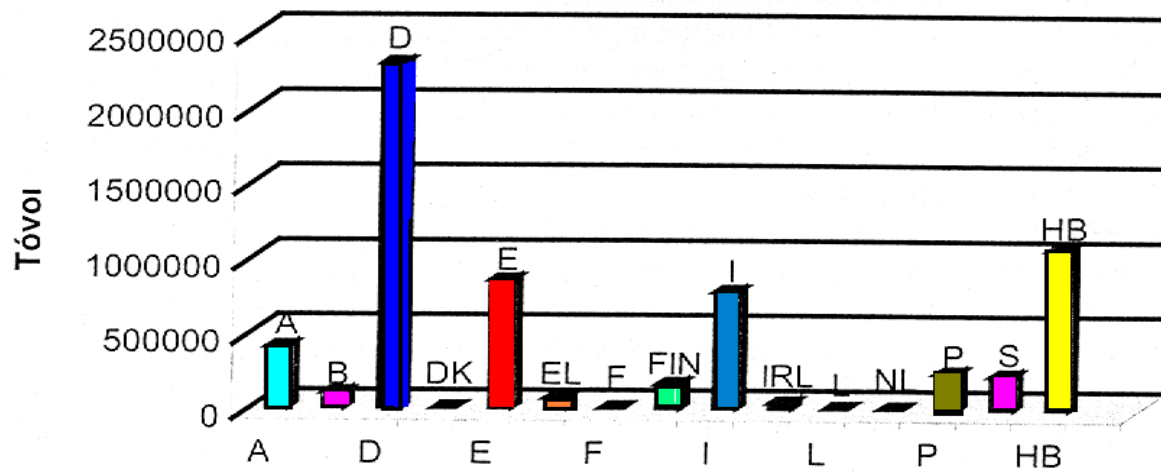
Κατά μέσο όρο στην Ε.Ε. υπολογίζεται ότι 1 τόνος ιλύος (σε ξηρά ύλη) περιέχει από 30 έως 40 kg N και από 20 έως 30 kg P. Αυτά τα στοιχεία είναι ενδεικτικά της οικονομικής αξίας, που είναι περίπου 30 € ανά τόνο ιλύος (σε ξηρό βάρος) χρησιμοποιούμενης σε γεωργικά εδάφη.

		Παραχθείσα ιλύς (tn ξηράς ιλύος)			Χρησιμοποιηθείσα ιλύς στη γεωργία (tn ξηράς ιλύος)					
Κράτος μέλος		1998	1999	2000	1998	%	1999	%	2000	%
A	Αυστρία	399188	406696	401867	43518	11	38698	10	40455	10
B	Βαλονία	15836	17967	18228	13042	82	9504	53	10733	59
	Φλάνδρα	63919	76699	80708	16006	25	5410	7		0
D	Γερμανία	2228029	2263843	2297460	842497	38	861631	38	858801	37
DK	Δανία	153780	155621		96200	63	95500	61		
E	Ισπανία	716145	784882	853482	353986	49	413738	53	454251	53
EL	Ελλάδα	59320	60135	66335	0		0		0	
F	Γαλλία	858000	855000	0	554000	65	552000	65		
FIN	Φιλανδία	158000	160000	160000	23000	15	23000	14	19000	12
I	Ιταλία	717776	728280	779220	194811	27	164698	23	217805	28
IRL	Ιρλανδία	37595	38551	35039	5238	14	8734	23	14109	40
L	Λουξεμβούρ-		7000				5600	80		
NL	Κάτω Χώρες	220	242		34	15	36	15	45	
P	Πορτογαλία	121855	374855	238555	41413	34	66547	18	37176	16
S	Σουηδία	221000	221000	220000	56000	25	56000	25	35000	16
HB	Ην.Βασίλειοι	1045120	1105918	1066176	502200	48	554924	50	584233	55

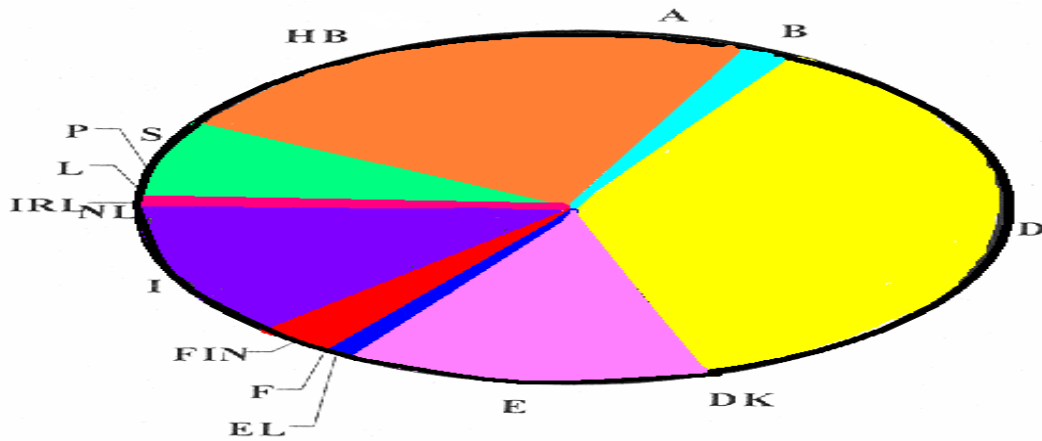
Πίνακας Γ.7 Συνολική παραγωγή ιλύος και χρησιμοποιηθείσες ποσότητες σε γεωργικά εδάφη κατά τα έτη 1998-2000 (Α. Αγγελάκης et al., 2004)



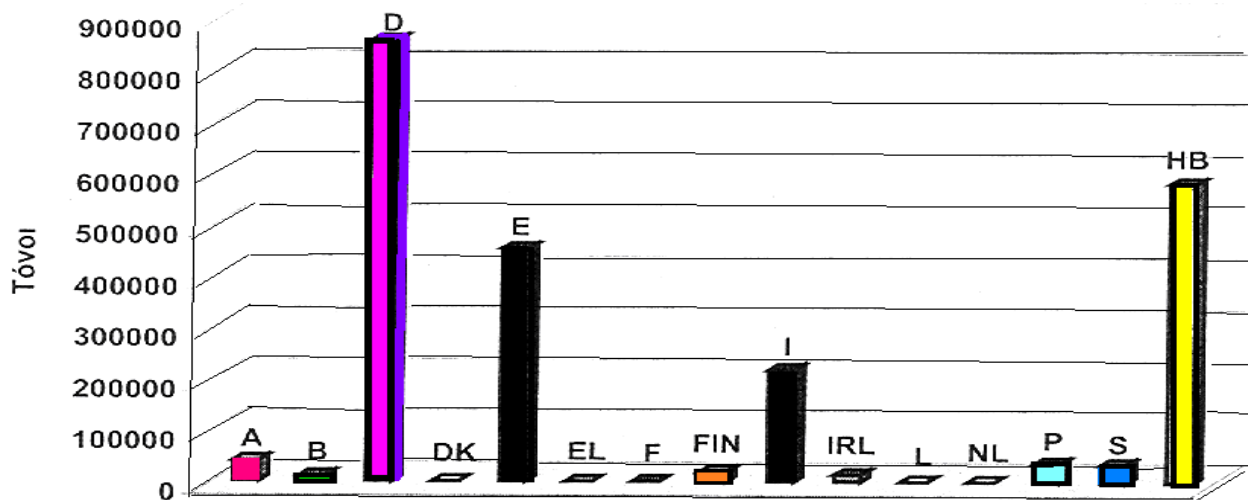
Σχήμα Γ.1. Παραγωγή ιλύος στις 15 χώρες της ΕΕ (Α. Ανδρεαδάκης et al.)



Σχήμα Γ.2. Συνολική παραγωγή ιλύος στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2000
(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)



Σχήμα Γ.3. Ποσοστό παραγωγής ιλύος % στην Ε.Ε το 2000 (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)



Σχήμα Γ.4. Ιλύς που χρησιμοποιήθηκε στη γεωργία το 2000. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Οικολογική λύση αποτελεί η χρησιμοποίηση ιλύς υγρών αποβλήτων, σε γεωργικά εδάφη για την επαναχρησιμοποίηση της λάσπης, σαφώς υπό την προϋπόθεση ότι δεν θα δημιουργήσει άμεσα ή έμμεσα κινδύνους για το περιβάλλον και φυσικά για την υγεία των ζώων και των ανθρώπων.

Με την Οδηγία 86/278/EC έγινε προσπάθεια για να ρυθμιστεί η διασπορά της ιλύος σε γεωργικά εδάφη, με κύριο μέλημα να αποφεύγονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την λανθασμένη χρήση της ιλύς. Μέχρι σήμερα, δεν έχουν αναφερθεί περιπτώσεις μόλυνσης ανθρώπων, ζώων ή καλλιεργειών, που να οφείλονται στη χρησιμοποίηση ιλύος σε γεωργικές γαίες, με βάση τις μελέτες και την έρευνα που έχει πραγματοποιηθεί από τους υπεύθυνους φορείς. Παρόλη τη μειωμένη επικινδυνότητα στην ανθρώπινη υγεία, σύμφωνα με έρευνες μέχρι στιγμής, οι διατάξεις της οδηγίας υπήρξαν ιδιαιτέρως αποτελεσματικές στο κομμάτι της πρόληψης της ρύπανσης λόγω της χρήσης ιλύος.

Η χρησιμοποίηση της ιλύος σε γεωργικές γαίες αποτελεί φυσικό τρόπο διάθεσης της ιλύος υγρών αποβλήτων, εξαιτίας της ολοκλήρωσης των τροφικών κύκλων. Σε πολλά κράτη ωστόσο, αυξάνονται ολοένα οι υποψίες σχετικά με τη χρησιμοποίηση αποβλήτων σε γεωργικές γαίες. Στην περίπτωση της ιλύος, οι υποψίες αυτές δεν βασίζονται σε επιστημονικά πορίσματα, αλλά ανατροφοδοτούνται από υποψίες που δημιουργήθηκαν κατά τα τελευταία έτη στον τομέα των γεωργικών προϊόντων διατροφής. Παρά το γεγονός ότι οι φόβοι αυτοί για τα τρόφιμα δεν σχετίζονται με τη χρησιμοποίηση ιλύος σε γεωργικές γαίες, η σχέση ανθρώπινων περιττωματικών υλών και καλλιεργειών προϊόντων που καταναλώνονται ως τρόφιμα, εκλαμβάνεται ως δυνητικά επικίνδυνη και το κοινό αντιδρά ανάλογα.

Βεβαίως η ιλύς δεν χρησιμοποιείται αποκλειστικά στο γεωργικό τομέα αλλά και σε άλλους τομείς στους οποίους η επικινδυνότητα παραμένει ένα σοβαρό ζήτημα.

- Σε μερικά κράτη ίσως και στα περισσότερα η μέθοδος απόρριψης της ιλύς σε χωματερές αποτελεί τη συνηθέστερη μέθοδο διάθεσης της.

Στο περιβάλλον της χωματερής οι συγκεντρώσεις οξυγόνου είναι μειωμένες και επικρατούν ταυτόχρονα συνθήκες αποδόμησης, κατά τις οποίες η οργανική ύλη αποσυντίθεται και παράγει αέρια. Αυτά τα αέρια συμβάλλουν ιδιαιτέρως στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, τα οποία είναι κατά κύριο λόγο το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα.

Επιπλέον δημιουργείται δυσοσμία ιδιαιτέρως από τα στραγγίδια, τα οποία μπορεί παράλληλα να ρυπαίνουν και τα υπόγεια ύδατα.

- Η ιλύς επίσης, μπορεί να καεί. Εκτός του κόστους, που είναι υψηλό και αναπόφευκτα θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο εξαιτίας της υιοθέτησης υπερσύγχρονων μεθόδων καύσης με καπναγωγούς, αυτή η μέθοδος διαχείρισης της ιλύς, δημιουργεί προβλήματα διαχείρισης των καταλοίπων, της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα και της πλήρους καταστροφής της οργανικής ύλης και των θρεπτικών συστατικών της.
- Η βασικότερη επιλογή διαχείρισης των αποβλήτων είναι μετά από σωστή αξιολόγηση αυτών είναι ο περιορισμός, η μείωση και σίγουρα η επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων. Στις μέρες μας με βάση τη παρούσα σύγχρονη τεχνολογία, στην περίπτωση της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων δεν είναι δυνατόν επί του παρόντος να υπάρξει μια αποτελεσματική μέθοδος επεξεργασίας, χωρίς να παραχθεί ιλύς. Για αυτό το λόγο είναι απαραίτητη η μέθοδος της επαναχρησιμοποίησης. Στη πραγματικότητα αποτελεί ουτοπική η ιδέα της επαναχρησιμοποίησης του 100%, της παραγόμενης ιλύος. Παρόλα ταύτα, στις νότιες περιφέρειες της Ευρώπης, όπου τα εδάφη έχουν μικρή περιεκτικότητα οργανικής ύλης, η αντιμετώπιση της διάβρωσης και της ερημοποίησης, με την επαναχρησιμοποίηση ιλύος αποτελεί μια από τις καλύτερες επιλογές, που θα πρέπει να τύχει ιδιαίτερης προσοχής, αφού θα λύσει εν μέρει το ήδη υπάρχον πρόβλημα του εδάφους και παράλληλα θα αποτελέσει το καλύτερο τρόπο για να αφομοιωθεί η παραγόμενη ιλύς. Οι εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης της ιλύος στην ΕΕ τα τελευταία χρόνια έχουν καθοριστεί σε ποσοστά ως εξής:
- Υγειονομική ταφή: Μείωση από 40% στο 20%
- Γεωργία: Αύξηση από 40% στο 55%
- Καύση: Αύξηση από περίπου 14% στο 25%
- Θάλασσα: Απαγόρευση

Στην Ελλάδα η διαχείριση της επεξεργασμένης ιλύος είναι βασισμένη συνήθως στη διάθεση της σε Χ.Υ.Τ.Α (περισσότερο από 90% της επεξεργασμένης ιλύς διατίθεται αυτήν την περίοδο με αυτό το τρόπο). Δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι ήδη ένα σοβαρό πρόβλημα στην Ελλάδα, οι αρχές δεν θεωρούν την καύση ως κατάλληλη επιλογή. Η διάθεση σε γεωργικά εδάφη, αποτελεί επομένως μια εναλλακτική μέθοδο διάθεσης, που οι αρχές και οι υπεύθυνοι των Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων θα επιθυμούσαν να αναπτυχθεί περαιτέρω. Εντούτοις, προς το παρόν, μόνο πολύ μικρές ποσότητες ιλύος (περίπου 10%) χρησιμοποιούνται σε γεωργικές εκτάσεις.

Για περιβαλλοντικούς κυρίως σκοπούς, ταυτοχρόνως, θα μπορούσε να εξετασθεί σοβαρά η διάθεση ιλύος σε δασικές εκτάσεις και άλλα υποβαθμισμένα εδάφη, με σκοπό την ανάκτηση τους.

(Αγγελάκης et al., 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Δ.1 Διαθέσιμες Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων

Στην επεξεργασία λυμάτων και υγρών αποβλήτων :

- Ο στόχος είναι η απομάκρυνση του ρυπαντικού φορτίου από τα λύματα και τα απόβλητα με συνδυασμό φυσικών, χημικών, φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών.
- Οι διεργασίες αυτές έχουν ως στόχο τη δέσμευση και αφαίρεση των ρύπων από τη μάζα του νερού.
- Το σύνολο των διεργασιών αυτών αποτελεί τη διαδικασία της επεξεργασίας.
- Κύρια επιδίωξη της διαδικασίας επεξεργασίας είναι η απαλλαγή της μάζας του αποβλήτου από τους ρύπους και δευτερεύουσα επιδίωξη η εξουδετέρωση των ρύπων.
- Ο συνδυασμός των διεργασιών επεξεργασίας καθορίζει και το είδος του συστήματος ως φυσικοχημικό καθαρισμό ή ως βιολογικό καθαρισμό.

ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Μεγάλα στερεά	Εμφράξεις, ιζήματα
Άμμος	Φθορές, Ιζήματα
Λίπη-Ελαία	Οπτική ρύπανση επιπλεόντων
Καθιζήσιμα οργανικά	Αποξυγόνωση, ιζήματα
Κολλοειδή και διαλυμένα οργανικά	Αποξυγόνωση
Αζωτο	Ευτροφισμός
Φώσφορος	Ευτροφισμός
Παθογόνα	Μετάδοση ασθενειών
Τοξικά	Μακροχρόνιες επιπτώσεις

Πίνακας Δ.1 Συσχέτιση ρυπαντών και επιπτώσεων
(www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/undergrad/PERTECHST)

Κατά την επεξεργασία των λυμάτων ακολουθούνται ως επί το πλείστον 4 στάδια

- Προεπεξεργασία
- Πρωτοβάθμια επεξεργασία
- Δευτεροβάθμια επεξεργασία
- Τριτοβάθμια επεξεργασία

ΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Εσχαρισμός

Οι εσχάρες χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση μεγάλων τεμαχίων που περιέχονται στα απόβλητα όπως κομμάτια ξύλων, σακούλες, κ.λπ.

Πρόκειται για διατάξεις με παράλληλες μπάρες και χρησιμοποιούνται για:

- Την προστασία των μονάδων επεξεργασίας από ογκώδη αντικείμενα, που εάν εισέλθουν θα προκαλέσουν διάφορες εμφράξεις στις εγκαταστάσεις.
- Το διαχωρισμό και απομάκρυνση στερεών που η παρουσία τους θα εμπόδιζε την επεξεργασία που ακολουθεί.

Η απόδοση των εσχάρων εξαρτάται από τα διάκενα μεταξύ των παράλληλων μαρρών. Οι εσχάρες μπορεί να χωρισθούν σε:

- Λεπτές εσχάρες με διάκενα 3-10 mm
- Μεσαίες εσχάρες με διάκενα 10-25 mm
- Χονδρές εσχάρες με διάκενα 50-100 mm

Κόσκινα

- Σε μερικές εφαρμογές, τα κόσκινα είναι συνήθως βυθισμένα στο κανάλι τροφοδοσίας και συγκρατούν διάφορα στερεά που παρασύρει το νερό /απόβλητο.
- Σε εφαρμογές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται περιστροφικά κόσκινα κυλινδρικού σχήματος.

Τεμαχιστές

Ο τεμαχισμός των στερεών ως διεργασία προεπεξεργασίας βρίσκει μεγαλύτερη εφαρμογή στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων.

Χρησιμοποιούνται για τον τεμαχισμό στερεών που διέφυγαν των εσχάρων.

Χοντρόκοκκα τεμάχια μειώνονται σε κομμάτια μικρότερα των 6 mm για μικρούς τεμαχιστές και σε 10 mm για μεγαλύτερους.

Η σκοπιμότητα της χρήσης των τεμαχιστών είναι η διαφυγή δημιουργίας ενός ξεχωριστού ρεύματος στερεών με όλα τα επακόλουθα προβλήματα διαχείρισης, όπως μεταφορά, προσωρινή αποθήκευση και τελική διάθεση.

Εξάμμιση

- Έχει ως στόχο την αφαίρεση από το ρεύμα των αποβλήτων/ νερού, χαλικιών, άμμου και άλλων ανόργανων στερεών, που προκαλούν αποθέσεις τα κανάλια και τις σωληνώσεις.

- Αφορά στερεά μεγέθους μεγαλύτερου των 200 μm . Τα μικρότερα απομακρύνονται με τις διεργασίες της καθίζησης και διήθησης.
- Η διάταξη της εξάμμιωσης είναι μία δεξαμενή καθίζησης στην οποία τα διακεκριμένα στερεά τα οποία βρίσκονται σε υγρό με μικρότερη πυκνότητα, επιταχύνονται μέχρις ότου φθάσουν να κινούνται με μια τερματική ή οριακή ταχύτητα. Τότε η δύναμη βαρύτητας (gravitational force) εξισορροπείται με τη οπισθέλκουσα δύναμη (drag force) με αποτέλεσμα την καθίζηση των στερεών.

Απομάκρυνση ελαιωδών και λιπαρών ενώσεων

Είναι αναγκαία σε μία σειρά περιπτώσεων ως ακολούθως:

- Απομάκρυνση ελαιωδών από τα επιφανειακά νερά πριν την κύρια επεξεργασία του νερού
- Απομάκρυνση λιπαρών κατά την προεπεξεργασία των αστικών λυμάτων
- Απομάκρυνση ελαιωδών προσμίξεων από τα υγρά απόβλητα των διυλιστηρίων πετρελαίου και άλλων βιομηχανιών κ.λπ.

Η απομάκρυνση των ελαιωδών είναι ένας διαχωρισμός υγρών φάσεων, ενώ η απομάκρυνση των λιπαρών είναι ένας διαχωρισμός στερεής–υγρής φάσης.

Τόσο τα ελαιώδη όσο και τα λιπαρά συστατικά είναι ελαφρύτερα από το νερό και όταν το νερό βρεθεί σε ηρεμία σε μία δεξαμενή, οι προσμίξεις αυτές επιπλέουν.

Η υπερχειλίση που πολλές φορές υποβοηθείται με ένα επιφανειακό ‘ξέστρο’ κυρίως για τα λιπαρά, είναι η μέθοδος απομάκρυνσης των προσμίξεων αυτών.

Ομογενοποίηση–εξισορρόπηση

- Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις στην ποιότητα και στην ποσότητα των αποβλήτων.
- Για το σκοπό αυτό τα διάφορα απόβλητα συγκεντρώνονται σε μία μεγάλη δεξαμενή μέσα στην οποία ομογενοποιούνται τα χαρακτηριστικά τους και εξισορροπούνται οι διακυμάνσεις των βιολογικών φορτίων.
- Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως στα βιομηχανικά απόβλητα.

Επίπλευση

- Χρησιμοποιείται για απόβλητα που μεταφέρουν σημαντικό φορτίο από λεπτά αιωρούμενα στερεά με ειδικό βάρος μικρότερο του νερού και απαιτούν μεγάλο χροκαθίζησης και προέρχονται από βιομηχανίες όπως βυρσοδεψεία, διυλιστήρια πετρελαίου, σφαγεία, κ.λπ.
- Η επίπλευση των αιωρουμένων στερεών επιταχύνεται με τη διοχέτευση αέρα στα απόβλητα ώστε να τα ανεβάσουν στην επιφάνεια.
- Η απόδοση του συστήματος βελτιώνεται με προσθήκη χημικών ουσιών.
- Στερεά μικρής πυκνότητας μπορούν να διαχωριστούν από τα ρυπασμένα υγρά απόβλητα με τη μέθοδο της επίπλευσης με αέρα.
- Ο αέρας εισέρχεται, στο υγρό απόβλητο, με τη μορφή φυσαλίδων οι οποίες έρχονται σε επαφή με τα σωματίδια τα οποία πρέπει να απομακρυνθούν.
- Τα σωματίδια τότε ανέρχονται στην επιφάνεια απ' όπου και απομακρύνονται με εξασφρισμό ενώ το απορυπασμένο υγρό απομακρύνεται από τον πυθμένα.
- Προκειμένου να επιτευχθούν βέλτιστα αποτελέσματα κατά την διαδικασία της μεθόδου προστίθενται και πολυηλεκτρολύτες, που εξυπηρετούν στο να αυξάνουν τις κροκίδες των στερεών, ενώ παράλληλα διατηρείται η ροή του αερίου σε τέτοιους ρυθμούς ώστε να μην καταστρέφονται οι δημιουργούμενες φυσαλίδες.

Απλή καθίζηση

- Τα υγρά απόβλητα οδηγούνται σε μία δεξαμενή όπου παραμένουν για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα.
- Στο διάστημα αυτό τα περισσότερα αιωρούμενα σωματίδια κατακάθονται με τη βοήθεια του πεδίου βαρύτητας.
- Ανάλογα με τον τύπο των αποβλήτων μπορεί να επιτευχθεί απομάκρυνση αιωρουμένων σωματιδίων μέχρι και 65%.
- Η είσοδος των υγρών στη δεξαμενή καθίζησης γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνονται οι αναταράξεις /αναδεύσεις και να επιτυγχάνεται η καθίζηση.
- Ο χρόνος παραμονής των αποβλήτων στις δεξαμενές καθίζησης καθορίζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η φύση και ο όγκος των αποβλήτων, το σχήμα και ο όγκος της δεξαμενής, η διάταξη απομάκρυνσης της παραγόμενης λάσπης, κ.λπ.
- Οι δεξαμενές μπορεί να είναι κυκλικές ή ορθογώνιες.
- Οι συνηθισμένοι τύποι δεξαμενών που καθαρίζονται μηχανικά σχεδιάζονται για χρόνους παραμονής των αποβλήτων 1.5-3 ώρες.

- Η έξοδος του διαυγασμένου αποβλήτου γίνεται από υπερχειλιστές κατά μήκος του άκρου της δεξαμενής.
- Η λάσπη που απομακρύνεται με μηχανικό τρόπο από το πυθμένα των δεξαμενών μπορεί να περιέχει παθογόνους οργανισμούς, οσμές και έτσι απαιτείται ειδική επεξεργασία για την τελική της διάθεση.
- Η πρωτοβάθμια καθίζηση συντελεί επιπλέον στην απομάκρυνση περίπου του 30% της απαίτησης για οξυγόνο και περίπου 20% του φωσφόρου (λόγω της απομάκρυνσης της λάσπης).



Εικόνα Δ.1. Δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (κυκλική και ορθογώνια)

(M. Salgot et al., 2001)

ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Κροκίδωση-Συσσωμάτωση

- Είναι μία χημική μέθοδος επεξεργασίας των αποβλήτων που αποσκοπεί στην απομάκρυνση των κολλοειδών σωματιδίων που δύσκολα κατακάθονται μόνο με την επίδραση της βαρύτητας (απλή καθίζηση).
- Στα απόβλητα προστίθενται κατάλληλες χημικές ενώσεις με στόχο την αύξηση της ικανότητας του συστήματος για απομάκρυνση λάσπης.
- Παραδείγματα κροκιδωτικών μέσων είναι το θεικό αλουμίνιο, (alum), του υδροξειδίου του ασβεστίου (lime, υδράσβεστος), και γενικά τα χλωριούχα, τα θειικά ή τα μικτά άλατα του σιδήρου και του αλουμινίου, οι οργανικοί πολυηλεκτρολύτες, κ.λπ.
- Οι πολυηλεκτρολύτες είναι συνθετικά πολυμερή που η μονομερής τους μονάδα περιέχει ιονιζόμενες ομάδες, π.χ. COOH , $\text{-SO}_3\text{H}$, -NH_2 , κ.λπ.
- Τα κολλοειδή σωματίδια χαρακτηρίζονται από αρνητικό επιφανειακό φορτίο.
- Το μέγεθος των κολλοειδών σωματιδίων ($0.01 - 1 \mu\text{m}$) είναι τέτοιο ώστε οι ελκτικές δυνάμεις των σωματιδίων είναι σημαντικά μικρότερες από τις απωστικές δυνάμεις

που δημιουργούνται λόγω του αρνητικού τους φορτίου, με αποτέλεσμα να διατηρούνται σε αιώρηση μέσα στα απόβλητα.

- Η κροκίδωση είναι η διεργασία η οποία προκαλεί την αποσταθεροποίηση των κολοειδών με σκοπό τη συσσωμάτωση και καθίζηση τους.
- Η αποσταθεροποίηση των αιωρημάτων είναι μία διεργασία που προηγείται της καθίζησης.
- Είναι απαραίτητη για να καταστεί δυνατή η συσσωμάτωση, που έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων αιωρούμενων στερεών.
- Η αποσταθεροποίηση ενός αιωρήματος ή κροκίδωση ορίζεται ως η μείωση των ηλεκτροστατικών δυνάμεων απώθησης που υπάρχουν μεταξύ των ομοιόμορφα φορτισμένων αιωρούμενων στερεών στο απόβλητο. Οι μηχανισμοί με τους οποίους προκαλείται η σύγκρουση και συγκόλληση των αιωρούμενων στερεών καλείται συσσωμάτωση.

Χημική Κατακρήμνιση-καταβύθιση

- Ονομάζεται η διεργασία η οποία αποσκοπεί στην προσθήκη χημικών μέσω με στόχο την αλλαγή της φυσικής κατάστασης των διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών μέσα στο απόβλητο.
- Εφαρμόζεται για την απομάκρυνση του φωσφόρου, των βαρέων μετάλλων και για τη βελτίωση της απόδοσης των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης.
- Τα χημικά μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη χημική κατά βύθιση είναι: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$.
- Με τη μέθοδο αυτή, είναι δυνατόν να απομακρυνθεί το 80-90% των αιωρούμενων στερεών, το 50-80% του BOD και το 80-90% των βακτηρίων.

Εξουδετέρωση

- Είναι επίσης μία χημική μέθοδος επεξεργασίας αποβλήτων που σκοπό έχει την ομαλοποίηση του pH για την ομαλή λειτουργία του βιολογικού καθαρισμού.
- Παράλληλα επιτυγχάνεται και αφαίρεση βαρέων μετάλλων που καταβυθίζονται ως αδιάλυτα υδροξείδια.
- Τα συνήθη χημικά μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για την αύξηση του pH είναι: CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO , MgO , NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

- Τα συνήθη χημικά μέσα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη μείωση του pH είναι: H_2CO_3 , HCL , H_2SO_4 .

Χημική Οξείδωση

- Η χημική οξείδωση στα υγρά απόβλητα είναι μία διεργασία μετατροπής των ανεπιθύμητων ενώσεων σε ενώσεις που ενοχλούν λιγότερο ή και καθόλου και έτσι βελτιώνεται η ποιότητα του αποβλήτου. Οι ουσίες οι οποίες επιδέχονται οξείδωση είναι:
 - a. Ανόργανες: Mn^{2+} , Fe^{2+} , S^{2-} , CN^- , SO_3^{2-}
 - b. Οργανικές: φαινόλες, αμίνες, χουμικά οξέα, άλλες ενώσεις που προκαλούν οσμές, γεύσεις, χρώμα, κ.λπ.

Τα κύρια οξειδωτικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι:

- όζον(O_3),
 - υπεροξείδιο του υδρογόνου(H_2O_2),
 - υπερμαγγανικό κάλιο(KMnO_4),
 - χλώριο(Cl_2),
 - διοξείδιο του χλωρίου(ClO_2).
-
- Η χρήση του **όζοντος** ως οξειδωτικού στα απόβλητα βασίζεται στην ισχυρή οξειδωτική του δράση με αποτέλεσμα να αντιδρά με τις περισσότερες οργανικές ενώσεις, τις ανόργανες ενώσεις και τους μικροοργανισμούς. Εξαφανίζει το χρώμα και τη γεύση του νερού.
 - Το **υπερμαγγανικό κάλιο**, χρησιμοποιείται ως οξειδωτικό για την απαλλαγή των αποβλήτων από τις οσμές και τις γεύσεις και για την οξείδωση του σιδήρου και άλλων ανόργανων, όπως S^- , CN^- , και οργανικών ενώσεων. Έχει επίσης βακτηριοκτόνα δράση.
 - Το **διοξείδιο του χλωρίου** που είναι ισχυρότατο οξειδωτικό, λόγω της αστάθειάς του, όπως και το όζον, παράγεται στο χώρο χρήσης του.
 - Το **χλώριο** είναι το περισσότερο διαδεδομένο απολυμαντικό, παρά τα προβλήματα παραπροϊόντων που υπάρχουν. Το χλώριο ως απολυμαντικό δρα διαφορετικά από ότι ως οξειδωτικό. Σε χαμηλό pH έχει μεγαλύτερο βακτηριοκτόνο δυναμικό, ενώ σε ψηλότερο pH παρουσιάζει μεγαλύτερη οξειδωτική αποτελεσματικότητα.

ΡΥΠΑΝΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΛΥΜΑΤΩΝ	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
Μεγάλα στερεά	Εσχάρα
Άμμος	Εξαμμωτής
Λίπη-Έλαια	Απολιπαντής
Καθιζήσιμα οργανικά	Πρωτοβάθμια Καθίζηση
Κολλοειδή και διαλυμένα οργανικά	Βιολογική Επεξεργασία
Αζωτο	Βιολογική Επεξεργασία
Φώσφορος	Βιολογική και Χημική Επεξεργασία
Παθογόνα	Απολύμανση
Τοξικά	Έλεγχος στην Πηγή, Προεπεξεργασία

Πίνακας Δ.2. Συσχέτιση ρυπαντών - επεξεργασίας

(www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/udergrad/PERTECHST)

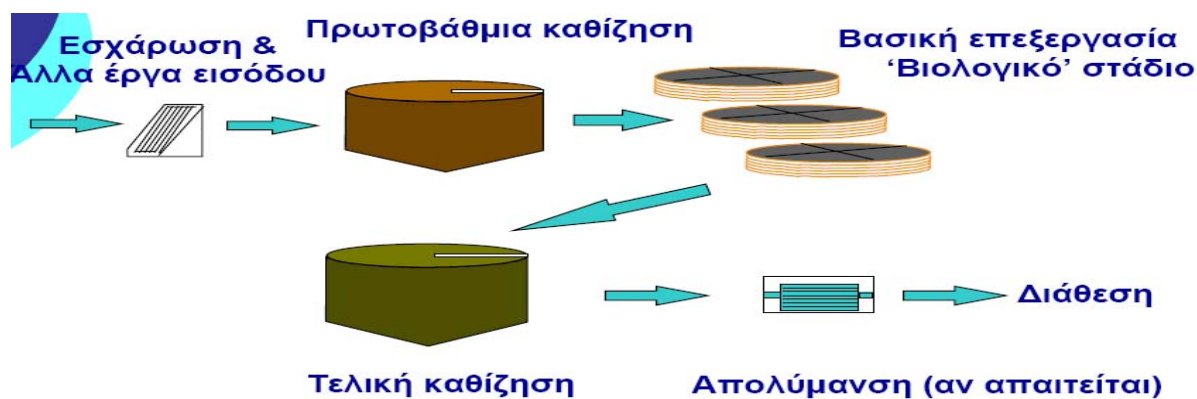
Συμπερασματικά

- Η φυσικοχημική επεξεργασία μπορεί να είναι πολύ απλή π.χ. μία προσθήκη κροκιδωτικού και μία καθίζηση.
- Μπορεί να είναι πολύπλοκη και εξειδικευμένη, π.χ. χρήση μεμβρανών υπερδιήθησης για τα απόβλητα γαλακτοκομικών προϊόντων
- Η χρήση της φυσικοχημικής διαδικασίας είναι ασφαλής όταν στηρίζεται σε πειράματα μετά συγκεκριμένα απόβλητα που θα υποβληθούν σε επεξεργασία.

Απόδοση Φυσικοχημικών Διεργασιών

- Γενικά οι φυσικοχημικές διεργασίες έχουν περιορισμένη ικανότητα για την απομάκρυνση των κολλοειδών και των μη προσροφούμενων οργανικών και διαλυτών ενώσεων του P και N
- Αν τα απόβλητα έχουν υψηλές συγκεντρώσεις τέτοιων συστατικών, οι φυσικοχημικές διεργασίες πρέπει να συμπληρώνονται από βιολογικές.

(www.eng.ucy.ac.cy/GAIA/GR/181/Lecture)



Εικόνα Δ.2. Σχηματική αναπαράσταση διαδοχικής επεξεργασίας υγρών λυμάτων σε απλή συμβατική μονάδα

Οι διαθέσιμες τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων που εφαρμόζονται κυρίως σε συμβατικά συστήματα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων παρουσιάζονται συνοπτικά στο πίνακα Δ.3.

Οι διαφοροποιήσεις στην παραγωγική διαδικασία αλλά και ο βαθμός στον οποίο μία μονάδα έχει προχωρήσει στην εφαρμογή των Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνικών επιδρά στον όγκο και στην ποιότητα του αποβλήτου.

<i>Διαθέσιμες Τεχνικές Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων</i>		
A/A	ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ
1	Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτογενούς επεξεργασίας	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Δεξαμενές εξισορρόπησης/ομογενοποίησης ▶ Εξουδετέρωση/Ρύθμιση pH ▶ Μηχανικός Καθαρισμός/Εσχάρωση και Λεπτό Κοσκίνισμα ▶ Εξάμμιση (Αμμοσυλλέκτης) ▶ Λιποσυλλογή-Ελαιοδιαχωριστήρες ▶ Επίπλευση ▶ Πρωτοβάθμια Καθίζηση
2	Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Αερόβια Συστήματα <ul style="list-style-type: none"> • Αντιδραστήρες Ενεργού Ιλύος • Βιολογικά Φίλτρα (Χαλικοδουλίστηρια και Βιολογικοί Πύργοι), Βιολογικός Δίσκος ▶ Αναερόβια Συστήματα ▶ Απλά Συστήματα (Σηπτικές Δεξαμενές, Δεξαμενές Καθίζησης Imhoff) ▶ Δεξαμενές (Λίμνες) Σταθεροποίησης (Δεξαμενές Σταθεροποίησης και Οξειδωσης, Αεριζόμενες Δεξαμενές)
3	Συστήματα χημικής επεξεργασίας	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Χημική Οξείδωση και Αναγωγή ▶ Οξείδωση με Υγρό Αέρα ▶ Χημική Κατακρήμνιση (Κροκίδωση-Καθίζηση)
4	Συστήματα φυσικής επεξεργασίας	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Προσρόφηση ▶ Ιοντοεναλλαγή ▶ Διαχωρισμός με Εκλεκτικές Μεμβράνες ▶ Απογύμνωση Ατμού
5	Συστήματα επεξεργασίας / διάθεσης στο έδαφος	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Επιφανειακή απορροή ▶ Μέθοδος Φιλτραρίσματος-Διήθησης ▶ Άρδευσης με ψεκασμό
6	Διεργασίες αντιμετώπισης διαλυμένων βιοαποδομήσιμων υλικών (BOD/COD) <i>Ουσίες που έχουν αρνητική επίδραση στο ισοζύγιο του διαλυμένου</i>	Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτογενούς επεξεργασίας <ul style="list-style-type: none"> ▶ Δεξαμενές εξισορρόπησης/ομογενοποίησης ▶ Εξουδετέρωση/Ρύθμιση pH ▶ Μηχανικός Καθαρισμός/Εσχάρωση και Λεπτό Κοσκίνισμα ▶ Εξάμμιση (Αμμοσυλλέκτης) ▶ Λιποσυλλογή-Ελαιοδιαχωριστήρες ▶ Επίπλευση

	οξυγόνου και που μετράται με παραμέτρους όπως BOD, COD.	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Πρωτοβάθμια Καθίζηση <p>Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Αερόβια Συστήματα ▶ Αντιδραστήρες Ενεργού Ιλύος ▶ Βιολογικά Φίλτρα (Χαλικοδυλιστήρια και Βιολογικοί Πύργοι), Βιολογικός Δίσκος ▶ Αναερόβια Συστήματα ▶ Απλά Συστήματα (Σηπτικές Δεξαμενές, Δεξαμενές Καθίζησης Imhoff) ▶ Δεξαμενές (Λίμνες) Σταθεροποίησης (Δεξαμενές Σταθεροποίησης και Οξείδωσης, Αεριζόμενες Δεξαμενές) <p>Συστήματα χημικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Χημική Οξείδωση και Αναγωγή ▶ Οξείδωση με Υγρό Αέρα ▶ Χημική Κατακρήμνιση (Κροκίδωση, Καθίζηση) <p>Συστήματα φυσικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Προσρόφηση ▶ Ιοντοεναλλαγή ▶ Διαχωρισμός με Εκλεκτικές Μεμβράνες ▶ Απογύμνωση Ατμού <p>Συστήματα επεξεργασίας / διάθεσης στο έδαφος</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Επιφανειακή απορροή ▶ Μέθοδος Φιλτραρίσματος-Διήθησης ▶ Άρδευσης με ψεκασμό
7	Διεργασίες αντιμετώπισης αιωρούμενων σωματιδίων (και σε αιωρούμενη μορφή βιοαποδομήσιμων υλικών (BOD/COD)) Αιωρούμενες Ουσίες	<p>Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτογενούς επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Μηχανικός Καθαρισμός/Εσχάρωση και Λεπτό ▶ Εξάμμωση (Αμμοσυλλέκτης) ▶ Λιποσυλλογή-Ελαιοδιαχωριστήρες ▶ Επίπλευση ▶ Πρωτοβάθμια & Δευτεροβάθμια Καθίζηση ▶ Φυγοκέντρωση
8	Διεργασίες αντιμετώπισης ελεύθερων ελαίων / λιπών / λιπαρών ουσιών Ουσίες που έχουν αρνητική επίδραση στο ισοζύγιο του διαλυμένου οξυγόνου και που μετράται με παραμέτρους όπως BOD, COD).	<p>Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτογενούς επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Λιποσυλλογή-Ελαιοδιαχωριστήρες ▶ Επίπλευση ▶ Φυγοκέντρωση
9	Διεργασίες αντιμετώπισης γαλακτοποιημένων	<p>Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Αναερόβια Συστήματα

	<p>(emulsified) ελαίων / λιπών/ λιπαρών ουσιών <i>Ουσίες που έχουν αρνητική επίδραση στο ισοζύγιο του διαλυμένου οξυγόνου και που μετράται με παραμέτρους όπως BOD, COD).</i></p>	<p>Συστήματα χημικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Χημική Κατακρήμνιση - Επίπλευση (Κροκίδωση - Επίπλευση - Καθίζηση)
10	<p>Διεργασίες αντιμετώπισης αζώτου και αμμωνίας <i>Ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (ιδίως νιτρικά και φωσφορικά άλατα)</i></p>	<p>Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Αερόβια Συστήματα ▶ Αντιδραστήρες Ενεργού Ιλύος ▶ Βιολογικά Φίλτρα (Χαλικοδυιλιστήρια και Βιολογικοί Πύργοι), Βιολογικός Δίσκος ▶ Δεξαμενές (Λίμνες) Σταθεροποίησης (Δεξαμενές Σταθεροποίησης και Οξείδωσης, Αεριζόμενες Δεξαμενές) <p>Συστήματα επεξεργασίας/διάθεσης στο έδαφος</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Επιφανειακή απορροή ▶ Μέθοδος Φιλτραρίσματος-Διήθησης ▶ Άρδευσης με ψεκασμό
11	<p>Διεργασίες αντιμετώπισης φωσφόρου <i>Ουσίες που συμβάλλουν στον ευτροφισμό (ιδίως νιτρικά και φωσφορικά άλατα)</i></p>	<p>Συστήματα βιολογικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Αερόβια Συστήματα ▶ Αντιδραστήρες Ενεργού Ιλύος ▶ Βιολογικά Φίλτρα (Χαλικοδυιλιστήρια και Βιολογικοί Πύργοι), Βιολογικός Δίσκος ▶ Αναερόβια Συστήματα ▶ Δεξαμενές (Λίμνες) Σταθεροποίησης (Δεξαμενές Σταθεροποίησης και Οξείδωσης, Αεριζόμενες Δεξαμενές) <p>Συστήματα χημικής επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Τριτοβάθμια Χημική Κατακρήμνιση (Κροκίδωση-Καθίζηση) ▶ Συστήματα επεξεργασίας / διάθεσης στο έδαφος ▶ Επιφανειακή απορροή ▶ Μέθοδος Φιλτραρίσματος-Διήθησης ▶ Άρδευσης με ψεκασμό
12	<p>Διεργασίες αντιμετώπισης οξέων και βάσεων</p>	<p>Συστήματα προεπεξεργασίας ή πρωτογενούς επεξεργασίας</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Εξουδετέρωση/Ρύθμιση pH

Πίνακας 4.3. Διαθέσιμες τεχνικές επεξεργασίας υγρών αποβλήτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε

ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΧΡΗΣΗ & ΔΙΑΘΕΣΗ ΙΛΥΟΣ

Ε.1 Επεξεργασία Βιοστερεών

Γενικότερα κατά την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, η μείωση του ρυπαντικού φορτίου γίνεται με την απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών με τη βοήθεια διεργασιών όπως:

- η εσχάρωση,
- η απομάκρυνση άμμου,
- η κροκίδωση,
- η καθίζηση
- και η επίπλευση.

Σε γενικές γραμμές και επιγραμματικά, η διαδικασία της επεξεργασίας και παράλληλα της δημιουργίας ιλύος έχει ως εξής:

- Στη *βιολογική επεξεργασία* το διαλυμένο οργανικό και ανόργανο ρυπαντικό φορτίο μετατρέπεται σε αδιάλυτα στερεά, με τη μετατροπή της οργανικής ύλης μερικώς σε βακτηριακή μάζα
- Ενώ στη *φυσικοχημική επεξεργασία* με χημική καθίζηση. Η βακτηριακή μάζα απομακρύνεται με μεθόδους που απομακρύνονται τα αιωρούμενα στερεά που υπάρχουν στα απόβλητα, όταν εισρέουν σε μια ΜΕΥΑ. Στις περιπτώσεις των φυσικοχημικών μεθόδων προστίθενται χημικές ουσίες για τη μετατροπή των διαλυμένων ιόντων σε αδιάλυτα ιζήματα, για τη ρύθμιση του pH, για την υποβοήθηση των διαχωρισμών που γίνονται με καθίζηση, επίπλευση και διήθηση.

Στις Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, παράγονται βιοστερεά σε διαφορετικά σημεία της διαδικασίας. Βεβαίως είναι απαραίτητο τα βιοστερεά να υφίστανται επεξεργασία πριν τη διάθεσή τους στο περιβάλλον, επειδή περιέχουν σημαντικό μέρος του αρχικού φορτίου ρύπανσης που περιείχαν τα υγρά απόβλητα. Ένα ποσοστό του αρχικού φορτίου των βιοστερεών βρίσκεται στην αρχική μορφή, ενώ ένα άλλο παράγεται από τις φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες από τις οποίες συνέχεια παράγονται τα βιοστερεά.

Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή αν δεν πραγματοποιηθεί επεξεργασία και διατεθούν ανεπεξέργαστα στο περιβάλλον, η περιεχόμενη οργανική ύλη θα αποσυντεθεί, με αρνητικά αποτελέσματα, ανάλογα εκείνων που δημιουργούνται όταν διατίθενται ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα στο περιβάλλον. Επομένως, οι φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες απαλλάσσουν τα υγρά απόβλητα από το ρυπαντικό φορτίο τους, έχουν όμως ως αποτέλε-

σμα την παραγωγή ενός όγκου βιοστερεών πολύ μικρότερου από το αρχικό, με υψηλό όμως φορτίο ρύπανσης.

Στην πραγματικότητα, η επεξεργασία των βιοστερεών και η τελική διάθεση των σταθεροποιημένων βιοστερεών, αποτελούν σε πολλές περιπτώσεις τη βασική διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων. Για αυτό αποτελούν ένα πολύ σημαντικό τμήμα της διαδικασίας επεξεργασίας των Μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Σε αυτό συμφωνεί και το ότι το μισό κόστος κατασκευής των Μονάδων αυτών χρησιμοποιείται για την δημιουργία των εγκαταστάσεων επεξεργασίας των βιοστερεών.

Η επεξεργασία των βιοστερεών αποσκοπεί:

- α) στη μείωση του όγκου που στοχεύει στην ευκολότερη μεταφορά και τελική διάθεση
- β) και στη σταθεροποίηση, (που γίνεται με τη μείωση των βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών που περιέχουν τα βιοστερεά, αλλά και των παθογόνων μικροοργανισμών) που στοχεύει στην ασφαλέστερη τελική διάθεση.

Η μείωση των ογκωδών στερεών πραγματοποιείται με σχάρες ή τεμαχιστές, κονιορτοποιητές, πολτοποιητές και αλεστήρες. Τα τρία τελευταία παρουσιάζονται πλεονεκτήματα σε σχέση με τις σχάρες για το λόγο ότι ελαχιστοποιείται η ανάγκη για χειρισμό και διάθεση των εσχαρισμάτων.

ι.Οι σχάρες→ χρησιμοποιούνται ευρέως για το λόγο ότι υπάρχουν συσκευές διαφόρων τύπων, όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο(βλέπε σχήμα E.1). Στο στάδιο της προεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται κυρίως οι χονδρές σχάρες, ενώ τα άλλα είδη σχαρών χρησιμοποιούνται κυρίως σε επόμενα στάδια επεξεργασίας.



Σχήμα E.1. Τύποι σχαρών που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων

Μια σχάρα αποτελείται από παράλληλες ράβδους ή σύρματα, φράκτη, σύρματα για παγί-
δευση σε διάτρητο πιάτο. Τα ανοίγματα μπορούν να είναι οποιουδήποτε σχήματος αλλά
συνήθως χρησιμοποιούνται ανοίγματα ορθογώνιου ή τετράγωνου σχήματος. Οι συχνότερα
χρησιμοποιούμενοι τύποι χονδρών σχαρών παρουσιάζονται στον Πίνακα παρακάτω.

Τύπος Σχάρας	Περιγραφή
Σχάρα συγκράτησης ογκωδών αντικειμένων	Μέγεθος Ανοιγμάτων: (38-150 mm). Ειδικά σχεδιασμένη για την αποτροπή της είσοδου ογκωδών αντικειμένων (ξύλα, κούτσουρα, κλαδιά κ.λπ) στη μονάδα επεξεργασίας.
Χονδρή Σχάρα χειροκίνητου καθαρισμού	Μέγεθος Ανοιγμάτων: (30-50 mm). Ειδικά σχεδιασμένη για να απομακρύνει μεγάλου μεγέθους στερεά (π.χ. κουρέλια, θραύσματα). Οι ράβδοι τοποθετούνται υπό κλίση 30 - 45° από το κατακόρυφο επίπεδο για διευκόλυνση του καθαρισμού. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε παλιές μικρές μονάδες επεξεργασίας ή ως εφεδρικές σε μικρές ή μεγάλες μονάδες επεξεργασίας σε περιπτώσεις αστοχίας.
Χονδρή Σχάρα μηχανικού καθαρισμού	Μέγεθος Ανοιγμάτων: (6-38 mm). Ειδικά σχεδιασμένες για να απομακρύνουν μεγάλα στερεά. Οι ράβδοι τοποθετούνται υπό κλίση 0 -- 30° από το κατακόρυφο επίπεδο. Σχεδόν πάντα χρησιμοποιούνται σε νέες εγκαταστάσεις για το λόγο ότι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλου τύπου σχάρες.

Πίνακας Ε.1 Περιγραφή των χονδρών σχαρών(Δ. Φάττα et al., 2006)

Χονδρές Σχάρες Χειροκίνητου Καθαρισμού: Συνήθως χρησιμοποιούνται πριν από την είσοδο
του υγρού αποβλήτου σε αντλίες μικρών σταθμών άντλησης και στο στάδιο προεπεξεργα-
σίας σε μικρού - μεσαίου μεγέθους μονάδες επεξεργασίας. Επίσης χρησιμοποιούνται ως
εφεδρικές σε κανάλια παράκαμψης σε περιπτώσεις αυξημένων εκροών, σε περιπτώσεις συ-
ντήρησης των μηχανικών σχαρών και σε περιπτώσεις αστοχίας.

Χονδρές Σχάρες Μηχανικού Καθαρισμού: Υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι χονδρών σχα-
ρών μηχανικού καθαρισμού, (1) με αλυσίδες (chain-driven), (2) παλινδρομικής κτένας, (3)
με οδοντωτούς τροχούς (catenary) και (4) συνεχούς μάντα. Τα πλεονεκτήματα και τα μειο-
νεκτήματα του καθενός από τους παραπάνω τύπους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνα-
κα.

Τύπος Σχάρας	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Με αλυσίδες (Chain-driven)		
-καθαρισμός ανάντι της σχάρας/ επιστροφή προς τα πίσω	<ul style="list-style-type: none"> Τμήματα πολλαπλού καθαρισμού (μικρός κύκλος καθαρισμού) Χρησιμοποιούνται για βαριές εφαρμογές (heavy-duty applications) 	<ul style="list-style-type: none"> Η συσκευή έχει βυθιζόμενα κινούμενα τμήματα και για τον καθαρισμό/συντήρησή τους απαιτείται η αφαίρεση του νερού από το κανάλι Λιγότερο αποδοτική η απομάκρυνση των εσχαρισμάτων (μεταφορά εσχαρισμάτων πίσω στο υγρό απόβλητο)
-καθαρισμός ανάντι της σχάρας/ επιστροφή προς τα μπροστά	<ul style="list-style-type: none"> Τμήματα πολλαπλού καθαρισμού (μικρός κύκλος καθαρισμού) Μικρή μεταφορά εσχαρισμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Η συσκευή έχει βυθιζόμενα κινούμενα τμήματα και για τον καθαρισμό/συντήρησή τους απαιτείται αφαίρεση του νερού Υπάρχει κίνδυνος φραγής για τα βυθιζόμενα κινούμενα τμήματα (αλυσίδες, οδοντωτοί τροχοί, ράβδοι). Βαριά αντικείμενα μπορούν να προκαλέσουν σύνθλιψη της κτένας
-καθαρισμός κατόπι της σχάρας/ επιστροφή προς τα πίσω	<ul style="list-style-type: none"> Τμήματα πολλαπλού καθαρισμού (μικρός κύκλος καθαρισμού) Τα βυθιζόμενα μέρη (αλυσίδες, οδοντωτοί τροχοί, ράβδοι) προστατεύονται από σχάρα με ράβδους 	<ul style="list-style-type: none"> Η συσκευή έχει βυθιζόμενα κινούμενα τμήματα και για τον καθαρισμό/συντήρησή τους απαιτείται αφαίρεση του νερού Υπάρχει κίνδυνος σπασίματος των μακρών οδόντων της κτένας Μπορούν να πέσουν σχετικά εύκολα ζημιές κατά τη μεταφορά των εσχαρισμάτων
Παλινδρομικής κτένας	<ul style="list-style-type: none"> Δεν υπάρχουν βυθιζόμενα τμήματα και αυτό διευκολύνει τη συντήρηση/επισκευή Απομάκρυνση σκουπιδιών αντικειμένων (πχ. τούβλα/ελαστικά) Αποτελεσματικό «κτύπημα» και απομάκρυνση των εσχαρισμάτων Σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης Η κατασκευή από ανοξείδωτο ατσάλι περιορίζει τη φθορά Ποιότητα υψηλής ραψ 	<ul style="list-style-type: none"> Εάν δεν υπολογιστεί το ακριβές επίπεδο του νερού στο κανάλι υπάρχει πιθανότητα βύθισης των κινητήρα και διατάξεως της λειτουργίας του Απαιτείται μεγαλύτερο ελεύθερο ύψος σε σχέση με άλλες σχάρες Μεγάλος κίνδυνος καθαρισμού, περιορισμένη κοινότητα κτένας Η πιθανή συσσώρευση άμμου στο μπροστινό μέρος εμποδίζει την κίνηση της σχάρας Σχετικά υψηλό κόστος λόγω της κατασκευής από ανοξείδωτο ατσάλι
Με οδοντωτές τροχούς (catenary)	<ul style="list-style-type: none"> Οι οδοντωτοί τροχοί δεν είναι βυθισμένοι, οι περισσότερες απαιτήσεις για συντήρηση μπορούν να πραγματοποιηθούν πάνω από το επίπεδο λειτουργίας Το απαιτούμενο ελεύθερο ύψος (headroom) είναι σχετικά χαμηλό Τμήματα πολλαπλού καθαρισμού (μικρός κύκλος καθαρισμού) Χρησμός σκουπιδιών αντικειμένων Μικρή μεταφορά εσχαρισμάτων 	<ul style="list-style-type: none"> Οι αλυσίδες είναι πολύ βαριές και συνεπώς δύσκολες στο χειρισμό για να μπορούν οι αλυσίδες να σηκωθούν τόσο τις κτένες όσο και τις ράβδους. Λόγω της κλίσης της (45 to 75°) η σχάρα καταλαμβάνει μεγάλο χώρο Σε περίπτωση σύνθλιψης των κτενών μπορεί να πραγματοποιηθεί κακή ευθυγράμμιση και στρέβλωση Πιθανή εκπομπή αερίων λόγω του ανοικτού σχεδιασμού
Συνεχούς Ιμάντα	<ul style="list-style-type: none"> Οι περισσότερες απαιτήσεις για συντήρηση πραγματοποιούνται πάνω από το επίπεδο λειτουργίας Το σύστημα δε συνθλίβεται εύκολα 	<ul style="list-style-type: none"> Η επισκευή ή αντικατάσταση των τμημάτων της σχάρας είναι χρονοβόρα και δαπανηρή.

Πίνακας Ε.2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των διαφόρων τύπων σχαρών
(Δ. Φάττα et al., 2006)

ii. Οι Τεμαχιστές - Κονιορτοποιητές→ Οι κονιορτοποιητές χρησιμοποιούνται κυρίως σε μικρές μονάδες επεξεργασίας, δηλαδή μονάδες παροχής μικρότερης από 0.2 m³/s, για την επεξεργασία υλικών διαμέτρου 6-19 mm (WEF, 1998). Τα θρυμματισμένα υλικά παραμένουν στο υγρό απόβλητο και απομακρύνονται σε επόμενα στάδια επεξεργασίας. Ένας τυπικός κονιορτοποιητής αποτελείται από μία σταθερή οριζόντια σχάρα η οποία διακόπτει τη ροή και ένα περιστρεφόμενο ή ταλαντευόμενο πλέγμα με κοπτικούς οδόντες. Οι κοπτικοί οδόντες και οι ράβδοι αποκοπής τεμαχίζουν τα ογκώδη υλικά. Με τη χρήση των κονιορτοποιητών υπάρχει πιθανότητα συσσώρευσης των θρυμματισμένων υλικών. Συνεπώς αυτά θα πρέπει να συλλέγονται και να απομακρύνονται. Για την αποφυγή λειτουργικών προβλημάτων και για περιορισμό των απαιτήσεων συντήρησης στις σύγχρονες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται σχάρες ή πολτοποιητές.

iii. Οι Πολτοποιητές→ Πρόκειται για χαμηλής ταχύτητας αλεστές οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εγκαταστάσεις σωληνώσεων για το θρυμματισμό των στερεών, κυρίως πριν την άντληση των υγρών αποβλήτων ή της λάσπης. Επίσης χρησιμοποιούνται σε κανάλια μικρότερων μονάδων επεξεργασίας. Υπάρχουν δύο τύποι πολτοποιητών: 1. Δύο διατάξεις οι οποίες αποτελούνται από λεπίδες ή οδόντες και περιστρέφονται αντίθετα, τοποθετούνται κάθετα στο κανάλι ροής. Οι λεπίδες ή οι οδόντες στις περιστρεφόμενες διατάξεις είναι υψηλής ανθεκτικότητας ώστε να μπορούν να τεμαχίζουν το υλικό καθώς περνάει. Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται σε σωληνώσεις διαμέτρου 100-400 mm. 2. Το υγρό απόβλητο περνάει από μία κινούμενη σχάρα και τα εσχαρίσματα εκτρέπονται προς μία συσκευή άλεσης η οποία είναι τοποθετημένη σε μία από τις δύο πλευρές του καναλιού. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται σε μεγάλα κανάλια πλάτους 750-1800 mm και βάθους 750-2500 mm. Οι απώλειες σε αυτού του τύπου τις συσκευές παρουσιάζονται χαμηλότερες σε σχέση με αυτές των αντίθετα περιστρεφόμενων διατάξεων.

iv. Οι Αλεστές→ Πρόκειται για συσκευές υψηλής ταχύτητας στις οποίες καταλήγουν τα εσχαρίσματα. Αυτά τα υλικά τεμαχίζονται σε μια περιστρεφόμενη διάταξη υψηλής ταχύτητας από τις λεπίδες οι οποίες είναι τοποθετημένες σε περιστρεφόμενη διάταξη και περιέχονται σε σταθερό πλέγμα. Στη συσκευή χρησιμοποιείται νερό πλύσης για σκοπούς καθαρισμού και για να παρεμποδίζεται η μεταφορά υλικών πίσω στο επεξεργασμένο υγρό απόβλητο. Το σημείο εκκένωσης τοποθετείται πριν ή μετά τη σχάρα.

(Φαττά *et al.*, 2006)

Η επεξεργασία των βιοστερεών, όπως προαναφέρθηκε, εκτός από τη μείωση του όγκου αποσκοπεί και στη σταθεροποίηση.

Η ύπαρξη βιοαποδομήσιμων οργανικών στην ακατέργαστη ιλύ, προκαλεί ανεξέλεγκτη βιολογική δράση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία δυσοσμίας και ρύπανσης των υπογείων υδάτων κλπ. Η ιλύς από εγκαταστάσεις ενεργού ιλύος γίνεται προβληματική μετά από μία ημέρα, ενώ η πρωτοβάθμια ιλύς από την αρχή.

Βασικό στάδιο της επεξεργασίας των βιοστερεών αποτελεί η σταθεροποίηση της ιλύος, που πρακτικά σημαίνει την εξάντληση των βιολογικών διεργασιών που είναι δυνατό να λάβουν χώρα εξαιτίας της παρουσίας βιοαποδομήσιμων ουσιών που περιέχονται στην ιλύ.

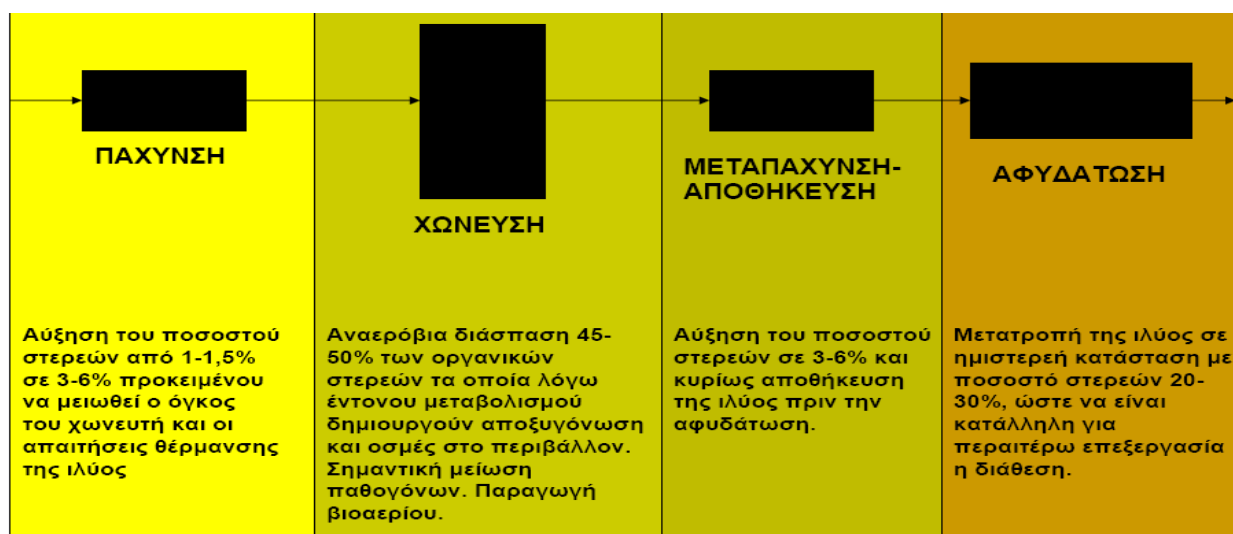
Η σταθεροποίηση της ιλύος μπορεί να γίνει με:

- βιολογικό τρόπο δηλαδή, με *χώνευση, ή κομποστοποίηση*.
- χημικό τρόπο, με ασβέστη,
- ή με άλλες μεθόδους όπως *ξήρανση και αποτέφρωση*

Η χώνευση μειώνει τις οργανικές ενώσεις και εξαλείφει την αρνητική οσμή. Πριν τη σταθεροποίηση της ιλύος προηγείται η πάχυνση της. Μετά τη σταθεροποίηση και πριν την τελική διάθεση της σταθεροποιημένης ιλύος, γίνεται αφυδάτωση η και ξήρανση για την ευκολότερη φόρτωση και μεταφορά της ιλύος και γενικά διαχείριση της. (βλ. το παρακάτω σχήμα)

Η επιλογή της τελικής επεξεργασίας της ιλύος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως :

- η ποιότητα της,
- οι δυνατότητες διάθεσης,
- η ποσότητα ιλύος,
- διαθέσιμος χώρος και χρόνος
- οι διαθέσιμοι οικονομικοί πόροι.
- και τον επιθυμητό όγκο της ανακυκλωμένης ιλύος



Σχήμα Ε.2. Μέθοδοι επεξεργασίας ιλύος

Έτσι οι συνήθεις μέθοδοι που εφαρμόζονται για την επεξεργασία της ιλύος αποσκοπούν στη μείωση της περιεκτικότητας της σε νερό, στον περιορισμό των διεργασιών ζύμωσης και στη μείωση της συγκέντρωσης της σε παθογόνα. Στον Πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας της ιλύος.

Βήμα	Τύπος Διεργασίας	Στόχος Διεργασίας
Τελικός καθαρισμός – Φινίρισμα	Χημικός καθαρισμός Φυσικός καθαρισμός - Θερμικός καθαρισμός - καθαρισμός πήξης - τήξης - μέθοδοι εφαρμογής ενέργειας με μηχανική, ηλεκτρική ή ακουστική ώθηση	1. Τροποποίηση στη δομή της ιλύος 2. Βελτίωση των υπολοίπων σταδίων επεξεργασίας
Πάχυνση	Πάχυνση με βαρύτητα Πάχυνση βαρύτητας με ιμάντα-Επίπλευση διαλυμένου αέρα Πάχυνση με φυγοκέντρωση Πάχυνση με περιστρεφόμενο τύμπανο	1. Επίτευξη επαρκούς πυκνότητας, αντοχής και περιεκτικότητας σε στερεά έτσι ώστε να είναι εφικτή η μετακίνησή της για περαιτέρω επεξεργασία ή διάθεση 2. Μείωση της περιεκτικότητας σε νερό της ιλύος

Αφυδάτωση	Στρώματα Ξήρανσης Φυγοκέντρωση Ζώνη διήθησης Πρέσα διήθησης Στρώματα με καλάμια Λίμνες Ξήρανσης	1. Μείωση της περιεκτικότητας σε νερό της ιλύος
Σταθεροποίηση	Βιολογικές διεργασίες - Αερόβια Χώνευση - Αναερόβια Χώνευση - Μακροχρόνια Αποθήκευση - Κομποστοποίηση Χημικές Διεργασίες - Επεξεργασία αλκαλικών - Επεξεργασία μη αλκαλικών χημικών Φυσικές Διεργασίες - Παστερίωση - Ακτινοβολήση	1. μείωση παθογόνων 2. περιορισμός οσμών 3. παρεμπόδιση / περιορισμός / ελαχιστοποίηση του δυναμικού σήψης
Ξήρανση με θερμότητα	Συστήματα άμεσης Ξήρανσης - Ξηραντής με λάμψη (Flash dryer) - Περιστροφικός Ξηραντής - Ξηραντής υγροποιημένου στρώματος Συστήματα έμμεσης Ξήρανσης - Συστήματα με αναδευτήρες - Συστήματα κοίλων περυγίων (Hollow flights systems) - Συστήματα Δίσκων	1. Περιορισμός της υγρασίας σε χαμηλότερα επίπεδα από αυτά που επιτυγχάνονται με τις μεθόδους αφυδάτωσης
Πρόσφατα Αναπτυσσόμενες Μεθόδους		
Υγρή Οξειδωση	- Μέθοδος VerTech - Μέθοδος Bayer-Loptox	1. Αύξηση της διαλυτότητας της οργανικής ύλης για αύξηση της βιοδιασπασιμότητας
Βιολογική Εξάτμιση	- Μέθοδος Βιολογικής εξάτμισης (BEVAP)	1. Απομάκρυνση υγρασίας από βιολογικά παραγόμενη θερμότητα
Αποσύνθεση	- Μηχανικές μέθοδοι - Θερμο-χημικές μέθοδοι - Βιολογικές Μέθοδοι	1. Διευκολύνει τη διαδικασία της υδρόλυσης και έτσι αυξάνεται ο ρυθμός χώνευσης

Πίνακας Π.3. Μέθοδοι Διαθέσιμοι για την επεξεργασία της ιλύος των υγρών αποβλήτων

(Δ. Φάττα *et al.*, 2006)

Γενικότερα οι διεργασίες που εφαρμόζονται για την επεξεργασία της ιλύος ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες:

1. conditioning
2. πάχυνση,
3. αφυδάτωση,
4. σταθεροποίηση,
5. κομποστοποίηση και
6. τελική διάθεση

Η διαδικασία επεξεργασίας της ιλύος είναι δυνατό να περιλαμβάνει μία ή να συνδυάζει περισσότερες της μίας διεργασίες. (Αγγελάκης *et al.*, 2004).

E.1.2 Conditioning

Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται πριν το διαχωρισμό στερεών – υγρών. Ο κύριος στόχος είναι η ενδυνάμωση του διαχωρισμού αυτού. Επιπρόσθετα η διαδικασία αυτή επηρεάζει το περιεχόμενο σε παθογόνους μικροοργανισμούς, περιορίζει τις οσμές και επιτρέπει την ευκολότερη μεταφορά της ιλύος για διάθεση / περαιτέρω επεξεργασία. Οι κυριότεροι τύποι conditioning είναι :**(α) το χημικό conditioning και (β) το φυσικό conditioning.**

Συχνότερα χρησιμοποιείται η μέθοδος του χημικού conditioning. Τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται μπορούν να είναι ανόργανα (σιδηρούχα άλατα, υδροξείδιο του ασβεστίου - lime), ή οργανικά υψηλού μοριακού βάρους. Συνδυασμός και των δύο πραγματοποιείται σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Συνδυάζοντας υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις (175–240°C και 1700- 2700 kPa αντίστοιχα), πραγματοποιούνται σημαντικές μεταβολές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες της οργανικής ιλύος. Αυτές οι μεταβολές φαινομενικά προκαλούνται από την αυξημένη κινητικότητα των κυττάρων και τη χημική υδρόλυση, με αποτέλεσμα να παράγεται αφυδατωμένη λάσπη. Σε χαμηλές θερμοκρασίες πραγματοποιείται ψύξη του υγρού με αποτέλεσμα να προκαλούνται μη αντιστρεπτές χημικές και δομικές μεταβολές. Ο βαθμός αφυδάτωσης αυξάνεται σημαντικά και πραγματοποιείται μερική καταστροφή των παθογόνων.

Στον Πίνακα E.4 παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διάφορων διαθέσιμων μεθόδων



Εικόνα E.1. Μονάδα Conditioning

(EU LEONARDO DA VINCI PROGRAMME, 2001)

Conditioning	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
ΧΗΜΙΚΟ		
Ανόργανα μέσα	<ul style="list-style-type: none"> - Ευσσωμάτωση ιλύος και παραγωγή μιας σχετικά πορώδους, ασυμπίεστης δομής. Πλεονεκτικότερη όταν η αφυδάτωση πραγματοποιείται με μηχανισμούς διήθησης. - Τα μέσα που χρησιμοποιούνται δεν είναι βιολογικά τοξικά. 	<ul style="list-style-type: none"> Δομή προκύπτουσας ιλύος: σχετικά χαμηλή αντίσταση διάτμησης (shear resistance), η οποία οδηγεί σε διάσπαση του συσσωματώματος εάν αυτό υπόκειται σε πλευρικές πιέσεις
Οργανικά μέσα	<ul style="list-style-type: none"> - Παραγωγή λείου και μαλακού υλικού ανθεκτικού στις δυνάμεις που εφαρμόζονται στις πρέσες διήθησης και στις φυγόκεντρους. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ακριβά αντιδραστήρια - Τα αντιδραστήρια μπορεί να είναι τοξικά για τα υδατικά συστήματα. - Κάποια πολυμερή υφίστανται μερική βιοαποδόμηση κάτω από αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες. - Κάποιοι τύποι κατιονικών πολυμερών συμβάλλουν στη δημιουργία οσμών.
ΦΥΣΙΚΟ		
Θερμικές	<ul style="list-style-type: none"> - Η επεξεργαζόμενη ιλύς δεν απαιτεί χημικό καθαρισμό. - Η διεργασία είναι σχετικά σταθερή: Επιτυγχάνονται τα ίδια αποτελέσματα για διαφορετική σύσταση ιλύος. - Κατάλληλη για αποτέφρωση ή κομποστοποίηση, λόγω των υψηλών επιπέδων θερμότητας. - Η επεξεργασμένη ιλύς είναι αποστειρωμένη και ελεύθερη από παθογόνα. 	<ul style="list-style-type: none"> - Απαιτείται η συναρμολόγηση σημαντικού αριθμού μηχανικών και υποστηριζόμενων τμημάτων → υψηλό κόστος - Υψηλή κατανάλωση ενέργειας - Απαιτείται σύστημα ελέγχου των οσμών για τα αέρια που εκλύονται από τις διεργασίες θερμικό καθαρισμό - Με τη διεργασία αυτή παράγονται οργανικά, αμμωνία και άζωτο
Πήξη - Τήξη	<ul style="list-style-type: none"> - Μπορεί να επιτευχθεί φυσική εφαρμογή πήξης - τήξης σε ψυχρότερες κλιματικές ζώνες. 	<ul style="list-style-type: none"> - Πρόκειται για μη οικονομική μέθοδο εάν απαιτείται ψύξη με μηχανικά μέσα (π.χ. με ψυγεία)
Εφαρμογή Υψηλής Ενέργειας	<ul style="list-style-type: none"> - Διευκολύνει την αφυδάτωση 	<ul style="list-style-type: none"> - Υψηλό κόστος

Πίνακας Ε.4. Σύγκριση Διεργασιών Τελικού Καθαρισμού – Φινιρίσματος (Φαττά et al., 2006).

Ε.1.3 ΠΑΧΥΝΣΗ

Σκοπός της πάχυνσης της ιλύος είναι η μείωση του όγκου της, που επιτυγχάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της και απομακρύνοντας μέρος του νερού που περιέχει και διενεργείται με ένα από τους παρακάτω τρόπους:

- (α) με βαρύτητα, (Παχυντές βαρύτητας)
- (β) Πυκνωτές Ζώνης με βαρύτητα
- (γ) με επίπλευση με αέρα
- (δ) με μηχανικά μέσα (Φυγόκεντροι)
- (ε) Περιστρεφόμενα τύμπανα (κάδοι)

Κάποιες άλλες διεργασίες όπως είναι η χώνευση, η αφυδάτωση, η αποσύνθεση και η καύση ωφελούνται από την πάχυνση για τους παρακάτω λόγους:

- (i) Δεν απαιτείται η χρήση δεξαμενών, ή άλλου εξοπλισμού, μεγάλης χωρητικότητας
- (ii) Κατά τη χώνευση δεν απαιτούνται μεγάλες ποσότητες θερμότητας
- (iii) Δεν απαιτείται η χρήση μεγάλων ποσοτήτων εφεδρικού καυσίμου για θερμική ξήρανση ή / και αποτέφρωση
- (iv) Απαιτείται περιορισμένη ποσότητα χημικών για τον τελικό καθαρισμό της ιλύος

Γενικότερα η μείωση του όγκου της ιλύος συνεπάγεται σημαντική μείωση του κόστους των μονάδων επεξεργασίας (όπως αύξηση της συγκέντρωσης της ιλύος από 1% σε 3% επιφέρει μείωση του όγκου της κατά 1/3) και παράλληλα αυξάνει την απόδοσή τους.

(α) Με βαρύτητα (Παχυντές βαρύτητας): Οι παχυντές βαρύτητας έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά με τις δεξαμενές καθίζησης, εκτός από το λόγο βάθος/διάμετρο, που είναι μεγαλύτερος. Η ιλύς τροφοδοτείται συνεχώς και καθώς αναμειγνύεται ελαφρά, γίνεται διάσπαση της μάζας από το δικτυωτό του σαρώθρου (ξέστρου) ή από ειδικές κατακόρυφες ράβδους και διανοίγονται έτσι κενά, που διευκολύνουν την άνοδο των υγρών, ενώ η συμπυκνωμένη ιλύς καθιζάνει με τη βαρύτητα. Παράλληλα σχηματίζεται ένα στρώμα ιλύος κοντά στον πυθμένα, όπου γίνεται συμπίεση και συμπύκνωση της ιλύος, ενώ στο πάνω μέρος συγκεντρώνεται σχετικά καθαρό υγρό και ενδιάμεσα, περιοχή τροφοδότησης, επικρατούν συνθήκες εμποδιζόμενης καθίζησης.

Τα υπερχειλίζοντα υγρά επιστρέφουν στην πρωτοβάθμια καθίζηση, ενώ η συμπυκνωμένη ιλύς οδηγείται από τον πυθμένα στη δεξαμενή χώνευσης ή σε άλλη μονάδα επεξεργασίας. Οι παχυντές βαρύτητας σχεδιάζονται και υπολογίζονται με βάση το υδραυλικό επιφανειακό φορτίο και το φορτίο στερεών, όπως και οι δεξαμενές καθιζήσεως (όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα).

Οι παχυντές με κανονικές συνθήκες λειτουργίας, μπορεί να απομακρύνουν περίπου μέχρι τα 95% των στερεών με εξαίρεση ίσως το μείγμα πρωτοβάθμιας και ενεργού ιλύος, για το οποίο είναι δύσκολο να εξασφαλισθεί η απόδοση αυτή. Το βάθος των παχυντών πρέπει να είναι αρκετό, ώστε να εξασφαλίζεται το απαραίτητο ύψος συμπίεσης, ο χώρος εμποδιζόμενης καθίζησης και το περιθώριο ασφαλείας για αποθήκευση της πυκνής ιλύος. Για αστικά υγρά απόβλητα συνήθως επιλέγεται βάθος από 3,0 έως 3,5m .

(Αγγελάκης et al., 2004)

Είδος ιλύος	Στερεά ιλύος %		Φόρτιση	
	Νωπή	Παχυνμένη	Φορτίο στερεών (kgSS/m ² d)	Επιφανειακό φορτίο (m ³ /m ² d)
1. Χωριστές ιλύες:				16,5-36.5 (0,70-1,50)
α. Πρωτοβάθμια	2,5-5,5	8-10	95-145	
β. Βιοφίλτρου	4-7	7-9	40-50	
γ. Παρατ. αερισμού	2-4	4,3-7,9	35-90	
δ. Ενεργός ιλύς	0,5-1,2	2,5-3,3	20-40	
2. Ανάμικτες ιλύες:				
α. Πρωτοβ. & βιόφιλτρο	3-6	7-9	55-95	
β. Πρωτοβ. & πα- ρατ.αερισμ.	3-4 2,6-4,8	8,3-11,6 4,6-9,0	55-95 40-80	

Πίνακας Ε.5. Χαρακτηριστικά ιλύος και φορτία μηχανικών παχυντών βαρύτητας
(Αγγελάκης et al., 2004)

(β) Πυκνωτές Ζώνης με βαρύτητα: Για ιλύ στερεής περιεκτικότητας μικρότερη από 2%, η αποτελεσματική πάχυνση εξαρτάται από το τμήμα ξήρανσης με βαρύτητα. Η πάχυνση πραγματοποιείται σε μία μακριά ζώνη διήθησης σε τρία στάδια: τελικός καθαρισμός- φινίρισμα, ξήρανση με βαρύτητα και συμπίεση. Η συσσωματωμένη ιλύς τροφοδοτείται στον κινούμενο ιμάντα. Κατά την κίνηση του υγρού αποβλήτου το νερό περνά από τις ίνες της ζώνης. Η ιλύς υφίσταται επιπρόσθετη πάχυνση καθώς συσσωρεύεται προς το σημείο εκκένωσης του μηχανισμού. Η ζώνη ξεπλένεται συνεχώς από ένα σταθμό πλύσης με υψηλή πίεση. Με την προσθήκη πολυμερών στην ιλύ επιτυγχάνεται αυξημένη πάχυνση της ιλύος. Η προσθήκη πολυμερών εφαρμόζεται για όλους τους τύπους ιλύος υγρών αποβλήτων.

(Φαττά et al., 2006)

(γ) Παχυντές με επίπλευση: Οι ίδιοι νόμοι ισχύουν κατά το διαχωρισμό των αιρουμένων στερεών με επίπλευση και κατά την μέθοδο της καθίζησης, αλλά σε αντίστροφο δυναμικό πεδίο. Η απόδοση του συστήματος επίπλευσης είναι πιο ομοιόμορφη και μεγαλύτερη, όσο οι φυσαλίδες είναι μικρότερες, επειδή εξαιτίας της μικρής ανοδικής ροής διασκορπίζονται με την οριζόντια κύηση σ' ολόκληρη την έκταση της δεξαμενής. Εξάλλου οι φυσαλίδες είναι αποτελεσματικές, μόνο αν προσκολλώνται στα αιωρούμενα σωματίδια (μικρές φυσαλίδες), ενώ αντίθετα οι μεγάλες προκαλούν στροβιλισμούς και παρεμποδίζουν το δια-

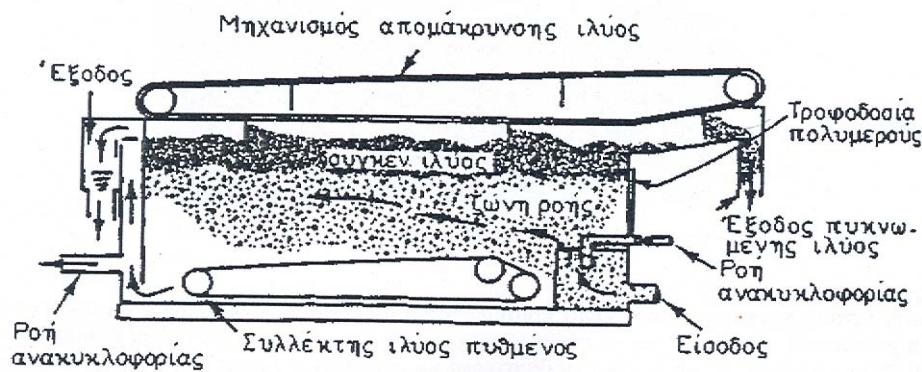
χωρισμό των μορίων εξαιτίας σημαντικής ταχύτητας ανοδικής ροής. Έτσι λοιπόν η διαδικασία έχει ως εξής, ο αέρας εισάγεται σε ένα διάλυμα το οποίο διατηρείται σε συνθήκες υψηλής πίεσης. Όταν το διάλυμα αποσυμπιέζεται, ο διαλυμένος αέρας απελευθερώνεται υπό τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Οι φυσαλίδες μεταφέρουν την ιλύ στο πάνω μέρος από το οποίο απομακρύνεται. Όταν υπάρχει πρόβλημα ψύξης ή παραγωγής οσμών, τότε οι πυκνωτές τοποθετούνται εντός κτηριακής εγκατάστασης. Η πύκνωση με επίπλευση είναι αποδοτικότερη για ιλύ παραγόμενη από βιολογικές μεθόδους επεξεργασίας αιρούμενης ανάπτυξης (π.χ. διεργασίες με ενεργό ιλύ ή νιτροποίηση με αιωρούμενη ανάπτυξη). Η μέθοδος αυτή της πάχυνσης με επίπλευση έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα: (α) απαιτεί μικρότερη επιφάνεια και όγκο σε σχέση με τη πάχυνση βαρύτητας και (β) είναι αποδοτικότερη για ιλύες με κολλοειδή χαρακτηριστικά (ενεργός ιλύς). Η απόδοση λοιπόν είναι υψηλότερη σε σχέση με τους πυκνωτές βαρύτητας αλλά η μέθοδος είναι περισσότερο δαπανηρή. Η απομάκρυνση των στερεών η οποία επιτυγχάνεται με τη μέθοδο εξαρτάται κυρίως από το λόγο αερίων/στερεών από τα χαρακτηριστικά της ιλύος, από το ρυθμό φόρτισης των στερεών και την προσθήκη πολυμερών.

Κυρίως η πάχυνση με επίπλευση χρησιμοποιείται στην ενεργό ιλύ και δίνει πυκνή υλύ με 4% περίπου στερεά και απομάκρυνση 85% των στερεών, χωρίς χρήση βοηθητικών χημικών. Σε περίπτωση μείγματος πρωτοβάθμιας και ενεργού ιλύος η πυκνότητα των στερεών κυμαίνεται από 6 έως 8%. Η χρησιμοποίηση χημικών ουσιών (πολυηλεκτρολυτών), ως βοηθητικών της επίπλευσης, δεν αυξάνει πάντοτε την πυκνότητα των στερεών, αλλά κυρίως το ποσοστό που απομακρύνεται με την επιπλέουσα ιλύ (98-99%).

Όσον αφορά την επίπλευση γίνεται με:

- (i) διασκορπισμό αέρος, συνήθως με διάχυτες,
- (ii) διάλυση αέρα υπό πίεση και στη συνέχεια έκλυση του αέρα,
- (iii) έκλυση αέρα υπό κενό
- (iv) και παραγωγή αερίου με βιολογικό τρόπο.

Συμπερασματικά, όσον αφορά τις μεθόδους επίπλευσης η περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος είναι αυτή του διαλυμένου αέρα (η οποία φαίνεται στο παρακάτω σχήμα). Η πάχυνση με επίπλευση βρίσκει εφαρμογή στην πάχυνση της ενεργού ιλύος. Η ευκολία με την οποία η ενεργός ιλύς συμπυκνώνεται, καθώς και η τελική συγκέντρωση στερεών που επιτυγχάνεται, εξαρτώνται από την ηλικία της ιλύος.



Σχήμα Ε.3. Λειτουργία μονάδας επίπλευσης διαλυμένου αέρα

(Αγγελάκης et al., 2004)

Η λειτουργία των μονάδων επίπλευσης εξαρτάται από ορισμένες παραμέτρους όπως την πίεση, την σχέση ανακύκλωσης, την συγκέντρωση στερεών στην τροφοδοσία, τον χρόνο παραμονής, τις σχέσεις αέρα /στερεών και τα χαρακτηριστικά ιλύος. Τα χαρακτηριστικά των παχυντών επίπλευσης φαίνονται στον Πίνακα. (Αγγελάκης et al., 2004)

Παράμετρος	Μονάδες	Τιμές
(α)Φόρτιση στερεών		
(i) Μικτό υγρό	kgSS/m ² .h	1-3
(ii) Ενεργός ιλύς	kgSS/m ² .h	2-4
(iii) Πρωτοβαθ. και ενεργός (ανά 50%)	kgSS/m ² .h	4-8
(iv) Πρωτοβάθμια ιλύς (μόνο)	kgSS/m ² .h	<11
(β)Επιφανειακή υδραυλική φόρτιση	m ³ /m ² .h	1-3
(γ)Συγκέντρωση της επιπλέουσας ιλύος		
(i) Ενεργός	gr SS/L	30-50
(ii) Πρωτοβάθμια και ενεργός	gr SS/L	50-70
(δ)Πάχος επιπλέουσας ιλύος	cm	20-50

Πίνακας Ε.6. Χαρακτηριστικά παχυντών

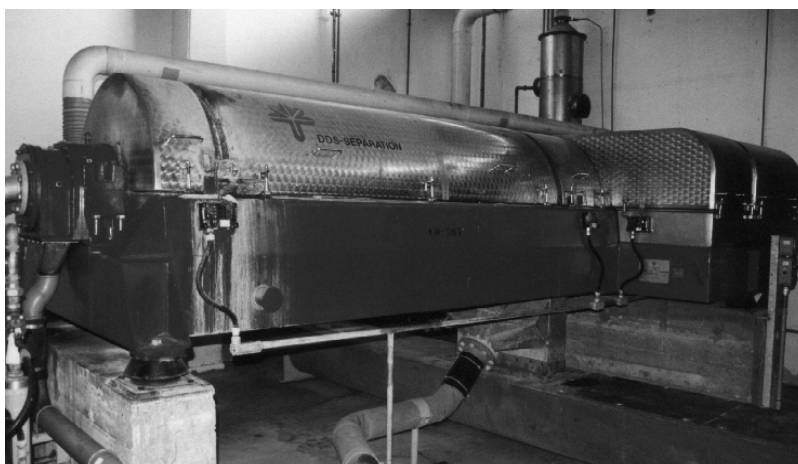
(Αγγελάκης et al., 2004)

(δ) με μηχανικά μέσα (Φυγόκεντροι): Σε γενικές γραμμές το σχέδιο απομάκρυνσης νερού σε εγκαταστάσεις λάσπης απαιτεί μια συστηματική ανάλυση όλων των επιλογών διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένων των χαρακτηριστικών λάσπης και των διάφορων μεταβλητών. Δύο είναι κύριοι τύποι αφυδάτωσης της λάσπης που πρέπει να αναφερθούν: μηχανικοί και φυσικοί.

Οι Φυγόκεντροι χρησιμοποιούνται τόσο για πάχυνση όσο και για αφυδάτωση. Η πάχυνση εφαρμόζεται μόνο για την ενεργό ιλύ των αποβλήτων. Η καθίζηση των σωματιδίων ιλύος πραγματοποιείται υπό την επίδραση φυγόκεντρων δυνάμεων. Ο τύπος φυγόκεντρου που χρησιμοποιείται συχνότερα αποτελείται από ένα δοχείο στερεάς μορφής (solid bowl). Συ-

νήθως δεν απαιτείται η προσθήκη πολυμερών, αλλά το σύστημα χρειάζεται συχνή συντήρηση. Το κόστος λειτουργίας είναι επίσης σημαντικό. Και επιπλέον η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για εγκαταστάσεις με παροχή μεγαλύτερη από 0,2 m³s, σε περιπτώσεις όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, όπου υπάρχει έμπειρο προσωπικό ή όταν είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί πάχυνση με τους παραδοσιακούς τρόπους.

(Φαπτά et al., 2006)



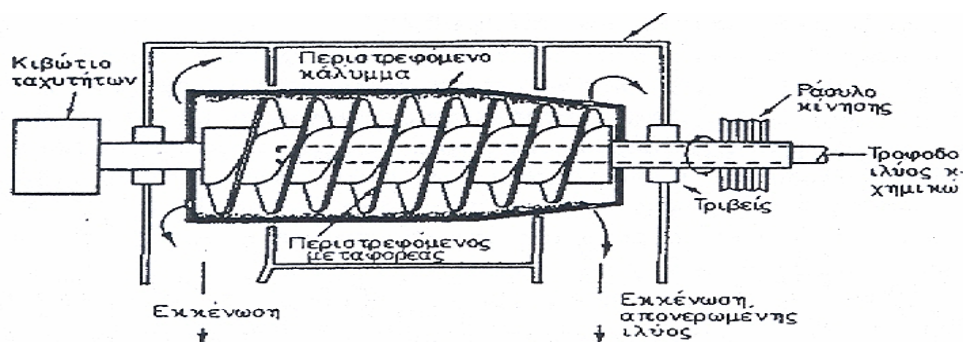
Εικόνα Ε.2. Μηχανική αφυδάτωση με φυγόκεντρο

(M. Salgot et al., 2001)

Όσον αφορά τη διαδικασία αφυδάτωσης με φυγόκεντρο είναι παρόμοια με τη διαδικασία ενός παχυντή βαρύτητας. Εντούτοις, ένας φυγοκεντρωτής χρησιμοποιεί τη φυγοκεντρική δύναμη μεταξύ 500 - 3.000 φορές σε σύγκριση με αυτή της δύναμης της βαρύτητας. Σε συγκεντρώσεις υψηλές, της τάξεως του 40% σε στερεά μπορεί να επιτευχθεί αφυδάτωση όμως με παροχή αρκετής δόσης πολυμερών. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται ένα σύστημα μηχανικής αφυδάτωσης με φυγόκεντρο.

Ο φυσικός μηχανισμός της φυγοκέντρου δύναμης που λειτουργεί στα στερεά της ιλύος αρχικά τα διαχωρίζει από το υγρό και έπειτα τα συμπυκνώνει. Στην περίπτωση αυτής της μεθόδου η ιλύς τοποθετείται σε περιστρεφόμενο θάλαμο. Μία φυγόκεντρος συνεχούς λειτουργίας παρουσιάζεται στο Σχήμα παρακάτω. Τα χαρακτηριστικά της φυγοκέντρου αυτής είναι το περιστρεφόμενο κέλυφος και το σύστημα προώθησης και εκκένωσης των στερεών που καθιζάνουν. Με την περιστροφή του αιωρήματος της ιλύος, που προκαλείται εξαιτίας της περιστροφής του καλύμματος, εφαρμόζονται υψηλές δυνάμεις και έτσι, επιταχύνεται η πάχυνση της ιλύος. Στις φυγόκεντρους αυτές η τροφοδοσία γίνεται αξονικά από το ένα άκρο. Στο άλλο άκρο λαμβάνεται η υγρή φάση, ενώ από την πλευρά της τροφοδοσίας

λαμβάνεται η παχυμένη ιλύ, που την προωθεί στο σύστημα μεταφοράς της στερεάς φάσης.



Σχήμα Ε.5. Φυγόκεντρος συνεχούς λειτουργίας

(Αγγελάκης *et al.*, 2004)

(ε) Περιστρεφόμενα τύμπανα (κάδοι) : Το σύστημα αποτελείται από ένα τμήμα τελικού καθαρισμού-φινιρίσματος (στο οποίο περιλαμβάνεται σύστημα τροφοδοσίας πολυμερών) και από περιστρεφόμενες κυλινδρικές σχάρες. Μετά την προσθήκη των πολυμερών και την ανάμιξη τους με τη διαλυμένη ιλύ, η ιλύς περνά στα περιστρεφόμενα τύμπανα σχαρών όπου τα συσσωματωμένα στερεά διαχωρίζονται από το σώμα του νερού. Το διαχωρισμένο νερό περνά από τη σχάρα ενώ η παχυμένη ιλύς περιστρέφεται μέχρι να φτάσει στο άκρο του τυμπάνου. Τα περιστρεφόμενα τύμπανα χρησιμοποιούνται σε μικρού έως μέσου μεγέθους μονάδες για ιλύ προερχόμενη από τις διεργασίες ενεργού ιλύος. Αποτελούν δε συνήθως ένα στάδιο προ-πάχυνσης πριν τη μέθοδο αφυδάτωσης με ζώνη διήθησης ή πρέσα. Στον Πίνακα γίνεται σύγκριση των διάφορων μεθόδων πάχυνσης.

Πάχυνση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πάχυνση με βαρύτητα	- Εύκολη διεκπεραίωση με καλά αποτελέσματα - Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας - Χαμηλό κόστος επένδυσης	- Χαμηλή απόδοση αναφορικά με τη βιολογική ιλύ - Μπορεί να προκαλέσει δυσοσμία
Πυκνωτές ζώνης με βαρύτητα	- Εύκολη διεκπεραίωση με καλά αποτελέσματα	- Απαιτεί πολυάριθμο εργατικό δυναμικό - Κατανάλωση καθαρού νερού - Απαιτείται η προσθήκη πολυμερών
Επίπλευση με διαλυμένο αέρα	- Εύκολη διεκπεραίωση με καλά αποτελέσματα - Απαιτείται μικρή έκταση γης	- Το σύστημα δεν είναι ευέλικτο - Υψηλή κατανάλωση ενέργειας
Φυγόκεντρος Πάχυνση	- Καλά αποτελέσματα	- Μπορεί να απαιτείται προσθήκη πολυμερών - Υψηλό κόστος συντήρησης - Υψηλή απαίτηση σε ενέργεια
Πάχυνση με περιστρεφόμενο τύμπανο	- Καλά αποτελέσματα	- Περιορισμένη χρήση - Επιτακτική προσθήκη πολυμερών

Πίνακας Ε.7. Σύγκριση μεθόδων πάχυνσης (Δ. Φάττα et al., 2006)

Ε.1.4 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ

Η αφυδάτωση πραγματοποιείται μετά τη διεργασία της πάχυνσης. Κατά τη διεργασία αυτή μειώνεται ακόμη περισσότερο η περιεκτικότητα της ιλύος σε νερό. Το ξηρό τμήμα της αφυδατωμένης λάσπης καταλαμβάνει ποσοστό μέχρι και 30%.

Η μέθοδος της αφυδάτωσης παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. Σημαντική μείωση του κόστους χειρισμού της ιλύος λόγω της μείωσης του όγκου.
2. Ο χειρισμός της αφυδατωμένης λάσπης είναι ευκολότερος.
3. Η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμομαντικής αξίας, απαραίτητη πριν τη διεργασία της αποτέφρωσης.
4. Η απομάκρυνση της περίσσειας υγρασίας μπορεί να συνδυαστεί και με τον περιορισμό των οσμών.
5. Η αφυδάτωση απαιτείται πριν τη διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ και των βιοστερεών σε ειδικούς χώρους ταφής. Έτσι περιορίζεται η ποσότητα των στραγγισμάτων.

Η αφυδάτωση γίνεται είτε με φυσική εξάτμιση και αποστράγγιση του νερού της ιλύος (σε κλίνες και λίμνες ξήρανσης) ή με διάφορα μηχανικά μέσα (φυγόκεντρωση, διηθητικά φίλτρα). Αναλυτικότερα η αφυδάτωση πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

(α) Στρώματα ξήρανσης: Πρόκειται για μία από τις απλούστερες τεχνικές αφυδάτωσης της ιλύος. Χρησιμοποιείται κυρίως όταν υπάρχει διαθέσιμη μεγάλη έκταση γης και όπου το τοπικό κλίμα ευνοεί την εφαρμογή (η τεχνική είναι χαμηλότερης απόδοσης σε ψυχρά κλί-

ματα). Υπάρχουν πέντε τύποι στρωμάτων ξήρανσης. Αυτοί είναι (i) άμμου (συμβατικός), (ii) ηλιακός, (iii) με επίστρωση της ιλύος (κλίνες ξήρανσης) (iv) τεχνητού μέσου και (v) κενού

Όσον αφορά στην Ελλάδα οι κλίνες ξήρανσης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα για την αφυδάτωση της ιλύος σε μονάδες. Τα τελευταία έτη όμως η εφαρμογή τους τείνει να εγκαταλειφθεί. Οι κλίνες ξήρανσης είναι διατάξεις, όπου γίνεται συγχρόνως διήθηση και εξάτμιση του περιεχόμενου νερού.

Οι βασικοί μηχανισμοί αφυδάτωσης στις κλίνες ξήρανσης είναι δύο:

- (1) Διήθηση του νερού της ιλύος μέσα στις κλίνες** που διαρκεί περίπου 1-3 ημέρες και έχει ως αποτέλεσμα συγκεντρώσεις στερεών 15-25%. Το ποσοστό του νερού που απομακρύνεται με διήθηση είναι 20-55% του συνολικού και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της ιλύος και κυρίως τη συγκέντρωσή της.
- (2) Εξάτμιση του νερού**, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και την ταχύτητα των ανέμων της περιοχής και αποτελεί μια διαδικασία με ρυθμό μικρότερο από αυτόν της διήθησης.

Η απόφαση για τη χρήση των κλινών ξήρανσης της ιλύος βασίζεται σε διάφορους παραμέτρους, όπως:

- η μεγάλη επιφάνεια που απαιτείται και επομένως το κόστος γης,
- οι κλιματολογικές συνθήκες, όπως είναι ξηρά κλίματα με λίγες βροχοπτώσεις και
- το εργατικό κόστος, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που η συλλογή της αφυδατωμένης ιλύος γίνεται χειρωνακτικά.

Η φυσική αφυδάτωση της ιλύος με τις κλίνες ξήρανσης πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τις ορθά σταθεροποιημένες ιλύες, που είναι η χωνευμένη ιλύς ή η ιλύς μετά από παρατεταμένο αερισμό. Ο χρόνος ξήρανσης της ιλύος κυμαίνεται από τρεις εβδομάδες μέχρι ενάμιση μήνα και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες. Συνήθως εφαρμόζεται ένα στρώμα ιλύος από 30 έως 40 cm. Η αφυδάτωση γίνεται αρχικά με το στράγγισμα και στη συνέχεια με την ατμοσφαιρική ξήρανση. Το περιεχόμενο της αφυδατωμένης ιλύος σε στερεά κυμαίνεται από 40 έως 60%.

Η τελική συγκέντρωση της ιλύος εξαρτάται από τον τρόπο απομάκρυνσης της από τις κλίνες. Η υφή της πρέπει να είναι τέτοια, που να επιτρέπει την εύκολη απομάκρυνση της είτε χειρωνακτικά είτε με μηχανικά μέσα. Στην πρώτη περίπτωση, που είναι και η πιο συνηθισμένη, απαιτείται συγκέντρωση στερεών από 30 - 40%, που επιτυγχάνεται κάτω από συ-

νηθισμένες συνθήκες σε 15 περίπου ημέρες. Εάν χρησιμοποιούνται μηχανικά μέσα απομάκρυνσης, στερεά με συγκέντρωση από 20 έως 30%, είναι εύκολα μετακινήσιμα

Τα βασικά πλεονεκτήματα των κλινών ξήρανσης είναι το χαμηλό αρχικό κόστος (όταν υπάρχει διαθέσιμη γη), η απλή λειτουργία, η πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας, το ότι η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται από μεταβολές των χαρακτηριστικών της ιλύος, το ότι δεν απαιτούν συνήθως πρόσθεση χημικών και το ότι μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αφυδατωμένης ιλύος από ότι στις μηχανικές μεθόδους.

Τα βασικά μειονεκτήματα τους είναι η έλλειψη επαρκών στοιχείων για τον ορθολογικό σχεδιασμό και πλήρη τεχνικοοικονομική ανάλυση τους, η περιορισμένη εφαρμογή τους μόνο για σταθεροποιημένες ιλύες (εξαιτίας της δημιουργίας οσμών), η δημιουργία αισθητικών προβλημάτων σε κατοικημένες περιοχές, οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε επιφάνεια σε σχέση με τις μηχανικές μεθόδους και η επίπονη εργασία που απαιτείται για την απομάκρυνση της αφυδατωμένης ιλύος.

Οι κλίνες ξήρανσης έχουν ευρύτατη εφαρμογή για διάφορα είδη ιλύος και είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για μικρές εγκαταστάσεις ή γενικά όπου δεν υπάρχει πρόβλημα χώρου και αισθητικής. Και αυτό είναι εμφανές και στην επόμενη εικόνα που φαίνονται κλίνες ξήρανσης ιλύος.



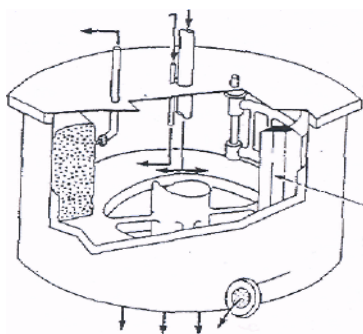
Εικόνα. Ε.3. α) Κλίνες αποξήρανσης ιλύος (Αγγελάκης et al., 2004) β) Σύστημα κλινών ξήρανσης με καλάμια που καθιερώθηκε τον Οκτώβριο του 1996 στη Δανία (S. Nielsen et al.)

(β)Αφυδάτωση με μηχανικά μέσα: Η αφυδάτωση της ιλύος με μηχανικά μέσα είναι πολύ διαδεδομένη και βασίζεται στους δύο παρακάτω φυσικούς μηχανισμούς:

(1) Φυγόκεντρος δύναμη. Πρόκειται για μηχανική διεργασία κατά την οποία εφαρμόζεται φυγόκεντρική δύναμη για το διαχωρισμό της παχυμένης ιλύος από τη φυγόκεντρο. Η

μέθοδος παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα όπως είναι το μικρό μέγεθος της, η υψηλή της απόδοση, και η απλή λειτουργία της. Συνήθως χρησιμοποιούνται συστήματα τύπου solid bowl ή τύπου basket. Η μέθοδος επιτυγχάνει αύξηση της ξηρής ύλης κατά 15-25%. Εάν χρησιμοποιείται φυγόκεντρος υψηλής απόδοσης η ξηρή ύλη αυξάνεται κατά επιπλέον 5%. Στην περίπτωση αυτή η ιλύς τοποθετείται σε περιστρεφόμενο θάλαμο. Με την επίδραση της τα στερεά της ιλύος διαχωρίζονται από το υγρό και συμπυκνώνονται.

Η φυγοκέντρωση αναφέρεται παραπάνω ως εφαρμογή για την πάχυνση. Ομοίως χρησιμοποιείται και για την αφυδάτωση. Παρόλο που στην αρχή ο τύπος αυτός (φυγόκεντρο) εφαρμόστηκε για εύκολα αφυδατώσιμες ιλύες, οι συνεχείς βελτιώσεις στον σχεδιασμό της καθώς και η χρήση πολυηλεκτρολυτών την καταστούν κατάλληλη για μεγάλες¹, ποικιλίες ιλύος. Ένας άλλος τύπος είναι η φυγόκεντρος τύπου κάδου. Αποτελείται από περιστρεφόμενο τύμπανο στις ' πλευρές του οποίου συσσωρεύονται και απομακρύνονται τα στερεά (Σχ. 9.11). Δεν είναι συνεχούς λειτουργίας, αλλά λειτουργεί σε κύκλους που καθορίζονται από την συσσώρευση των στερεών.



Σχήμα Ε.6. Φυγόκεντρος τύπου κάδου.

(Αγγελάκης et al., 2004)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της συνολικά, είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για πάχυνση της ιλύος, δεν απαιτεί πάντοτε πρόσθεση χημικών, είναι προσαρμόσιμη σε διάφορες απαιτήσεις απόδοσης, δεν επηρεάζεται από την παρουσία άμμου, έχει χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης, δεν χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση, έχει σχετικά απλή λειτουργία και είναι ιδιαίτερα αποδοτική για δύσκολα αφυδατώσιμες ιλύες. Τα βασικά μειονεκτήματα της είναι ότι απαιτεί ειδική κατασκευή υποστήριξης, καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου ιλύος (εκτός από τα φίλτρα κενού), έχει περιορισμένη δυνατότητα από άποψη ποσότητας, αποδίδει συγκριτικά χαμηλές συγκεντρώσεις αφυδατωμένης ιλύος και για εύκολα αφυδατώσιμες ιλύες έχει το υψηλότερο αρχικό κόστος ανά μονάδα όγκου.

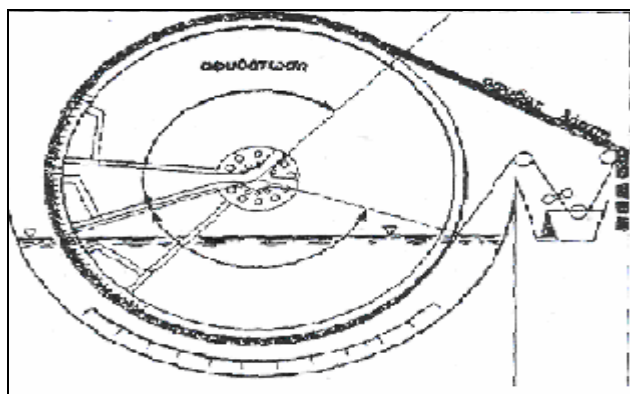
Οι φυγόκεντροι τύπου κάδου είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για μικρές εγκαταστάσεις που δεν έχουν προκαταρκτική ή πρωτοβάθμια επεξεργασία, εξαιτίας της ευελιξίας τους. της απλότητας και του χαμηλού κόστους λειτουργίας και συντήρησης τους.

Εκτός από την περιγραφείσα φυγόκεντρο, υπάρχουν και φυγόκεντροι με δίσκους που λειτουργούν με κατακόρυφη τροφοδοσία. Στην τροφοδοσία της φυγόκεντρη είναι δυνατόν να προστίθενται χημικά για την υποβοήθηση της αφυδάτωσης

(2) Διήθηση. Κατά τη μέθοδο της διήθησης η ιλύς τοποθετείται επάνω σε ένα διηθητικό μέσο και δημιουργείται μία διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο πλευρών του μέσου, που οδηγεί το νερό μέσα από αυτό και τα στερεά παραμένουν επάνω από αυτό. Η διαφορά πίεσης μπορεί να εφαρμοστεί με τη δημιουργία κενού, με την αύξηση της πίεσης μεγαλύτερης της ατμοσφαιρικής και με την χρήση βαρύτητας στην μία πλευρά του μέσου. Βασικό χαρακτηριστικό της μηχανικής αφυδάτωσης είναι η χρήση χημικών ουσιών, που αυξάνει την απόδοση της με την υποβοήθηση της συσσωμάτωσης των **στερεών και την ευκολότερη δημιουργία ενός αφυδατωμένου τελικού προϊόντος. Οι χημικές ουσίες, που χρησιμοποιούνται είναι ανόργανες (FeCl₃, CaO) ή οργανικές (πολυηλεκτρολύτες).** που τα τελευταία έτη έχουν μεγάλη εφαρμογή.

Η αφυδάτωση με διήθηση. Στην αφυδάτωση με διήθηση περιλαμβάνονται τα φίλτρα κενού, οι ταινιοφιλτρόπρεςσες και τα φίλτρα πίεσης.

(i) Φίλτρα κενού. Τα φίλτρα κενού αποτελούνται από περιστρεφόμενο τύμπανο που είναι μερικά βυθισμένο στην ιλύ που πρόκειται να αφυδατωθεί. Με τη δημιουργία κενού τα στερεά της ιλύος προσκολλούνται στο τύμπανο, το νερό διηθείται, με την περιστροφή επέρχεται παραπέρα αφυδάτωση και ακολουθεί απομάκρυνση των στερεών με ξέστρο. (Σχ. 9.12). Τα βασικά πλεονεκτήματα των φίλτρων κενού είναι ότι δεν απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό, απαιτούν περιορισμένη συντήρηση, κυρίως όταν η λειτουργία είναι συνεχής και δίνουν διήθημα με χαμηλή συγκέντρωση στερεών. Τα βασικά μειονεκτήματα τους είναι ότι καταναλώνουν την υψηλότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου ιλύος, απαιτούν συνεχή παρακολούθηση και ο βοηθητικός εξοπλισμός τους (όπως είναι οι αντλίες) είναι συχνά θορυβώδης.



Σχήμα Ε.7. Φίλτρο Κενού
(Αγγελάκης et al., 2004)

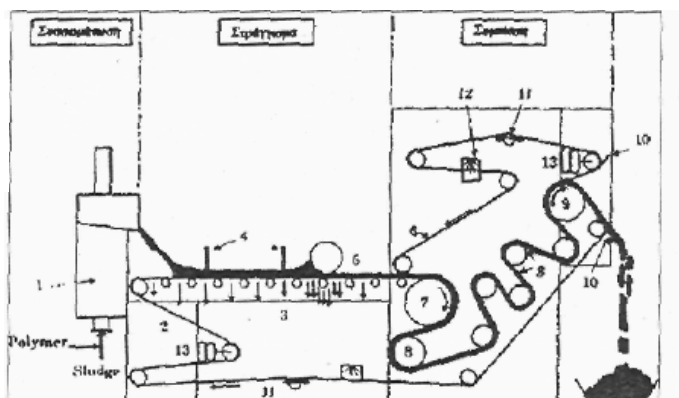
(ii) Ταινιοφιλτρόπρεςσες. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα αφυδάτωσης (30-45%). Οι πρέσες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι τύπου πιάτου ή τύπου πλαισίου. Οι συμβατικές φιλτρόπρεςσες αποτελούνται από σειρές κατακόρυφων πιάτων μεταξύ των οποίων η ιλύς εισάγεται υπό πίεση. Προτού τα πιάτα διαχωριστούν, πραγματοποιείται ξεχωριστή συλλογή του διηθήματος και της συμπαγούς μάζας. Για τη βελτίωση του ρυθμού αφυδάτωσης τοποθετούνται μεμβράνες μεταξύ των πιάτων οι οποίες πληρώνονται με νερό.

Ένα αρχικό polishing επιτυγχάνεται συνήθως με τη χρήση αλάτων ή υδροξειδίου του ασβεστίου. Συχνότερα χρησιμοποιούνται οι πρέσες τύπου πιάτου οι οποίες είναι σταθερού ή μεταβλητού όγκου.

Στις ταινιοφιλτρόπρεςσες, αναλυτικότερα η διαδικασία έχει ως εξής : η προς αφυδάτωση ιλύς τροφοδοτείται στην ταινία διήθησης και στην αρχή της διάταξης γίνεται στράγγισμα

της ιλύος (στο Σχ. που ακολουθεί). Στη συνέχεια η ιλύς συμπίεζεται από την ταινία συμπίεσης που κινείται με την ίδια ταχύτητα και προς την ίδια κατεύθυνση με την ταινία διήθησης. Ο βαθμός συμπίεσης ρυθμίζεται με ράουλα, που πιέζουν την ταινία πίεσης επάνω στην ιλύ και την ταινία διήθησης. Στο τρίτο τμήμα της διάταξης εφαρμόζεται διάτμηση για την περαιτέρω αφυδάτωση και τη θραύση του πλακούντα που έχει δημιουργηθεί. Αυτό γίνεται με την τοποθέτηση των ράουλων πίεσης και στήριξης έτσι που να αναγκάζεται η ταινία να διαγράφει ελαφρά ένα "S". Υπάρχουν πολλές παραλλαγές στο σχεδιασμό της ταινιοφιλτρόπρεσσας, βασιζόμενες όμως στην ίδια αρχή. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και οι πολύ υψηλές αποδόσεις σε υψηλές πιέσεις. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι ότι η απόδοση τους επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της ιλύος, η μειωμένη υδραυλική ικανότητα και το ότι παρουσιάζουν φθορά του διηθητικού μέσου μεγαλύτερη από τα άλλα μηχανικά μέσα.

1. Ανάμειξη
2. Κάτω ταινία
3. Ζώνη αποστράγγισης
4. Φραγές πάχους
5. Ράουλο αποστράγγισης
6. Άνω ταινία
7. Διάτρητο τύμπανο
8. Τύμπανο επιστροφής
9. Κινητήριο τύμπανο
10. Λάμα απόξεσης
11. Ράουλο ρύθμισης
12. Πλύση ταινίας
13. Σύστημα ρύθμισης



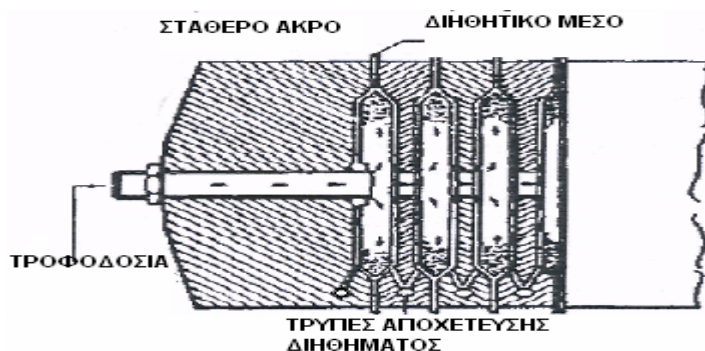
Σχήμα Ε.8. Ταινιοφιλτρόπρεσσα
(Αγγελάκης et al., 2004)

Ταινιοφιλτρόπρεσσα σε λειτουργία, φαίνεται στις εικόνες παρακάτω.



Εικόνα Ε.4. Ταινιοφιλτρόπρεσσες: (α) Γενική άποψη και (β) αφυδατωμένη ιλύς

(iii) **Φίλτρα πίεσης.** Αποτελούνται από σειρά κατακόρυφων κοίλων πλακών που φέρουν διηθητικό/μέσο. Η ιλύς διοχετεύεται με αντλίες στις πλάκες, έως, ότου δημιουργηθεί η απαιτούμενη για την αφυδάτωση πίεση, που προκαλεί τη διήθηση του νερού και την συγκράτηση των στερεών στις πλάκες. Στη συνέχεια οι πλάκες ανοίγονται και απομακρύνεται η αφυδατωμένη ιλύς (παρακάτω Σχ.). Το βασικό πλεονέκτημα τους είναι ότι δίνουν την υψηλότερη συγκέντρωση αφυδατωμένης ιλύος από τις άλλες μεθόδους, ενώ τα βασικά μειονεκτήματα τους είναι ότι λειτουργούν σε κύκλους, έχουν υψηλό αρχικό κόστος και κόστος λειτουργίας και απαιτούν ειδική κατασκευή υποστήριξης και μεγάλη επιφάνεια. Τα φίλτρα πίεσης χρησιμοποιούνται κατά κανόνα για δύσκολα αφυδατώσιμες ιλύες (όπως είναι περίσσεια ενεργού ιλύος) ή όταν απαιτείται συγκέντρωση αφυδατωμένης ιλύος πάνω από 30%. Αυτά έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα στη βιομηχανία για διαχωρισμούς, αλλά και για την αφυδάτωση της ιλύος των Μονάδων Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων, κυρίως στην Ευρώπη. Η διαδικασία είναι ασυνεχής και σήμερα έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί.



Σχήμα Ε.9. Σχηματική παράσταση της λειτουργίας της φιλτρόπρεσσας

(γ) **Λίμνες ξήρανσης:** Συνήθως χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατο των στρωμάτων ξήρανσης. Παρόλα αυτά όμως, οι λίμνες δεν είναι κατάλληλες για την αφυδάτωση ανεπεξέργαστης ή ασβεστωμένης ιλύος, ή ιλύος με υψηλής-αντοχής αιωρήματα λόγω του υψηλού δυναμικού παραγωγής οσμών και οχληρίας. Η απόδοση των λιμνών επηρεάζεται επίσης από το κλίμα. Οι βροχές και οι χαμηλές θερμοκρασίες παρεμποδίζουν την αφυδάτωση, ενώ οι υψηλοί ρυθμοί εξάτμισης εντατικοποιούν τη διεργασία. Οι ολοένα και αυξανόμενοι αυστηροί κανονισμοί (σχετικοί με το περιβάλλον και τα υπόγεια νερά) περιορίζουν την αφυδάτωση με υποεπιφανειακή στράγγιση και διήθηση.

Οι λίμνες ξήρανσης είναι μέθοδος αφυδάτωσης παρόμοια με τις κλίνες ξήρανσης όπου τον πρωταρχικό ρόλο στην αφυδάτωση ασκεί η εξάτμιση, με αποτέλεσμα η μέθοδος αυτή

να είναι κατάλληλη για περιοχές με αυξημένους ρυθμούς εξάτμισης. Λεπτομερή στοιχεία σχεδιασμού δεν υπάρχουν και γενικά οι παράμετροι σχεδιασμού εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της ιλύος και τις κλιματολογικές συνθήκες. Οι συνηθισμένες (φορτίσεις στερεών κυμαίνονται από 36 έως 40 kg/m³-y^r και οι χρόνοι παραμονής που συνήθως απαιτούνται για να επιτευχθούν συγκεντρώσεις στερεών από 20 έως 40% είναι 3-12 μήνες.

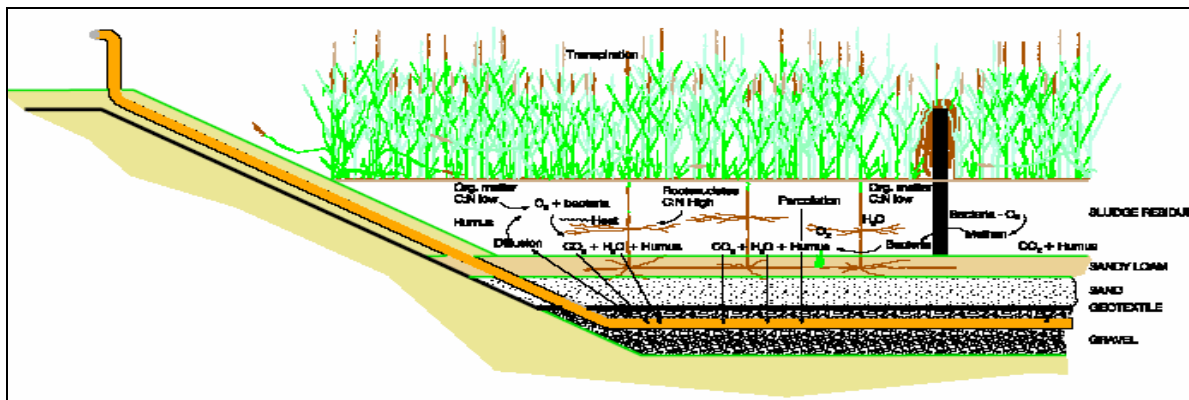
Οι λίμνες είναι χωμάτινες βάθους από 0,6 έως 1,2 m και κλίσεις πρανών 1:3. Επίσης, πρέπει να είναι εφοδιασμένες με τον κατάλληλο εξοπλισμό για συλλογή και επαναφορά του υπερκείμενου υγρού στην αρχή της εγκατάστασης. Η απομάκρυνση της αφυδατωμένης ιλύος γίνεται κάθε 1-3 έτη. Η ιλύς πρέπει να είναι σταθεροποιημένη για να μη δημιουργούνται προβλήματα οσμών, εντόμων και άλλων οχλήσεων. **Τα κριτήρια**, που καθορίζουν τη διάθεση στο έδαφος, περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:

1. Απομόνωση του χώρου (> 100 m από κατοικίες και πηγές υδροληψίας).
2. Κλίση γηπέδου (< 5%).
3. Φύση εδάφους (δομή, υδροπερατότητα).
4. Είδος καλλιέργειας (ικανότητα αφομοίωσης θρεπτικών υλικών).
5. Χαρακτηριστικά της ιλύος (στερεά, θρεπτικά, βαριά μέταλλα).
6. Μέσα διασποράς (ειδικά οχήματα για όργωμα και διάθεση της ιλύς).
7. Παρακολούθηση και έλεγχο της ορθής διάθεσης και των συνεπειών για το περιβάλλον.

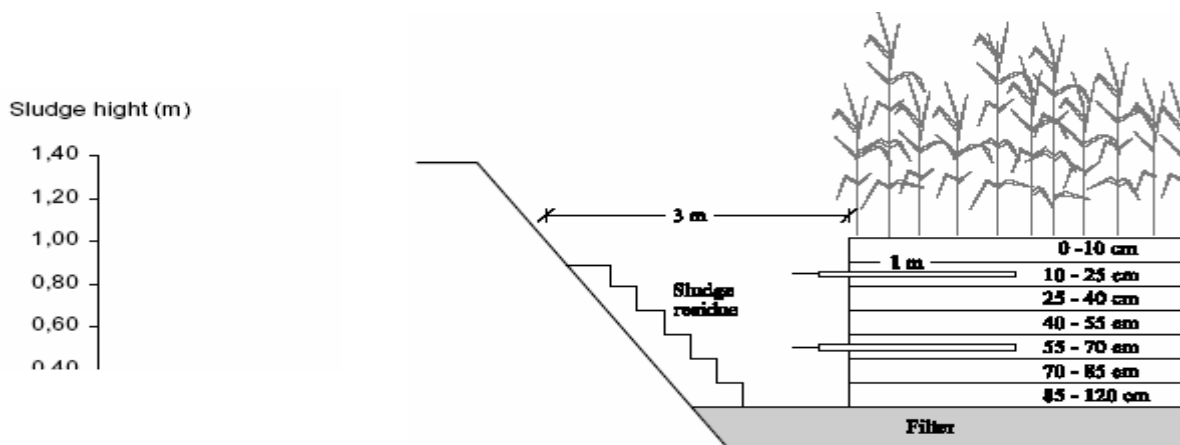
Τα βασικά πλεονεκτήματα τους είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής (για χαμηλού κόστους γη), το ελάχιστο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το ότι δεν απαιτείται πρόσθεση χημικών και το ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για απόρριψη της ιλύς σε περίπτωση ανάγκης. Τα μειονεκτήματα τους είναι οι οχλήσεις οσμών και εντόμων, που πολλές φορές δεν είναι εύκολο να αντιμετωπισθούν, η πιθανή ρύπανση του υδροφόρου ορίζοντα, η έλλειψη επαρκών στοιχείων σχεδιασμού, διάφορα αισθητικά προβλήματα και οι μεγάλες απαιτήσεις επιφάνειας γης.

(δ)Στρώματα με καλάμια: Παράλληλα όπως παρουσιάζονται από τις εικόνες παρακάτω, υπάρχουν συστήματα ξήρανσης λάσπης με κλίνες με τη χρήση των εγκατεστημένων φυτικών ειδών των υδροβιότοπων, όπως είναι το ψάθι Cattail, η ίριδα, το σπαρτό, το κοινό καλάμι, είδη κύπερης sedges και είδη βούρλων. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στη βλάστηση που παρέχει την απαραίτητη επιφάνεια για την ανάπτυξη και τη σύνδεση των μεμβρανών των βακτηριδίων, ενισχύει τη φίλτρανση και την προσρόφηση συστατικών των προεπεξεργασμένων αποβλήτων, συνεισφέρει στη μεταφορά του οξυγόνου στο υδατικό σώμα και ελέγχει την ανάπτυξη των αλγών με τη σκίαση που παρέχει. Με βάση την εμπειρία σε αυτού

του είδους τα συστήματα κατασκευάζονται για να διαχειριστούν λάσπη για μια μέση περίοδο λειτουργίας 10 χρόνων και βασική προϋπόθεση για ικανοποιητικά αποτελέσματα είναι η σωστή διαστασιολόγηση των κλινών αυτών αφού απαιτούν ελάχιστες δεξιότητες για την ομαλή λειτουργία και συντήρησή τους και έχουν μειωμένες ενεργειακές ανάγκες..



Εικόνα Ε.5. Σύστημα κλινών ξήρανσης για την επεξεργασία λάσπης (S. Nielsen et al)



Εικόνα Ε.6. Το βάθος που βρίσκεται η λάσπη και περιοχές δειγματοληψιών (S. Nielsen et al)

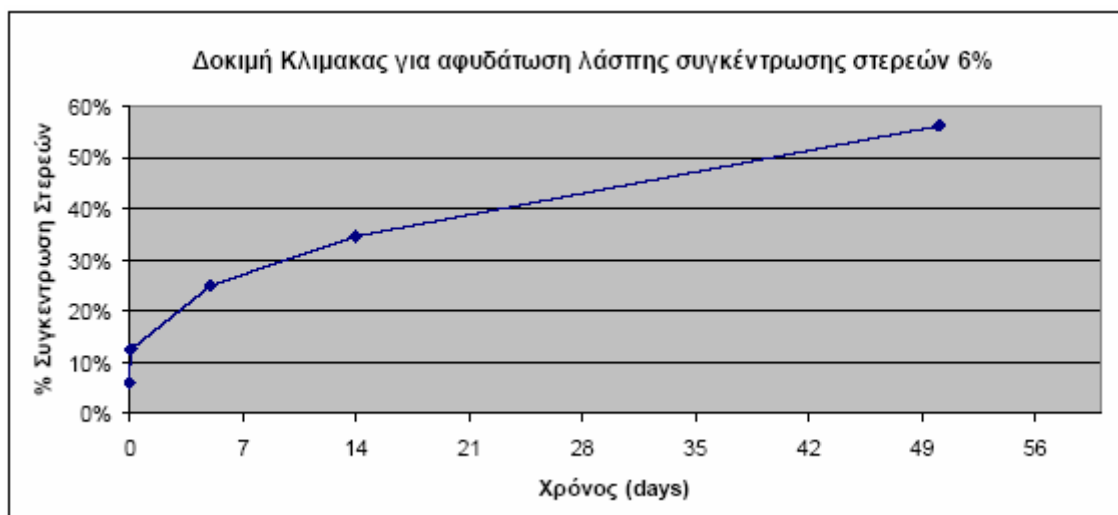
Κυρίως χρησιμοποιούνται για μονάδες επεξεργασίας χωρητικότητας μέχρι $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Στην εμφάνιση είναι όμοια με τους τεχνητούς υδροβιότοπους υποεπιφανειακής ροής. Αποτελούνται από κανάλια ή τάφρους, πληρωμένα με άμμο ή πετράδια για την υποστήριξη της ανερχομένης βλάστησης, παρέχοντας παράλληλα μονοπάτια για τη συνεχή στράγγιση του στρώματος της ιλύος. Παράλληλα, τα φυτά απορροφούν νερό από την ιλύ, ενώ, η μεταφορά οξυγόνου στις ρίζες των φυτών βοηθά στη βιολογική σταθεροποίηση και ορυκτοποίηση της ιλύος.

(ε) Αφυδάτωση με τη μέθοδο των γαιόσακων: Όμως το πρόβλημα που παρουσιάζεται σήμερα στα Κέντρα Επεξεργασίας Αστικών Λυμάτων είναι η διάθεση της λυματολάσπης η οποία παράγεται σε φυγόκεντρους ή ταινιόπρεσες σε συγκεντρώσεις στερεών που κυμαί-

νονται μεταξύ 17,8% και 28% . Η απόθεσή της σε ΧΥΤΑ αποτελεί κίνδυνο πρόκλησης κα-
τολισθήσεων λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης νερού. Όπως και στη περίπτωση του ΧΥΤΑ
των Λιοσίων τον Ιούλιο του 2003. Όσον αφορά την αφυδάτωση με τη μέθοδο ταυτόχρονης
άντλησης λυματολάσπης και πολυηλεκτρολύτη σε γαιόσακους από υφαντό γεωύφασμα α-
ναπτύχθηκε στην Ολλανδία από την εταιρεία Promeco σε συνεργασία με την Ten Cate
Nicolon –Ten Cate USA. και εισήχθηκε στην Ελλάδα από την Geoactions ΕΠΕ. Οι Γαιόσα-
κοι είναι ελαστικοί κύλινδροι από φύλλα μηχανικής ύφανσης ινών με βάση το πολυπροπυ-
λένιο, το πολυαιθυλένιο ή τον πολυεστέρα, με υποδοχείς για τον σωλήνα διοχέτευσης της
λάσπης.

Η διαδικασία της αφυδάτωσης επιταχύνεται με τον συνδυασμό του κατάλληλου πολυηλε-
κτρολύτη για την τάχιστη κροκίδωση του ιζήματος και του ιδανικού τύπου γεωυφάσματος
που θα φιλτράρει το νερό. Ο ρυθμός αφυδάτωσης της λυματολάσπης με τη μέθοδο των
γαιόσακων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

(GEO ACTIONS, 2005)



Σχήμα Ε.10. Ρυθμός αφυδάτωσης της λυματολάσπης με τη μέθοδο των γαιόσακων
(GEO ACTIONS, 2005)

Βασικότερα συγκριτικά αποτελέσματα της μεθόδου σε σχέση με φυγόκεντρο η/και ταινιό-
πρεσσα, είναι:

- Υψηλότερος βαθμός αφυδάτωσης. Με την εφαρμογή της μεθόδου η λυματολάσπη των Βιολογικών σταθμών, αφυδατώνεται αντί για το 18-28% που επιτυγχάνεται σή-
μερα στο 45%-60%,σε ένα περίπου μήνα από την είσοδο της στο δίκτυο των γαιό-
σακων. Για παράδειγμα. 50m³ ημερησίως παραγόμενης λυματολάσπης συγκέντρω-
σης 6% αντί να αποστραγγιστούν στο 25-28% όπως σήμερα με τη φυγόκεντρο, δη-

λαδή να έχουν απώλεια βάρους 38 τόνων νερού θα αποστράγγιζαν μέχρι το 50%, δηλαδή θα έχουν τελική απώλεια βάρους 44 τόνων νερού. Έτσι θα μεταφερθούν προς απόθεση 6,84 τόνοι στερεών αντί για τους 14,25 τόνους που μεταφέρονται σήμερα αναλογικά.

- Χαμηλότερο λειτουργικό κόστος: 5-7 φορές μικρότερες ποσότητες του πολυηλεκτρολύτη και περίπου 7€/τόνο ολικών στερεών εξοικονόμηση σε ενέργεια
- Χαμηλότερο κόστος μεταφοράς: οι γαιόσακοι ανοίγονται και η αφυδατωμένη λάσπη μεταφέρεται σε ποσότητες ίσες με το $\frac{1}{2}$ ή το $\frac{1}{3}$ των ποσοτήτων που παράγονται σήμερα.
- Φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος απόθεσης: η αφυδατωμένη λάσπη μεταφέρεται χύδην η συσκευασμένη στο χώρο απόθεσης. Σε οποιαδήποτε περίπτωση είναι δυνατή η αποκατάσταση του χώρου απόθεσης με τη βλάστηση συγκεκριμένων ειδών χλωρίδας

(GEO ACTIONS, 2005)

Εφαρμογές

Χρησιμοποιείται ήδη σήμερα σε αρκετά ΚΕΛ των ΗΠΑ π.χ. Βιολογικός Σταθμός της Νέας Ορλεάνης και είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στις μικρές μονάδες επεξεργασίας αστικών λυμάτων λόγω της σημαντικής εξοικονόμησης στα λειτουργικά έξοδα (ενέργεια και πολυηλεκτρολύτες) και του υψηλού βαθμού αφυδάτωσης σε σχέση με τη φυγόκεντρο.



(α)



(β)

Εικόνα Ε.7. (α)Υφαντό γεωύφασμα από πολυαιθυλένιο τύπου PE 525

(β)Υφαντό γεωύφασμα από πολυπροπυλένιο PP 120S

(GEO ACTIONS, 2005)



Εικόνα Ε.8. (α) Αποστράγγιση με τη μέθοδο των γαιόσακων (β) Η διαδικασία αποστράγγισης εντείνεται κάτω από την παραμικρή πίεση (GEO ACTIONS, 2005)



Εικόνα Ε.9. Δίκτυο γαιόσακων αφυδάτωσης σε Κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στις ΗΠΑ, Συγκέντρωση στερεών λυματολάσπη 6-9% (GEO ACTIONS, 2005)

Συμπεράσματα

1. Με τη μέθοδο αφυδάτωσης λυμάτων σε γαιόσακους εκτός από τα υψηλά επίπεδα αφυδάτωσης της λάσπης που επιτυγχάνονται (από 6-9% στο 56% μετά από 1,5 μήνα παραμονής στο γαιόσακο) τα νερά που αποστραγγίζονται είναι ποιοτικά και ποσοτικά βελτιωμένα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.
2. Η ποιότητα των αποστραγγισμένων νερών είναι πολύ καλή με φυσικούς παραμέτρους εντός των ορίων για την ελεύθερη διάθεση στο περιβάλλον.
3. Η ποσότητα των νερών που αποβάλλονται είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή που αποβάλλεται από την ταινιόπρεσσα αλλά και τη φυγόκεντρο. (*GEO ACTIONS, 2005*)
4. Επιπρόσθετα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι δεν υπάρχουν οσμές,
5. Έχει χαμηλό κόστος,
6. Δεν απαιτεί ιδιαίτερο ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό,
7. Μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά διαφορετικά λύματα, όπως και σε διαφορετικά στάδια επεξεργασίας τους.
8. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αφυδάτωση όσο και για την αποθήκευση λυματολάσπης.
9. Επιτυγχάνει 85%-90% μείωση του BOD.
10. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί εποχιακά, με προσωρινή αποθήκευση μέσα στο γαιόσακο των ήδη αποθηκευμένων στερεών.
11. Λειτουργεί και με υγρά λύματα που περιέχουν πολύ λεπτόκοκκα υλικά.
12. Το μέγεθος των γαιόσακων προσαρμόζεται στις ανάγκες της κάθε μονάδας επεξεργασίας υγρών λυμάτων. (*Ecotec, TEXNOEΚΔΟΤΙΚΗ*)

Αφυδάτωση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Στρώματα ξήρανσης	<ul style="list-style-type: none"> - Απαιτείται ελάχιστη προσοχή και εμπειρία – ικανότητες από τους χειριστές του συστήματος - Εφικτή λειτουργία καθόλη τη διάρκεια του έτους - Χαμηλό κόστος λειτουργίας - Υψηλότερο περιεχόμενο σε στερεά σε σχέση με τις μηχανικές μεθόδους - Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας 	<ul style="list-style-type: none"> - Απαίτηση γης - Η απόδοση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες - Πιθανή παραγωγή οσμών - Η απομάκρυνση της ιλύος απαιτεί εντατική εργασία - Απαιτείται η χρήση σταθεροποιημένης ιλύος

	- Κατάλληλο για επεξεργασία των περισσότερων τύπων ιλύος	
Φυγοκεντρική	- Συνεχής λειτουργία - Μικρός απαιτούμενος χώρος - Ικανότητα γρήγορης εκκίνησης και παύσης λειτουργίας - Περιορισμός Οσμών - Παραγωγή σχετικά ξηρής συμπαγούς μάζας ιλύος	- Απαιτείται ειδική συντήρηση - Υφή / δομή ιλύος - Θόρυβος - Υψηλή κατανάλωση ενέργειας - Υψηλό κόστος επένδυσης
Ζώνη Διήθησης	- Χαμηλές απαιτήσεις σε ενέργεια - Σχετικά χαμηλά κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας - Λιγότερο μηχανικά πολύπλοκη μέθοδος και ευκολότερη συντήρηση - Συνεχής λειτουργία - Ευκόλη εφαρμογή	- Μικρή μείωση υγρού περιεχομένου - Κατανάλωση καθαρού νερού - Απαραίτητη επίβλεψη - Υψηλό δυναμικό παραγωγής οσμών - Κατά πολύ ευαίσθητο στον τρόπο τροφοδοσίας της ιλύος
Πρέσα διήθησης	- Υψηλή μείωση του υγρού κλάσματος - Δομή Ιλύος - Πιθανός Αυτοματισμός	- Λειτουργία διαλείποντος έργου (Batch) - Χαμηλή παραγωγικότητα - Κατανάλωση ορυκτού λειαντή - Απαραίτητη Επίβλεψη - Υψηλό κόστος επένδυσης - Υψηλό κόστος εργατικών
Στρώματα με καλάμια	- Χαμηλό Κόστος - Ευκόλη λειτουργία - Περιβαλλοντικά ασφαλή - Υψηλό επίπεδο απομάκρυνσης βακτηρίων και ιών - Μείωση των αιωρούμενων στερεών - Μείωση των συγκεντρώσεων αζώτου - Απομάκρυνση μετάλλων	
Λίμνες ξήρανσης	- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας - Δεν απαιτείται η προσθήκη χημικών - Η οργανική ύλη σταθεροποιείται - Χαμηλό κόστος όπου η έκταση είναι διαθέσιμη - Ελάχιστη εμπειρία απαιτείται για τη λειτουργία του συστήματος	- Ο σχεδιασμός απαιτεί να ληφθούν υπόψη κλιματικές παράμετροι - Αυξημένο δυναμικό παραγωγής οσμών και δημιουργίας προβλημάτων μόλυνσης - Πιθανότητα ρύπανσης των υπογείων υδάτων - Απαιτούν μεγαλύτερη έκταση σε σχέση με τις μηχανικές μεθόδους

Πίνακας Ε.8. Σύγκριση των διαφόρων μεθόδων αφυδάτωσης

(Δ. Φάττα et al., 2006)

Ε.1.5 ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ /ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ

Οι διαδικασίες σταθεροποίησης ιλύος είναι κρίσιμες για την αξιόπιστη λειτουργία και απόδοση κάθε Μονάδας Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων. Ο σκοπός είναι η μετατροπή του προϊόντος σε σταθερότερη μορφή για οποιαδήποτε χρήση ή διάθεση. Η σταθεροποίηση μειώνει τα παθογόνα και παράγει ένα προϊόν, τα βιοστερεά με μικρότερες οσμές. Οι διεργασίες που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

1. η αναερόβια χώνευση,
2. η αερόβια χώνευση,
3. η κομποστοποίηση
4. η σταθεροποίηση με χρήση άσβεστου.
5. η σταθεροποίηση αλκαλικών
6. η μακροχρόνια αποθήκευση

7. με λίμνες σταθεροποίησης ιλύος
8. η ξήρανση,
9. καύση ή αποτέφρωση
10. η υγρή οξείδωση
11. αποστείρωση
12. και η ακτινοβολήση

Η βιολογική σταθεροποίηση της ιλύος εφαρμόζεται σε μεγάλη έκταση σε συνδυασμό με προηγούμενη πάχυνση και στη συνέχεια μηχανική αφυδάτωση. Η σταθεροποίηση γίνεται, είτε με αναερόβια χώνευση, συνήθως σε συμβατικές μονάδες με πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια καθίζηση, είτε με αερόβια χώνευση σε εγκαταστάσεις, που δεν έχουν συνήθως πρωτοβάθμια ιλύ, ενώ, η σταθεροποίηση διενεργείται με αερισμό. Η αερόβια χώνευση είναι ταχύτερη και τα κύρια τελικά προϊόντα είναι CO_2 , H_2O και NO_3^- μαζί με ορισμένα μη διασπάσιμα οργανικά και με υπολειμματικό κυτταρικό υλικό. Η αναερόβια χώνευση είναι βραδύτερη και λαμβάνει σε τρία στάδια {υδρόλυση, οργανικά οξέα, μεθάνιο} με τελικά προϊόντα κυρίως μεθάνιο, αχρησιμοποίητα οργανικά και κυτταρικό πρωτόπλασμα μαζί με ορισμένα δύσσομα αέρια.

Ανακεφαλαιωτικά, σκοπός της σταθεροποίησης της ιλύος όπως προαναφέρθηκε είναι η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της ιλύος να μετατραπεί σε σηπτική. Η σταθεροποίηση της ιλύος μπορεί να επιτευχθεί με την χημική ή βιολογική οξείδωση του οργανικού της μέρους και τη δημιουργία συνθηκών ακατάλληλων για την επιβίωση των μικροοργανισμών. Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται οι προαναφερθείσες οχληρές συνθήκες. Η σταθεροποίηση αποσκοπεί επίσης στον περιορισμό του όγκου, στην παραγωγή μεθανίου (χρησιμοποιήσιμο αέριο) και στη βελτίωση της διεργασίας αφυδάτωσης της ιλύος.

E.1.5.1 Σταθεροποίηση με αναερόβια χώνευση (μεθανοποίηση):

Η αναερόβια χώνευση αποσκοπεί στον περιορισμό, σταθεροποίηση και στη μερική απολύμανση του όγκου της ιλύος προς επεξεργασία. Η οργανική ύλη ζυμώνεται από βακτήρια απουσία ελεύθερου οξυγόνου. Η ιλύς περιορίζεται σε ένα δοχείο στους 35°C . Τα τρία κύρια στάδια της διεργασίας είναι η υδρόλυση (διάσπαση των μακρομορίων σε μικρότερα τμήματα), η οξεογένεση (παραγωγή όξινων ενώσεων από τα μικρότερα τμήματα) και η μεθανογένεση (παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου). Συχνά το

βιοαέριο που παράγεται (μείγμα διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου) χρησιμοποιείται σε λέβητες για τη διατήρηση της θερμοκρασίας ή ακόμη για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην ίδια μονάδα. Για την επίτευξη καλής και σίγουρης σταθεροποίησης και απολύμανσης εισηγείται όπως η ιλύς παραμένει στο χωνευτήρα για χρόνο μεγαλύτερο των 20 ημερών. Μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία με τα χρησιμοποιούμενα μέσα έχουμε άλλες παρόμοιες τεχνικές.

Αναλυτικότερα, ο όρος αναερόβια διεργασία αναφέρεται σε μια σειρά διαφόρων συστημάτων βιολογικής επεξεργασίας υγρών αποβλήτων από τα οποία απουσιάζουν το διαλυμένο οξυγόνο και τα νιτρικά-N. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η λειτουργία τους στοχεύει στη μετατροπή της βιοαποικοδομήσιμης οργανικής ύλης, σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα. Η αναερόβια χώνευση της ιλύος επιτρέπει την παραγωγή μεθανίου, έτσι, ώστε να ελαττωθεί η οργανική ύλη από την υγρή φάση και να σταθεροποιηθούν όλα τα στερεά, που υπάρχουν στην εισροή ή παράγονται στη διάρκεια της χώνευσης. Επίσης, η αναερόβια χώνευση επιδρά στην απενεργοποίηση των παθογόνων. Η αναερόβια χώνευση διακρίνεται σε τρία στάδια, που είναι: (α) Υδρόλυση της διακεκριμένης οργανικής ύλης προς διαλυτά υποστρώματα, (β) Ζύμωση αυτών των υποστρωμάτων και παραγωγή οξικού οξέος (με τη βοήθεια οξυβακτηρίων), διοξειδίου του άνθρακα και αέριου υδρογόνου, (γ) Μετατροπή του οξικού οξέος, του αέριου υδρογόνου και μέρους του διοξειδίου του άνθρακα, σε μεθάνιο (με τη βοήθεια μεθανοβακτηρίων).

Τα μεθανοβακτήρια είναι αυστηρά αναερόβια και ιδιαίτερα ευαίσθητα σε συνθήκες περιβάλλοντος με περιορισμένα περιθώρια μεταβολής θερμοκρασίας και pH. Επίσης, επηρεάζονται δυσμενώς από αύξηση των οξειδωμένων ουσιών, από πτητικά οξέα, διαλυμένα άλατα και κατίοντα μετάλλων και έχουν εξειδικευμένη προτίμηση σε ορισμένο θρεπτικό υπόστρωμα. Η ευαισθησία των μεθανοβακτηρίων, μπορεί να επηρεάσει την ισορροπία του βιολογικού συστήματος και τον κανονικό ρυθμό αποδημίσεως της ιλύος. Οποιαδήποτε δυσμενής μεταβολή του περιβάλλοντος (όπως είναι θερμοκρασία, pH και τοξικά μέταλλα), προκαλεί ελάττωση του πληθυσμού των μεθανοβακτηρίων, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση των παραγομένων οργανικών οξέων από τα ανθεκτικά οξυβακτήρια και την περεταίρω ελάττωση τους με τελική συνέπεια την αστοχία όλου του συστήματος.

Μια τέτοια πιθανή αστοχία της αναερόβιας χώνευσης προσδιορίζεται από την ελάττωση των παραγομένων αερίων, τη μείωση του ποσοστού του μεθανίου, την αύξηση της συγκέντρωσης των οργανικών οξέων και τελικά την πτώση του pH. Η αστοχία της χώνευσης μπορεί να οφείλεται σε: (α) ουσιώδη αύξηση του οργανικού φορτίου, (β) πολύ μεγάλη ελάττωση του όγκου της ιλύς που χωνεύει (π.χ. απότομη αφαίρεση μεγάλης ποσότητας), (γ)

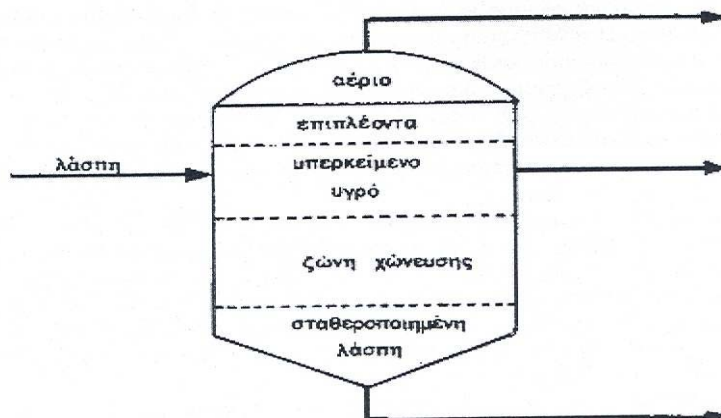
απότομη αύξηση της θερμοκρασίας ή (δ) συσσώρευση τοξικής ή ανασταλτικής ουσίας. Οι γενικοί όροι χώνευσης της ιλύος από μεσόφιλους μικροοργανισμούς δίδονται στο Πίνακα παρακάτω.

Παράμετρος	Τιμή
(α) Θερμοκρασία	
Άριστη	37°C
Γενικά όρια λειτουργίας	30-35°C
(β) pH	
Άριστο	7,0-7,1
Γενικά όρια	6,7 -7,4
(γ) Παραγωγή αερίων	
Ανά kg προστιθέμενων πτητικών αερίων	0,37-0,5 m ³
Ανά kg αποδομούμενων πτητικών αερίων	1,0-1,12 m ³
(δ) Σύνθεση αερίου	
Μεθάνιο	65-69%
Διοξείδιο του άνθρακα	31-35%
Υδροθείο	ίχνη
(ε) Συγκέντρωση πτητικών οξέων, ως οξικό οξύ	
Κανονική λειτουργία	200-800 mg/L
Μέγιστη	~2000m/L
(ζ) Συγκέντρωση αλκαλικότητας, ως CaCO₃	
Κανονική λειτουργία	2000-3000 mg/L

Πίνακας Ε.9. Γενικοί όροι αναερόβιος χώνευσης ιλύος.

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

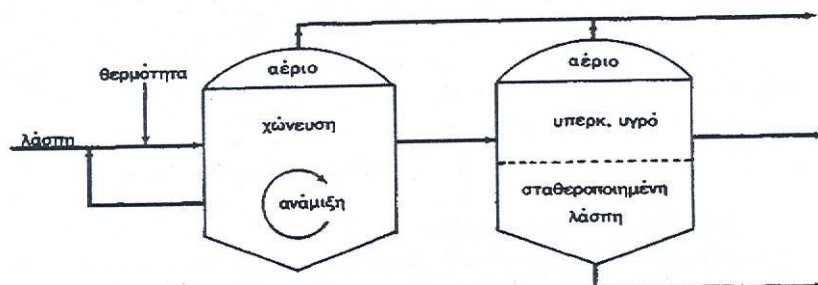
Οι βασικοί τύποι της αναερόβιας χώνευσης είναι δύο: χαμηλής φόρτισης και υψηλής φόρτισης. Ο πιο παλιός τύπος αναερόβιας χώνευσης είναι αυτό της χαμηλής φόρτισης (βλ. Σχ. παρακάτω). Σ' αυτόν δεν υπάρχει ανάμειξη, εκτός από αυτή που δημιουργεί η κίνηση των φυσαλίδων του αερίου που παράγεται. Επίσης, συνήθως δεν απαιτείται θέρμανση για την επιτάχυνση της διαδικασίας. Έτσι, ο χωνευτής δεν είναι παρά ουσιαστικά ένας χώρος αποθήκευσης της ιλύος. Η απουσία ανάμειξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία στρωμάτων και έτσι, ο ωφέλιμος όγκος περιορίζεται περίπου στο 50% του συνολικού.



Σχήμα E.11. Χωνευτής χαμηλής φόρτισης
(A. Αγγελάκης et al., 2004)

Η λειτουργία αυτού του τύπου χωνευτή, μπορεί να είναι συνεχής ή όχι και οι συνηθισμένοι χρόνοι παραμονής κυμαίνονται από 30 έως 60 ημέρες. Ο τύπος αυτός εφαρμόζεται πλέον πολύ σπάνια (σε μικρές κυρίως εγκαταστάσεις), εξαιτίας των διαφόρων μειονεκτημάτων του και κυρίως εξαιτίας της μη πλήρους αξιοποίησης του όγκου του χωνευτή.

Οι χωνευτές υψηλής φόρτισης αναπτύχθηκαν για να εξαλειφθούν τα διάφορα μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο **τύπος της χαμηλής φόρτισης**. (βλ. Σχ.Ε.12).



Σχήμα E.12. Αναερόβια χώνευση υψηλής φόρτισης δύο σταδίων
(A. Αγγελάκης et al., 2004)

Κύρια χαρακτηριστικά του είναι η πλήρης ανάμιξη, η θέρμανση, η ομοιόμορφη τροφοδοσία ιλύος στην εισροή και η συνεχής λειτουργία. Αποτέλεσμα των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι η αποδοτικότερη λειτουργία της χώνευσης. Επειδή στο τύπο αυτό της χώνευσης υπάρχει πλήρης ανάμιξη απαιτείται κάποια μονάδα διαχωρισμού των στερεών. Η πιο συνηθισμένη τέτοια μονάδα είναι ο δευτεροβάθμιος χωνευτής, οπότε η χώνευση γίνεται σε δύο στάδια. Η βιολογική δραστηριότητα στο δευτεροβάθμιο χωνευτή είναι περιορισμένη και ο χωνευτής αυτός είναι συνήθως δίδυμος του πρωτοβάθμιου, ώστε να χρησιμοποιείται εναλλακτικά. Οι συνηθισμένοι χρόνοι παραμονής για το τύπο αυτό των

χωνευτών κυμαίνονται από 10 έως 15 ημέρες, αλλά μπορεί να φτάσουν μέχρι 25 ημέρες, όταν απαιτείται πρόσθετη σταθερότητα στη λειτουργία. Επίσης, ανάλογα με τη θερμοκρασία στο χωνευτή, αυτός διακρίνεται σε μεσοφιλικό (30-38°C) ή θερμοφιλικό (50-60°C) χωνευτή.

Τα βασικά πλεονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι: η παραγωγή βιοαερίου, που καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της χώνευσης (θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες ανάγκες της εγκατάστασης, η μείωση των στερεών κατά 25-40% (που μειώνει το κόστος της τελικής διάθεσης), η δυνατότητα υψηλών φορτίσεων στερεών στους χωνευτές και η παραγωγή σταθεροποιημένων βιοστερεών, ιδιαίτερα κατάλληλων για εμπλουτισμό του εδάφους. Τα μειονεκτήματα της αναερόβιας χώνευσης είναι το μεγάλο αρχικό κόστος, η ευαισθησία της διεργασίας σε αλλαγές των συνθηκών λειτουργίας και η πολυπλοκότητα της λειτουργίας και του ελέγχου της.

Η αναερόβια χώνευση προτιμάται πάντοτε ως διαδικασία σταθεροποίησης ιλύος για εγκαταστάσεις με μέση φόρτιση υγρών αποβλήτων μεγαλύτερη από 19.000 m³/d περίπου (Εικ. παρακάτω). Σε χαμηλότερες φορτίσεις συνήθως παρουσιάζονται λειτουργικά προβλήματα. Η αναερόβια χώνευση έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα για διάφορα είδη ιλύος αστικών αποβλήτων (πρωτοβάθμια, βιολογική και χημική). Σημειώνεται όμως, ότι έχει βέλτιστη απόδοση για πρωτοβάθμια ιλύ, που μειώνεται με την παρουσία άλλων ειδών ιλύος.

Βασικά χαρακτηριστικά για το σχεδιασμό των αναερόβιων χωνευτών είναι: ο μέσος χρόνος παραμονής των μικροοργανισμών στο σύστημα (ηλικία ιλύος), η φόρτιση στερεών και ο χρόνος παραμονής, η ελάττωση του όγκου και το φορτίο του πληθυσμού. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου όγκου για τη χώνευση μπορεί επίσης, να γίνει με πρόβλεψη ορισμένης χωρητικότητας ανά άτομο του εξυπηρετούμενου πληθυσμού.

Η χώνευση της ιλύος στις θερμαινόμενες δεξαμενές γίνεται συνήθως από μεσόφιλους μικροοργανισμούς στην περιοχή από 30° έως 35°C. Η απαιτούμενη θερμότητα για τη θέρμανση της ιλύος πρέπει να είναι επαρκής για: (α) την άνοδο της θερμοκρασίας της εισερχόμενης νωπής ιλύος στο επιθυμητό επίπεδο, (β) την αναπλήρωση των απωλειών θερμότητας από τον πυθμένα, τα τοιχώματα και το κάλυμμα της δεξαμενής και (γ) την κάλυψη των διαφυγών από τις σωληνώσεις και τις άλλες κατασκευές μεταξύ θερμαντικής πηγής και δεξαμενής. Για τη θέρμανση της ιλύος χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι. Οι πιο συνηθισμένοι είναι είτε με θέρμανση της εισαγόμενης ιλύος σε εξωτερικό εναλλάκτη, είτε με κυκλοφορία θερμού νερού σε ελικοειδή σωλήνωση στο εσωτερικό της δεξαμενής.

Κατά την αναερόβια αποσύνθεση των οργανικών ουσιών παράγεται βιοαέριο, που περιέχει κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα και ορισμένα άλλα αέρια (Πίνακας παρακάτω):

Μεθάνιο, CH_4	65-70%
Διοξείδιο του άνθρακα, CO_2	25-30%
Μονοξείδιο του άνθρακα, CO	2-4%
Αζωτο, N_2	1%
Υδρογονάνθρακες	0-1,5%
Οξυγόνο, O_2	0-0,3%
Υδρόθειο, υδρογόνο κλπ.	μικρές ποσότητες

Πίνακας E.10. Σύνθεση βιοαερίου



Εικόνα E.10. Μονάδα αναερόβιας χώνευσης ιλύος

(M. Salgot et al., 2001)

Το υδρόθειο είναι έντονα δύσοςμο και ιδιαίτερα τοξικό. Σύντομη έκθεση ($< 3\theta$ min) σε συγκέντρωση 0,1% κατά όγκο μπορεί να προκαλέσει θάνατο. Εξάλλου, κατά την καύση μπορεί να σχηματισθεί SO_2 που είναι πολύ διαβρωτικό. Για χρησιμοποίηση του αερίου σε αεριομηχανή, που τροφοδοτεί με τα καυσαέρια θερμαντήρα, δεν πρέπει η συγκέντρωση υδρόθειου στο αέριο να υπερβαίνει τα 150 ppm.

Το μεθάνιο είναι εύφλεκτο. Μείγμα αέρα με συγκέντρωση μεθανίου (κατά όγκο) από 5,6 έως 13,5% είναι εκρηκτικό. Για λόγους ασφαλείας η συγκέντρωση του αερίου στη δεξαμενή χώνευσης πρέπει να αποκλείει την είσοδο και ανάμειξη με ατμοσφαιρικό αέρα. Έχουν αναφερθεί εκρήξεις με θύματα σε ΜΕΥΑ. Η κανονική παραγωγή αερίου αποτελεί τον ασφαλέστερο δείκτη για το χειριστή, ότι η χώνευση διεξάγεται ομαλά. Οποιαδήποτε αρρυθμία στην παραγωγή αναδεικνύει ανωμαλία στη χώνευση.

Το παραγόμενο βιοαέριο, εξαιτίας του περιεχόμενου μεθανίου, είναι κατάλληλο καύσιμο για ενεργειακές ανάγκες. Στις μικρές μονάδες το αέριο χρησιμοποιείται συνήθως για θέρμανση και η επιπλέον παραγωγή καίγεται σε πυρσό ασφαλείας. Στις μεγάλες μονάδες το αέριο χρησιμοποιείται τόσο απευθείας για θέρμανση, όσο και σε αεριομηχανές (με απόδοση 22-27%), για κίνηση ή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (με απώλεια περίπου 25% της ενέργειας εξαιτίας των μετατροπών). Γενικά η παραγόμενη ποσότητα αερίου επαρκεί για τις κύριες ενεργειακές ανάγκες της μονάδας (όπως είναι θέρμανση, άντληση, αερισμός, κίνηση και φωτισμός).

E.1.5.2 Σταθεροποίηση με αερόβια χώνευση της ιλύος :

Ο αερισμός της ιλύος σε ανοικτές δεξαμενές, επιτρέπει την απευθείας οξείδωση της βιοαποδομήσιμης ύλης, ενώ παράγεται νέα κυτταρική ύλη η οποία επίσης οξειδώνεται. Γενικά, η αερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για την επεξεργασία ιλύος χαμηλής περιεκτικότητας σε στερεά. Καθώς η οργανική ύλη αποσυντίθεται παράγεται θερμότητα και η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί τους 70°C αναλόγως των συνθηκών. Θερμοκρασίες μεγέθους 50□60°C και χρόνοι παραμονής 5□6 ημέρες επαρκούν για την καταστροφή των περισσότερο επιβλαβών οργανισμών. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η μείωση του πτητικού κλάσματος είναι της τάξεως του 40%.

Αναλυτικότερα, η αερόβια χώνευση είναι μία διαδικασία σταθεροποίησης ιλύος στην οποία οι αερόβιες βιολογικές αντιδράσεις καταστρέφουν τα οικοδομήσιμα βιολογικά οργανικά συστατικά της ιλύος. Στα συστήματα τεχνολογίας ενεργού ιλύος η αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος είναι παραπλήσια βιολογική διαδικασία με αυτή του παρατεταμένου αερισμού. Σε αυτήν επιδιώκεται με μακροχρόνιο αερισμό της ιλύος να αρχίσει (στην περίπτωση της πρωτοβάθμιας ιλύος) ή να συνεχισθεί (στην περίπτωση της ενεργού ιλύος) η βιολογική δράση των αερόβιων μικροοργανισμών και μετά από τη φάση της σύνθεσης νέου κυτταρικού υλικού, μέχρις ότου επιτευχθεί αυτό-οξείδωση.

Καθώς δηλαδή μειώνεται το υπάρχον θρεπτικό υπόστρωμα, οι μικροοργανισμοί που καταναλώνουν την οργανική ουσία τους για την απαραίτητη ενέργεια συντήρησης τους φτάνουν στην καθαρά ενδογενή φάση. Η φάση της ενδογενούς αναπνοής παριστάνεται σε πρώτο στάδιο με την κατανάλωση κυτταρικού υλικού σύμφωνα με τη παρακάτω αντίδραση.



(κυτταρικό ολικό)

Η παραγόμενη αμμωνία οξειδώνεται περαιτέρω, σταδιακά με βιολογική δράση σε NO_3 , σύμφωνα με τις αντιδράσεις 2 και 3:

Βακτήρια που σχηματίζουν νιτρώδη



Βακτήρια που σχηματίζουν νιτρικά



Πρέπει να σημειωθεί, ότι ορισμένο μόνο ποσοστό από το κυτταρικό υλικό μπορεί να οξειδωθεί τελικά (75-80%). Το υπόλοιπο (20-25%) αποτελείται από οργανικές ουσίες, που δεν είναι βιοδιασπάσιμες και από αδρανή υλικά.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της αερόβιας χώνευσης είναι για την ενδογενή οξείδωση ενεργού ιλύος σε μονάδες χωρίς πρωτοβάθμια καθίζηση. Όπου, όμως, εφαρμόζεται σε συστήματα πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας ιλύος, γίνονται παράλληλα δύο βιολογικές δράσεις, άμεση οξείδωση των οργανικών ουσιών της πρωτοβάθμιας ιλύος και ενδογενής οξείδωση του κυτταρικού υλικού της δευτεροβάθμιας ιλύος. Κατά την οξείδωση ελευθερώνεται πολύ περισσότερη θερμική ενέργεια από ότι κατά τις αναγωγικές αντιδράσεις, με αποτέλεσμα τα αερόβια βακτήρια να δρουν ταχύτερα από τα μεθάνοβακτήρια. Όμως, το ποσοστό του μη διασπάσιμου κυτταρικού υλικού είναι μεγαλύτερο κατά την αερόβια χώνευση.

Γενικά η αερόβια χώνευση είναι πιο ελαστική διαδικασία, με αποτέλεσμα να συνεχίζεται σε μεταβολές pH και σε ορισμένο βαθμό, της θερμοκρασίας. Για αυτό είναι καταλληλότερη για την επεξεργασία ιλύος από βιομηχανικά απόβλητα, σε σύγκριση με την αναερόβια χώνευση, όπου η υπερευαισθησία των μεθανοβακτηρίων (η παρουσία Cr^{6+} , η μεταβολή του pH και η παρουσία βαρέων μετάλλων) δυσχεραίνει την ομαλή σταθεροποίηση.

Η αερόβια σταθεροποίηση της ιλύος είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη αναερόβια χώνευση για την καταστροφή των παθογόνων παραγόντων (σε ποσοστό περίπου 85%). Η καταστροφή των αυγών παρασίτων είναι ακόμη πιο δύσκολη. Γενικά αυτή απαιτεί αυξημένο κόστος για ενέργεια, αλλά η αναερόβια χώνευση απαιτεί μεγαλύτερο αρχικό κόστος κατασκευής.

Παράμετροι, που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό των αερόβιων συστημάτων σταθεροποίησης, είναι συνήθως: (α) ο υδραυλικός χρόνος παραμονής, (β) οι συντελεστές φόρτισης, (γ) το απαιτούμενο οξυγόνο, (δ) η ενέργεια αναμείξεως και (ε) οι συνθήκες περιβάλλοντος. Γενικά, η αερόβια χώνευση έχει αντιμετωπιστεί ως μια απλή διεργασία

με πολύ περιορισμένες επιχειρησιακές απαιτήσεις. Στην πραγματικότητα, οι αερόβιοι χώνευτές έχουν συχνά χρησιμοποιηθεί μόνο ως δεξαμενές κράτησης και καθίζησης στερεών, οι οποίες συνήθως αερίζονται προς αποφυγή συνθηκών όχλησης. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η χώνευση γίνεται απλά για διατήρηση αερόβιων συνθηκών. Η αερόβια χώνευση εφαρμόζεται συνήθως σε μονάδες με δυναμικότητα σχεδιασμού μικρότερη των 18900 m³/d, αν και είναι γνωστές περιπτώσεις χρήσης τους σε μικρές εγκαταστάσεις.

E.1.5.3 Σταθεροποίηση με κομποστοποίηση/λιπασματοποίηση

Γενικά η λιπασματοποίηση της ιλύος (Composting) είναι η διαδικασία κατά την οποία τα οργανικά συστατικά, ακολουθώντας μια πολύπλοκη διαδικασία, αποικοδομούνται κάτω από αερόβιες συνθήκες, σε ένα σχετικά σταθερό τελικό προϊόν, με ταυτόχρονη παραγωγή χουμικών οξέων.

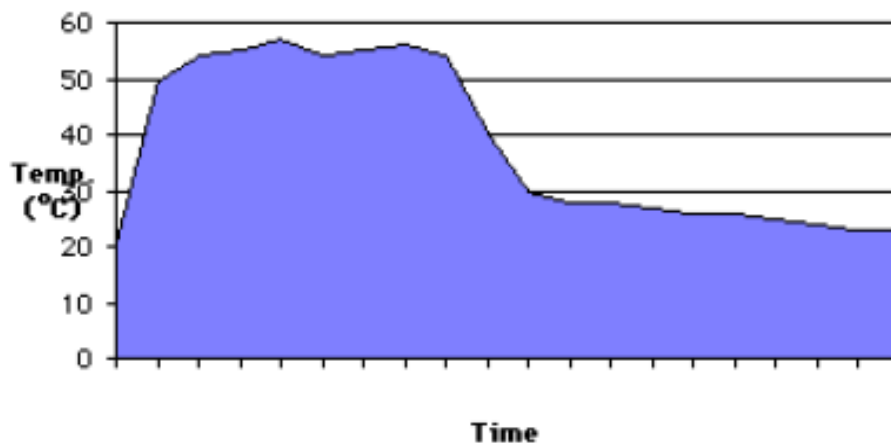
Στη διαδικασία αυτή λαμβάνουν μέρος τρεις κυρίως κατηγορίες μικροοργανισμών: τα βακτηρίδια, οι ακτινομύκητες και οι μύκητες. Παρ' ότι δεν είναι ακόμη αρκετά γνωστός ο τρόπος δράσης και αλληλεπίδρασης αυτών των μικροοργανισμών φαίνεται ότι τα βακτηρίδια είναι υπεύθυνα για την αποδόμηση των πρωτεϊνών και των λιπιδίων στο θερμοφιλικό στάδιο καθώς και για το μεγαλύτερο ποσό της παραγόμενης ενέργειας.

Οι μύκητες, που εμφανίζονται τόσο στο μεσοφιλικό όσο και στο θερμοφιλικό στάδιο, είναι κυρίως υπεύθυνοι για την αποδόμηση και διάσπαση πολύπλοκων οργανικών ενώσεων αλλά και της κυτταρίνης, που προέρχεται από τα υλικά (bulking agents) που προστίθενται στην ιλύ για να διευκολύνουν τη διαδικασία της λιπασματοποίησης (άχυρα, πριονίδια, κομματάκια ξύλου κ.λ.π.).

Η λιπασματοποίηση διακρίνεται σε τρία στάδια, σε κάθε ένα από τα οποία επικρατούν διαφορετικές θερμοκρασίες: το μεσοφιλικό, το θερμοφιλικό και το κρυοφιλικό. Κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου, του μεσοφιλικού, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος στους 40°C με ταυτόχρονη εμφάνιση μυκήτων και βακτηριδίων παραγωγής οξέων. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται από τους 40°C στους 70°C και επικρατεί το επόμενο, θερμοφιλικό στάδιο, οι προηγούμενοι μικροοργανισμοί αντικαθίστανται από θερμοφιλικά βακτηρίδια, ακτινομύκητες και θερμοφιλικούς μύκητες. Στο στάδιο αυτό λαμβάνει χώρα κυρίως η αποδόμηση και σταθεροποίηση των οργανικών ουσιών. Το κρυοφιλικό στάδιο χαρακτηρίζεται από μείωση της μικροβιακής δραστηριότητας και αντικατάσταση των θερμοφιλικών μικροοργανισμών από τους μεσοφιλικούς. Κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού πραγματοποιείται περαιτέρω εξάτμιση νερού από την ιλύ, στα-

θεροποίηση του pH και σχηματισμός χουμικών οξέων. Τυπική μεταβολή της θερμοκρασίας με το χρόνο φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:

(Α. Κατσίρη et al., 2003-2004)



Σχήμα E.13. Θερμοκρασία Κομποστοποίησης
(Α. Κατσίρη et al., 2003-2004)

Η λιπασματοποίηση θεωρείται ολοκληρωμένη όταν το τελικό προϊόν δεν έχει δυσάρεστη οσμή και οι παθογόνοι μικροοργανισμοί έχουν μειωθεί σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο μετάδοσης παθογόνων.

Η κομπόστα που παράγεται από τη λιπασματοποίηση της ιλύος υπερτερεί σε σχέση με το αντίστοιχο τελικό προϊόν της λιπασματοποίησης στερεών απορριμμάτων γιατί δεν περιέχει ανεπιθύμητα υπολείμματα όπως πλαστικά γυαλιά, μέταλλα κ.λ.π.

Οι κυριότεροι περιοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της λιπασματοποίησης είναι οι εξής:

- a) η υγρασία,
- b) η θερμοκρασία,
- c) η συγκέντρωση του οξυγόνου.
- d) το pH,
- e) και η συγκέντρωση θρεπτικών

Αναλυτικότερα ισχύει:

α) η υγρασία:

Η αποδόμηση των οργανικών συστατικών επηρεάζεται σημαντικά από την περιεκτικότητα του υλικού σε υγρασία γιατί λαμβάνει χώρα σε λεπτές υγρές στιβάδες που σχηματίζονται

στην επιφάνεια των σωματιδίων. Υπερβολική υγρασία γεμίζει τους πόρους μεταξύ των σωματιδίων, εμποδίζοντας την κυκλοφορία του οξυγόνου. Μη ικανοποιητική υγρασία οδηγεί γρήγορα σε ξήρανση του υλικού, πριν να ολοκληρωθεί η σταθεροποίηση. Η βέλτιστη περιεκτικότητα υγρασίας κυμαίνεται από 50-55%. Όταν η περιεχόμενη υγρασία ξεπερνάει αυτή την τιμή η δομή του υλικού δεν είναι σταθερή (παράγοντας επίσης αναγκαίος για την ομαλή πορεία της διαδικασίας). Η θερμότητα που εκλύεται κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης τείνει να εξατμίζει την υγρασία. Για το λόγο αυτό είναι συχνά αναγκαίο να προστίθεται νερό. Η κομπόστα ξεκινά με υγρασία γύρω στο 52% και καταλήγει προς το τέλος της διαδικασίας σε 37%. Η προσθήκη ιλύος στα απορρίμματα αποτελεί μια καλή πηγή υγρασίας. Αντίθετα η λιπασματοποίηση απλής αφυδατωμένης ιλύος δεν είναι δυνατή χωρίς την προσθήκη κάποιου εξωτερικού υλικού όπως κυτταρίνης για τη μείωση της υγρασίας.

b & c) Θερμοκρασία και οξυγόνο:

Η θερμοκρασία και το οξυγόνο είναι σημαντικοί παράγοντες της λιπασματοποίησης αφού επηρεάζονται άμεσα από τη μικροβιακή δράση η οποία καταναλώνει οξυγόνο και ελευθερώνει θερμότητα. Επίσης και οι δύο αυτές παράμετροι επηρεάζονται άμεσα από τον αερισμό. Η εμφύσηση αέρα στη μάζα των απορριμμάτων αφενός παρέχει οξυγόνο αλλά αφετέρου στεγνώνει τα απορρίμματα. Άρα η ρύθμιση της παροχής οξυγόνου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στη διαδικασία. Αντίθετα ανεπαρκής συγκέντρωση οξυγόνου οδηγεί στη ανάπτυξη αναερόβιων μικροοργανισμών που δημιουργούν κακοσμίες, περιλαμβανομένης της αμμωνίας. Επισημαίνεται πάντως ότι, ακόμα και αν η παροχή του οξυγόνου είναι ικανοποιητική, σε μια ετερογενή μάζα όπως τα απορρίμματα, πάντοτε παραμένουν σημεία που δεν έχουν αρκετό οξυγόνο.

Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητη στις εγκαταστάσεις λιπασματοποίησης κάποιο σύστημα κατακράτησης ή επεξεργασίας των οσμών.

Ενώ η βέλτιστη τιμή της περιεκτικότητας σε οξυγόνο μέσα στους πόρους του υλικού προς λιπασματοποίηση είναι 12-17% κατ' όγκον. Παράλληλα η βέλτιστη τιμή της θερμοκρασίας είναι 45-59°C. Όταν η θερμοκρασία ανέλθει πάνω από 70°C επιβραδύνεται ή αναστέλλεται η δράση των μικροοργανισμών. Από την άλλη πλευρά η ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών βοηθά την καταστροφή των ανεπιθύμητων παθογόνων μικροοργανισμών της ιλύος. Η υγρασία, ο ρυθμός του αερισμού, το μέγεθος και το σχήμα του σωρού, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά επηρεάζουν την κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του σωρού. Έτσι π.χ. η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι μικρότερη στην περίπτωση υψηλής περιεκτικότητας σε υγρασία αφού ένα μέρος της θερμότητας χάνεται με

την εξάτμιση. Από την άλλη μεριά όμως χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία αναστέλλει τη δράση των μικροοργανισμών γεγονός που έχει ως συνέπεια τη μείωση του ποσού της παραγόμενης θερμότητας.

d) το pH :

Οι βέλτιστες για τη ανάπτυξη των βακτηριδίων τιμές του pH κυμαίνονται από 6-7.5, ενώ για τους μύκητες από 5.5-8. Η τιμή του pH παρουσιάζει διακύμανση τόσο μέσα στον όγκο του σωρού, όσο και κατά τη διάρκεια της αποδόμησης. Αν η τιμή του pH υπερβαίνει τα παραπάνω όρια υπάρχει κίνδυνος απώλειας αζώτου. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι πολύ δύσκολο να επέλθει κανείς και να αλλάξει η τιμή του pH μέσα στον όγκο του σωρού, ώστε να βελτιστοποιηθεί η διαδικασία.

d) η περιεκτικότητα σε θρεπτικά :

Τόσο ο άνθρακας όσο και το άζωτο είναι απαραίτητες πηγές ενέργειας, αναγκαίες για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Ο άνθρακας χρησιμοποιείται από τους μικροοργανισμούς κυρίως σαν πηγή ενέργειας και μόνο ένα μικρό μέρος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία νέας βιομάζας. Αντίθετα το άζωτο είναι βασικό στοιχείο για τη δημιουργία των πρωτεϊνών που αποτελούν μεγαλύτερο του 50% της κυτταρικής μάζας. Επειδή 30 μέρη C χρησιμοποιούνται από τους μικροοργανισμούς για κάθε μέρος N, ο λόγος C/N πρέπει να κυμαίνεται από 25:1 - 35:1 για να έχουμε βέλτητα αποτελέσματα. ο άνθρακας που υπεισέρχεται σ' αυτή την αναλογία είναι Ο βιοδιασπάσιμος άνθρακας. Χαμηλότερες τιμές του λόγου C/N οδηγούν σε απώλειες του αζώτου λόγω εξαέρωσης της αμμωνίας, ενώ υψηλότερες τιμές οδηγούν σε επιμήκυνση του απαιτούμενου χρόνου για τη σταθεροποίηση, καθώς το άζωτο γίνεται ο περιοριστικός παράγοντας της διεργασίας. Καλές πηγές αζώτου είναι οι κοπριές, ι ιλύς από βιολογικούς καθαρισμούς και η ουρία. Κανένα άλλο θρεπτικό ή ιχνοστοιχείο δεν έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στη διαδικασία της λιπασματοποίησης της ιλύος. (A. Κατσίρη *et al.*, 2003-2004)

Όσον αφορά την καταλληλότητα των οργανικών υλικών αλλά και τα βασικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων οργανικών υλικών που είναι διαθέσιμα για λιπασματοποίηση ισχύουν τα ακόλουθα:

-Μαλακά Οργανικά με μεγάλη περιεκτικότητα υγρασίας, όπως λαχανικά, ρίζες, φρούτα, χλόη, μαλακά φύλλα και απορρίμματα κουζίνας. Η περιεχόμενη υγρασία μετατρέπεται σε ελεύθερο νερό με αποτέλεσμα ο σωρός να γίνεται όλο και πιο υγρός. Το νερό εμποδίζει τη διάλυ-

ση του οξυγόνου άρα η αερόβια διαδικασία μετατρέπεται σε αναερόβια με αποτέλεσμα την παραγωγή στραγγιδίων και οσμών. Ακατάλληλα για κομποστοποίηση από μόνα τους.

-Σκληρά οργανικά, όπως φρέσκα φύλλα, και κλαδέματα κήπων. Μικρή περιεχόμενη υγρασία στο ολικό βάρος. Εύκολη κομποστοποίηση χωρίς παραγωγή στραγγιδίων. Μίγμα μαλακών και σκληρών οργανικών αποτελεί ιδεώδες υπόστρωμα για κομποστοποίηση.

-Κυτταρινούχα υλικά, όπως ξύλο, πριονίδι, άχυρο, ξερά φύλλα, χαρτί. Τα υλικά αυτά έχουν κύρια συστατικά λιγνίνη και κυτταρίνη με πολύ μικρή υγρασία. Κομποστοποιούνται πολύ αργά ή καθόλου και μόνο με τη βοήθεια μυκήτων που όμως δεν αντέχουν τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την κομποστοποίηση. Χρησιμεύουν κυρίως σαν πρόσθετο υλικό για να αυξήσουν το πορώδες και να διευκολύνουν την κυκλοφορία του οξυγόνου.

-Πρωτεϊνούχα υλικά, όπως υπολείμματα τροφίμων, απόβλητα βιομηχανιών επεξεργασίας κρέατος, απόβλητα γαλακτοκομίας. Είναι υλικά ζωικής προέλευσης. Βιοαποικοδομούνται εύκολα αλλά δημιουργούν κακοσμίες και προσελκύουν τρωκτικά. Πρέπει να αποφεύγονται σε συστήματα ανοιχτής κομποστοποίησης. Εξάιρεση αποτελούν οι κοπριές των πτηνοσφαγείων που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και το αίμα που περιέχει πολλά χρήσιμα συστατικά.

-Απόβλητα ανθρώπων και ζώων, όπως ιλύες βιολογικών καθαρισμών, κοπριές. Γίνεται διάκριση μεταξύ αποβλήτων σαρκοφάγων και φυτοφάγων ζώων. Τα πρώτα περιλαμβάνουν μικρόβια και παράσιτα που μπορεί να περάσουν στην κομπόστα ενώ τα δεύτερα είναι πιο ακίνδυνα. Περιέχουν σημαντικές ποσότητες αζώτου και φωσφόρου.

-Αστικά απορρίμματα. Περιλαμβάνουν όλες τις παραπάνω κατηγορίες. Η λιπασματοποίηση χωρίς προηγούμενη απομάκρυνση άλλων υλικών παράγει ένα προϊόν που είναι ακατάλληλο για οποιαδήποτε χρήση.

Παράλληλα όμως υπάρχουν και κάποια λειτουργικά προβλήματα κατά τη διαδικασία της κομποστοποίησης ιλύος .

- i. η υπερβολική υγρασία: Όπως προαναφέρθηκε η υπερβολική υγρασία μειώνει την διάχυση του οξυγόνου στη μάζα του υλικού. Η υγρασία προσροφάται αφενός στα σωματίδια λόγω των υδροφιλικών χαρακτηριστικών τους αλλά γεμίζει λόγω τριχοειδών φαινομένων τους μικρότερους πόρους δημιουργώντας έτσι ζώνες αναερόβιες. Μια σχηματική απεικόνιση της επίδρασης του στρώματος υγρασίας στην επιφάνεια του σωματιδίου φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα . Μια επακόλουθη επίπτωση της μεγάλης υγρασίας είναι η δημιουργία οσμών λόγω της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών σε μεγάλο τμήμα της μάζας των απορριμμάτων.

Στο σχήμα 2 φαίνονται οι περιοχές αερόβιας, αναερόβιας και ενζυματικής δράσης στην περίπτωση χαμηλής και υψηλής υγρασίας. Παρόλο που οι περισσότερες ενοχλητικές οσμές παράγονται από την αναερόβια δράση, και η ζύμωση παράγει διάφορες «γλυκές» οσμές π.χ αλκοόλες.

- ii. το πορώδες: Εκτός από την υπερβολική υγρασία και το μικρό πορώδες μπορεί να οδηγήσει σε αναερόβιες καταστάσεις. Έχει βρεθεί από πειραματικές έρευνες ότι ο ουσιαστικός συντελεστής διάχυσης οξυγόνου D_{eff} εντός ενός σωρού απορριμμάτων δίνεται από τη σχέση (1):

$$D_{eff} = D \times S^2 \quad (1)$$

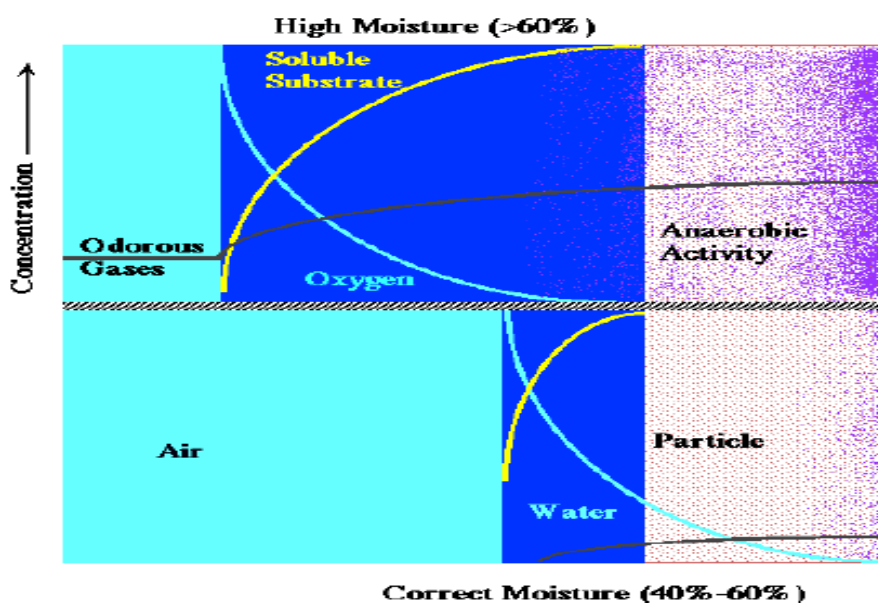
όπου

D = ο συντελεστής διάχυσης οξυγόνου στον αέρα

S = το πορώδες του σωρού.

Έτσι για παράδειγμα αν το πορώδες ενός σωρού μειωθεί από 30% σε 20% λόγω σταθεροποίησης και συμπύκνωσης (δηλαδή μείωση κατά 33%), ο ουσιαστικός συντελεστής διάχυσης οξυγόνου θα μειωθεί κατά 56%.

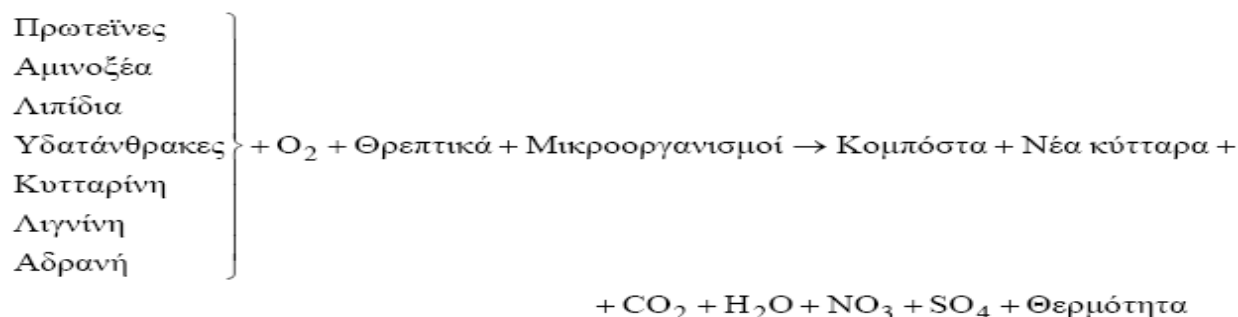
Ο συντελεστής διάχυσης οξυγόνου στον αέρα εξαρτάται από τη σύσταση του αέρα (περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα, οξυγόνο και άζωτο) και κυμαίνεται από 0,2-0,3



Σχήμα E.14. Επίδραση υγρασίας στην διαδικασία της λιπασματοποίησης

Σχεδιασμός συστημάτων λιπασματοποίησης

Ο βασικός αερόβιος μεταβολισμός κατά τη διαδικασία της λιπασματοποίησης μπορεί να παρασταθεί από το ακόλουθο σχήμα.



Η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη οξείδωση της οργανικής ύλης, αν ο εμπειρικός τύπος των απορριμμάτων είναι $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$, δίνεται από τη σχέση (2):

$$\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d + \left(\frac{4a + b - 2c - 3d}{4} \right) \text{O}_2 \rightarrow a\text{CO}_2 + \left(\frac{b - 3d}{2} \right) \text{H}_2\text{O} + d\text{NH}_3 \quad (2)$$

Αν είναι γνωστή η περιεκτικότητα σε άζωτο ενός μίγματος (π.χ με εργαστηριακή μέτρηση) μπορεί να υπολογισθεί η περιεκτικότητα άνθρακα από το ποσοστό των εξαερώσιμων στερεών VS, από τη σχέση (3):

$$\%C = \%VS/1.8 \quad (3)$$

Εναλλακτικά ο λόγος C/N μπορεί να υπολογισθεί από πίνακες που αναφέρουν τους λόγους C/N των επί μέρους υλικών που αποτελούν το μίγμα προς λιπασματοποίηση. Χαρακτηριστικές τιμές λόγων C/N για διάφορα υλικά δίνονται στον πίνακα 1.

Ο λόγος C/N του μίγματος δίνεται από τη σχέση (4):

$$\frac{C}{N} = \frac{Q_1(X_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 \times (X_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 \times (X_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 \times (N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 \times (N_3 \times (100 - M_3)) + \dots} \quad (4)$$

όπου:

Q = η μάζα του κάθε υλικού (ολική ή υγρή μάζα)

C = η περιεκτικότητα σε άνθρακα, %

N = η περιεκτικότητα σε άζωτο, %

M = η υγρασία, %

Αν έχουμε δύο υλικά και είναι γνωστός ο λόγος C/N του κάθε υλικού, τότε η ποσότητα Q₂ του δεύτερου υλικού που πρέπει να αναμειχθεί με την ποσότητα Q₁ του πρώτου υλικού δίνεται από τη σχέση (5):

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times N_1 \left(\frac{C}{N} - \frac{C_1}{N_1} \right) \times (100 - M_1)}{N_2 \left(\frac{C_2}{N_2} - \frac{C}{N} \right) \times (100 - M_2)} \quad (5)$$

Υλικό	% N	C/N
Τρόφιμα		
- Υπολείμματα φρούτων	1,5	34,8
- Απόβλητα σφαγείων	7-10	2
- Υπολείμματα πατάτας	1,5	25
Κοπριές		
- Βουστάσια	1,7	18
- Αλογα	2,3	25
- Χοιροστάσια	3,75	20
- Πτηνοτροφεία	6,3	15
- Πρόβατα	3,75	22
Ιλύς		
- Χωνεμένη ενεργός ιλύς	1,9	15,7
- Αχώνευτη	5,6	6,3
Ξύλα και πριονίδια		
- Υλοτομεία	0,13	170
- Πριονίδια	0,1	200-500
- Αχυρα	0,3	128
Χαρτί		
- Ανάμικτα	0,25	173
- Εφημερίδες	0,05	983
- Καφέ χαρτί	0,01	4490
- Περιοδικά	0,07	470
Κλαδέματα κήπων		
- Γκαζόν	2,15	20
- Φύλλα, κλαδιά (φρέσκα)	0,5-1	40-80
- Υάκινθοι (Νούφαρα)	2	21

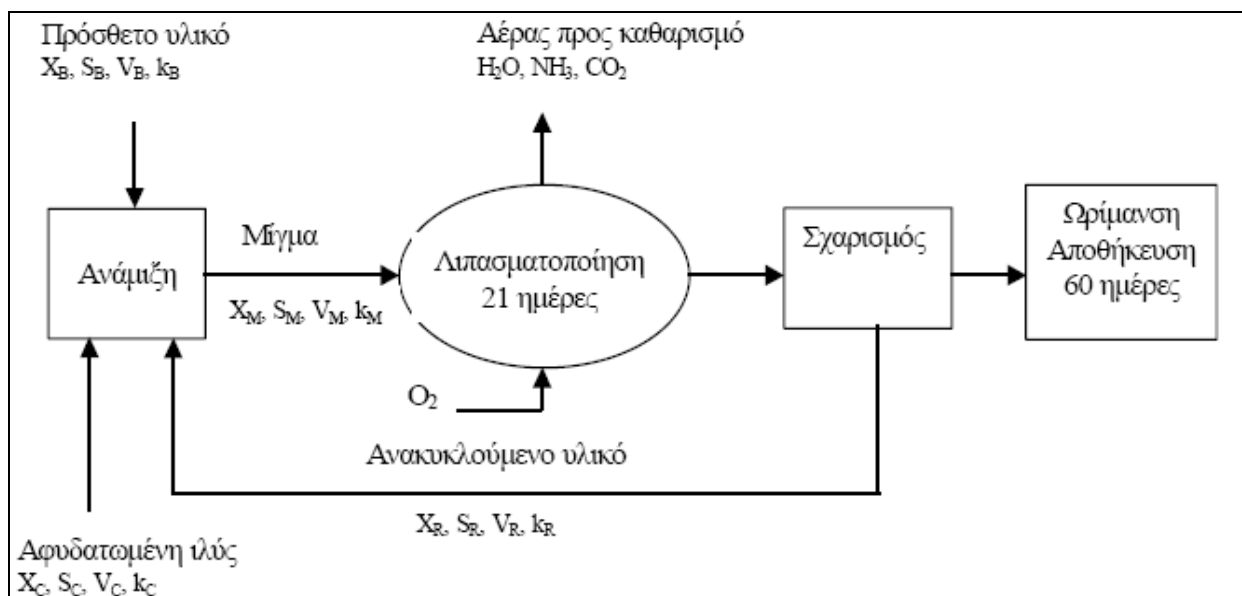
Πίνακας Ε.11. Περιεκτικότητα αζώτου χαρακτηριστικών ζυμώσιμων συστατικών

Η λιπασματοποίηση της ιλύος απαιτεί την προσθήκη κάποιου πρόσθετου υλικού (bulking agent) για τη μείωση της υγρασίας, την αύξηση του πορώδους, τη βελτίωση του λόγου C/N

και την αύξηση της σταθερότητας του σωρού. Σαν πρόσθετα υλικά χρησιμοποιείται το πριονίδι, τρίμματα ξύλου (wood chips), ή άχυρο. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανακυκλωμένη κομπόστα. Η διαδικασία φαίνεται διαγραμματικά στο σχήμα 2. Μετά τη λιπασματοποίηση το πρόσθετο υλικό διαχωρίζεται με σχαρισμό και ανακυκλώνεται. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί άχυρο, τότε αυτό ενσωματώνεται στο τελικό προϊόν χωρίς διαχωρισμό. Η ποσότητα πρόσθετου υλικού υπολογίζεται ώστε το μίγμα να έχει 50-60% τελική περιεκτικότητα υγρασίας. Η ιλύς που χρησιμοποιείται έχει υποστεί χώνευση και αφυδάτωση, και τούτο γιατί διαφορετικά παρατηρείται μεγάλη έκλυση κακοσμιών.

Κάθε ανοιχτή εγκατάσταση λιπασματοποίησης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- Ανάμιξη της ιλύος με το πρόσθετο υλικό και το ανακυκλούμενο υλικό
- Κατασκευή των σωρών (ή άλλου κλειστού) συστήματος
- Λιπασματοποίηση
- Εσχάρωση του τελικού προϊόντος για το διαχωρισμό του πρόσθετου υλικού
- Ωρίμανση
- Ενσάκκιση και τελική αποθήκευση



Σχήμα E.15. Διάγραμμα λιπασματοποίησης ιλύος

Η απαιτούμενη ποσότητα πρόσθετου υλικού υπολογίζεται βασικά με κριτήριο τη σταθερότητα της δομής του σωρού. Με την προϋπόθεση ότι το πρόσθετο υλικό διαχωρίζεται από την κομπόστα με εσχαρισμό και ανακυκλώνεται, οι ποσότητες του πρόσθετου υλικού που απαιτούνται υπολογίζονται από την σχέση (6):

$$\begin{aligned} X_R &= (1 - f_1)X_C \\ X_B &= f_1 X_C - X_R \end{aligned} \quad (6)$$

όπου f_1 ο λόγος του πρόσθετου υλικού (ανακυκλούμενο + συμπλήρωμα) προς την ιλύ. Ο λόγος f_1 υπολογίζεται από τη σχέση (7):

$$f_1 = \frac{X_R + X_B}{X_C} \quad (7)$$

ενώ το f_2 παριστά το τμήμα του πρόσθετου που παραμένει στο τελικό προϊόν.

$$f_2 = \frac{X_B}{X_C + X_R} \quad (8)$$

Οι τιμές των f_1 , f_2 κυμαίνονται από 0.72-1.25 και 0.20-0.40 αντίστοιχα. Η επεξήγηση των άλλων παραμέτρων φαίνεται στη συνέχεια.

Εκτός από τον παραπάνω έλεγχο είναι απαραίτητο να ελεγχθεί και η τιμή του λόγου W που ορίζεται ως εξής ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί η λιπασματοποίηση:

$$W = \frac{\text{Μάζα νερού στο μίγμα ιλύος και πρόσθετου υλικού}}{\text{Μάζα οργανικών συστατικών που βιοαποικοδομούνται}} \quad (9)$$

Ο λόγος W υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W = \frac{X_C(1 - S_C) + X_B(1 - S_B) + X_R(1 - S_R)}{X_C S_C V_C k_C + X_B S_B V_B k_B + X_R S_R V_R k_R} \quad (10)$$

όπου:

X_C = ολική μάζα ιλύος/ ημέρα
 X_R = ολική μάζα του υλικού που ανακυκλώνεται / ημέρα
 X_B = ολική μάζα προσθετικού υλικού που ανακυκλώνεται / ημέρα
 X_M = ολική μάζα του υλικού που προστίθεται / ημέρα
 S_C = περιεκτικότητα στερεών στην ιλύ (0.20-0.55)
 S_A = περιεκτικότητα στερεών στο προστιθέμενο βελτιωτικό υλικό
 S_R = περιεκτικότητα στερεών στο ανακυκλούμενο υλικό (0.60-0.75)
 S_B = περιεκτικότητα στερεών στο προστιθέμενο υλικό (0.50-0.85)
 S_M = περιεκτικότητα στερεών στο μίγμα (0.40-0.50)
 V_C = περιεκτικότητα οργανικών στερεών στη λάσπη (0.40-0.60) - χωνεμένη, (0.60-0.80) ανεπεξέργαστη.
 V_R = περιεκτικότητα οργανικών στερεών στο ανακυκλούμενο υλικό (0.-0.90)
 V_B = περιεκτικότητα οργανικών στερεών στο εξωτερικά πρόσθετο υλικό (0.55-0.90)
 V_M = περιεκτικότητα οργανικών στερεών στο μίγμα (0.40-0.80)
 k_C = ποσοστό των οργανικών στερεών της ιλύος που αποδομούνται κατά τη λιπασματοποίηση (0.33-0.56)
 k_R = ποσοστό των οργανικών στερεών του ανακυκλούμενου υλικού που αποδομούνται κατά τη λιπασματοποίηση (0.00-0.20)
 k_B = ποσοστό των οργανικών στερεών του εξωτερικού πρόσθετου υλικού που αποδομούνται κατά τη λιπασματοποίηση (0.00-0.40)
 k_M = ποσοστό των οργανικών στερεών του μίγματος που αποικοδομούνται κατά τη λιπασματοποίηση (0.20-0.60)

Η χρήση πρόσθετου υλικού αυξάνει τη σταθερότητα της δομής του μίγματος καθώς και το πορώδες με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση του αερισμού του σειραδιού. Το πρόσθετο υλικό βελτιώσει επίσης την αναλογία C/N από 10:1 που είναι στην αφυδατωμένη ιλύ σε 25:1 στο μίγμα.

Μερικά από τα τυπικά χαρακτηριστικά της κομπόστας που παράγεται από τη λιπασματοποίηση της ιλύος φαίνονται στους πίνακες παρακάτω σε σύγκριση με άλλους τύπους ιλύος και άλλα εδαφικά βελτιωτικά.

Υλικό	Ικανότητα κατακράτησης νερού gH ₂ O/g DS	Ικανότητα απόδοσης νερού %
Αργίλος	0.5	20
Αφυδατωμένη ιλύς	2.9	39
Λιπασματοποιημένη ιλύς	2.1	49

Πίνακας Ε.12. Χαρακτηριστικά αργίλου, ανεπεξέργαστης και λιπασματοποιημένης ιλύος

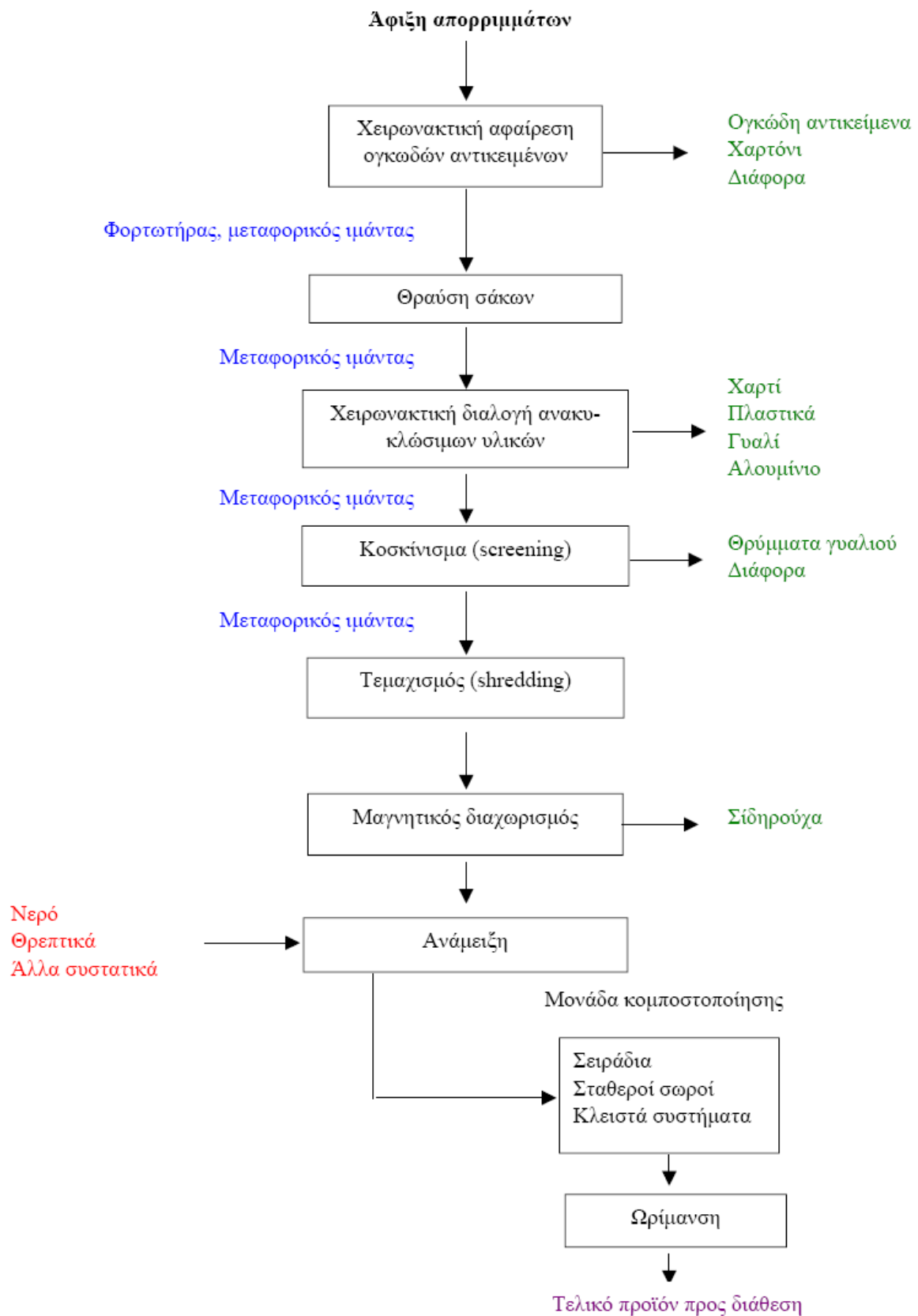
Το τελικό προϊόν της λιπασματοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- ως οργανικό λίπασμα (μικρής περιεκτικότητας σε N και P)
- ως οργανικό βελτιωτικό του εδάφους
- για τη διαμόρφωση χώρων πρασίνου σε αστικές περιοχές όπως πάρκα, δημόσιοι κήποι, εμπορικά κέντρα, γήπεδα αθλοπαιδιών, παρειές εθνικών οδών, κλπ.

Τα κυριότερα προβλήματα που έχουν αναφερθεί από τη χρήση της κομπόστας είναι η εμφάνιση φυτοτοξινών στα εδάφη, κυρίως στις περιπτώσεις που η λιπασματοποίηση της ιλύος δεν έχει πλήρως ολοκληρωθεί. Στις περιπτώσεις αυτές τα φυτά παρουσιάζουν δυσμορφία των ριζών, κιτρινισμένα φύλλα και μικρό βαθμό ανάπτυξης.

Τύπος ιλύος	Στερεά (DS) %	Ολικό N (%DS)	Διαθέσιμο N %	Μορφή N	Ολικός P ₂ O ₅ (%DS)	Διαθέσιμος P ₂ O ₅ %
Αχώνευτη ιλύς	5	3.5	35	οργανικό		
Χωνεμένη ιλύς	4	5	60	αμμωνιακό	4	50
Αφυδατωμένη, μη χωνεμένη	25	3	20	οργανικό	2.5	50
Αφυδατωμένη, χωνεμένη	25	3	15	οργανικό	2.5	50
Κομπόστα	50	1-2	8	οργανικό	-	-

Πίνακας Ε.13. Περιεκτικότητα θρεπτικών στις ιλύες



Σχήμα Ε.16. Διάγραμμα ροής διεργασιών πριν τη λιπασματοποίηση

Συστήματα λιπασματοποίησης

Τα συστήματα λιπασματοποίησης διακρίνονται κατ'αρχήν σε ανοιχτά και κλειστά συστήματα.

1.Ανοιχτά συστήματα λιπασματοποίησης: Στα ανοιχτά συστήματα, η λιπασματοποίηση πραγματοποιείται σε ανοιχτούς χώρους, χωρίς τη χρήση σοβαρού μηχανολογικού εξοπλισμού. Στα ανοιχτά συστήματα συγκαταλέγονται τα σειράδια και οι σταθεροί αεριζόμενοι σωροί. Οι βασικοί μηχανισμοί που ακολουθούνται και στα δύο συστήματα είναι παρόμοιοι, ο εξοπλισμός όμως που χρησιμοποιείται διαφέρει σημαντικά. Στην περίπτωση των σειραδίων το οξυγόνο εισέρχεται στη μάζα του υλικού με φυσικό αερισμό κατά το γύρισμά τους, ενώ στην περίπτωση των σταθερών σωρών γίνεται εμφύσηση ή αναρρόφηση αέρα με μηχανικούς αεριστήρες ή φυσητήρες.

1.1) Σειράδια → Στη μέθοδο αυτή το μίγμα προς λιπασματοποίηση σωριάζεται σε μακριές παράλληλες γραμμές, τα σειράδια. Τα σειράδια απλώνονται σε ανοιχτό χώρο και μόνο σε περιοχές με υψηλή βροχόπτωση τα σειράδια καλύπτονται από κάποιο στέγαστρο.

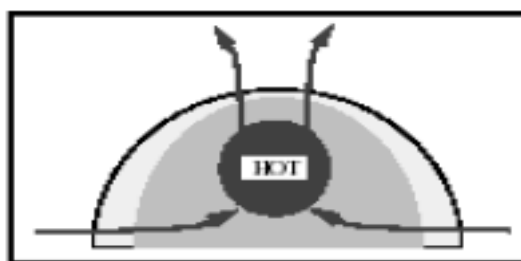
Η λιπασματοποίηση με τη μέθοδο αυτή βασίζεται στο φυσικό αερισμό των σειραδίων ο οποίος επιτυγχάνεται με συχνή αναμόχλευση του σωρού. Σε μικρές εγκαταστάσεις η αναμόχλευση γίνεται με τα χέρια ή με τρακτέρ ενώ σε μεγαλύτερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικά οχήματα. Σε στεγασμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται για την αναμόχλευση ειδικός εξοπλισμός που βρίσκεται ανηρτημένος από την οροφή. Η αναμόχλευση επιτυγχάνει:

- Αερισμό του σωρού και παροχή οξυγόνου στους μικροοργανισμούς ώστε ο σωρός να μην καταστεί αναερόβιος.
- Καταστροφή των συσσωμάτων των οργανικών ουσιών που παρατηρούνται εξ'αίτίας της έκλυσης υγρασίας κατά τη λιπασματοποίηση. Τα συσσωματώματα αυτά γίνονται με το χρόνο πρακτικά αδιαπέραστα ως προς τον αέρα και άρα καθίστανται αναερόβια
- Την συνεχή ανάμιξη των υλικών για την καλλίτερη επαφή των μικροοργανισμών με την τροφή και τη διατήρηση της θερμοκρασίας σταθερής σε όλο το σωρό.

Η εγκάρσια τομή του σωρού έχει σχήμα τραπεζίου. Το τυπικό πλάτος του σωρού είναι 4,5 m και το ύψος του 1-2 m.

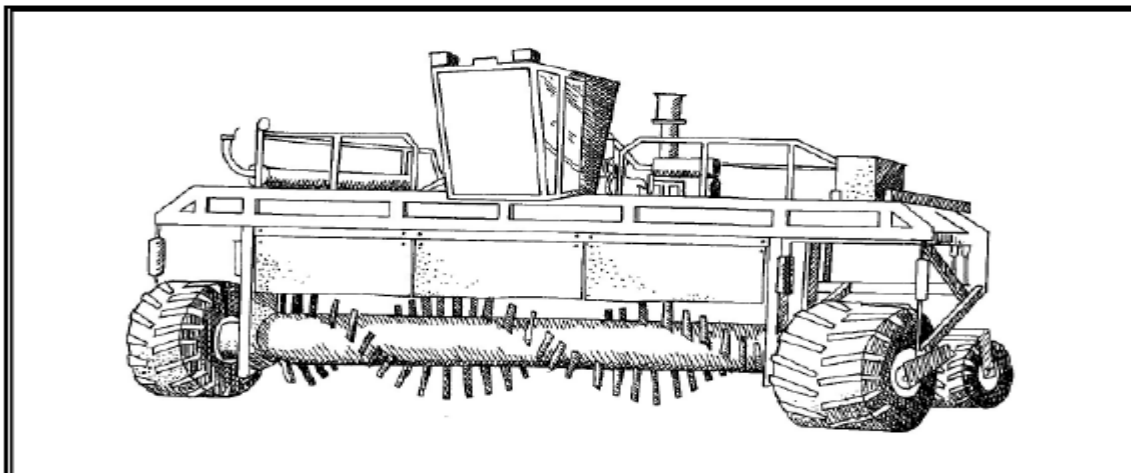
Κάθε σειράδι πρέπει να γυρίζεται δύο - τρεις φορές την ημέρα κατά τη διάρκεια των 5 πρώτων ημερών, ώστε το μίγμα να αναμιχθεί πλήρως, να μειωθούν κατά το δυνατόν οι οσμές και να εξασφαλιστεί η είσοδος του απαιτούμενου οξυγόνου. Στη συνέχεια τα σειράδια αναμοχλεύονται μία φορά την ημέρα για άλλες 30 ημέρες.

Η θερμοκρασία στο κέντρο του σειραδιού, μπορεί να φτάσει και τους 65°C και διατηρείται σταθερή μέχρι και 10 ημέρες. Το χειμώνα οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και κυμαίνονται από 50-60°C. Οι θερμοκρασίες κοντά στην επιφάνεια του σειραδιού είναι χαμηλότερες και τείνουν να εξισωθούν με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Μετά το τέλος της λιπασματοποίησης η θερμοκρασία μειώνεται στους 45-50°C.



Σχήμα Ε.17. Απεικόνιση του φυσικά αεριζόμενο σωρού

Όλα τα μηχανήματα που διατίθενται στην αγορά έχουν κατασκευαστεί αποκλειστικά για το σκοπό της μηχανικής αναμόχλευσης των σειραδιών. Βασικά διακρίνονται σε δύο τύπους: Τους μετωπικούς αναμοχλευτές (straddle turners) και τους πλευρικούς αναμοχλευτές (Side-cutting windrow turners). Οι μετωπικοί αναμοχλευτές (straddle turners) εκτείνονται σε όλο το πλάτος του σωρού. Περιλαμβάνουν ένα περιστρεφόμενο κοχλία που εισχωρεί στο σωρό, ανυψώνει το υλικό και το αποθέτει πίσω του καθώς προχωρεί. Ένας εναλλακτικός τύπος μηχανήματος χρησιμοποιεί ένα κεκλιμένο ταινιόδρομο με κλίση προς το πίσω τμήμα του μηχανήματος. Στη βάση του ταινιόδρομου υπάρχουν δόντια που εισχωρούν στο σωρό και αναγκάζουν το υλικό να πέσει στην ταινία και να μεταφερθεί στο πίσω μέρος του μηχανήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι αναμοχλευτές είναι αυτικινούμενοι.



Σχήμα Ε.18. Αναμοχλευτής σειραδίων. (Α. Κατσίρη *et al.*, 2003-2004)

Τα βασικά πλεονεκτήματα της πρακτικής αυτής είναι η εύκολη και ικανοποιητική ξήρανση, η δυνατότητα κομποστοποίησης μεγάλων ποσοτήτων ιλύος και το σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος. Αντίθετα,, βασικά μειονεκτήματα της είναι οι μεγάλες απαιτήσεις εκτάσεων γης (εξαιτίας περιορισμών στο μέγεθος των σωρών και στις μεταξύ τους αποστάσεις), η απαίτηση για ιδιαίτερη προφύλαξη του προσωπικού κατά τη λειτουργία του αερισμού, ο επηρεασμός άμεσα από κακές καιρικές συνθήκες (σε περίπτωση βροχής, που η λειτουργία ουσιαστικά διακόπτεται), καθώς και η απελευθέρωση οσμών κατά την ανάμειξη των σωρών.

Επίσης ως ξηραντικό υλικό στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται συνήθως το τελικό προϊόν. Όμως, έχουν δοκιμασθεί και διάφορα άλλα ξηραντικά υλικά με αυξημένο όμως κόστος. Ένας άλλος τρόπος ρύθμισης της υγρασίας της ιλύος είναι η ξήρανση της με άπλωμα της σε λεπτές στρώσεις, εφόσον οι καιρικές συνθήκες το επιτρέπουν. Η πρόσθεση τελικού προϊόντος, ως ξηραντικού υλικού, μπορεί να απαιτήσει τη χρήση πρόσθετου οργανικού υλικού, εξαιτίας της σχετικά χαμηλής περιεκτικότητας του σε πτητικά στερεά.

Σε αυτή τη πρακτική, ο αερισμός γίνεται φυσικά, δηλαδή τα θερμότερα παραγόμενα αέρια διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα προκαλώντας ταυτόχρονα εισροή αέρα στο σωρό. Η περιοδική ανάμειξη συμβάλλει στην παραγωγική διαδικασία με την απελευθέρωση αερίων και υγρασίας και την έκθεση της ιλύος στην ατμόσφαιρα. Η συχνότητα ανάμειξης είναι πρωταρχικής σημασίας στην επίτευξη ευνοϊκών συνθηκών. Όταν διατηρείται σε υψηλά επίπεδα, μπορεί να μην επιτρέπει την ανάπτυξη κατάλληλων θερμοκρασιών στο σωρό.

Η συνηθισμένη πρακτική, περιλαμβάνει την ανάμειξη ιλύος και ξηραντικού υλικού με φορτωτή, το σχηματισμό επιμηκών παράλληλων σωρών τριγωνικής διατομής και κομπο-

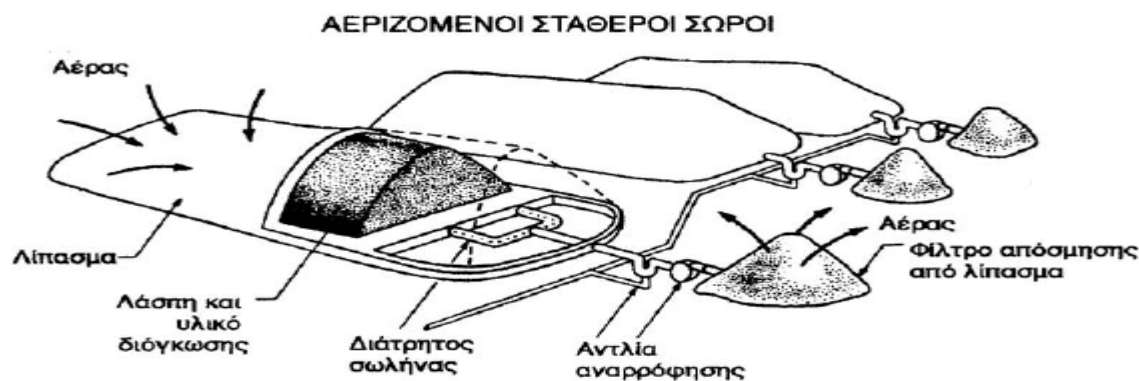
στοποίηση επί 30-90 ημέρες, ανάλογα με της καιρικές συνθήκες. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας γίνεται ανάμειξη των σωρών με ειδικό όχημα και με σταδιακά μειούμενη συχνότητα, ενώ ταυτόχρονα οι σωροί συγχωνεύονται σταδιακά σε μεγαλύτερους.

(Αγγελάκης *et al.*, 2004)

1.2) Αεριζόμενοι σταθεροί σωροί (aerated static pile) →

Τύποι σταθερών σωρών. Στη μέθοδο αυτή το μίγμα των υλικών σωριάζεται σε σταθερό σωρό στον οποίο εφαρμόζεται εξαναγκασμένος αερισμός. Η μέθοδος αναπτύχθηκε με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης έκτασης και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας της λιπασματοποίησης.

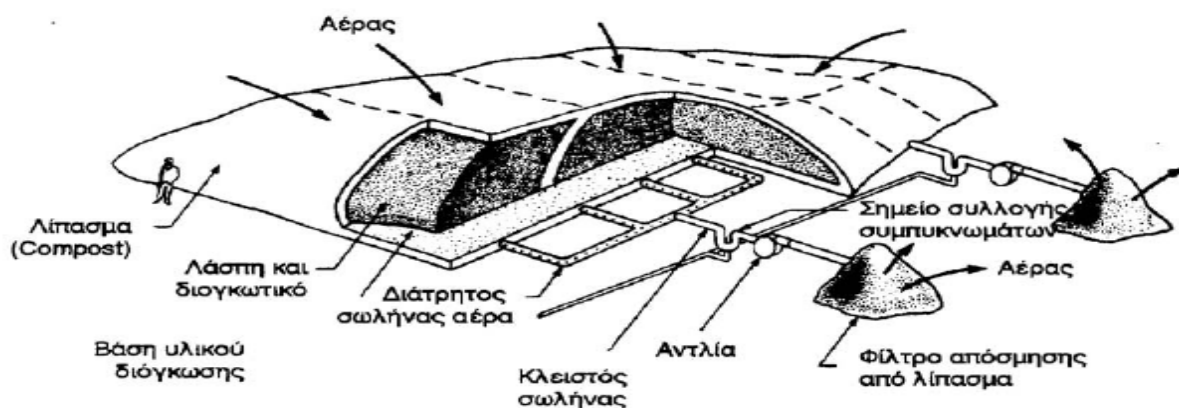
Οι αεριζόμενοι σταθεροί σωροί διακρίνονται σε ατομικούς σωρούς και σε εκτεταμένους σωρούς. Η πρώτη μέθοδος είναι γνωστή σαν μέθοδος Rudgers και η δεύτερη μέθοδος ως μέθοδος Beltsville. Ο αερισμός των σωρών μπορεί να γίνει με αναρρόφηση αέρα, ή εμφύσηση αέρα, ή με συνδυασμό και των δύο. Τα δύο συστήματα παρουσιάζονται στα σχήματα 3 και 4. Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος σχεδιασμού του συστήματος του εκτεταμένου σταθερού σωρού που είναι και ο πιο συνηθισμένος μια που απαιτεί 50 φορές περίπου μικρότερη έκταση από την αντίστοιχη των ατομικών αεριζόμενων σωρών.



Σχήμα Ε.19. Σχηματική διάταξη ατομικών αεριζόμενων σωρών (σύστημα Rudgers)

Κατασκευή του σταθερού αεριζόμενου σωρού. Η επιφάνεια απόθεσης του σωρού, η επιφάνεια ξήρανσης και η επιφάνεια διαχωρισμού του πρόσθετου υλικού διαμορφώνεται από σκυρόδεμα. Στην επιφάνεια διάστρωσης δίδεται κλίση 2% για τη συλλογή των ομβρίων και την ανακύκλωσή τους στην εγκατάσταση επεξεργασίας των λυμάτων. Ο εκτεταμένος σωρός κατασκευάζεται ως εξής:

Στην αρχή κατασκευάζεται ένας σωρός σε σχήμα τριγωνικό με την ποσότητα του μίγματος μιας ημέρας. Η μια πλευρά και τα άκρα του σωρού σκεπάζονται κανονικά με 25 cm τελικής κομπόστας, ενώ η εσωτερική πλευρά καλύπτεται προσωρινά με μερικά εκατοστά κομπόστας μέχρι την άλλη μέρα. Ο σωρός που κατασκευάζεται έχει πλάτος 15 m και ύψος 2,5 m. Την επόμενη ημέρα ο σωρός επεκτείνεται με την απόθεση μιας νέας ημερήσιας ποσότητας μίγματος με μορφή στερεού παραλληλογράμμου. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται επί 28 συνολικά ημέρες. Μετά την 21η ημέρα η λιπασματοποίηση θεωρείται ολοκληρωμένη και αφαιρείται ο πρώτος σωρός. Μετά την απομάκρυνση 7 συνολικά σωρών έχει δημιουργηθεί αρκετός χώρος για τη λειτουργία των φορτωτών απόθεσης και αφαίρεσης του σωρού και ξεκινάει η κατασκευή νέου σωρού.



Σχήμα E.20. Σχηματική διάταξη σταθερού σωρού (σύστημα Beltsville)

Σωλήνες αερισμού. Οι σωλήνες αερισμού για την εμφύσηση ή την αναρρόφηση του αέρα τοποθετούνται σε μόνιμα τριγωνικά κανάλια, βάθους περίπου 20-25 cm και σε απόσταση 1,6 m μεταξύ τους, που διαμορφώνονται στο δάπεδο απόθεσης του σωρού. Τα κανάλια καλύπτονται με σιδερένια σχάρα. Σε κάθε ημερήσιο σωρό αναλογούν δύο σωλήνες που διατρέχουν το πλάτος του. Οι σωλήνες είναι από PVC και έχουν διάμετρο 10 cm. Συνδέονται σε σταθερό δίκτυο σωληνώσεων που οδηγεί στους φυσητήρες. Ο χώρος γύρω από τους σωλήνες αερισμού γεμίζει με πρόσθετο υλικό που εξασφαλίζει καλύτερη κατανομή του οξυγόνου στο σωρό. Περιοδικά είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του υλικού στα κανάλια αερισμού.

Αερισμός του σωρού. Ο αερισμός του σωρού αποσκοπεί στην τροφοδοσία του μίγματος με το απαραίτητο για τη διαδικασία της λιπασματοποίησης οξυγόνο. Ο αερισμός επιτυγχάνεται: (α) με την εμφύσηση πεπιεσμένου αέρα δια μέσου του σωρού και (β) με την αναρρόφηση αέρα δια μέσου του σωρού. Οι δύο αυτές λειτουργίες εναλλάσσονται έτσι ώστε να διατηρείται στο σωρό η απαραίτητη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου καθώς και η απαραίτητη θερμοκρασία για τη λιπασματοποίηση και την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Η λειτουργία με εμφύσηση αέρα έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας αλλά υποβοηθά σημαντικά την ξήρανση της κομπόστας. Αντίθετα η αναρρόφηση αέρα επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλότερων θερμοκρασιών. Η επιθυμητή συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου είναι 15%. Η βέλτιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό του σωρού είναι 60°C. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή παρατηρείται σημαντική αναστολή της μικροβιακής δράσης ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες επιβραδύνεται η βιοαποικοδόμηση.

Κάθε σωρός είναι εφοδιασμένος με ρυθμιστική δικλείδα που παίρνει εντολές για την έναρξη ή την παύση του αερισμού ανάλογα με τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του σωρού. Η εναλλαγή των αεριστήρων μεταξύ των δύο αυτών τρόπων λειτουργίας ρυθμίζεται με τη βοήθεια αισθητηρίων διαλυμένου οξυγόνου και θερμοκρασίας που τοποθετούνται στη μάζα του σωρού. Το αισθητήριο της θερμοκρασίας τοποθετείται κοντά στη βάση του σωρού ενώ το αισθητήριο του οξυγόνου κοντά στο κέντρο του όπου αναπτύσσονται και οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

Κατά τις πρώτες 5-8 ημέρες οι αεριστήρες θα λειτουργούν με αναρρόφηση αέρα ενώ τις υπόλοιπες με εμφύσηση. Με το τρόπο αυτό εξασφαλίζεται καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών και έλεγχος των οσμών που δημιουργούνται κυρίως κατά τις πρώτες ημέρες.

Η απαιτούμενη παροχή αέρα είναι 15-20 m³/h ανά τόνο ιλύος που παράγεται ημερησίως. Ο χρόνος λειτουργίας των αεριστήρων κυμαίνεται από 5 ως 15 min κάθε 15 min και θα ρυθμίζεται με τα αισθητήρια θερμοκρασίας και οξυγόνου. Οι αεριστήρες είναι συνδεδεμένοι σε κεντρική μονάδα απόσμησης του αέρα που θα λειτουργεί κατά τη φάση της αναρρόφησης

Συλλογή στραγγιδίων. Στραγγίδια παράγονται από την υγροποίηση των υδρατμών που δημιουργούνται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό του σωρού. Τα στραγγίδια είναι αρκετά ρυπασμένα καθώς παρασύρουν κατά τη δίοδο τους και οργανικά στερεά της ιλύος. Η ποσότητα των στραγγιδίων που παράγεται σε κάθε ημερήσιο σωρό κυμαίνεται από 30 ως 100 l ανά τόνο στερεών ιλύος. Τα στραγγίδια συλλέγονται σε στραγγι-

στήρι τοποθετημένο στο κανάλι αερισμού κάτω από τον σωλήνα του αέρα και οδηγούνται στο δίκτυο αποχέτευσης της μονάδας.

Σχαρισμός τελικού προϊόντος. Ο σχαρισμός γίνεται για το διαχωρισμό του πρόσθετου υλικού από το τελικό προϊόν και την ανακύκλωσή του. Ο διαχωρισμός γίνεται σε δονούμενη σχάρα.

Ωρίμανση. Το προϊόν της λιπασματοποίησης αποτίθεται σε ανοιχτό χώρο για παραπέρα ωρίμανση. Ο χρόνος ωρίμανσης είναι δύο μήνες. Μετά την ωρίμανση τοποθετείται σε σάκους για διάθεση ως λίπασμα ή ως βελτιωτικό εδάφους.

(Α.Κατσίρη et al., 2004-2005)

Βασικά πλεονεκτήματα των αεριζόμενων σωρών είναι η απλότητα, το σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος, ο καλύτερος έλεγχος λειτουργίας, το σχετικά καλύτερο τελικό προϊόν, ο υψηλός βαθμός καταστροφής παθογόνων καθώς και η μικρή ευαισθησία στις μεταβολές ποιότητας της αφυδατωμένης ιλύος. *Βασικά μειονεκτήματα* τους είναι οι μεγαλύτερες απαιτήσεις εκτάσεων γης (σε σχέση με τα μηχανικά συστήματα κομποστοποίησης), η παρουσία ορισμένων λειτουργικών προβλημάτων (όπως είναι η ανάμειξη υλικών), καθώς και η πιθανή επίδραση βροχής ή ψύχους στη λειτουργία (μπορούν να προκαλέσουν ανομοιόμορφη ποιότητα τελικού προϊόντος), που όμως δεν είναι ουσιαστική, καθότι δεν επιφέρει διακοπή της όλης διαδικασίας.

Χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος που μπορούν να παρουσιάζουν ενδιαφέρον ανάλογα με τη διάθεση του τελικού προϊόντος, είναι η περιεκτικότητα του σε παθογόνα, βαρέα μέταλλα, θρεπτικά και άλλα. Από άποψη μικροβιολογικής ποιότητας, σημειώνεται ότι το τελικό προϊόν είναι πρακτικά απαλλαγμένο παθογόνων, καθότι οι αεριζόμενοι σωροί, όπως και τα άλλα είδη κομποστοποίησης, επιτυγχάνουν εξαιρετικά υψηλό βαθμό καταστροφής παθογόνων, τόσο βακτηριδίων όσο και ιών (αν και για τους τελευταίους απαιτούνται σχετικά μεγαλύτεροι χρόνοι). Η καταστροφή αυτή είναι συνήθως σε επίπεδα χαμηλότερα των απαιτούμενων για την ανίχνευση των παθογόνων και επιτυγχάνεται κυρίως κατά το στάδιο του αερισμού αλλά και αυτού της ωρίμανσης.

Όσον αφορά τα θρεπτικά, η κομποστοποίηση προκαλεί σημαντική μείωση του N, εξαιτίας απώλειας του στην απορροή των σωρών ή εξαέρωσης του στην ατμόσφαιρα ως NH₃-N, και

σχετικά μικρή μείωση του P και του K της ιλύος, μειώνοντας επίσης την αξία του τελικού προϊόντος. Έτσι το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται κατά κανόνα α»ς| βελτιωτικό του εδάφους σε διάφορες γεωργικές και κηπουρικές εφαρμογές, σε διαμόρφωση χώρων πρασίνου και άλλες. Τέλος, τα βαρέα μέταλλα της ιλύος δεν υφίστανται μεταβολές κατά τη διαδικασία παραγωγής και έτσι, οι συνολικές ποσότητες τους παραμένουν πρακτικά σταθερές. Στο βαθμό όμως, που κάποιο ποσοστό του προστιθέμενου ξηραντικού υλικού διαφεύγει από την εσχάρωση και παραμένει στο τελικό προϊόν, προκαλείται κάποια μείωση της συγκέντρωσης των μετάλλων.

(Αγγελάκης et al., 2004)

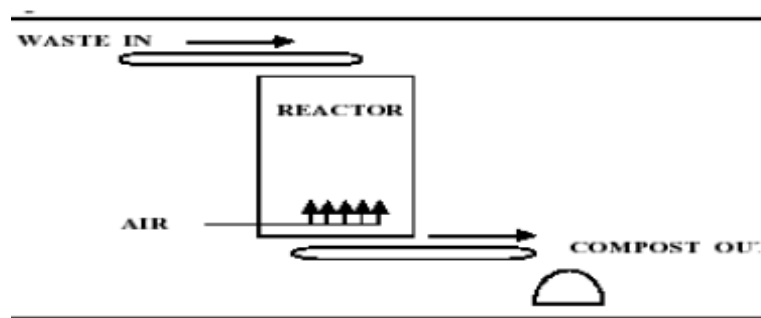
2.Κλειστά συστήματα λιπασματοποίησης:

Στα συστήματα αυτά η λιπασματοποίηση πραγματοποιείται μέσα σε κλειστούς αντιδραστήρες, κατακόρυφους οριζόντιους ή περιστρεφόμενου τυμπάνου, όπου υπάρχει η δυνατότητα καλλίτερου ελέγχου της παροχής αέρα, της θερμοκρασίας, του pH και της υγρασίας.

Οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες έχουν συνήθως ύψος 4.0 m ή μεγαλύτερο και κατασκευάζονται με τη μορφή σιλό. Η τροφοδοσία του υλικού γίνεται από την κορυφή μέσω ενός μηχανισμού τροφοδοσίας (ταινιόδρομος, κοχλιωτή αντλία). Στη συνέχεια το υλικό κινείται με βαρύτητα προς τον πυθμένα του σιλό και εκφορτώνεται με ένα αντίστοιχο μηχανισμό.

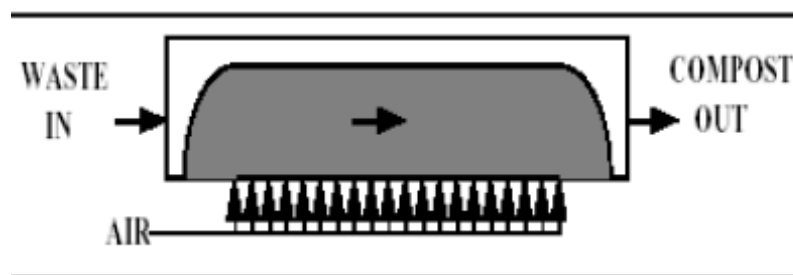
Ο έλεγχος της διαδικασίας γίνεται μέσω της εμφύσησης αέρα κατ' αντιρροή προς τα απορρίμματα. Εναλλακτικά ο αερισμός επιτυγχάνεται επίσης με την πτώση από το ένα επίπεδο στο άλλο, είτε με τη συνεχή ανάμιξη από ειδικούς αναμοχλευτήρες

Λόγω του μεγάλου ύψους των αντιδραστήρων είναι δύσκολο να διατηρηθούν οι βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας σε όλα τα σημεία της κατακόρυφης στήλης. Επί πλέον η είσοδος του αέρα γίνεται από τον πυθμένα, όπου βρίσκονται τα απορρίμματα που έχουν υποστεί ήδη σημαντικό βαθμό σταθεροποίησης και άρα οι απαιτήσεις για οξυγόνο είναι μικρότερες. Αντίθετα στην κορυφή όπου οι ανάγκες σε οξυγόνο είναι μεγαλύτερες φθάνει συχνά πολύ μικρή ποσότητα οξυγόνου. Για το λόγο αυτό συχνά εφαρμόζεται οριζόντιος αερισμός μέσω δικτύου σωλήνων εισόδου και εξόδου. Γενικά οι κατακόρυφοι αντιδραστήρες βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στη σταθεροποίηση της ιλύος όπου με τη χρήση κάποιου πρόσθετου υλικού μπορεί να επιτευχθεί μια σχετικά ομοιογενής μάζα.



Σχήμα E. 21. Κατακαόρυφος αντιδραστήρας

Οι οριζόντιοι αντιδραστήρες επιτυγχάνουν μια πιο ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας, υγρασίας και οξυγόνου. Η εμφύσηση αέρα, γίνεται και στην περίπτωση αυτή από δίκτυο σωληνώσεων τοποθετημένων στον πυθμένα αλλά η διαδρομή του αέρα είναι πολύ πιο σύντομη, ενώ μπορεί να διαφοροποιηθεί η παροχή του κατά μήκος του αντιδραστήρα. Διακρίνονται δύο τύποι αντιδραστήρων οι στατικοί, όπου η φόρτωση και εκφόρτωση του υλικού απαιτούν ένα μηχανισμό, π.χ. bulldozer, και οι αναδευόμενοι όπου ένας μηχανισμός αναμόχλευσης ωθεί το υλικό συνεχώς από το ένα άκρο προς το άλλο. Εκτός από τον αέρα συχνά ρυθμίζεται στα συστήματα αυτά η υγρασία και η θερμοκρασία.

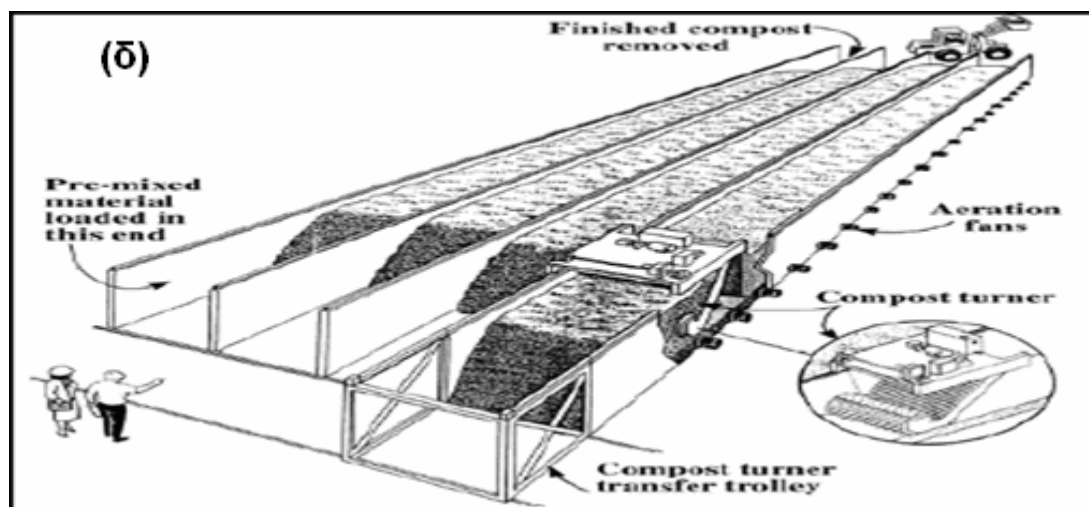
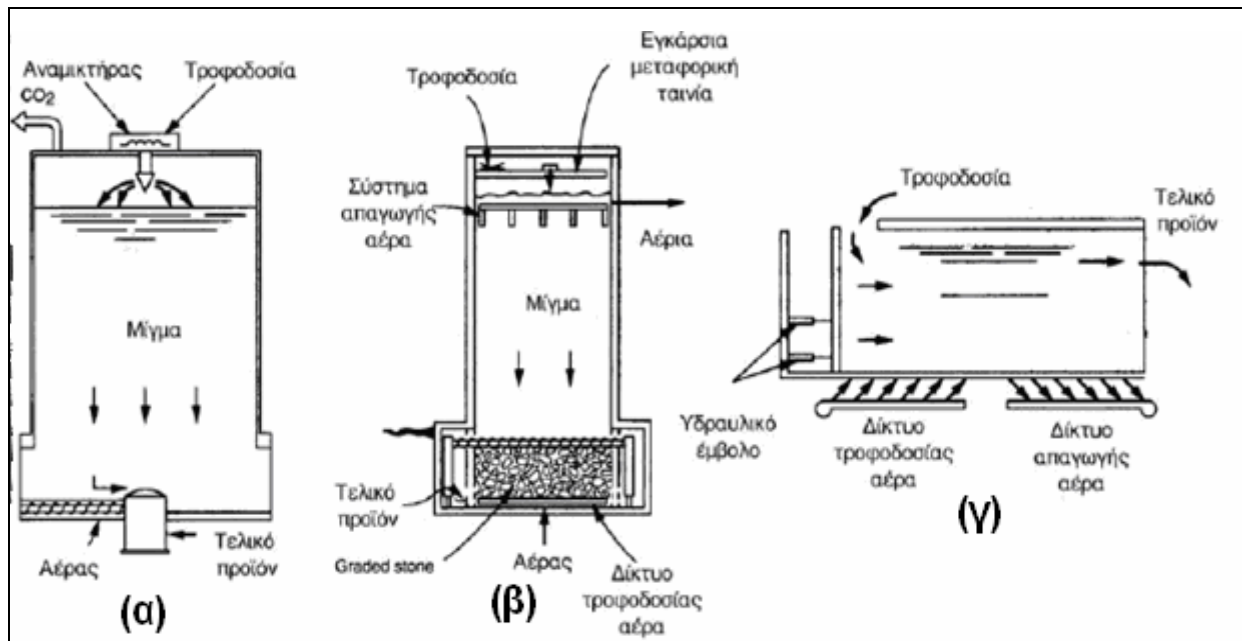


Σχήμα E.22. Οριζόντιος αντιδραστήρας

Εξ' αιτίας του μεγάλου κόστους των κλειστών συστημάτων λιπασματοποίησης ο χρόνος παραμονής των απορριμμάτων είναι μικρός, <5 ημέρες, με αποτέλεσμα να μην παράγεται ένα σταθεροποιημένο τελικό προϊόν. Έτσι απαιτείται συνήθως συμπληρωματική σταθεροποίηση σε σωρούς. Στην ουσία οι κλειστοί αντιδραστήρες χρησιμοποιούνται για να επιτελέσουν τα πρώτα στάδια της λιπασματοποίησης κατά το οποίο παράγονται οι περισσότερες οσμές και ο έλεγχος της διαδικασίας είναι κρίσιμος.

Οι αντιδραστήρες περιστρεφόμενου κυλίνδρου αυτοί που ονομάζονται επίσης και χωνευτήρες, έχουν ακόμα μικρότερους χρόνους παραμονής από τα άλλα κλειστά συστήματα, της τάξεως των ωρών ή λίγων ημερών. Η περιστροφική κίνηση βοηθά στην ομογενοποίηση και κατάτμηση του υλικού. Λόγω του μικρού χρόνου ακολουθούνται πάντοτε από κλειστά ή

ανοιχτά συστήματα περαιτέρω λιπασματοποίησης. Τυπικές διατάξεις κατακόρυφων και οριζόντιων αντιδραστήρων φαίνονται στο σχήμα παρακάτω.



Σχήμα Ε.23. Παραδείγματα κλειστών συστημάτων λιπασματοποίησης: (α) κατακόρυφος κυλινδρικός πύργος, (β) κατακόρυφος ορθογωνικός πύργος, (γ) οριζόντιο σύστημα τύπου τούνελ και (δ) οριζόντιο σύστημα τύπου καναλιού

Βασικά πλεονεκτήματα των μηχανικών συστημάτων είναι οι μικρές απαιτήσεις γης, οι μικρότεροι χρόνοι κομποστοποίησης, ο καλύτερος έλεγχος λειτουργίας, η μη απαίτηση πρόσθετης ξήρανσης του τελικού προϊόντος, ο μη επηρεασμός από καιρικές συνθήκες και ότι δεν προκαλούν σοβαρές περιβαλλοντικές οχλήσεις. Βασικά μειονεκτήματα είναι το μεγά-

λο αρχικό κόστος, ο πολύπλοκος εξοπλισμός, το μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης και η μικρότερη ευελιξία στην αντιμετώπιση μεταβαλλόμενης εισροής της ποσότητας ή ποιότητας ιλύος.

Η διαδικασία στα συστήματα αυτά περιλαμβάνει ανάμειξη της ιλύος με ξηραντικό υλικό, συνήθως πριονίδια, σε αναλογίες ιλύ/ ξηραντικό υλικό 3-1:1, κομποστοποίηση για 14 ημέρες, που πρέπει να εξασφαλίζει ορθή καταστροφή παθογόνων, και ωρίμανση για 20 ημέρες σε ξεχωριστό αντιδραστήρα. Αυτά διακρίνονται σε: (α) αντιδραστήρες σωληνοειδούς ροής και (β) αντιδραστήρες πλήρους ανάμειξης, με κοινό χαρακτηριστικό τις διατάξεις εισαγωγής και διανομής αέρα και απαγωγής των παραγόμενων αερίων.

E.1.5.4 Σταθεροποίηση ιλύος με ασβέστη

Σκοπός της σταθεροποίησης με ασβέστη είναι η μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών και των οσμών και της δυνατότητας της ιλύος να γίνει σηπτική. Αυτή επιτυγχάνεται με τη δημιουργία συνθηκών ακατάλληλων για την επιβίωση των μικροοργανισμών ιλύος, δηλαδή στην περίπτωση αυτή, υψηλού pH με πρόσθεση ασβέστη. Σημειώνεται ότι η ιλύς παραμένει σταθεροποιημένη μόνο εφόσον το pH διατηρείται σε υψηλά επίπεδα, διαφορετικά η βιολογική δραστηριότητα συνεχίζεται.

Βασικά πλεονεκτήματα της σταθεροποίησης με ασβέστη είναι το χαμηλό αρχικό κόστος, η απλότητα λειτουργίας της (γι' αυτό η ασβεστοποίηση της ιλύος, αποτελεί μια μέθοδο υγειονομποίησης κατάλληλη και για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων) και το ότι, είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος σταθεροποίησης στην περίπτωση τελικής διάθεσης της ιλύος στο έδαφος. Βασικά μειονεκτήματα της είναι το ότι: η σταθεροποίηση δεν είναι μόνιμη, δεν μειώνει τα στερεά της ιλύος, όπως η αερόβια ή αναερόβια χώνευση, αλλά αντίθετα τα αυξάνει (και κατά συνέπεια την ποσότητα της και το κόστος μεταφοράς της), η πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων στην αφυδάτωση της σταθεροποιημένης ιλύος και η πιθανή δημιουργία προβλημάτων σε μία εγκατάσταση από την επανακυκλοφορία υπερκείμενων υγρών.

Η σταθεροποίηση με ασβέστη, όπως αναφέρθηκε, είναι ιδιαίτερα εφαρμόσιμη σε μικρές εγκαταστάσεις, και μάλιστα στις περιπτώσεις τελικής διάθεσης της ιλύος στο έδαφος. Εξαιτίας της φύσης της χρησιμοποιείται συνήθως ως εφεδρική κάποιας άλλης μορφής σταθεροποίησης ή ως προσωρινή ενόψει κάποιας μονιμότερης.

Με βάση τα αποτελέσματα εργαστηριακής κλίμακας πειραμάτων ασβεστοποίησης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επεξεργασία της ιλύος με υδράσβεστο σε δόσεις που κυμαίνονται

μεταξύ 6-10% σε συνδυασμό με την αποθήκευση της ιλύος για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 14 ημερών εξασφαλίζει την διατήρηση του pH σε τιμές μεγαλύτερες του 12 και επιτυγχάνει σημαντικό βαθμό υγειονοποίησης, που πλησιάζει ή και κατά πάσα πιθανότητα υπερκαλύπτει τα απαιτούμενα όρια για την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στην γεωργία χωρίς περιορισμούς και εξασφαλίζει την ικανοποίηση των όρων διάθεσης της ιλύος σε ΧΥΤΑ.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004)

Όπως αναφέρθηκε στη αρχή της παρούσας εργασίας, το θεσμικό πλαίσιο που ρυθμίζει δύο από τις σημαντικότερες μεθόδους τελικής διάθεσης των ιλύων στην Ελλάδα χαρακτηρίζεται από κάποιο βαθμό ασάφειας που αφορά κυρίως στον απαιτούμενο βαθμό υγειονοποίησης της ιλύος. Για αυτό θα παρουσιαστεί η διερεύνηση, που έχει πραγματοποιηθεί, της δυνατότητας υγειονοποίησης της ιλύος με ασβέστη με στόχο την εξασφάλιση των όρων περί διάθεσης της ιλύος σε ΧΥΤΑ ή περί επαναχρησιμοποίησης της ιλύος στη γεωργία. Η ασβεστοποίηση της ιλύος παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μεθόδων υγειονοποίησης ιδιαίτερα στη περίπτωση των εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων μικρής κλίμακας καθώς: 1) παράγει προϊόν που μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους και με δυνατότητα πώλησής του, 2) προϋποθέτει απλή τεχνολογία που μπορεί να εφαρμοσθεί με βσιμότητα, χωρίς εξειδικευμένο προσωπικό, 3) χαρακτηρίζεται από έργα που είναι εύκολα να κατασκευαστούν, 4) καταλαμβάνει μικρό χώρο, 5) παρουσιάζει λειτουργική απλότητα με δυνατότητα άμεσης εκκίνησης ή διακοπής, 6) δεσμεύει με πιο σταθερό τρόπο τα μέταλλα αποτρέποντας έτσι την έκλυσή τους και 7) βελτιώνει τα φυσικά χαρακτηριστικά του προϊόντος καθιστώντας ευκολότερη τη διαχείρισή του. Δυνητικά μειονεκτήματα της μεθόδου μπορεί να θεωρηθούν η αύξηση του όγκου του τελικού προϊόντος, κατά 15-20% περίπου και το ενδεχόμενο δημιουργίας οσμών κατά την εφαρμογή της, κυρίως λόγω εξαέρωσης της αμμωνίας.

(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)

Περιγραφή της μεθόδου υγειονοποίησης της ιλύος μέσω ασβεστοποίησης

Παρά το γεγονός ότι η ασβεστοποίηση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε μη αφυδατωμένη ιλύ (προ-ασβεστοποίηση), για την εξασφάλιση της υγειονοποίησης κατά κανόνα εφαρμόζεται η ασβεστοποίηση της αφυδατωμένης ιλύος με ποσοστό στερεών 20-30% (μετα-ασβεστοποίηση). Για την περίπτωση της μετα-ασβεστοποίησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε οξείδιο του ασβεστίου CaO , ή ασβέστης σε ένυδρη μορφή Ca(OH)_2 . Στην πρώτη περίπτωση ταυτόχρονα με την αύξηση του pH, επέρχεται και σημαντική αύξηση της

θερμοκρασίας λόγω της εξώθερμης αντίδρασης του CaO με το νερό της ιλύος, η οποία συμβάλει στην καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Στην περίπτωση του Ca(OH)_2 το πλεονέκτημα της αυξημένης θερμοκρασίας δεν υπάρχει. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή των βασικών διεργασιών ασβεστοποίησης με CaO (αντίστοιχες είναι οι διεργασίες με Ca(OH)_2 με εξαίρεση την εξώθερμη αντίδραση του CaO και την αύξηση της θερμοκρασίας). Η ασβεστοποίηση της ιλύος συνίσταται στην προσθήκη ασβέστη και τη δημιουργία ενός ομοιόμορφου μίγματος με τιμή του $\text{pH} \geq 12$ ώστε να καταστραφεί ή να περιορισθεί η βιομάζα που είναι κατάλληλη για την αποδόμηση οργανικών ουσιών. Η διεργασία βοηθά την απολύμανση της ιλύος, αυξάνει το περιεχόμενο ξηρής ύλης και διευκολύνει την εργασιμότητα του προϊόντος. Η δόση του ασβέστη εξαρτάται από τον τύπο της ιλύος, το οργανικό περιεχόμενο και τη συγκέντρωση στερεών της ιλύος. Η προσθήκη ασβέστη έχει τις εξής κύριες συνέπειες :

- Η αντίδραση μεταξύ ασβέστη και νερού της ιλύος παράγει θερμότητα, η οποία υποβοηθά στην καταστροφή παθογόνων (στην περίπτωση του CaO).

- Το υψηλό pH του μίγματος ιλύος/ασβέστη δεν ευνοεί την επιβίωση των παθογόνων μικροοργανισμών.

- Η προσθήκη ασβέστη αυξάνει το περιεχόμενο ξηράς ουσίας του μίγματος και μειώνει το ποσοστό οργανικών. Στην περίπτωση του CaO η αντίδραση μεταξύ ασβέστη και νερού αυξάνει ακόμα περισσότερο το περιεχόμενο ξηράς ουσίας του μίγματος.

Η αύξηση της ξηρής ουσίας εξαρτάται από την αρχική περιεκτικότητα ξηράς ύλης στη ιλύ και τη δόση ασβέστη. Είναι επιθυμητό η ιλύς που θα υποστεί ασβεστοποίηση να έχει περιεκτικότητα στερεών της τάξεως του 20-25%. Πιο υδαρής ιλύς θα οδηγήσει σε υψηλότερο κόστος καθώς περισσότερος ασβέστης θα απαιτηθεί για ικανοποιητική υγειονομοποίηση.

(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)

Απαιτούμενη δόση:

Γενικά η απαιτούμενη δόση ασβέστη εξαρτάται από το είδος και τα χαρακτηριστικά της ιλύος. Οι δεξαμενές ανάμειξης ιλύος και ασβέστη μπορεί να είναι (από άποψη ροής), αντιδραστήρες κλειστοί ή συνεχούς ροής. Σε μικρές εγκαταστάσεις, προτιμούνται οι κλειστοί αντιδραστήρες, που σχεδιάζονται με βάση το μέγιστο ημερήσιο όγκο ιλύος και μπορούν να έχουν και πρόσθετο όγκο για πάχυνση της ιλύος. Οι δεξαμενές συνεχούς ροής απαιτούν αυτόματη τροφοδότηση με ασβέστη και έτσι, δεν είναι οικονομικές για μικρές εγκαταστάσεις, αλλά είναι κατάλληλες για μεγάλες ΜΕΥΑ. Σχεδιάζονται για χρόνο παρα-

μονής 30 min και έχουν αυτόματη τροφοδότηση με ασβέστη. Η ορθή ανάμειξη ασβέστη και ιλύος είναι ιδιαίτερα σημαντική για την επίτευξη υψηλής απόδοσης και επιτυγχάνεται με διοχέτευση αέρα φυσικά ή με μηχανικά μέσα. Η πρόσθεση ασβέστη επηρεάζει διάφορα χαρακτηριστικά της ιλύος, κυριότερα από τα οποία είναι οι οσμές, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, τα χημικά χαρακτηριστικά και τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης ή πάχυνσης της ιλύος.

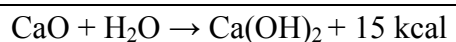
(Α. Αγγελάκης et al., 2004)

Έχει βρεθεί ότι προκειμένου να ανυψωθεί το pH της ιλύος από την τιμή 7 σε 12,5, απαιτούνται 1,7 mmoles OH ανά γραμμάριο ολικών στερεών ώστε να εξουδετερωθεί η δυνατότητα αντίστασης των πρωτεϊνών. Εφόσον, 56 mg CaO παράγουν 2 mmoles OH, απαιτούνται 50 mg CaO ανά γραμμάριο ολικών στερεών ιλύος. Για μία ιλύ με περιεκτικότητα στερεών 20-30%, απαιτούνται 1-1,5% CaO για να οδηγήσουν στην αύξηση του pH σε 12,5. Σε αυτή τη δοσολογία δεν διατίθεται περίσσεια CaO για να εξουδετερώσει το CO₂ και την παραγωγή οργανικών οξέων. Συνεπώς, απαιτείται συνήθως μία μεγαλύτερη δόση, τυπικά άνω του 2% CaO. Δεν είναι ασύνηθες να χρησιμοποιούνται δόσεις στην περιοχή 6-10% CaO ώστε να εξασφαλιστεί η διατήρηση του pH για αρκετό χρονικό διάστημα (αρκετούς μήνες). Ένας από του κύριους λόγους παραγωγής CO₂ και συνεπαγόμενης μείωσης του pH είναι η βιολογική δράση στην ιλύ. Κυρίως, η ανεπαρκής ανάμειξη ιλύος και ασβέστη σε δόσεις CaO της τάξεως του 2% οδηγούν σε ‘περιοχές’ στη μάζα της ιλύος με pH κάτω από 12 επιτρέποντας έτσι την μικροβιακή δράση και συνεπώς την παραγωγή CO₂. Έτσι, μπορεί να συμβεί μία πολύ γρήγορη μείωση του pH σε επίπεδα τιμών 8-9 εντός λίγων εβδομάδων. Το ίδιο συμβαίνει και με δόση CaO της τάξεως του 4% αλλά σε μακρύτερο διάστημα χρόνου (δύο μήνες). Και για τις δύο περιπτώσεις δόσεων, μπορεί να υπάρξει έκλυση οσμών. Ικανοποιητικές περίοδοι (πάνω από 3 μήνες) σταθερού pH περί το 12,5 μπορεί να εξασφαλισθούν με δόσεις σε εύρος 6-10%. Μία επιπλέον παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η αντίδραση με το CO₂ της ατμόσφαιρας ή/και το CO₂ που παράγεται από τη δράση μυκήτων στην επιφάνεια της ιλύος. Ωστόσο, αυτή η παράμετρος μπορεί να περιορισθεί με κατάλληλη αποθήκευση (χαμηλό λόγο επιφάνειας προς όγκο, χαμηλές θερμοκρασίες).

Διεργασίες:

Η επεξεργασία της ιλύος με άσβεστο περιλαμβάνει μια σειρά από χημικές αντιδράσεις που τροποποιούν τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά της ιλύος. Όταν προστίθεται CaO, ε-

κλύεται θερμότητα με δυνατότητα ανόδου της θερμοκρασίας του μίγματος στους 70°C και τη δυνατότητα παστερίωσης.



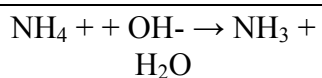
Το Ca(OH)_2 είναι ένα αλκαλικό προϊόν το οποίο μπορεί να δημιουργήσει επίπεδα pH υψηλά, μεγαλύτερα από 12. Σε επίπεδα pH μεγαλύτερα από 12 η μεμβράνη παθογόνων καταστρέφεται. Επίσης το υψηλό pH προσφέρει προστασία έναντι της προσέλκυσης εντόμων όπως κουνούπια, μύγες κá (*vector attraction*). Λόγω της χαμηλής διαλυτότητας του ασβέστη στο νερό, μόρια ασβέστη παραμένουν στην ιλύ και έτσι διατηρείται το pH πάνω από 12 ώστε να εμποδίζεται η επανεμφάνιση παθογόνων. Σε υψηλές τιμές pH, υποβοηθείται και η κατακρήμνιση μετάλλων που βρίσκονται στην ιλύ και περιορίζεται η διαλυτότητα και η κινητικότητά τους.

Η διαλυτότητα του Ca(OH)_2 προσφέρει ιόντα Ca^{+2} , τα οποία αντιδρούν και δημιουργούν ενώσεις με θειικά/θειούχα στοιχεία με αποτέλεσμα όχι απλώς την κάλυψη δυσοσμίων αλλά την εξουδετέρωση αυτών. Η αύξηση στερεών λόγω της προσθήκης ασβέστη είναι σχεδόν γραμμική. Θεωρητικά, η νέα περιεκτικότητα στερεών (TS_2) μπορεί να υπολογισθεί από την χημική εξίσωση $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ που δόθηκε παραπάνω συναρτήσει της αρχικής συγκέντρωσης στερεών (TS_1). Θα είναι:

$$\% \text{TS}_2 = \frac{\% \text{TS}_1 + [74/56\% \text{CaO}]}{100\% + \% \text{CaO}} \times 100\%$$

Μία περαιτέρω αύξηση των στερεών μπορεί να υπάρξει λόγω της δημιουργίας CaCO_3 λόγω της αντίδρασης με CO_2 . Η αύξηση του περιεχομένου στερεών δημιουργεί ένα πιο συνεκτικό τελικό προϊόν το οποίο δίδει τη δυνατότητα καλύτερης αποθήκευσης και διαχείρισης. Ένα από τα χαρακτηριστικά της ασβεστοποίησης και του τελικού προϊόντος είναι η έκλυση αμμωνίας η οποία παράγεται κατά τη διεργασία αυτή. Η αμμωνία είναι ένα φυσικό παραπροϊόν της αντίδρασης της ιλύος, που περιέχει οργανικό άζωτο, με τον ασβέστη. Η αμμωνία είναι ένα άχρωμο αέριο ή υγρό με έντονα διαπεραστική και ενοχλητική οσμή. Επίσης η αμμωνία είναι ελαφρότερη από τον αέρα και τούτο, σε συνδυασμό με την εκλυόμενη θερμότητα από την εξωθερμική αντίδραση, έχει ως αποτέλεσμα η αέρια αμμωνία που εκλύεται από τους αναμίκτες ιλύος και ασβέστη να συσσωρεύεται στην οροφή των κτιρίων που στεγάζουν την ασβεστοποίηση. Η ποσότητα αμμωνίας που ελευθερώνεται αποτελεί συνάρτηση της δόσης ασβέστη και της χημείας της ιλύος, ιδίως το

περιεχόμενο σε αμμωνιακό άζωτο. Η κρίσιμη παράμετρος είναι η συγκέντρωση αμμωνιακών ιόντων τα οποία μετατρέπονται σε αμμωνία ως εξής :



Από την ανωτέρω εξίσωση προκύπτει το συμπέρασμα ότι αυξανόμενης τιμής του pH αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου που βρίσκεται με την μορφή αμμωνίας και κατά συνέπεια και η ποσότητα της αμμωνίας που εκλύεται ως αέριο. Για παράδειγμα στους 25°C και pH ίσο με 7, το ποσοστό του αμμωνιακού αζώτου που βρίσκεται με την μορφή αμμωνίας ανέρχεται στο 1% του συνόλου ενώ στη περίπτωση που το pH αυξηθεί λόγω προσθήκης ασβέστου σε τιμές πάνω από 11,4 το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται σε 99% του συνολικού αμμωνιακού αζώτου. Σε πολλές μονάδες ασβεστοποίησης ιλύος δεν έχουν εγκατασταθεί αποσμητικές διατάξεις και δεν έχουν παρατηρηθεί προβλήματα οσμών από την έκλυση αμμωνίας. Σε άλλες μονάδες ωστόσο, έχει παρατηρηθεί αυξημένη συγκέντρωση αμμωνίας με αποτέλεσμα να έχουν κατασκευασθεί κατάλληλες διατάξεις αφαίρεσής της. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η εκλυόμενη αμμωνία είναι συνάρτηση των ποσοτήτων ιόντων αμμωνίου. Στην περίπτωση που η ιλύς δεν έχει υποστεί αναερόβια χώνευση το μεγαλύτερο μέρος του αζώτου βρίσκεται σε οργανική μορφή και κατά συνέπεια η έκλυση αμμωνίας αναμένεται να είναι μικρή. Ιδιαίτερη σημασία κατά την υγειονομοποίηση με προσθήκη ασβέστη έχει ο ορθός σχεδιασμός του συστήματος ανάμιξης ιλύος και ασβέστη διότι:

- 1) το αθροιστικό ετήσιο κόστος λειτουργίας για διάθεση στο έδαφος και κατανάλωση ασβέστη θα είναι αρκετές φορές πολλαπλάσιο του αρχικού κόστους του εξοπλισμού και συνεπώς, η απόδοση του αναμίκτη ιλύος και ασβέστη απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή,
- 2) τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από το βαθμό ομογενοποίησης της ιλύος με τον από το πως έχει σχεδιασθεί κυρίως ο αναμίκτης ιλύος με ασβέστη
- 3) και απόδοση βασισμένη σε όρια και κανονισμούς ως προς την υγειονομοποίηση απαιτεί μία λειτουργία βασισμένη σε συγκεκριμένη προδιαγραφή ανάμιξης ιλύος και ασβέστη.

(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)

Συμπεράσματα από τα αποτελέσματα εργαστηριακής κλίμακας δοκιμών ασβεστοποίησης ιλύων από ΕΕΛ

Με στόχο την διερεύνηση της δυνατότητας επεξεργασίας της μη σταθεροποιημένης αφυδατωμένης ιλύος με υδράσβεστο (Ca(OH)_2), σύμφωνα με τη χρησιμοποιούμενη βιβλιογραφία, εκτελέσθηκαν στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του Ε.Μ.Π., πειράματα κατά τα οποία αναμιγνυόταν υδράσβεστος στην αφυδατωμένη ιλύ σε δόσεις που κυμαίνονταν μεταξύ 0 – 10% του βάρους της αφυδατωμένης ιλύος. Σε κάθε μίγμα αφυδατωμένης ιλύος -ασβέστου προσδιορίσθηκε η μεταβολή των μικροβιολογικών και φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών του κατά την διάρκεια αποθήκευσης του μίγματος. Στην συνέχεια, με βάση τη προαναφερθείσα εργασία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εργαστηριακής κλίμακας δοκιμών. Σύμφωνα λοιπόν με αυτή, σε δείγματα αφυδατωμένης μη χωνεμένης ιλύος προστέθηκε υδράσβεστος σε έξι διαφορετικές δοσολογίες 0, 2%, 4%, 6%, 8% και 10%. Η αναλογία % ορίζεται από την σχέση βάρους της προστιθέμενης ασβέστου και βάρους της αφυδατωμένης (υγρής) ιλύος. Για τους σκοπούς των πειραματικών δοκιμών, δείγμα αφυδατωμένης μη χωνεμένης ιλύος από την ΕΕΛ της Σίνδου ελήφθη από το τεχνικό προσωπικό της εταιρείας “Χριστόφορος Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε.” και εστάλη στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ. Η ανάμιξη της αφυδατωμένης ιλύος με την υδράσβεστο πραγματοποιήθηκε με εργαστηριακό αναμίκτη ώστε να επιτευχθεί ομογενοποίηση του μίγματος ασβέστου – αφυδατωμένης ιλύος. Σε κάθε δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν 1000 gr αφυδατωμένης ιλύος. Η διάρκεια της ανάμιξης ήταν περίπου 3 min. Μετά την ανάμιξη τα δείγματα ιλύος και υδράσβεστου τοποθετήθηκαν σε πλαστικούς βαθμονομημένους κυλίνδρους όπου και αποθηκεύθηκαν για όλο το διάστημα των πειραμάτων. Σε κάθε μίγμα αφυδατωμένης ιλύος – υδρασβέστου προσδιορίσθηκε η μεταβολή των μικροβιολογικών και φυσικοχημικών του χαρακτηριστικών του κατά την διάρκεια αποθήκευσης του μίγματος.



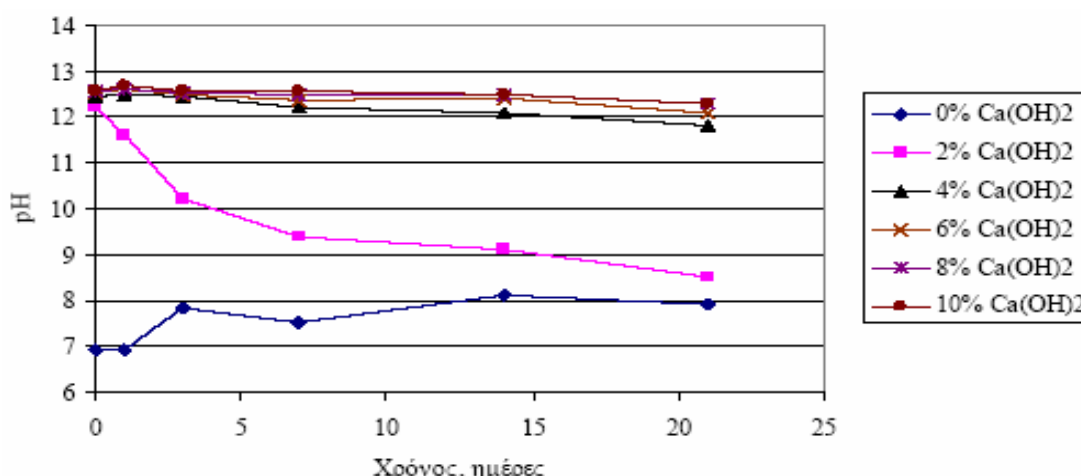
Εικόνα Ε.11. Ασβεστοποίηση ιλύος ΕΕΛ Σίνδου – Δοκιμές πεδίου από την ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ Χριστόφορος Δ. Κωνσταντινίδης Α.Ε.
(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2005)



Εικόνα Ε.12. Από την Ασβεστοποίηση ιλύος ΕΕΛ Σίνδου – Δοκιμές πεδίου
(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2005)

Η μεταβολή του pH κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου δίνεται στο παρακάτω σχήμα . Προσθήκη υδρασβέστου σε δείγματα αφυδατωμένης ιλύος

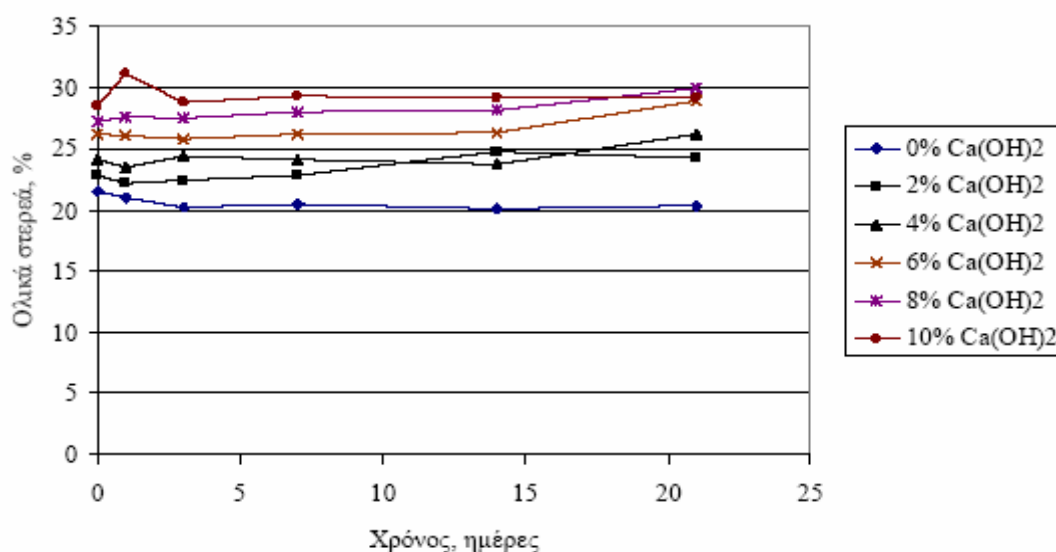
είχε ως αποτέλεσμα την ανύψωση του pH από 7 – 8 σε περίπου 12 για όλες τις δόσεις υδρασβέστου που εξετάστηκαν. Παρατηρήθηκε ότι η μέγιστη τιμή του pH μετά την ανάμιξη ιλύος με υδρασβέστο ισούται με περίπου 12,5 και δεν εξαρτάται από τις δόσεις της υδρασβέστου για δόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 4 – 10%. Με την πάροδο του χρόνου λόγω της επαφής του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα με την υδρασβέστο επέρχεται σταδιακή μείωση του pH, η οποία είναι εντονότερη στις περιπτώσεις που η επιφάνεια επαφής του σωρού του μίγματος με την ατμόσφαιρα είναι αυξημένη. Για την διατήρηση του pH σε τιμές μεγαλύτερες του 12 για διάστημα μεγαλύτερο των 14 ημερών απαιτούνται δόσεις υδρασβέστου μεγαλύτερες του 4% του βάρους της αφυδατωμένης ιλύος. Τα αποτελέσματα αυτά είναι σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία και εμπειρία όπου συνιστώνται δόσεις υδρασβέστου μεταξύ 6 – 10% για την διατήρηση του pH σε υψηλές τιμές (>12) και τον περιορισμό της έκλυσης δυσσομιών.



Σχήμα E.24. Μεταβολή pH κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου
(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*, 2004)

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών στερεών κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου δίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η προσθήκη των στερεών με την μορφή της υδρασβέστου είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός μίγματος με υψηλότερη συγκέντρωση στερεών. Η αύξηση των στερεών που παρατηρήθηκε ήταν γραμμική και ισούται με περίπου 0,75 % μεταβολή των στερεών για κάθε ποσοστό υδρασβέστου που προστίθεται στην αφυδατωμένη ιλύ. Με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται επίσης μια μικρή αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών, της τάξης του 1-2% λόγω της σταδιακής

αντίδρασης της υδρασβέστου με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και την παραγωγή ανθρακικού ασβεστίου.



Σχήμα Ε.25. Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών στερεών κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου.
(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*, 2004)

Η προσθήκη αδρανών στερεών με την μορφή της υδρασβέστου είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ποσοστού των οργανικών στερεών. Όπως φαίνεται στον πίνακα το ποσοστό των οργανικών στερεών στο μίγμα αφυδατωμένης ιλύος - υδρασβέστου κυμαινόταν μεταξύ 37 – 58 % των ολικών στερεών και ήταν ανάλογο της δόσης. Στον πίνακα δίνεται σε παρένθεση για την κάθε δόση υδρασβέστου, η θεωρητική τιμή των οργανικών στερεών με βάση την προσθήκη αδρανών στερεών με την μορφή της υδρασβέστου. Εκτός της μείωσης του ποσοστού των οργανικών στερεών λόγω της αύξησης των αδρανών που επιτυγχάνεται με την προσθήκη της υδρασβέστου παρατηρήθηκε μια επιπλέον μείωση των οργανικών στερεών που κυμαινόταν μεταξύ 2 – 18%. Η μείωση αυτή παρατηρήθηκε αμέσως μετά την ανάμιξη της υδρασβέστου με την αφυδατωμένη ιλύ και ήταν ανάλογη της δόσης της υδρασβέστου. Με την παράταση του χρόνου αποθήκευσης της ιλύος δεν παρατηρήθηκε κάποια περαιτέρω μείωση των οργανικών στερεών.

Δόση Ca(OH) ₂ , %	Συγκεντρώσεις οργανικών στερεών VS (ως % των TS)					
	T = 0 d	T = 1 d	T = 3 d	T = 7 d	T = 14 d	T = 21 d
0	65,3	65,4	69,63	63,4	64,8	65,2
2	58,4 (59,6)*	51,68	58,8	58,6	58,3	59,1
4	52,6 (54,9)*	44,08	53,2	49,6	50,5	53
6	46,5 (50,8)*	45	50,54	47,4	50	48,8
8	42,1 (47,3)*	43,8	44,9	43,6	44,9	43,7
10	36,6 (44,2)*	37,1	41,4	39,6	41,1	38,9

* η θεωρητική τιμή των οργανικών στερεών (% των TS) που υπολογίστηκε με βάση την δόση της υδρασβέστου και το ποσοστό των οργανικών στερεών στην αφυδατωμένη μη σταθεροποιημένη ιλύ

*Πίνακας E.14. Μεταβολή της συγκέντρωσης των οργανικών στερεών κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου ως ποσοστό του βάρους της υγρής ιλύος.
(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)*

Η μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων και του Escheria Coli κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου δίνεται στον πίνακα παρακάτω. Οι μικροβιολογικές αναλύσεις έδειξαν ότι σημαντική μείωση της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων και της συγκέντρωσης του E.Coli επιτυγχάνεται με όλες τις δόσεις υδρασβέστου ακόμη και για δόση 2 %. Η μείωση του μικροβιακού φορτίου επιτυγχάνεται σε δύο φάσεις. Αρχικά παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών που φθάνει και υπερβαίνει τις 5log10 λόγω της άμεσης αύξησης του pH. Σε αυτή την φάση δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στο βαθμό μείωσης των κολοβακτηριδίων με την αύξηση της δόσης αφού όλες οι δόσεις που υπερβαίνουν το 2% επιτυγχάνουν το ίδιο αρχικό pH στο μίγμα αφυδατωμένης ιλύος – υδρασβέστου. Η περαιτέρω διατήρηση του υψηλού pH κατά τον χρόνο αποθήκευσης της ιλύος συμβάλλει στην επιπλέον μείωση του μικροβιακού φορτίου λόγω της παρατεταμένης έκθεσης των κολοβακτηριδίων στο βασικό περιβάλλον. Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα ο συνδυασμός δόσεων υδρασβέστου που κυμαίνονται μεταξύ 4 – 10% και χρόνων αποθήκευσης που υπερβαίνουν τις 14 ημέρες επιτυγχάνει δραστική μείωση τόσο της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων όσο και του E. Coli σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα σημαντικά χαμηλότερα του ορίου των 500 E.Coli/100 ml, που θέτει η υπό έκδοση νέα Ευρωπαϊκή Οδηγία για διάθεση της ιλύος στη γεωργία χωρίς περιορισμούς (European Union, 2000). Σε αυτές τις περιπτώσεις η επεξεργασία της ιλύος με υδράσβεστο επιτυγχάνει ποσοστό μείωσης του E.Coli μεγαλύτερο των 6log10. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι στα δείγματα ιλύος που προστέ-

θηκε υδράσβεστος σε δόσεις 6%, 8% και 10% πραγματοποιήθηκαν μικροσκοπικές αναλύσεις προσδιορισμού *Salmonella* spp μετά από 21 ημέρες αποθήκευσης και βρέθηκε μηδενική συγκέντρωση *Salmonella* spp ανά 50 g υγρού βάρους ιλύος, τιμή που ικανοποιεί τα όρια της υπό έκδοση νέας Ευρωπαϊκής Οδηγίας για διάθεση της ιλύος στη γεωργία χωρίς περιορισμούς.

(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*, 2004)

Δόση Ca(OH)_2 , %	Συγκέντρωση ολικών κολοβακτηριδίων /100 ml			
	T = 0 d	T = 7 d	T = 14 d	T = 21 d
0	9300000	2800000	2400000	11000000
2	1100	280	430	150
4	930	< 30	< 30	< 30
6	230	< 30	< 30	< 30
8	230	430	< 30	< 30
10	230	40	< 30	< 30
Δόση Ca(OH)_2 , %	Συγκέντρωση <i>E. Coli</i> /100 ml			
	T = 0 d	T = 7 d	T = 14 d	T = 21 d
0	2300000	2400000	2400000	11000000
2	630	110	230	40
4	430	< 30	< 30	< 30
6	230	< 30	< 30	< 30
8	230	430	< 30	< 30
10	230	40	< 30	< 30

Πίνακας E.15. Μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων κατά την αποθήκευση της ιλύος για διάφορες δόσεις υδρασβέστου ως ποσοστό του βάρους της υγρής ιλύος.

(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*, 2004)

Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την πειραματική διερεύνηση της δυνατότητας επεξεργασίας μη σταθεροποιημένης αφυδατωμένης ιλύος με υδράσβεστο (Ca(OH)_2) συνοψίζονται ως εξής:

- *Μεταβολή του pH*: Προσθήκη υδρασβέστου σε δείγματα αφυδατωμένης ιλύος είχε ως αποτέλεσμα την ανύψωση του pH από 7 – 8 σε περίπου 12 για όλες τις δόσεις υδρασβέστου που εξετάστηκαν. Για την διατήρηση του pH σε τιμές μεγαλύτερες του 12 για διάστημα μεγαλύτερο των 14 ημερών απαιτούνται δόσεις υδρασβέστου μεγαλύτερες του 4% του βάρους της αφυδατωμένης ιλύος.

- *Αύξηση της θερμοκρασίας:* Με την προσθήκη της υδρασβέστου, όπως αναμενόταν, δεν παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά την ανάμιξη και αποθήκευση του μίγματος αφυδατωμένης ιλύος και υδρασβέστου.

- *Αύξηση των ολικών στερεών:* Η προσθήκη των στερεών με την μορφή της υδρασβέστου είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός μίγματος με υψηλότερη συγκέντρωση στερεών. Η αύξηση των στερεών που παρατηρήθηκε ήταν γραμμική και ισούται με περίπου 0,75 % μεταβολή των στερεών για κάθε ποσοστό υδρασβέστου που προστίθεται στην αφυδατωμένη ιλύ.

- *Μείωση των οργανικών στερεών:* Η προσθήκη αδρανών στερεών με την μορφή της υδρασβέστου είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ποσοστού των οργανικών στερεών. Εκτός της μείωσης του ποσοστού των οργανικών στερεών λόγω της αύξησης των αδρανών που επιτυγχάνεται με την προσθήκη της υδρασβέστου παρατηρήθηκε μια επιπλέον μείωση των οργανικών στερεών που κυμαινόταν μεταξύ 2 – 18%.

- *Υγειονομοποίηση της ιλύος:* Με βάση τα πειραματικά αποτελέσματα ο συνδυασμός δόσεων υδρασβέστου που κυμαίνονται μεταξύ 6 – 10% και χρόνων αποθήκευσης που υπερβαίνουν τις 14 ημέρες επιτυγχάνει δραστική μείωση τόσο της συγκέντρωσης των ολικών κολοβακτηριδίων, του *Escheria Coli* όσο και των *Salmonella spp.* σε επίπεδα μη ανιχνεύσιμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η επεξεργασία της ιλύος με υδράσβεστο επιτυγχάνει ποσοστό μείωσης του *E.Coli* μεγαλύτερο των $6\log_{10}$.

Γενικότερα από άποψη παθογόνων, η σταθεροποίηση με ασβέστη επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά μείωσης τους, που εξαρτώνται από το είδος της ιλύος και τη δόση ασβέστη. Γενικά μεγάλες δόσεις ασβέστη προκαλούν αποτελεσματικότερη καταστροφή παθογόνων από ότι μικρές δόσεις, υπό τις οποίες είναι δυνατόν να παρατηρηθεί ακόμα και αύξηση των παθογόνων κατά την αποθήκευση της ιλύος. Γενικά το pH, στην πράξη επιτυγχάνει υψηλά ποσοστά καταστροφής παθογόνων που είναι σημαντικά υψηλότερα από αυτά της αερόβιας και αναερόβιας χώνευσης και της κομποστοποίησης.

- *Εξουδετέρωση οσμών λόγω δέσμευσης θειούχων:* Όσον αφορά τις οσμές, γενικά η εμπειρία από τη λειτουργία διαφόρων ΜΕΥΑ δείχνει ότι οι οσμές μειώνονται ακόμα και με δόσεις ασβέστη μικρότερες των απαιτούμενων για σταθεροποίηση. Η πρόσθεση ασβέστη μετατρέπει τη σηπτική οσμή της ιλύος αρχικά σε οσμή αμμωνίας, εξαιτίας σχηματισμού

και εξαέρωσης της και τελικά σε οσμή όμοια με αυτή χώματος. Επίσης, είναι δυνατόν η ένταση των οσμών να μη μειώνεται, αλλά εξαιτίας της μεταβολής της ποιότητας τους να μην είναι ενοχλητικές. Η αποθήκευση της ιλύος μπορεί να προκαλέσει επανεμφάνιση των οσμών, ιδιαίτερα σε pH μικρότερα από 11.

- *Μείωση της κινητικότητας των μετάλλων:* Με βάση τα αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η επεξεργασία της ιλύος με υδράσβεστο σε δόσεις που κυμαίνονται μεταξύ 6 – 10% σε συνδυασμό με την αποθήκευση της ιλύος για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 14 ημερών επιτυγχάνει σημαντικό βαθμό υγειονοποίησης, που πλησιάζει ή και κατά πάσα πιθανότητα υπερκαλύπτει τα απαιτούμενα όρια για την επαναχρησιμοποίηση της ιλύος στην γεωργία χωρίς περιορισμούς. Κατά συνέπεια η ασβεστοποίηση της ιλύος σε μικρές και μεσαίες ΕΕΛ, λόγω της απλότητας της μεθόδου αλλά και της αποτελεσματικότητας της ως προς την υγειονοποίηση συνιστάται ως μέθοδος προχωρημένης επεξεργασίας της ιλύος καθώς τα χαρακτηριστικά του προκύπτοντος προϊόντος εξασφαλίζουν έναντι όλων των ενδεχόμενων αρνητικών επιπτώσεων, που συνδέονται με τη διάθεσή του σε ένα ΧΥΤΑ ή με την επαναχρησιμοποίηση στη γεωργία.

Γενικότερα όμως, όσον αφορά, τα χημικά χαρακτηριστικά της ιλύος, η μείωση του αζώτου και των διαλυμένων φωσφορικών, που προαναφέρθηκε ελαττώνει τη χρησιμότητα της σταθεροποιημένης ιλύος ως εδαφοβελτιωτικού, αν γίνεται τελική διάθεση της στο έδαφος, αλλά ταυτόχρονα παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής αυξημένων ποσοτήτων. Επίσης, η αυξημένη αλκαλικότητα της ιλύος, στην περίπτωση εφαρμογής στο έδαφος, μπορεί να είναι πλεονέκτημα ή μειονέκτημα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Τα χαρακτηριστικά αφυδάτωσης της σταθεροποιημένης ιλύος επηρεάζονται από: τη διαδικασία και κυρίως τη δόση ασβέστη (που είναι ένα από τα ευρύτερα χρησιμοποιούμενα χημικά στην επεξεργασία ιλύος πριν την αφυδάτωση), την τυχόν αποθήκευση καθώς και το είδος της ιλύος.

Εν συνεχεία η διερεύνηση, σύμφωνα με την προαναφερθείσα εργασία, θα συνεχισθεί στα ακόλουθα αντικείμενα

- Χρήση άνυδρου ασβέστη
- Διερεύνηση και αντιμετώπιση ενδεχόμενων οσμών λόγω έκλυσης αμμωνίας
- Προσθήκη υλικών για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος

(Α. Ανδρεαδάκης et al., 2004)

E.1.5.5 Σταθεροποίηση με χρήση αλκαλικών:

Η οποία χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των συνθηκών οχληρίας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αλκαλικών υλικών, με τα οποία δημιουργούνται συνθήκες στις οποίες οι μικροοργανισμοί δε μπορούν να επιβιώσουν. Συγκεκριμένα προστίθεται επαρκής ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου (η υδροξειδίου του νατρίου, καλίου και μαγνησίου) για αύξηση του pH (≥ 12). Η προκύπτουσα ιλύς δεν σήπεται και δεν είναι οσμηρή και συνεπώς δε μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Παράλληλα οι ιοί, τα βακτήρια και οι άλλοι παρόντες μικροοργανισμοί αδρανοποιούνται. Οι υψηλές συγκεντρώσεις νατρίου και καλίου παρεμποδίζουν τη φυτική ανάπτυξη και συνεπώς αυτά δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που η ιλύς αναμένεται να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα. Το υδροξείδιο του μαγνησίου είναι ακριβότερο από το υδροξείδιο του ασβεστίου (lime). Για χημική σταθεροποίηση μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν *μη αλκαλικά* χημικά, η χρήση τους όμως είναι περιορισμένη. Η χρήση τους είναι σποραδική κυρίως λόγω του υψηλού κόστους τους. Τα μη αλκαλικά χημικά που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι το υπεροξικό οξύ, η φορμόλη, ενώσεις τεταρτοταγούς αμμωνίου, υποχλωρικό νάτριο, νιτρικό νάτριο, όζον, υπερμαγγανικό κάλιο, σιδηρούχο κάλιο (potassium ferate), υπεροξείδιο του υδρογόνου και νιτρώδες οξύ.

(Δ Φαττά et al., 2006) E.1.5.6 Σταθεροποίηση με μακροχρόνια αποθήκευση :

Η μακροπρόθεσμη αποθήκευση της ιλύος επιτρέπει: (1) τη ρύθμιση των ροών της ιλύος για χρήση σε γεωργικούς σκοπούς και (2) την ομογενοποίηση της σύνθεσης της. Μετά την πάροδο κάποιου χρονικού διαστήματος η ιλύς παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά: Έκλυση οσμών, αύξηση ξηρής ύλης, μείωση οργανικής ύλης και μείωση αζώτου (μετατροπή σε αμμώνιο και αμμωνία). Η απολύμανση πραγματοποιείται με την αποθήκευση για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά το οποίο η παρουσία των βακτηριών και των ιών περιορίζεται, τα παράσιτα όμως δεν επηρεάζονται. Σε ψυχρά κλίματα δεν μπορεί να επιτευχθεί απολύμανση ικανοποιητικού επιπέδου ακόμη και αν η ιλύς αποθηκεύεται για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι συγκρίνονται στον Πίνακα.

(Δ Φαττά et al., 2006)

Σταθεροποίηση	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Αερόβια Χώνευση	- Απλή λειτουργία	- Δεν παράγεται αέριο το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί - Υψηλή κατανάλωση ενέργειας - Υψηλό κόστος λειτουργίας - Απαιτείται επαρκής περιορισμός των οσμών
Αναερόβια Χώνευση	- Παραγωγή μεθανίου - Τα παραγόμενα βιοστερεά μπορούν να εφαρμοστούν στο έδαφος	- Απαιτούνται αρκετά έμπειροι χειριστές - Απαιτείται επαρκής περιορισμός των οσμών
Κομποστοποίηση	- Μια ποικιλία στερεών και βιοστερεών μπορεί να κομποστοποιηθεί	- Ανάγκη για προσθήκη διογκωτικού μέσου - Ανάγκη για έλεγχο των οσμών
Σταθεροποίηση αλκαλικών	Παράγεται πλούσιο υλικό (μορφής όμοιας με έδαφος) με σημαντικά μειωμένη περιεκτικότητα σε παθογόνα	- Αυξημένη μάζα προϊόντων (προσθήκη χημικών) - Μέτρια εξασθένιση σήψης - Μετρίου βαθμού περιορισμός των οσμών - Κόστος χημικών

Πίνακας E.16. Σύγκριση των συχνότερα χρησιμοποιούμενων διεργασιών σταθεροποίησης
(Δ Φαττά et al., 2006)

E.1.5.6 Σταθεροποίηση με λίμνες σταθεροποίησης ιλύος

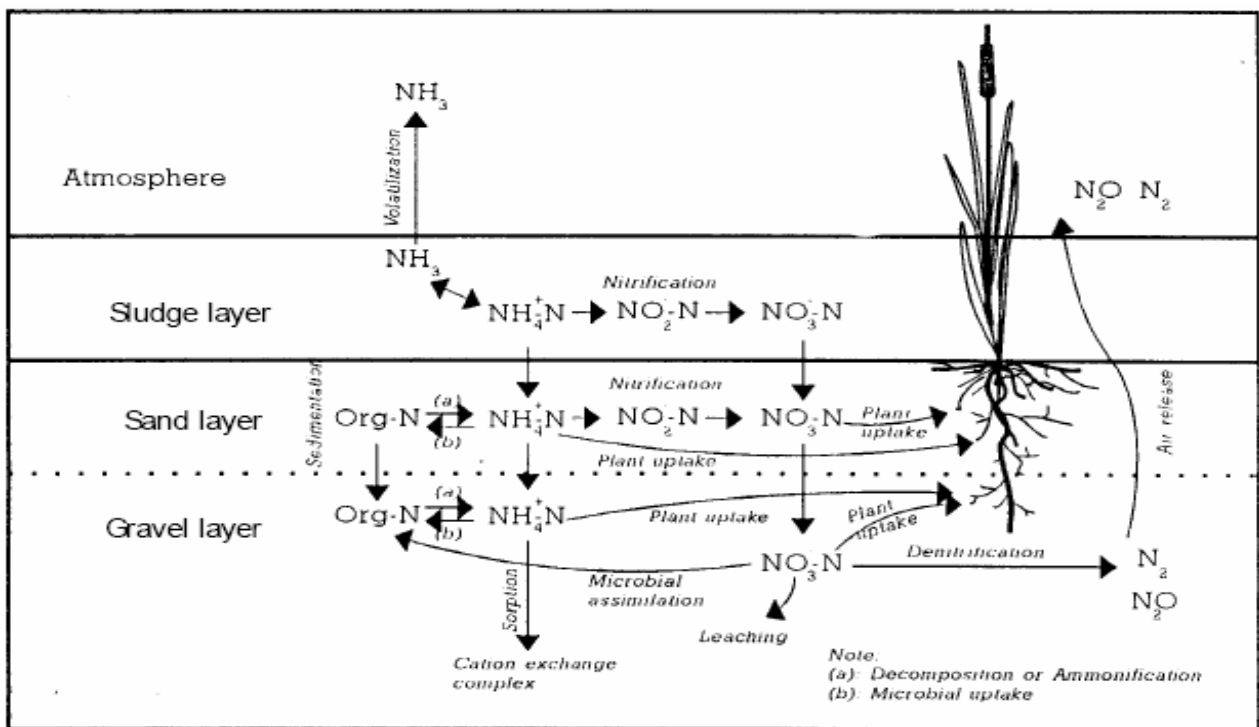
Σύμφωνα με τη μέθοδο της σταθεροποίησης ιλύος με λίμνες, η ιλύς σταθεροποιείται με ένα συνδυασμό αερόβιων και αναερόβιων διεργασιών. Έτσι, τα στερεά που καθιζάνουν στον πυθμένα της λίμνης από συντίθενται αναερόβια και μετατρέπονται κυρίως σε μεθάνιο που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα, αλλά και σε άλλα τελικά προϊόντα (όπως οργανικά οξέα και αμμωνία). Όταν στο αναερόβιο αυτό στρώμα στον πυθμένα οι συνθήκες επιτρέπουν τη διατήρηση συγκεντρώσεων διαλυμένου οξυγόνου άνω του 2 mg/L, τότε δημιουργείται ένα αερόβιο στρώμα, όπου τα διάφορα τελικά προϊόντα σταθεροποιούνται με αερόβιες διαδικασίες, παράλληλα με τις διαλυμένες οργανικές ουσίες που προστίθενται με τη νεοεισερχόμενη ιλύ.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των λιμνών σταθεροποίησης ιλύος, είναι η απλότητα κατασκευής και λειτουργίας και η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την αερόβια χώνευση. Βασικό μειονέκτημα τους είναι η μεγάλη επιφάνεια που απαιτούν. Οι λίμνες σταθεροποίησης ιλύος, χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση περίσσειας ενεργού ιλύος σε αντικατάσταση των αερόβιων χωνευτών, ιδιαίτερα σε μικρές εγκαταστάσεις.

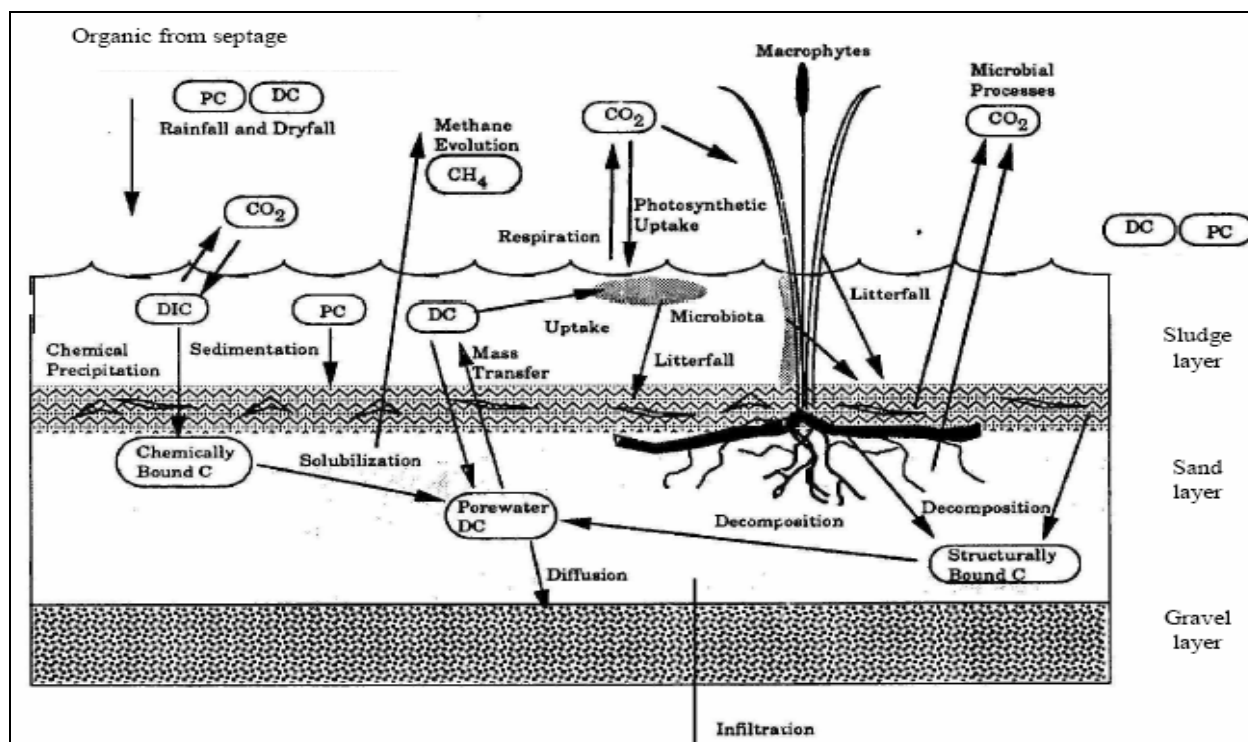
Η βασική παράμετρος σχεδιασμού είναι ο ρυθμός σταθεροποίησης των στερεών, που καθορίζει και το ρυθμό εισροής νέων στερεών (ιλύος) στη λίμνη. Οι λίμνες σταθεροποίησης ιλύος είναι όμοιες με τις αεριζόμενες λίμνες. Το βάθος πάνω από το στρώμα της ιλύ-

ος πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 m, ενώ το συνολικό βάθος εξαρτάται από το πάχος του στρώματος της ιλύος που συσσωρεύεται στον πυθμένα, δηλαδή τη συχνότητα απομάκρυνσης της, που δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μία φορά το έτος. Η συγκέντρωση της ιλύος στον πυθμένα είναι περίπου 2%. Ο αερισμός είναι όμοιος με αυτόν των αεριζόμενων λιμνών, ενώ είναι σκόπιμο να υπάρχει σύστημα ελέγχου του διαλυμένου οξυγόνου της λίμνης, ώστε η ενέργεια για τον αερισμό να χρησιμοποιείται ορθολογικά.

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)



Εικόνα Ε.13. Μηχανισμοί αφαίρεσης Ν στους κατασκευασμένους υγρότοπους
(Τ. Koottatep *et al*)



Εικόνα Ε.14. Μηχανισμοί αφαίρεσης οργανικών
(T. Koottatep et al)

Ε.1.5.7 Σταθεροποίηση με ξήρανση

Η θερμική ξήρανση της ιλύος προϋποθέτει την εφαρμογή θερμότητας για την αφαίρεση του νερού από την ιλύ. Η θερμότητα βοηθά στην εξάτμιση του νερού αλλά και στην ελάττωση της υγρασίας των βιοστερεών κάτω από το ποσοστό που πετυχαίνεται με συνήθεις μεθόδους αφυδάτωσης. Κατά την εφαρμογή της θερμικής ξήρανσης ως τελικού σταδίου επεξεργασίας της ιλύος, το ποσοστό υγρασίας που επιδιώκεται και μπορεί να επιτευχθεί είναι συνήθως μικρότερο από 10%, με συνέπεια σημαντική μείωση του όγκου και της μάζας της ιλύος που θα πρέπει να διατεθεί. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν μειωμένες δαπάνες μεταφοράς, βελτίωση των δυνατοτήτων αποθήκευσης και εμπορικής διάθεσης του προϊόντος, καθώς και καταστροφή των παθογόνων οργανισμών. Η θερμικά ξηραμένη ιλύς μπορεί να διοχετευτεί εύκολα στην αγορά ως λίπασμα ή ως βελτιωτικό του εδάφους. Το προϊόν της διεργασίας είναι αποστειρωμένο και ο χειρισμός του είναι ασφαλής, γι' αυτό αποτελεί μία πιο ελκυστική εναλλακτική λύση σε σχέση με την χρησιμοποίηση υγρής ιλύος ή αφυδατωμένης ιλύος. Η ξηραμένη ιλύς συνήθως διατίθεται με τη μορφή κόκκων, με στόχο την αύξηση της πυκνότητάς της και τη βελτίωση της εμπορικής της αξίας. Η θερμική ξήρανση είναι μία ενεργοβόρα διαδικασία. Η κατανάλωση θερμικής ενέργειας για την ξήρανση 1 τόνου ιλύος από μία συγκέντρωση ξηρών στερεών 20% σε 90% ξηρά στερεά, είναι

περίπου $2.5-3.0 \times 10^6$ KJ. Η απόδοση των μονάδων αφυδάτωσης επιδρά σημαντικά στην κατανάλωση ενέργειας, αφού οι ενεργειακές απαιτήσεις μειώνονται με την αύξηση της συγκέντρωσης των στερεών της προς ξήρανση ιλύος. Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος δεν θα πρέπει να παραβλέπεται κατά τον σχεδιασμό μίας εγκατάστασης ξήρανσης σχετίζεται με την ατμοσφαιρική ρύπανση και τον έλεγχο των οσμών. Οι δύο κρίσιμότερες παράμετροι είναι τα σωματίδια και τα πτητικά οργανικά. Για την απομάκρυνση των σωματιδίων χρησιμοποιούνται κυρίως κυκλώνες ή συστήματα υγρής επεξεργασίας, ενώ οι οσμές, που οφείλονται σε πτητικά οργανικά, απομακρύνονται αποτελεσματικά με πλήρη οξείδωση σε καυστήρα ή κλίβανο, με ελάχιστη θερμοκρασία 730°C . Οι θερμικοί ξηραντές κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας στην υγρή ιλύ: (i) άμεσους και (ii) έμμεσους. Κατά την άμεση ξήρανση η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση της ιλύος παρέχεται άμεσα μέσω θερμού ελαίου ή ατμού. Στην περίπτωση της έμμεσης ξήρανσης η ενέργεια παρέχεται μέσω ενός συστήματος ανταλλαγής θερμότητας. Στην συνέχεια περιγράφονται με συντομία οι δύο κατηγορίες ξηραντών.

(Α. Ανδρεαδάκης et al)

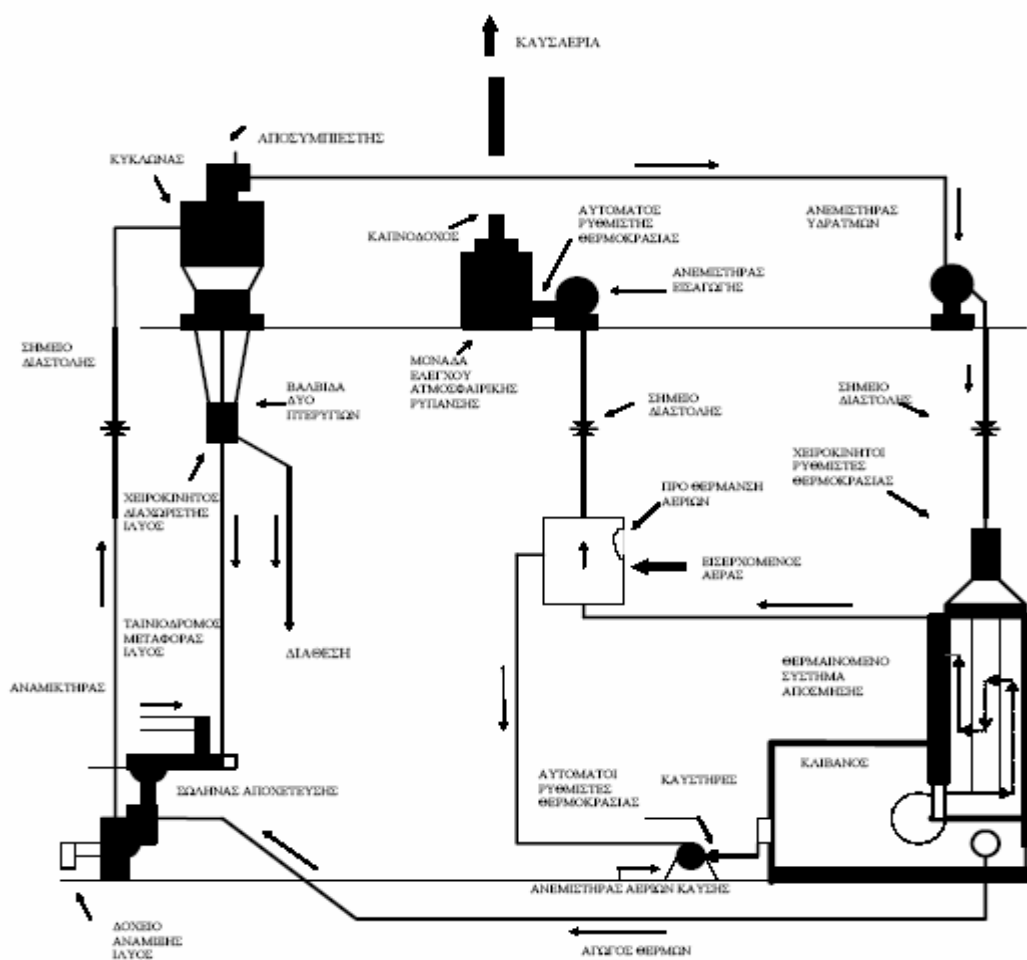
1. Άμεσοι Ξηραντές

Στα συστήματα άμεσης ξήρανσης η υγρή ιλύς έρχεται σε άμεση επαφή με το μέσο μεταφοράς της θερμότητας, που συνήθως είναι θερμός αέρας. Γενικά, η άμεση ξήρανση απαιτεί μεγάλες ποσότητες θερμού αέρα και γι' αυτό το λόγο ο όγκος των παραγομένων ρυπασμένων αερίων είναι σχετικά μεγάλος. Τα συστήματα άμεσης ξήρανσης χωρίζονται στις εξής υποκατηγορίες:

α) Ξηραντές τύπου απότομης ξήρανσης ή σύστημα αστραπιαίας ξήρανσης:

Η απότομη ξήρανση συνίσταται σε ξήρανση της ιλύος με παρουσία θερμού αέρα. Οι ξηραντές αυτού του τύπου αποτελούνται από κλίβανο, αναμικτήρα, δοχείο ανάμιξης ιλύς, κυκλώνα, εξαεριστή ατμών και ένα σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (σχήμα παρακάτω). Το αρχικό στάδιο της διεργασίας περιλαμβάνει ανάμιξη υγρής και ξηραμένης ιλύος για την παραγωγή μίγματος με περιεκτικότητα σε υγρασία περίπου 40-50%. Το ποσοστό αυτό θα πρέπει να διατηρείται κάτω από 50%, ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή κολλώδους και δυσκολοχειρίσιμης ιλύος. Στη συνέχεια η ιλύς παροχετεύεται σε δοχείο ανάμιξης της ιλύς όπου γίνεται μηχανική ανάδευση. Ο παραγόμενος από τον κλίβανο θερμός αέρας, θερμοκρασίας $650-700^\circ\text{C}$, διασπείρει την ιλύ αφαιρώντας την υγρασία. Ο

χρόνος παραμονής της ιλύος στον ξηραντή είναι μόνο μερικά δευτερόλεπτα. Για την υποβοήθηση μεταφοράς της θερμότητας είναι σημαντική η διατήρηση μικρών σωματιδίων ιλύος που εξασφαλίζεται με επαρκή ανάδευση για τη διάσπαση συσσωματωμάτων. Ο θερμός αέρας, η ξηραμένη ιλύς καθώς και ο ατμός τροφοδοτούνται υποπίεση σε κυκλώνα για τον διαχωρισμό της ιλύος από τον ξηρό αέρα. Η ξηραμένη ιλύς, θερμοκρασίας περίπου 70°C, απομακρύνεται από τον κυκλώνα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα ή καύσιμο, εάν δεν ακολουθήσει περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. καύση). Για τη βελτίωση της εμπορικής αξίας της ξηραμένης ιλύος είναι σκόπιμη η μορφοποίηση της σε ανθεκτικούς κόκκους.



Σχήμα Ε.26. Διάγραμμα ροής συστήματος απότομης ξήρανσης

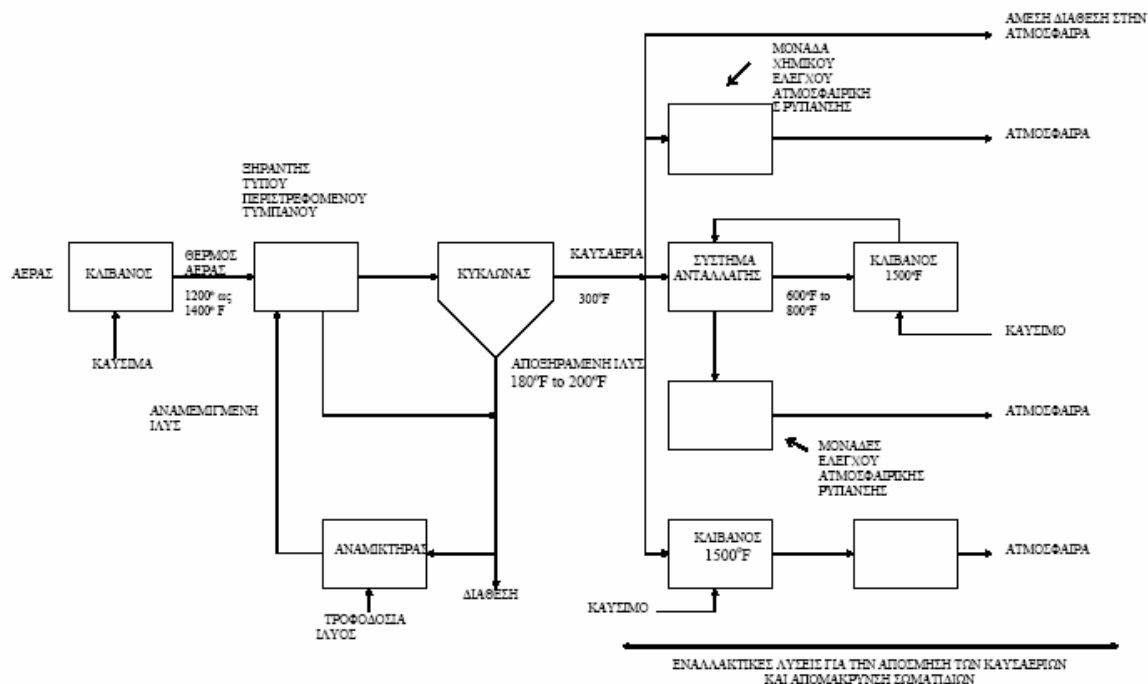
Τα απαέρια φεύγουν από τον κυκλώνα σε θερμοκρασίες 100-150°C και για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των οσμών απαιτείται η αναθέρμανσή τους μέχρι τους 750°C. Αυτό επιτυγχάνεται με την διοχέτευση των αερίων σε κλίβανο με σύστημα ανταλλαγής θερμότητας και με την ανάμιξή τους με τα παραγόμενα στον κλίβανο αέρια καύσης.

Στην συνέχεια τα αέρια οδηγούνται μέσω θερμαινόμενου συστήματος απόσμησης σε υγρό σύστημα επεξεργασίας για την απομάκρυνση των σωματιδίων. Τα συστήματα απότομης ξήρανσης παρουσιάζουν διάφορα λειτουργικά προβλήματα και έχουν σχετικά υψηλό κόστος λειτουργίας. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των ΗΠΑ, όπου από τις 50 εγκαταστάσεις απότομης ξήρανσης μόνο οι πέντε ή έξι είναι σε λειτουργία. Η ξηραμένη ιλύς που παράγεται από συστήματα απότομης ξήρανσης έχει μορφή λεπτής σκόνης και παρουσιάζει δυσκολίες κατά τον χειρισμό της. Η σκόνη εγκυμονεί κίνδυνο πυρκαγιάς αφού η κονιοποιημένη ιλύς με ποσοστό υγρασίας λιγότερο από 10% είναι ιδιαίτερα εύφλεκτη. Πυρκαγιές και εκρήξεις μπορούν να προκληθούν και από αποθέσεις λιπών στους αγωγούς. Επίσης, το δοχείο ανάμιξης της ιλύς και ο κυκλώνας είναι ευαίσθητοι σε φθορές λόγω των έντονα διαβρωτικών χαρακτηριστικών της ιλύος.

(Α. Ανδρεαδάκης et al)

β) Ξηραντές τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου ή περιστρεφόμενος κλίβανος:

Οι ξηραντές τύπου περιστρεφόμενου τυμπάνου αποτελούνται από ένα ατσάλινο κυλινδρικό κέλυφος (τύμπανο) με τον άξονά του σε μικρή κλίση ως προς την οριζόντια ώστε να διευκολύνεται η κίνηση των στερεών, από μία δεξαμενή ανάμιξης όπου η ξηραμένη ιλύς αναμιγνύεται με την υγρή, έναν κλίβανο όπου θερμαίνεται ο αέρας σε θερμοκρασίες 260-480°C, έναν κυκλώνα και ένα σύστημα ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (σχήμα παρακάτω). Αρχικά η υγρή ιλύς αναμιγνύεται με την ξηραμένη για την παραγωγή μίγματος με περιεκτικότητα σε υγρασία περίπου 40-50%. Το ποσοστό αυτό θα πρέπει να διατηρείται κάτω από 40-50% ώστε να αποφεύγεται η παραγωγή δύσχρηστης ιλύος.



Σχήμα Ε.27. Διάγραμμα ροής ξηραντή περιστρεφόμενου τυμπάνου

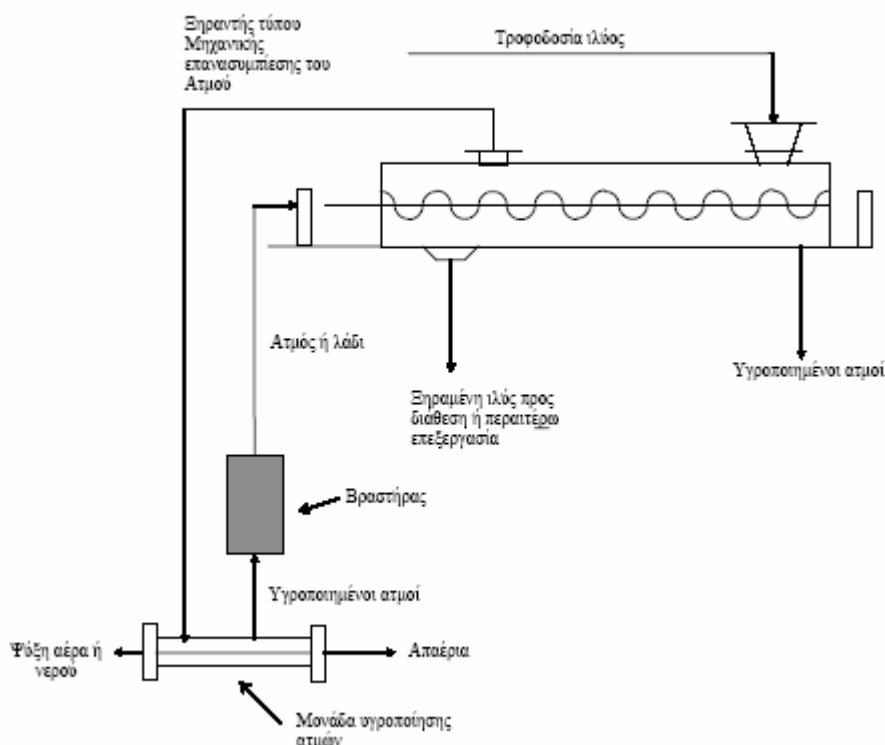
Το μίγμα διοχετεύεται στο περιστρεφόμενο τύμπανο μαζί με θερμό αέρα από τον κλίβανο. Ο αέρας και η ιλύς μεταφέρονται ταυτόχρονα στο άλλο άκρο του ξηραντή. Η ταχύτητα του αέρα κυμαίνεται μεταξύ 1.2-3.7 m/s για την αποφυγή σημαντικών διαφυγών σκόνης. Ο θερμός αέρας, η ξηραμένη ιλύς καθώς και ο ατμός τροφοδοτούνται υποπίεση σε κυκλώνα για τον διαχωρισμό της ιλύος από τον ξηρό αέρα. Για τη βελτίωση της εμπορικής αξίας της ξηραμένης ιλύος είναι σκόπιμη η μορφοποίηση της σε ανθεκτικούς κόκκους. Ο θερμός αέρας που απελευθερώνεται από τον ξηραντή σε θερμοκρασία 65-105 οC μπορεί να περιέχει πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) και χρειάζεται επεξεργασία. Το σύστημα ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνει ένα σύστημα Venturi και έναν πύργο καταιονισμού για την απομάκρυνση των σωματιδίων. Ο έλεγχος των οσμών επιτυγχάνεται με συστήματα επεξεργασίας μέσω χλωρίου ή υπερμαγγανικού οξέος ή εναλλακτικά με καύση των αερίων σε συστήματα μετακαύσης ή καυστήρες..

(A. Ανδρεαδάκης et al)

2. Έμμεσοι Ξηραντές

α) Ξηραντές τύπου κοίλων δίσκων ή αναδευτήρων: Το σύστημα ξήρανσης αποτελείται από ένα οριζόντιο συνήθως δοχείο με περιστρεφόμενο μηχανισμό μέσα στο οποίο κυκλοφορεί το μέσο μεταφοράς της θερμότητας (συνήθως ατμός ή λάδι). Το δοχείο περιέχει μία ομάδα από μεγάλους κοίλους δίσκους, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με ένα κεντρικό κοίλο άξονα. Στο Σχήμα παρακάτω φαίνεται ένας ξηραντής αυτού του τύπου. Η μεταφορά της θερμότητας σε ποσοστό 88-100% επιτυγχάνεται μέσω των εξωτερικών επιφανειών των αναδευτήρων. Για την καλύτερη ανάμιξη και αποφυγή αποθέσεων ιλύος στους δίσκους χρησιμοποιούνται συχνά κατάλληλα τοποθετημένες ράβδοι απόξεσης. Η υγρή ιλύς τροφοδοτείται συνεχώς στο ένα άκρο του δοχείου και απομακρύνεται από το άλλο. Οι κινούμενοι δίσκοι ή οι αναδευτήρες καθώς και οι ράβδοι απόξεσης δημιουργούν ανάμιξη αποτέλεσμα της οποίας είναι:

- η αποδοτικότερη μεταφορά θερμότητας,
- ο αυτοκαθαρισμός των επιφανειών θέρμανσης που εμποδίζει τη δημιουργία οσμών και επιτρέπει την απρόσκοπτη εισαγωγή νέας υγρής ιλύος,
- η απελευθέρωση ατμών.



Σχήμα E.28. Διάγραμμα ροής για ξηραντή τύπου κοίλου υμένα/δίσκου ή περυγίου

Η μεταφορά θερμότητας αυξάνει τη θερμοκρασία της ιλύος και εξατμίζει το νερό. Συνήθως, για τον περιορισμό των ποσοτήτων των παραγόμενων ρυπαντικών αερίων ο δίσκος ή ο αναδευτήρας του ξηραντή χρησιμοποιούν μικρή ποσότητα αερίων ή ακόμα και καθόλου αέρια για την παράσυρση των ατμών και πρακτικά το σύστημα λειτουργεί ως κλειστή μονάδα. Στην περίπτωση αυτή δεν επιτρέπεται είσοδος αέρα στον ξηραντή με αποτέλεσμα τα καυσαέρια να είναι καθαροί ατμοί που περιέχουν μικρές ποσότητες πτητικών οργανικών που θα πρέπει να απομακρυνθούν πριν από τη διοχέτευση στην ατμόσφαιρα. Οι θερμικές απαιτήσεις των ξηραντών τύπου δίσκου κυμαίνονται μεταξύ 2500-3000 KJ /kg εξατμιζόμενου νερού. Υποθέτοντας απόδοση του λέβητα 75% η απαιτούμενη θερμική ενέργεια είναι 3350 - 4000 KJ/kg εξατμιζόμενου νερού.

(Α. Ανδρεαδάκης et al)

β) Ξηραντής τύπου Μηχανικής Επανασυμπίεσης του Ατμού (Carver-Greenfield):

Η διαδικασία ξήρανσης με ξηραντή τύπου Μηχανικής Επανασυμπίεσης του Ατμού αφαιρεί το νερό από την υγρή ιλύ μέσω εξάτμισης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου σε σύγκριση με τα συστήματα εξάτμισης ενός σταδίου, όπως η περίπτωση απότομης ξήρανσης, είναι ότι η θερμότητα επαναχρησιμοποιείται συντελώντας έτσι στην αύξηση της αποδοτικότητας με ταυτόχρονη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Ο ατμός χρησιμοποιείται μόνο κατά την εξάτμιση του νερού από την ιλύ στο τελικό στάδιο. Οι υδρατμοί που παράγονται στο τελικό στάδιο χρησιμοποιούνται αντί ατμών για τη θέρμανση των στερεών στα προηγούμενα στάδια αφαίρεσης υγρασίας. Η διαδικασία περιλαμβάνει τέσσερα βήματα:

- ανάμιξη ιλύος με έλαια και εξάτμιση νερού σε πολλαπλά στάδια
- διαχωρισμός ελαίων από τα στερεά
- διαχωρισμός ελαφρού ελαίου από τις προϋπάρχουσες λιπαρές ουσίες της ιλύος
- διαχωρισμός ελαίων από το εξατμιζόμενο νερό

Η υγρή ιλύς θρυμματίζεται ώστε το μέγεθος των υγροποιημένων στερεών να μειώνεται εμποδίζοντας έτσι την δυσμενή επίδραση στον εξοπλισμό και το φράξιμο των αγωγών. Η υγροποιημένη ιλύς αναμιγνύεται με ένα ελαφρύ έλαιο φορέα σε αναλογία 5-10 μέρη ελαίου για κάθε μέρος μάζας ξηρών στερεών. Το έλαιο ελαχιστοποιεί την δημιουργία αποθέσεων, εμποδίζει τη διάβρωση, διευκολύνει τη μεταφορά της θερμότητας και διατηρεί την ιλύ σε υγρή μορφή. Η υγροποιημένη ιλύς μεταφέρεται στον πρώτο εξατμιστή και ξηραίνεται προοδευτικά στους διαδοχικούς εξατμιστές. Ο ατμός χρησιμοποιείται μόνο στον τελευταίο εξατμιστή για την έμμεση θέρμανση της υγροποιημένης ιλύος αφού οι παραγόμενοι σε κάθε στάδιο υδρατμοί χρησιμοποιούνται για την θέρμανση των προηγούμενων εξατμιστών.

Οι υδρατμοί που παράγονται στον πρώτο εξατμιστή υγροποιούνται και διοχετεύονται στο δίκτυο αποχέτευσης. Το μίγμα ελαίων και ιλύος που προκύπτει από το τελικό στάδιο ξήρανσης υποβάλλεται σε φυγοκέντρωση για το διαχωρισμό του ελαίου από τα ξηρά στερεά. Για την ελαχιστοποίηση υ964 των εξόδων λειτουργίας το έλαιο θα πρέπει να ανακτάται και να επαναχρησιμοποιείται. Το μίγμα που προκύπτει από την φυγοκέντρωση περιέχει περίπου 60% στερεά και 40% ρευστοποιημένα έλαια και τροφοδοτείται σε έναν έμμεσο ξηραντή τυπού δίσκου σε θερμοκρασία 120-160 οC, για την εξαέρωση του ελαίου. Το εξατμισμένο έλαιο μαζί με το νερό από τον ξηραντή επανακυκλοφορούνται στο πρώτο στάδιο εξάτμισης για την ανάκτηση θερμότητας. Τα απαέρια είναι δύσσομα, περιέχουν πτητικά οργανικά και θα πρέπει να συλλέγονται και να καίγονται σε λέβητα. Μειονέκτημα της διαδικασίας είναι η πολυπλοκότητά της η οποία συνεπάγεται αυξημένο κατασκευαστικό κόστος και μεγάλα έξοδα συντήρησης καθώς και την πρόσληψη ειδικευμένου προσωπικού. Η διαδικασία μοιάζει περισσότερο με πετροχημική εγκατάσταση παρά με εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων και γι' αυτό η Υπηρεσία που θα δεχτεί αυτή τη διαδικασία θα πρέπει να επενδύσει σημαντικά ποσά για την εκπαίδευση του προσωπικού της εγκατάστασης.

(Α. Ανδρεαδάκης et al)

γ) Ξηραντής τύπου ρευστοποιημένης κλίνης με ατμό:

Η ξήρανση με ξηραντή τύπου ρευστοποιημένης κλίνης με ατμό είναι μία σχετικά νέα μέθοδος, η οποία άρχισε να εφαρμόζεται για την ξήρανση ιλύων στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Το σύστημα αυτού του τύπου ξήρανσης αποτελείται από έναν τεμαχιστή της ιλύος, ένα δοχείο ρευστοποιημένης κλίνης, ένα κλειστό βρόχο ξήρανσης που περιέχει ατμό, ένα βραστήρα παραγωγής ατμού, ένα σύστημα μεταφοράς της ξηραμένης ιλύος, ένα σύστημα ψύξης της ξηραμένης ιλύος και ένα σύστημα ψύξης των υδρατμών. Το σύστημα ξήρανσης είναι κλειστό, για την εξουδετέρωση των οσμών. Η αφυδατωμένη ιλύς αναμιγνύεται με ξηραμένη ιλύ με στόχο την παραγωγή μίγματος με ποσοστό υγρασίας 30 ως 50% και κατανομή κόκκων κατάλληλη για την διαδικασία ξήρανσης με ρευστοποιημένη κλίνη. Το μίγμα μεταφέρεται στον ξηραντή ρευστοποιημένης κλίνης, όπου διατηρείται σε αιώρηση μέσω επανακυκλοφορίας υδρατμών, σε θερμοκρασία περίπου 110°C. Η ενέργεια που απαιτείται για την ξήρανση μεταφέρεται εξολοκλήρου μέσω ενός συστήματος εναλλάκτη θερμότητας, το οποίο είναι βυθισμένο στην κλίνη. Το θερμαντικό μέσο του εναλλάκτη θερμότητας είναι κορεσμένοι ατμοί με πίεση από 2 ως 5 atm. Η ξηραμένη ιλύς απομακρύνεται από τον πυθμένα της ρευστοποιημένης κλίνης ή υπερχειλίζει και στη συνέχεια μεταφέρεται σε κλίνη όπου ψύχεται με την εμφύσηση μικρών ποσοτήτων αέρα. Ο αέ-

ρας ψύξης, ο οποίος περιέχει μικρή ποσότητα υγρασίας, επανακυκλοφορείται στον βραστήρα για την αντιμετώπιση των οσμών μέσω καύσης. Το τελικό προϊόν είναι ξηρό κοκκώδες υλικό, ανθεκτικό στην τριβή, με ποσοστό ξηρών στερεών περίπου 85 ως 95% και φαινόμενης πυκνότητας περίπου 750 ως 800 kg/m³. Ο ατμός που απαιτείται για τη διατήρηση της ιλύος σε αιώρηση απομακρύνεται από την κορυφή και στη συνέχεια οδηγείται σε κυκλώνα για την απομάκρυνση των στερεών. Τα αέρια που φεύγουν από τον κυκλώνα ψύχονται και οι τυχόν απομένοντες ατμοί επιστρέφουν στη ρευστοποιημένη κλίνη, ενώ οι υγροποιημένοι υδρατμοί επανακυκλοφορούνται στην είσοδο της εγκατάστασης επεξεργασίας με μία μέση θερμοκρασία 40 °C και μέγιστη συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών 250 mg/l. Η διαδικασία ξήρανσης με ξηραντή τύπου ρευστοποιημένης κλίνης με ατμό απαιτεί περίπου 1.2-1.3 τόννους κορεσμένων ατμών ανά τόννο εξατμιζόμενου νερού, ενώ η μέση απαιτούμενη ενέργεια είναι 45 KWh/ τόνο εξατμιζόμενου νερού.

(Α. Ανδρεαδάκης et al)

Συμπεράσματα - Επιλογή Μεθόδου και Οικονομικές Θεωρήσεις

Τα διάφορα συστήματα ξήρανσης αξιολογούνται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- περιβαλλοντικές επιπτώσεις
- κόστος (κατασκευαστικό, λειτουργίας και συντήρησης)
- τεχνικούς παράγοντες
- ευελιξία
- απλότητα
- αξιοπιστία
- εμπορική αξία του τελικού προϊόντος

Πιθανοί λόγοι απόρριψης ενός συστήματος μπορεί να είναι:

- ανεπιθύμητες περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα και ανεπαρκής ασφάλεια
- προβλήματα στη λειτουργία και συντήρηση, τα οποία περιλαμβάνουν πολυπλοκότητα της διαδικασίας ξήρανσης, ευαισθησία σε μηχανικές βλάβες, επίπεδο αυτοματισμού και απαιτούμενο προσωπικό
- ποιότητα σε συνδυασμό με την εμπορική αξία του τελικού προϊόντος

Η επίδραση στην ποιότητα της ατμόσφαιρας είναι ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας. Κατά τη θερμική ξήρανση της ιλύος ο ατμός που έρχεται σε επαφή με την ιλύ απορροφά διάφορες πτητικές οργανικές ενώσεις οι οποίες είναι δύσσομες, ενώ ταυτόχρονα, ανάλογα με την ταχύτητα των αερίων, παρασύρονται και σωματίδια ιλύος. Οι άμεσοι ξηραντές χρησιμοποιούν ποσότητες αερίων, τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με την ξηραμένη ιλύ για να παρασύρουν τους ατμούς με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων (απ'ότι στην περίπτωση των έμμεσων ξηραντών) ποσοτήτων αερίων Έτσι, φαίνεται ότι στην περίπτωση της άμεσης ξήρανσης είναι πιο δύσκολη η παραγωγή άοσμων και χωρίς σωματίδια αερίων, με αποτέλεσμα την απαραίτητη εγκατάσταση ενός συστήματος ελέγχου ατμοσφαιρικής ρύπανσης, το οποίο θα περιλαμβάνει μονάδα για την απομακρυνση των σωματιδίων αλλά και έναν μετα-καυστήρα για τον έλεγχο των οσμών. Ένας σημαντικός παράγοντας κατά το σχεδιασμό όλων των συστημάτων ξήρανσης είναι η εξασφάλιση επαρκούς επιφάνειας για την αποθήκευση της υγρής και ξηραμένης ιλύς, για περιπτώσεις μηχανικών διακοπών και διακυμάνσεων της παραγωγής. Η ξηραμένη ιλύς αποθηκεύεται, συνήθως, σε σφραγισμένα σιλό. Η εμπειρία από τη λειτουργία εγκαταστάσεων ξήρανσης (WEF,1991) έχει δείξει ότι η αποθήκευση ιλύος με μορφή σκόνης, μπορεί να προκαλέσει αυτόματη ανάφλεξη. Η καλύτερη μέθοδος για την αποφυγή κινδύνων πυρκαγιάς είναι η διαμόρφωση της ιλύος σε ανθεκτικούς κόκκους πριν από την αποθήκευσή της και η συστηματική παραγωγή ξηρής ιλύος με λιγότερο από 10% υγρασία. Άλλες πρακτικές για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων πρόκλησης πυρκαγιάς περιλαμβάνουν αφενός τη συντήρηση ενός στρώματος αζώτου στο σιλό αποθήκευσης της ξηραμένης ιλύος, ή την ύπαρξη συστήματος κατάσβεσης πυρκαγιών. Με βάση την εμπειρία από τη λειτουργία εγκαταστάσεων ξηράνσεως όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, γίνεται φανερό ότι κάποιες διαδικασίες ξήρανσης παρουσιάζουν συχνότερα λειτουργικά προβλήματα, όπως για παράδειγμα οι ξηραντές απότομης ξήρανσης. Από τις 50 εγκαταστάσεις ξηραντών απότομης ξήρανσης που υπάρχουν στις ΗΠΑ μόλις οι 5 ή 6 από αυτές συνεχίζουν να λειτουργούν. Μία άλλη σημαντική παράμετρος είναι η ευελιξία και η πολυπλοκότητα της λειτουργίας. Είναι φανερό ότι η πλυπλοκότητα ορισμένων συστημάτων ξήρανσης, ειδικά του συστήματος Carver-Greenfield προϋποθέτει έμπειρο και πολύ καλά εκπαιδευμένο προσωπικό.

Η θερμικά ξηραμένη ιλύς με περιεκτικότητα σε στερεά μεγαλύτερη από 90%, θεωρείται αποστειρωμένη και επομένως στις περισσότερες περιπτώσεις ο χειρισμός της μπορεί να γίνει με ασφάλεια σε ότι αφορά τη μετάδοση των παθογόνων οργανισμών. Για την εφαρμογή επιτυχημένου προγράμματος εμπορικής διάθεσης της ιλύος, η ξηραμένη ιλύς θα

πρέπει να περιέχει το δυνατόν λιγότερη σκόνη και να είναι διαμορφωμένη σε ανθεκτικούς κόκκους ικανούς να μη θραύονται κατά το χειρισμό και τη μεταφορά. Ορισμένοι άμεσοι ξηραντές τείνουν να παράγουν ιλύ με λιγότερη σκόνη. Ωστόσο, εν όψει της ανάγκης δημιουργίας κόκκων ιλύος στις περισσότερες μεθόδους ξήρανσης, για τη βελτίωση της εμπορικής αξίας του τελικού προϊόντος, τον εύκολο χειρισμό και τη μείωση δυνητικών κινδύνων πυρκαγιάς, αυτό το κατ'αρχήν πλεονέκτημα των άμεσων ξηραντών δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι οι άμεσοι ξηραντές δεν αποτελούν κατάλληλη επιλογή λόγω σημαντικών δυνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην ατμόσφαιρα. Επίσης, η διαδικασία Carver-Greenfield λόγω της πολυπλοκότητάς της προϋποθέτει ειδικευμένο προσωπικό για την επιτυχή λειτουργία του συστήματος, με αποτέλεσμα να μην αποτελεί εφαρμόσιμη εναλλακτική λύση. Κατά συνέπεια το σύστημα που κατ'αρχήν φαίνεται κατάλληλο είναι ένα σύστημα έμμεσης ξήρανσης κλειστού τύπου για την ελαχιστοποίηση των αερίων εκπομπών σε συνδυασμό με τη δυνατότητα διαμόρφωσης της ιλύος σε μορφή κόκκων που οδηγεί σε μειωμένο κόστος μεταφοράς του προϊόντος, σε βελτιωμένη αποθηκευτική δυνατότητα και εμπορευσιμότητα. (Α. Ανδρεαδάκης *et al*)

E.1.5.8 Σταθεροποίηση με Καύση ή αποτέφρωση

Σκοπός της καύσης της ιλύος είναι η ελάττωση του όγκου της, η μετατροπή της σε υλικά μη επιβλαβή για την υγεία του ανθρώπου και η κατά το δυνατόν εκμετάλλευση της ευρισκόμενης στην ιλύ ενέργειας ως θέρμανση, ατμό, ηλεκτρικό ρεύμα ή καύσιμο υλικό.

Η καύση αποτελεί προέκταση της θερμικής αποξήρανσης και οξειδώνει πλήρως τα οργανικά συστατικά της ιλύος με τελικό στερεό προϊόν την αδρανή τέφρα σε περιορισμένη ποσότητα, καθώς επίσης, νερό και CO₂. Τα κύρια πλεονεκτήματα της καύσης είναι: (α) η μέγιστη μείωση του όγκου, δηλαδή ελάχιστες απαιτήσεις διάθεσης, (β) η καταστροφή των παθογόνων και των τοξικών ενώσεων και (γ) η ανάκτηση ενέργειας. Τα μειονεκτήματα περιλαμβάνουν: (α) το υψηλό επενδυτικό και λειτουργικό κόστος (απαιτείται πολύ έμπειρο προσωπικό για λειτουργία και συντήρηση), (β) τα παραγόμενα παραπροϊόντα (τέφρα και αέρια) μπορεί να έχουν μη αντιστρεπτά περιβαλλοντικά αποτελέσματα και (γ) η διάθεση των στερεών που μπορεί να θεωρηθούν στα επικίνδυνα και τοξικά.

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Οι πρόσφατες τεχνολογικές βελτιώσεις, σε συνδυασμό με την αυστηρή Νομοθεσία (Οδηγία 2000/76/EC) δίνουν λύσεις για ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία των μονάδων καύσης, ωστόσο κάνουν τη μέθοδο αυτή ακόμη πιο δαπανηρή, τόσο στη κατασκευή όσο και στη λειτουργία.

Γενικότερα, διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες αποτέφρωσης της ιλύος:

- 1) Καύση ιλύος σε ειδικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης
- 2) Καύση της ιλύος μαζί με στερεά απόβλητα, κυρίως οικιακά απορρίμματα
- 3) Καύση της ιλύος σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις: Η ιλύς χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας ή άλλων προϊόντων, όπως είναι οι μονάδες παραγωγής τσιμέντου.

Η καύση της ιλύος είναι μία εναλλακτική λύση, που μπορεί να εξετάζεται σε μεγάλες ΕΕΛ και δεν έχει εφαρμογή σε μικρές και αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων.

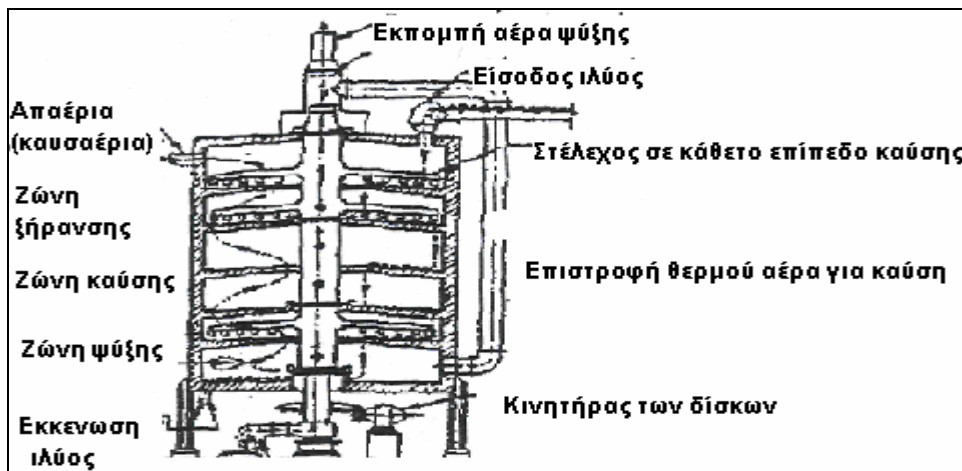
(N. Κάρτσωνας et al., 2005)

Κατά την αποτέφρωση παράγεται σημαντική ποσότητα θερμότητας από την οξείδωση των οργανικών ουσιών, που μπορεί να συντηρήσει την καύση (αυτοσυντήρητη διαδικασία), αν η υγρασία της ιλύος δεν υπερβαίνει 60 - 70% του βάρους της, και τα πτητικά είναι 65-70% των στερεών (αυτόκαυστη ιλύς). Τελικά, απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας για την έναρξη και τον έλεγχο της λειτουργίας του αποτεφρωτήρα. Η θερμότητα, που παράγεται κατά την καύση της ιλύος εξαρτάται άμεσα από την υγρασία και τα πτητικά στερεά.

Με βάση τα οργανικά στερεά μόνο της ιλύος η καθαρή θερμιδική αξία της είναι από 10 έως 15% μικρότερη από την ανεπεξέργαστη. Η ιλύς των αστικών υγρών αποβλήτων έχει καθαρή θερμιδική αξία περίπου 5000 kcal/kg VS (VS = πτητικά στερεά), ενώ το παραγόμενο αέριο κατά τη χώνευση έχει κατά μέσον όρο 5400 kcal/m³ ή και περισσότερο ανάλογα με το περιεχόμενο μεθάνιο. Για σύγκριση σημειώνεται, ότι το πετρέλαιο, που χρησιμοποιείται για οικιακό καύσιμο έχει από 9800 έως 10100 kcal/kg. Για την καύση της ιλύος χρησιμοποιούνται αποτεφρωτήρες, που συνήθως αποξηραίνουν προηγούμενα τη ιλύ. Οι διάφοροι τύποι αποτεφρωτήρων είναι:

- (α) Πολύ-εστιακός αποτεφρωτήρας. Χρησιμοποιείται με επιτυχία για την αποξήρανση και καύση της ιλύος. Αποτελείται από κατακόρυφο χαλύβδινο κυλινδρικό κλίβανο, που περιέχει πολλές επάλληλες εστίες, στις οποίες αποτεφρώνεται η ιλύς, καθώς πέφτει δι-

αδοχικά σε κάθε επίπεδο με τη βοήθεια περιστρεφόμενων ξέστρων από την κορυφή μέχρι τη βάση (Σχ. παρακάτω).



Σχήμα Ε.29. Πολυ-εστιακός αποτεφρωτήρας (Α. Αγγελάκης 2004)

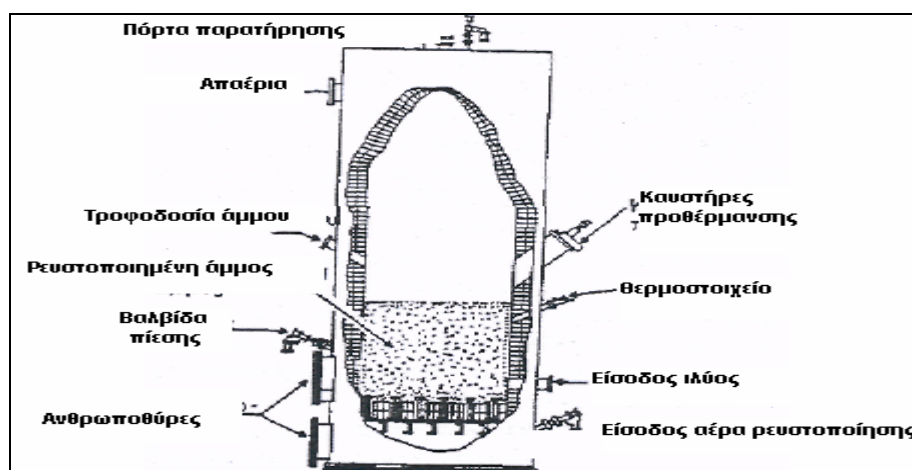
Ειδικότερα η υγρή ιλύς (70-75% υγρασία) τροφοδοτείται περιφερειακά στην πρώτη εστία της κορυφής και προωθείται αργά προς το κέντρο με τα περιστρεφόμενα ξέστρα. Από εκεί εισέρχεται στη δεύτερη εστία, όπου ακολουθεί αντίστροφη πορεία προς την περιφέρεια και εισέρχεται στην τρίτη εστία, όπου κινείται ξανά προς το κέντρο. Στις πρώτες εστίες η ιλύς ξεραίνεται από τα θερμά αέρια (σε 50-60% υγρασία), ενώ στις μεσαίες γίνεται πρακτικά η πλήρης ανάφλεξη των οργανικών ουσιών σε υψηλή θερμοκρασία (περίπου 800-900°C) και σε οξειδωτική ατμόσφαιρα.

Στις εστίες αυτές καίγεται, αν χρειασθεί, το βοηθητικό καύσιμο για την αρχική θέρμανση και τον έλεγχο της καύσης. Η αποτέφρωση ολοκληρώνεται στις χαμηλότερες εστίες. Η τέφρα, που ψύχεται από την επαφή με το νεοεισερχόμενο αέρα της καύσης, συλλέγεται σ' ένα υποδοχέα. Η ιπτάμενη τέφρα, που φεύγει με τα απαέρια, παγιδεύεται σε υγρό καθαριστήρα. Στην κατώτερη εστία εισάγεται προθερμασμένος αέρας, που αναμειγνύεται με τον αέρα ψύξης. Καθώς το μείγμα εισέρχεται στις μεσαίες υπέρθερμες εστίες, θερμαίνεται περισσότερο, για να ψυχθεί στις πιο επάνω εστίες, όπου γίνεται η αποξήρανση της εισαγόμενης ιλύος. Μετά την έξοδο του αέρα από τον κλίβανο ένα σημαντικό μέρος ξαναισέρχεται στην κατώτερη εστία για προθέρμανση και το υπόλοιπο διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Οι αποτεφρωτήρες αυτοί έχουν συνήθως διάμετρο μέχρι 7,0 m και αποτελούνται από 4 έως 12 εστίες. Έκτος από την ιλύ μπορεί να αποτεφρωθούν σ' αυτούς τα σχαρίσματα, λίπη και τα ξαφρίσματα.

(β) Κλίβανος με ρευστοποιημένη κλίνη. Ο αποτεφρωτήρας αυτός αποτελείται από κατακόρυφο κυλινδρικό κλίβανο με στρώμα άμμου στη βάση του που θερμαίνεται σε 700

έως 800°C και διατηρείται σε αιώρηση με ρεύμα αέρα από κάτω. Η ρευστοποιημένη άμμος αποτελεί αποθήκη θερμότητας, που εξασφαλίζει την ομοιόμορφη καύση. Η αφυδατωμένη ιλύς τροφοδοτείται από το επάνω μέρος του κλιβάνου καθώς κατέρχεται, ξεραίνεται και οξειδώνεται κατά το μεγαλύτερο μέρος επάνω από τη ρευστοποιημένη άμμο, όπου η θερμοκρασία φθάνει τους 900-950°C. Ο κλιβανός είναι εφοδιασμένος με σύστημα πλύσης των απαερίων και συγκρατήσεως της ιπτάμενης τέφρας. Ένας αντιδραστήρας καύσης ιλύος ρευστοποιημένου στρώματος φαίνεται στο σχήμα παρακάτω.

(Α. Αγγελάκης 2004)



Σχήμα E.30. Αντιδραστήρας, καύσης ιλύος ρευστοποιημένου στρώματος

(Α. Αγγελάκης 2004)

Σταθεροποίηση ενεργού ιλύος με την χρήση ιπτάμενης τέφρας

Όταν επιλεγθεί να πραγματοποιηθεί σταθεροποίηση της ενεργού ιλύος μέσω της χρήσης ιπτάμενης τέφρας προκύπτει το ζήτημα της βέλτιστης αναλογίας συμμετοχής των δύο αυτών υλικών στην παρασκευή μειγμάτων με σκοπό την ορθά περιβαλλοντική και ασφαλή διάθεσή τους.

Κατά τη λειτουργία των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και μετά από το στάδιο της νιτροποίησης - απονιτροποίησης, τα απαλλαγμένα από το διαλυμένο ρυπαντικό φορτίο λύματα οδηγούνται στις δεξαμενές καθίζησης, όπου συντελείται η τελευταία υποβοηθητική διεργασία της βιολογικής επεξεργασίας. Εκεί δίδεται ο απαραίτητος χρόνος στα αιωρούμενα σωματίδια και τους μικροοργανισμούς (ενεργός ιλύς) να συσσωματωθούν και να καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών, ώστε από την επιφάνειά τους να υπερχειλίσουν τα απαλλαγμένα φορτία λύματα. Στην συνέχεια οι προκύπτουσες ποσότητες ενεργού ιλύος, αφού αφυδατωθούν, αποθηκεύονται σε κατάλληλα διαμορφωμένες εγκαταστάσεις για αρκετά μεγάλα όμως χρονικά διαστήματα εξαιτίας της έλλειψης οργανωμέ-

νων εναλλακτικών τρόπων διάθεσης (π.χ. σε εγκαταστάσεις ξήρανσης-αποτέφρωσης, λιπασματοποίησης) με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικά πρόβλημα αποθήκευσης των νέων και συνεχώς αυξανόμενων ποσοτήτων που παράγονται, γεγονός που εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Το πρόβλημα βέβαια της διάθεσης της ιλύος απασχολεί όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες, αλλά στην Ελλάδα που η μόνη μέχρι στιγμής διέξοδος είναι η υγειονομική της ταφή (η λιπασματοποίηση ως τρόπος διάθεσης κατέχει ένα πολύ μικρό ποσοστό σε σχέση με τις παραγόμενες ποσότητες ιλύος και λαμβάνει χώρα σε ένα μόνο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων της χώρας) φαίνεται να έχει πάρει μεγαλύτερες διαστάσεις.

Ένα είδος πρόσθετου υλικού με κατάλληλες ποζολανικές ιδιότητες θα μπορούσε να είναι και η ιπτάμενη τέφρα (I.T.), που προκύπτει σε ποσότητες που ξεπερνούν τα 9 εκατομμύρια τόνους το χρόνο, από την καύση του λιγνίτη στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας των περιοχών Πτολεμαΐδας και Μεγαλόπολης. Μάλιστα, ως αιωρούμενο υλικό που διαχέεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και υποβαθμίζει σημαντικά το έδαφος γύρω από τη ζώνη ηλεκτροπαραγωγής η ιπτάμενη τέφρα έχει επικεντρώσει το ενδιαφέρον της τεχνολογίας για την εναλλακτική χρήσης της. Αν ληφθεί υπόψη και η αναγκαιότητα για διαρκώς αυξανόμενη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τόνοι ιπτάμενης τέφρας παραμένουν αναζητώντας έναν ακόμη τρόπο αξιοποίησης εκτός από την χρησιμοποίησή της σε υλικά σκυροδέματος.

Το συγκεκριμένο υλικό, κατά το πρόσφατο παρελθόν έχει χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία δειγμάτων ιλύος βιολογικού καθαρισμού, ιδιαίτερα υψηλής περιεκτικότητας σε βαρέα μέταλλα, σε αναλογίες που ξεκίναγαν από (τέφρα:ιλύς) 1:1 και έφταναν το 1:9. Τα συγκεκριμένα μείγματα (που προέκυψαν έπειτα από ανάμιξη για χρονικό διάστημα από 8 έως 72 ώρες) υποβλήθηκαν σε δοκιμές εκπλυσιμότητας οι οποίες έδωσαν πολύ καλά αποτελέσματα, ενώ η αύξηση της τιμής του pH στο 12 (λόγω της αλκαλικότητας της τέφρας) κατά την ανάμιξη απέδειξε ότι ήταν το σημαντικό αίτιο δραστικής μείωσης του μικροβιακού ρυπαντικού φορτίου της ιλύος, σε ποσοστό που ξεπερνούσε το 99%. Επίσης η εφαρμογή της ιπτάμενης τέφρας σε λάσπες βιολογικών καθαρισμών επιβεβαιώνεται και από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA) σε μελέτη που εκπόνησε σχετικά με τη χρήση και τους τρόπους διάθεσης της ιλύος. Έτσι, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν αφενός, στην διερεύνηση της χρησιμοποίησης του συγκεκριμένου υλικού ως πρόσθετο με στόχο την σταθεροποίηση ιλύος από δείγματα που ελήφθησαν από τρεις διαφορετικά κέντρα επεξεργασίας λυμάτων της χώρας, αφετέρου

στην προσπάθεια απορρόφησης σημαντικών ποσοτήτων ιπτάμενης τέφρας μέσω μιας ενδεχόμενης εναλλακτικής χρήσης της.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια σειρά φυσικοχημικών αναλύσεων των δύο υλικών (ιπτάμενης τέφρας και ιλύος), και στην συνέχεια ελέγχθηκαν βασικές παράμετροι των μειγμάτων των δύο υλικών, σε διαφορετικές αναλογίες. Στόχος ήταν η εύρεση των ιδανικών αναλογιών μείξης, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, η σταθεροποίηση δηλαδή της ιλύος

Συνοψίζοντας, θα μπορούσε να αναφερθεί ότι, η I.T. αποδεικνύεται, από αποτελέσματα δοκιμών μελέτης της βιβλιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία, ως ένα αξιόλογο υλικό επεξεργασίας για τη σταθεροποίηση της ιλύος που προκύπτει από τα Κέντρα Επεξεργασίας Λυμάτων της χώρας. Έχοντας διπλή αντιρρυπαντική δράση, που εξασφαλίζει τη μείωση του μικροβιακού φορτίου και την ταυτόχρονη αναστολή, σε ένα μεγάλο ποσοστό, της εκπλυσιμότητας των βαρέων μετάλλων της ιλύος, σε συνδυασμό με το χαμηλό της κόστος, η I.T θα μπορούσε να αποτελέσει ένα βέλτιστο μέσο σταθεροποίησης.

(Σκιτζή K et al.)

E.1.5.9 Σταθεροποίηση με υγρή οξείδωση:

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή ότι οποιαδήποτε ουσία που μπορεί να καεί, οξειδώνεται παρουσία νερού σε θερμοκρασίες από 120 έως 370 °C. Η οξείδωση υγρού αέρα δεν απαιτεί αφυδάτωση ή ξήρανση, όπως απαιτείται στην συμβατική καύση. Το νερό στην ιλύ μπορεί να είναι μέχρι 99% ενώ στην συμβατική καύση πρέπει να μειωθεί σημαντικά ώστε να είναι πρακτικά δυνατή η καύση της ιλύος. Μία άλλη σημαντική διαφορά είναι η άφλογος οξείδωση των οργανικών, που γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες της καύσης. Έτσι, αποφεύγεται, επομένως, η ρύπανση του αέρα καθώς η οξείδωση γίνεται μέσα στο νερό σε χαμηλές θερμοκρασίες και δε δημιουργούνται ιπτάμενη τέφρα, διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου.

Η υγρή οξείδωση της ιλύος διενεργείται με τη μέθοδο Zimmermann. Σε αυτήν εφαρμόζονται μεγαλύτερες πιέσεις και θερμοκρασίες σε σχέση με τη θερμική επεξεργασία, για την πληρέστερη οξείδωση των οργανικών. Η αφυδατωμένη ιλύς αλέθεται και αναμειγνύεται με καθορισμένο όγκο πιεσμένου αέρα. Το μείγμα, εισέρχεται σε σειρά εναλλακτών θερμότητας και στη συνέχεια οδηγείται στο θερμικό αντιδραστήρα, που πιέζεται, για να διατηρείται το νερό σε υγρή κατάσταση στη θερμοκρασία λειτουργίας των από 175 έως 315°C. Μονάδες υψηλής πίεσής μπορεί να σχεδιασθούν για πιέσεις λειτουργίας μέχρι 200 atm. Τα υγρά και τα οξειδωμένα στερεά, όταν εξέλθουν από τον αντιδραστήρα, ψύχονται στους

εναλλάκτες θερμότητας και τελικά οδηγούνται για διαχωρισμό σε δεξαμενή καθίζησης ή κλίνη ξήρανσης. Η μονάδα μπορεί να είναι θερμικά αυτοσυντήρητη, αν χρησιμοποιεί ανεπεξέργαστη ιλύ (με όλα τα οργανικά), διαφορετικά τροφοδοτείται με θερμότητα από λέβητα ατμού. Στις μεγάλες μονάδες η εκτόνωση των απερίων γίνεται σε αεριοστρόβιλο, που ανακτά τη σχετική ενέργεια.

(Α. Αγγελάκης 2004)

E.1.5.10 Σταθεροποίηση με αποστείρωση:

Είναι η διαδικασία θέρμανσης της ιλύος για σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 30 λεπτών) σε μια θερμοκρασία 70-80°C, επιτρέποντας έτσι τη μείωση των παθογόνων. Από μόνη της όμως δε μπορεί να θεωρηθεί ως μία διεργασία σταθεροποίησης. Η αποστείρωση είναι οικονομικά αποδοτική μόνο για μικρές μονάδες λόγω του υψηλού της κόστους (εκτίμηση περίπου στα 149 €/περίπου t/TS).

(Δ Φαττά et al., 2006)

E.1.5.11 Σταθεροποίηση με ακτινοβολία:

Επίσης χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των μικροοργανισμών της ιλύος. Το τυπικό πεδίο ακτινοβολίας που απαιτείται είναι 1-2 kGy για την αδρανοποίηση των εντεροβακτηρίων (enterobacteriaceae), 15-20 kGy για την αδρανοποίηση των ιών και των κολοβακτηριδίων, ενώ απαιτούνται 3 kGy για απολύμανση. Το κόστος της μεθόδου ανέρχεται περίπου στα 92 €/t/TS.

(Δ Φαττά et al., 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΙΛΥΟΣ - ΜΕΘΟΔΟΙ

Z.1 Σκοπός βελτίωσης ιλύος

Σκοπός της βελτίωσης της ιλύος είναι η κατάλληλη προετοιμασία και επεξεργασία της, για να γίνει η αφυδάτωση ή η πάχυνση αποδοτικότερη, δίνοντας στα στερεά της ιλύος τη δυνατότητα να συσσωματώνονται και να απελευθερώνουν το νερό που περιέχουν. Η κυριότερη μέθοδος είναι η πρόσθεση χημικών (όπως είναι ο χλωριούχος σίδηρος, ο ασβέστης, ο θειικός σίδηρος και τα οργανικά πολυμερή). Άλλες μέθοδοι είναι η θερμική επεξεργασία και η έκπλυση.

Η ιλύς ακόμη και μετά τη πάχυνση εξακολουθεί να περιέχει μεγάλο ποσοστό υγρασίας, που ανέρχεται σε ποσοστά από 97 έως 98%, όταν τα στερεά είναι οργανικά και ειδικότερα πρωτεΐνες και σε ποσοστά από 70 έως 80% αν είναι ανόργανα, βαριά και κοκκώδη. Το νερό, που περιέχεται στην ιλύ, είναι είτε ελεύθερο είτε συνδεδεμένο.

Όταν ένα δείγμα παχυμένης ιλύος υποβληθεί σε εξάτμιση, ο ρυθμός αφυδάτωσης σε συνάρτηση με το χρόνο παρουσιάζει δύο στάδια, ταχύς στην αρχή, όταν απομακρύνεται το ελεύθερο νερό και προοδευτικά βραδύτερος, όταν εξατμίζεται το συνδεδεμένο νερό. Σε πολλές περιπτώσεις χειρισμού της ιλύος παρίσταται ανάγκη, εκτός από το ελεύθερο νερό, να αφαιρεθεί και σημαντικό μέρος από το συνδεδεμένο, προκειμένου να είναι δυνατή η μεταφορά με φορτηγό όχημα (18-20% στερεά για αστικά υγρά απόβλητα).

Στην περίπτωση της φυσικής ξήρανσης σε αμμοκλίνες φαίνεται, ότι, ενώ στην αρχή στραγγίζει το ελεύθερο νερό, στη συνέχεια σημαντική αφυδάτωση οφείλεται στην ηλιακή ενέργεια (εξάτμιση). Με βάση τα προηγούμενα παρουσιάζεται στην πράξη η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί ενέργεια συσσωματώσεως, προκειμένου να τροποποιήσει τις εσωτερικές δυνάμεις συνοχής της ιλύος, να διασπάσει την κολλοειδή σταθερότητα και να «ελευθερώσει» μέρος από το «συνδεδεμένο» νερό, ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση του με μηχανικά μέσα. Αυτός ακριβώς είναι ο σκοπός της βελτίωσης της ιλύος, που αποβλέπει στην βελτίωση των χαρακτηριστικών για την πάχυνση και την αφυδάτωση. Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται, είναι η προσθήκη χημικών ουσιών και η θερμική επεξεργασία.. Συμπληρωματικά πριν από τη χημική επεξεργασία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η φυσική έκπλυση της ιλύος, που αποβλέπει κυρίως στην ελάττωση των απαιτούμενων χημικών ουσιών.

Z.2 Μέθοδοι βελτίωσης

α) Έκπλυση.

Η έκπλυση της ιλύος γίνεται με προσθήκη νερού, ανάμειξη και καθίζηση. Με την απομάκρυνση των λεπτών και κολλοειδών ουσιών και με ελάττωση της αλκαλικότητας βελτιώνονται οι φυσικές και χημικές ιδιότητες. Η απομάκρυνση των λεπτών και κολλοειδών μορίων επιταχύνει τη συμπύκνωση και αυξάνει την απόδοση των συστημάτων μηχανικής αφυδάτωσης (φίλτρα κενού ή πίεσεως, φυγοκέντρωση), ενώ η ελάττωση της αλκαλικότητας μειώνει την κατανάλωση χημικών ουσιών για τη βελτίωση και αφυδάτωση της ιλύος ιδιαίτερα με φίλτρο κενού.

Για την έκπλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί η απορροή της εγκατάστασης ή υπόγειο και επιφανειακό νερό. Η διαδικασία της έκπλυσης περιλαμβάνει δύο φάσεις, την πλήρη ανάμειξη του υγρού έκπλυσης με την ιλύ και το διαχωρισμό του υγρού από την ιλύ με καθίζηση. Κάθε συνδυασμός ανάμειξης και διαχωρισμού αποτελεί ένα στάδιο. Η ανάμειξη και ο διαχωρισμός μπορεί να γίνουν, είτε στην ίδια δεξαμενή, είτε σε χωριστές δεξαμενές.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004)

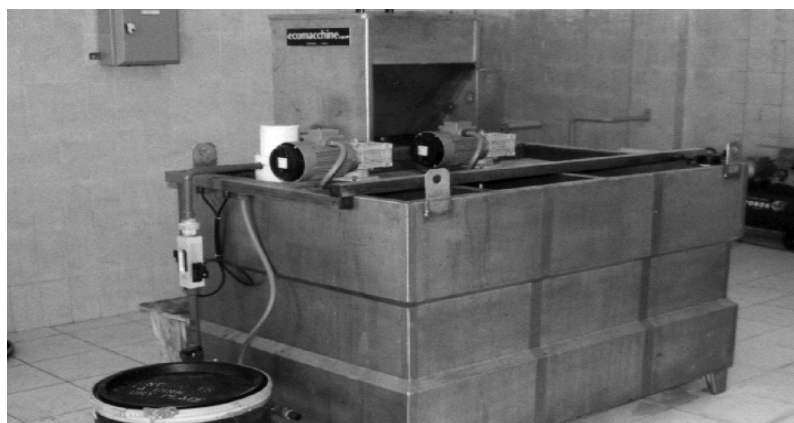
β) Χημική βελτίωση (conditioning)

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο η χημική βελτίωση της ιλύος ή conditioning επηρεάζει τη φυσική δομή της ιλύος και συσσωματώνει τα στερεά, που απελευθερώνονται από το νερό. Η προσθήκη των χημικών γίνεται συνήθως πριν από τη διήθηση και τη φυγοκέντρωση. Διάφορες χημικές ουσίες, όπως χλωριούχος σίδηρος, ασβέστης, θειικό αργίλιο και οργανικά πολυμερή θεωρούνται κατάλληλες.

Τα χημικά πρέπει να αναμειχθούν με την ιλύ και να ακολουθήσει ήρεμη ανάδευση, ώστε να δημιουργηθούν μεγάλες κροκίδες, χωρίς κίνδυνο να διασπαστούν. Τα συνθετικά οργανικά προϊόντα, που είναι γνωστά ως πολυηλεκτρολύτες, χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρότερες ποσότητες, αλλά είναι γενικά δαπανηρότερα. Η κροκίδωση με πολυηλεκτρολύτες γίνεται άμεσα. Οι πολυηλεκτρολύτες διατίθενται σε στερεά λεπτόκοκκο μορφή. Για μικρές καταναλώσεις είναι διαθέσιμοι υπό μορφή ιζώδους ρευστού. Η προσθήκη ακολουθείται από άμεση ανάμειξη με γρήγορη εμφάνιση των συσσωματωμάτων. Κατά την προετοιμασία της ιλύος με πολυηλεκτρολύτη δεν απαιτείται δεξαμενή κροκίδωσης και η τυχόν ανάδευση για την ανάμειξη δεν πρέπει να είναι πολύ έντονη.

Μετά την προσθήκη του πολυηλεκτρολύτη, η ιλύς δεν πρέπει να αντλείται με φυγόκεντρες αντλίες, διότι οι τάσεις που εφαρμόζονται στο ρευστό μέσα στην αντλία καταστρέφουν τα συσσωματώματα. Οι κατιονικοί πολυηλεκτρολύτες είναι πολύ αποτελεσματικοί για την προετοιμασία των ιλύων που έχουν μεγάλο περιεχόμενο κολλοειδών οργανικών. Μια μονάδα ρύθμισης με πολυηλεκτρολύτη παρουσιάζεται στην Εικόνα παρακάτω.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004)



*Εικόνα Ζ.1. Μονάδα ρύθμισης ιλύος
(EU LEONARDO DA VINCI PROGRAMME, 2001)*

γ) Θερμική κατεργασία.

Ο δεσμός του νερού και των κολλοειδών υλικών της ιλύος διασπάται με τη θερμική κατεργασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ως αποτέλεσμα τον ανεπίστρεπτο μετασχηματισμό της φυσικής δομής της ιλύος, ιδιαίτερα εάν περιέχει μεγάλες αναλογίες οργανικών και κολλοειδών υλικών. Η θέρμανση της ιλύος γίνεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 150 - 200°C με χρόνο θέρμανσης από 30 - 60 min. Η ακριβής θερμοκρασία και ο χρόνος εξαρτώνται από το είδος της ιλύος και τον επιθυμητό βαθμό διηθησιμότητας που επιδιώκεται να προσδωθεί στην νλύ.

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης, ορισμένα κολλοειδή καταστρέφονται και μειώνεται η υδροφιλία των στερεών. Το ειδικό βάρος των στερεών αυξάνει σημαντικά. Δύο κύριες διεργασίες λαμβάνουν χώρα συγχρόνως κατά τη θέρμανση. Ορισμένα στερεά διαλύονται με διεργασίες όπως, υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα και η αμμωνιοποίηση του οργανικού αζώτου, Η δεύτερη σημαντική διεργασία είναι η ιζηματοποίηση ορισμένων ουσιών του διαλύματος. Η κυτταρίνη διασπάται σε μικρό ποσοστό και οι λιπαρές ουσίες παραμένουν σταθερές. Η θερμική κατεργασία έχει πολλά *πλεονεκτήματα*, όπως:

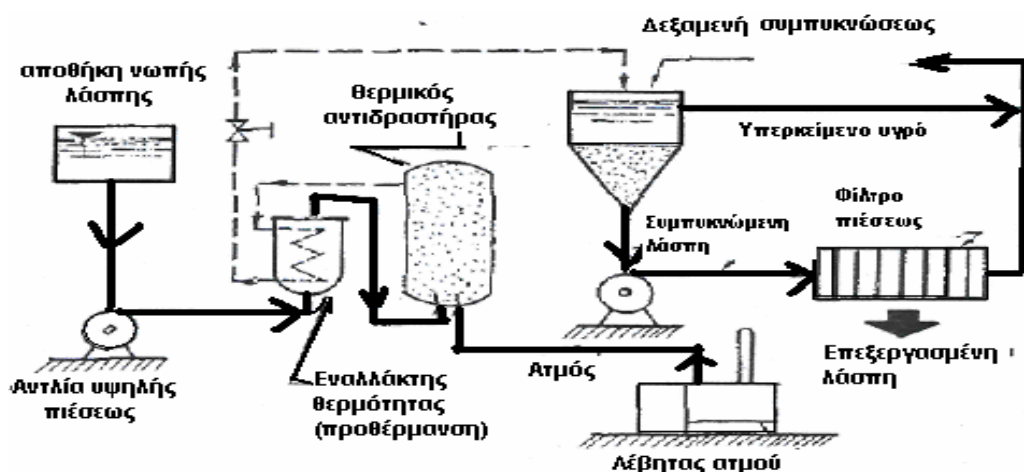
- (α) γενική εφαρμογή,
- (β) σταθερή απόδοση,
- (γ) παραγωγή ιλύος που αφυδατώνεται εύκολα χωρίς την προσθήκη χημικών,
- (δ) παραγωγή αποστειρωμένης ιλύος προς διάθεση και
- (ε) δυνατότητα χρήσης του παραγόμενου αερίου κατά την αναερόβια χώνευση για τη θέρμανση.

Τα *μειονεκτήματα* της μεθόδου αυτής συνοψίζονται στα:

- (α) ανακύκλωση των παραγόμενων υγρών που έχουν υψηλό οργανικό φορτίο,
- (β) παραγωγή οσμών,
- (γ) απαιτείται περιοδικός καθαρισμός των θερμοεναλλακτών και
- (δ) υψηλές επενδύσεις παγίου κεφαλαίου.

Στην πράξη εφαρμόζεται μεταξύ άλλων η μέθοδος Porteus και το σύστημα χαμηλής πίεσως Zimpro.

Στην πρώτη μέθοδο (Σχ.) η ιλύς προθερμαίνεται σε εναλλάκτη θερμότητας, προτού εισρεύσει στον αντιδραστήρα, όπου εισάγεται θερμός ατμός, για να αυξηθεί η θερμοκρασία σε 150-200°C υπό πίεση 10-15 atm περίπου. Μετά από 30 λεπτά συγκράτησης στον αντιδραστήρα η θερμή ιλύς διέρχεται από τον εναλλάκτη θερμότητας, για να προθερμάνει την εισερχόμενη ιλύ και στη συνέχεια οδηγείται στη δεξαμενή συμπυκνώσεως για το διαχωρισμό του νερού. Η συμπυκνωμένη ιλύς μπορεί να αφυδατωθεί σε φίλτρο, ώστε να περιέχει τελικά από 40 έως 50% στερεά. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

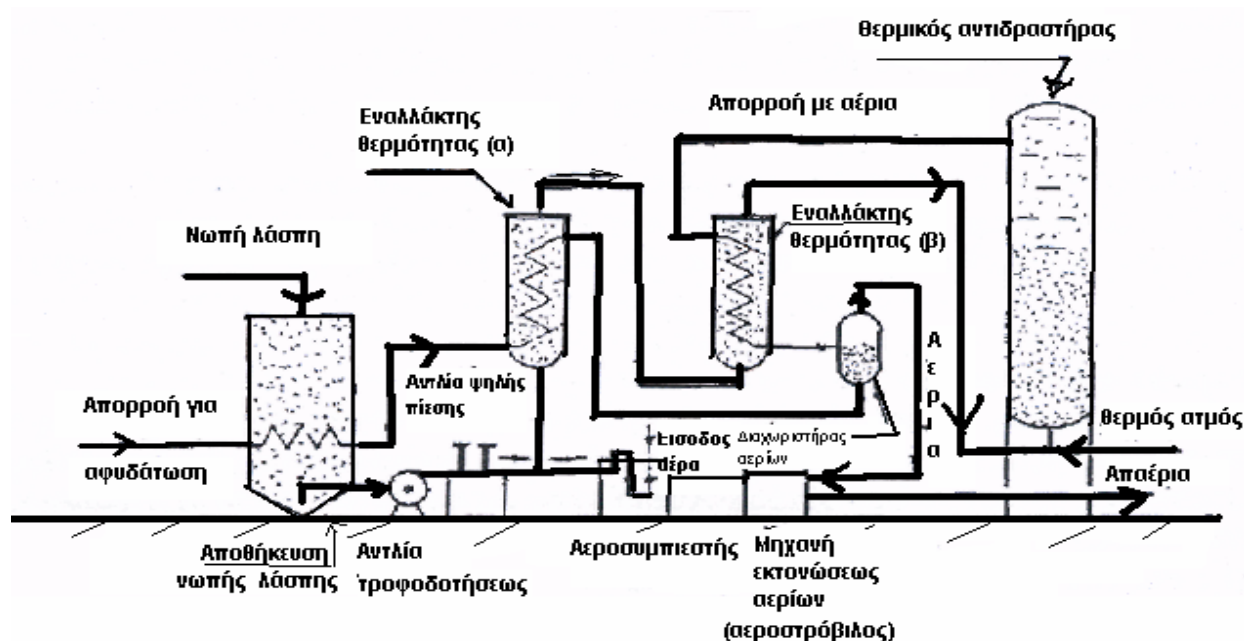


Σχήμα Ζ.1. Σχηματική διάταξη θερμικής επεξεργασίας και αφυδάτωσης της ιλύος

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Στο σύστημα χαμηλής πίεσεως Zimpro (Σχ.), που αναπτύχθηκε από τον Zimmermann, η ιλύς προθερμαίνεται και εισάγεται στον αντιδραστήρα σε ανάμειξη με πιεσμένο αέρα, ενώ παράλληλα ο εισαγόμενος θερμός ατμός ανεβάζει τη θερμοκρασία σε 150°-200°C υπό πίεση από 10 έως 15 atm περίπου. Κατά τη διάρκεια της υγρής οξείδωσης (καύσης) της ιλύος στον αντιδραστήρα ελευθερώνεται θερμότητα, που ανεβάζει περισσότερο τη θερμοκρασία λειτουργίας. Η οξειδωμένη μερικώς ιλύς μπορεί να αφυδατωθεί σε φίλτρο ή με φυγοκέντρηση ή σε αμμοκλίνη και να δώσει τελικό προϊόν με ποσοστά από 30 έως 50% στερεά. Με την ίδια διαδικασία μπορεί να γίνει σχεδόν πλήρης οξείδωση των πτητικών στερεών (περίπου 90%), όταν εφαρμοσθεί ψηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Γενικά ο βαθμός διήθησης της ιλύος και αφυδάτωσης βελτιώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας ή την παράταση του χρόνου θέρμανσης.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004)



Σχήμα Ζ.2. Σχηματική διάταξη συστήματος θερμικής επεξεργασίας zimpro (υγρή οξείδωση) (Α. Αγγελάκης et al., 2004)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η

ΑΝΑΚΤΗΣΗ, ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ & ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ

Η.1 Διαχείριση μίγματος αερίων που παράγονται κατά την επεξεργασία της ιλύος

Η διαχείριση του μίγματος των αερίων που παράγονται από την αναερόβια αποδόμηση των οργανικών ουσιών που εμπεριέχονται στα απόβλητα – ιλύ, αποτελεί τεχνική αντιμετώπισης ανεπιθύμητων επιπτώσεων. Και εφαρμόζεται σε :

- Αντιδραστήρες αναερόβιας επεξεργασίας (χώνευσης) ιλύος
- Χώρους Υγειονομικής Ταφής

(Κ. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Το βιοαέριο (μίγμα οργανικών και ανόργανων αερίων) αποτελεί βασική περιβαλλοντική εκροή των συστημάτων διαχείρισης αποβλήτων που εμπεριέχουν στάδια αναερόβιας ζύμωσης (χώνευσης) οργανικών ουσιών. Η έκλυσή του έχει σημαντικό δυναμικό ανεπιθύμητων επιπτώσεων (ατμοσφαιρική ρύπανση, οσμές, κίνδυνος εκρήξεων, συμβολή στο φαινόμενο θερμοκηπίου). Οι ΧΥΤΑ και γενικότερα οι αναερόβιοι αντιδραστήρες αποτελούν μια από της σημαντικότερες πηγές παραγωγής CH₄. Η τυπική σύσταση του αερίου των χωνευτών ιλύος είναι 65% CH₄ και 35% CO₂, με μικρές προσμίξεις ανώτερων υδρογονανθράκων, CO, H₂S, PH₃, οργανοθειϊκών και οργανοφωσφορικών ενώσεων. Στους ΧΥΤΑ, η σύσταση των αερίων εξαρτάται από το στάδιο της αποδόμησης των αποβλήτων, φθάνει δε έως και 60% CH₄ - 40% CO₂ κατά το στάδιο της μεθανογένεσης. Στην γενική περίπτωση εξαρτάται και από την καλή στεγάνωση του χώρου, έτσι ώστε να διασφαλίζεται η μη είσοδος ατμοσφαιρικού αέρα στο δίκτυο συλλογής.

Στόχοι της διαχείρισης αποτελούν :

- Η ασφαλής απαγωγή των αερίων από τον χώρο παραγωγής τους, χωρίς να έρχονται σε επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα, για την μείωση του κινδύνου εκρήξεων, με δεδομένο ότι το μεθάνιο δημιουργεί εκρηκτικό μίγμα σε αναλογία 5 - 15% με ατμοσφαιρικό αέρα (οξυγόνο 18 -21%) (Tchobanoglous *et al.*, 1993).
- Ο περιορισμός των εκπομπών αερίων που συνεργούν στην δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τα δυο κύρια συστατικά του βιοαερίου (μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα) αποτελούν ενώσεις που συμβάλουν στην δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου και την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας :

	Ατμοσφαιρική συγκέντρωση (1989) (ppm)	Ετήσια αύξηση (%)	Δραστικότητα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (CO ₂ =1)	Συμβολή στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (%)
CO ₂	351	0,4	1	57
CH ₄	1,675	1	25	12

Πίνακας Η.1. Χαρακτηριστικά στοιχεία των δύο κύριων συστατικών του βιοαερίου
(Κ. ΣΤΑΜΕΛΑΟΣ *et al.*)

Η καύση του συλλεγέντος βιοαερίου επιτυγχάνει την μετατροπή (οξείδωση) του CH₄ σε CO₂,

με ανάλογο περιορισμό των επιπτώσεων σε ότι αφορά το φαινόμενο θερμοκηπίου.

- Η αξιοποίηση της θερμογόνου δύναμης των αερίων, που αποτελούν μια ανανεώσιμη – ήπια πηγή ενέργειας. Τούτο συνεπάγεται περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εφόσον συμβάλλει στην εξοικονόμηση συμβατικών καυσίμων. Αναφέρεται ενδεικτικά ότι ένας τόνος αποδομήσιμων αποβλήτων σε ΧΥΤΑ μετασχηματίζεται σε περίοδο 40 ετών κατά 55% σε αέριες ενώσεις, παράγοντας 150 έως 250 m³ αερίων, με μέση θερμογόνο δύναμη 19MJ/m³. Η πλήρης ενεργειακή αξιοποίηση των αερίων αυτών οδηγεί σε εξοικονόμηση 70 - 110 kg ισοδύναμου ορυκτού καυσίμου (equivalent oil), ή στην αποφυγή εκπομπής 650 έως 1000 tn CO₂ στην ατμόσφαιρα, όπως επίσης και των λοιπών αερίων ρύπων που συναρτώνται με την καύση ορυκτών καυσίμων. (Κ. ΣΤΑΜΕΛΑΟΣ *et al.*)

Η.1.2 Νομοθετική αναφορά

Η πρόταση Οδηγίας για την ταφή των αποβλήτων (COM 97/105) και η Υ.Α. 114218 «κατάρτιση πλαισίου προδιαγραφών διαχείρισης στερών αποβλήτων» απαιτεί την λήψη μέτρων για τον έλεγχο της συγκέντρωσης - μετανάστευσης και την επεξεργασία των αερίων ταφής, ενώ συνιστούν την λήψη μέτρων για την ενεργειακή αξιοποίηση τους.

(Κ. ΣΤΑΜΕΛΑΟΣ *et al.*)

Η.1.3 Συλλογή.

Η συλλογή εξαρτάται από την πηγή (ΧΥΤΑ, Χωνευτής Ιλύος), την μορφολογία του βιοαντιδραστήρα, το ύψος του σώματος ταφής, στάθμης υγρών κ.λ.π. Στην γενική περίπτωση, εκτεταμένο δίκτυο συλλογής απαιτείται για τους ΧΥΤΑ, που προσαρμόζεται στις φάσεις ανάπτυξης της εκμετάλλευσης. Το σύστημα είναι δυνατόν να βασίζεται σε οριζόντια ή κατακόρυφα στοιχεία (πηγάδια) ή και συνδυασμό τους. Η διαστασιολόγηση του (πλήθος και διάμετροι πηγαδιών) ακολουθεί την προβλεπόμενη παραγωγή του βιοαερίου (κεφ. 8.3 - 8.5). Άλλες κρίσιμες παραμέτρους αποτελούν η χημική και μηχανική ανθεκτικότητα των σωληνώσεων στο σύνολο της ωφέλιμης ζωής τους (στην γενική περίπτωση 20 - 50 έτη), η

διαστασιολόγηση των οπών, η προστασία έναντι φραγής, η δυνατότητα ρύθμισης ενιαίας πίεσης λειτουργίας, θέσης μεμονωμένων τμημάτων εκτός λειτουργίας κ.λπ.. Η απομάκρυνση συμπυκνωμάτων κρίνεται απαραίτητη, στην (συνήθη) περίπτωση που η θερμοκρασία του αερίου είναι υψηλότερη της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και τούτο είναι κορεσμένο σε οργανικούς ατμούς και υδρατμούς. Καθώς το αέριο ψύχεται κατά την εξαγωγή του από το σώμα ταφής, οι ατμοί υγροποιούνται, με αποτέλεσμα την μείωση της ικανότητας συλλογής και μεταφοράς του δικτύου

(K. ΣΤΑΜΕΛΟΣ et al.)

H.1.4 Προεπεξεργασία

Πριν από την καύση, απαιτείται ο καθαρισμός του αερίου από ανεπιθύμητες ενώσεις.

Κατ' ελάχιστον απαιτείται :

- απομάκρυνση υδρατμών , για την προστασία του εξοπλισμού έναντι διάβρωσης και την βελτίωση της θερμικής αξίας του βιοαερίου. Το σύστημα αποτελείται συνήθως από θάλαμο εκτόνωσης - διαστολής, για την υγροποίηση των υδρατμών και από κυκλωνικούς διαχωριστήρες ή παγίδες (demisters). Είναι δυνατόν να συνοδεύεται από φίλτρο συγκράτησης σωματιδίων.
- αφαίρεση υδρόθειου (H_2S), που παράγεται από την αναερόβια διάσπαση ενώσεων του θείου. Χρησιμοποιείται συνήθως κυλινδρικό φίλτρο με ρινίσματα σιδήρου (Fe). Οι πιο πάνω διεργασίες είναι δυνατόν να συνοδεύονται και από
- απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών , ανάλογα με την τελική χρήση - αξιοποίηση του αερίου. Για την αφαίρεση τις αμμωνίας (NH_4) και των CFCs χρησιμοποιούνται φίλτρα ενεργού άνθρακα. Η απομάκρυνση τους κρίνεται απαραίτητη κυρίως όταν δεν γίνεται επιτόπια καύση του βιοαερίου. *(K. ΣΤΑΜΕΛΟΣ et al.)*

H.1.5 Θερμική Επεξεργασία

Η καύση σε πυρσό εφαρμόζεται σε περίπτωση μικρής παραγωγής, όπου δεν τεκμηριώνεται οικονομοτεχνικά η παραπέρα αξιοποίηση του, ή προκειμένου για βραχύ- και μεσοπρόθεσμες περισσεις παραγωγής, σε σχέση με την δυναμικότητα του εξοπλισμού αξιοποίησης. Απαιτείται, ως εξοπλισμός ασφαλείας σε όλες τις εγκαταστάσεις και χρησιμοποιείται, εφεδρικά, κατά τις περιόδους αστοχίας της μονάδας αξιοποίησης. Ανάλογα με την σύνθεση του βιοαερίου και την αποτελεσματικότητα των προ-επεξεργασιών, προκύπτουν στα καυσαέρια διάφοροι ρύποι σε μικρές ποσότητες. Ως σήμερα δεν έχουν θεσμοθετηθεί Ευρωπαϊκά ή εθνικά όρια ποιότητας καυσαερίων από καύση σε πυρσό. Στον

ευρωπαϊκό χώρο όρια υπάρχουν σε μεμονωμένα κράτη. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα γερμανικά όρια (TA Luft - 96) . (K. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Ρύπος	Όριο (mg/m ³)	Ρύπος	Όριο (mg/m ³)
Σκόνη	-	C(org)	10
CO	50	Cd	0.05
NO _x	200	Hg	0.05
SO ₂	50	Ολικά μέταλλα	0.05
HCl	10	PCDD/PCDF (ng/m ³)	0.18
HF	1		

Πίνακας Η.2. Όρια ποιότητας καυσαερίων στο Γερμανικό κράτος. (K. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Διακρίνονται δυο τύποι πυρσών, ανοικτός (υπερυψωμένος) και κλειστού τύπου (εδάφους). Κρίσιμα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για τον περιορισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα θεωρούνται :

Παράμετρος Σχεδιασμού	Σχόλιο
Θερμοκρασία καύσης - μετρητής	Συνεχής μέτρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, που πρέπει να υπερβαίνει τους 835 °C μετά από 0,3" από την διέλευση από την ζώνη της φλόγας (συνιστώμενο σημείο μέτρησης).
Αυτόματο σύστημα εκκίνησης	Διασφαλίζει την συνεχή λειτουργία
Συναγερμός και αυτόματη απομόνωση σε περίπτωση αστοχίας	Απομόνωση από την γραμμή τροφοδοσίας, κλείσιμο παροχής βιοαερίου, ενεργοποίηση προσωπικού.
Αυτόματη ρύθμιση αέρα καύσης	Ρύθμιση παροχής αέρα καύσης και θερμοκρασίας φλόγας
Προσβάσιμες θυρίδες ελέγχου	Έλεγχος (monitoring) συνθηκών καύσης, δυνατότητα δειγματοληψίας καυσαερίων
Θύρες οπτικού ελέγχου	Οπτική επιθεώρηση θερμικών αισθητήρων φλόγας
Θερμική ασπίδα	Προστασία περιοχής επιρροής από ακτινοβολία.

Tsobanoglous *et al* 1993

Πίνακας Η.3. Κρίσιμα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά για τον περιορισμό των ρύπων στην ατμόσφαιρα (K. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Η.1.6 Αξιοποίηση

Η αξιοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει:

α) Απευθείας θερμική αξιοποίηση στην βιομηχανία, σε θερμοκήπια, σε αναερόβιους χωνευτές

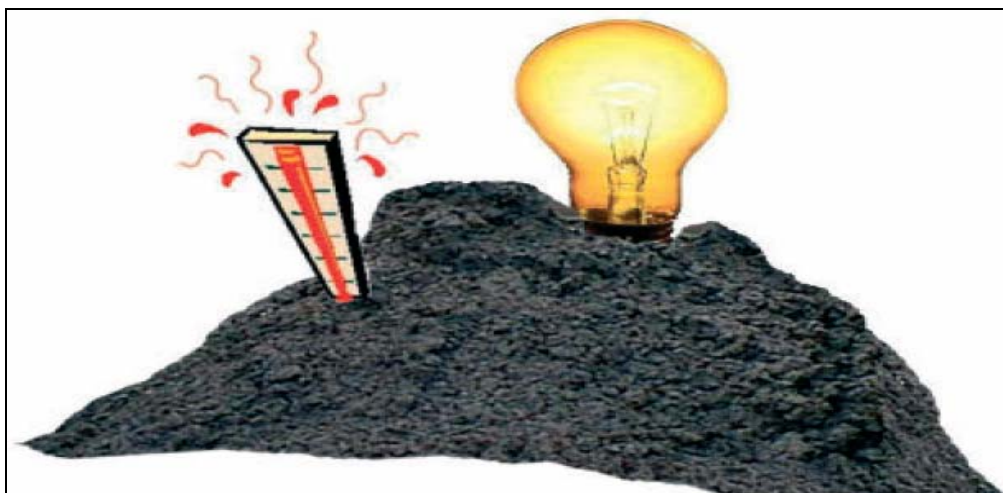
Η απευθείας αξιοποίηση του βιοαερίου για θέρμανση προσφέρει υψηλή αποδοτικότητα. Η εφαρμοσιμότητα εξαρτάται από την σταθερότητα της ζήτησης και την απόσταση μεταφοράς των αερίων ως τις συσκευές καύσης (τόπους της ζήτησης).

β) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Επιτυγχάνεται από ηλεκτρογεννήτριες με την βοήθεια ειδικά τροποποιημένων μηχανών εσωτερικής καύσης. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος απαιτείται παροχή αφυδατωμένου αερίου, με ικανή πίεση (τουλάχιστον 50mbar). Οι μηχανές πρέπει να ρυθμίζονται σε σχέση με την σύνθεσή του αερίου, κυρίως ως προς την περιεκτικότητα σε μεθάνιο. Χρησιμοποιούνται συνήθως μηχανές φτωχού καυσίμου, με καθαρή ενεργειακή απόδοση 32 - 33% περίπου για την βόρεια Ευρώπη (NOVEM, 1998 - ο βαθμός απόδοσης είναι φυσιολογικά μικρότερος στις μεσογειακές, θερμότερες συνθήκες). Οι ποιότητα των καυσαερίων εξαρτάται από τον τύπο του εξοπλισμού καύσης (κινητήρα) κυμαίνεται δε σε γενικές γραμμές ως ακολούθως : Για τον συνεχή έλεγχο του συστήματος, απαραίτητοι θεωρούνται αυτοματισμοί, που περιλαμβάνουν αναλυτές αερίων (κυρίως CH₄ και O₂), μετρητές πίεσης για την ενεργοποίηση του πυρσού σε περιπτώσεις πτώσης της, συστήματα monitoring καυσαερίων, πυρασφάλειας κ.λπ.. Η θερμότητα των καυσαερίων μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη θερμικών απαιτήσεων άλλων τμημάτων της εγκατάστασης, έως και σε θερμοκρασία 50 - 90 οC, με την βοήθεια θερμικών εναλλακτών (συστήματα επεξεργασίας στραγγισμάτων, αναερόβιοι χωνευτές, κλίνες ξήρανσης κ.λπ.).

γ) Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.

Απαιτεί εξοπλισμό αεριοστροβίλων - εναλλακτών, προωθημένης τεχνολογίας (και υψηλού κόστους). Σε περίπτωση αποτελεσματικής χρήσης της θερμικής συνιστώσας (π.χ. σε θερμοκήπια, χωνευτές), η συνολική καθαρή απόδοση μπορεί να φτάσει και το 85%.



Εικόνα Η.1. Συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας.
(Hans Huber AG, 2005)

δ) Αναβάθμιση σε ποιότητα φυσικού αερίου

Συνίσταται στην τροποποίηση - αναβάθμιση της σύστασης του αερίου, σε ποιότητα συμβατή με αυτήν του φυσικού αερίου, για την απρόσκοπτη εισαγωγή του στο σύστημα διανομής του τελευταίου. Προϋποθέτει την απομάκρυνση του CO₂. Η αφαίρεση αυτή έχει σαν σκοπό κυρίως τη βελτίωση της ποιότητας του αερίου και την αύξηση της θερμογόνου αξίας του, έτσι ώστε να μην επηρεάζονται συσκευές που είναι ρυθμισμένες για καύση φυσικού αερίου. Η κατεργασίες διακρίνονται σε τρία στάδια: προ-επεξεργασία (συμπίεση, ψύξη, αφυδάτωση, αφαίρεση H₂S), απομάκρυνση CO₂, συμπίεση και εισαγωγή στο δίκτυο φυσικού αερίου. Για την απομάκρυνση του CO₂ έχουν εφαρμοστεί τρεις μέθοδοι. Ως πλέον σύγχρονη θεωρείται ο διαχωρισμός με χρήση μεμβρανών, ενώ έχουν εφαρμοστεί σε πιλοτική κλίμακα με επιτυχία οι μέθοδοι φίλτρων ενεργού άνθρακα - απορρόφησης αιωρήματος υπό πίεση (Pressure swing adsorption) και έκπλυσης του αερίου με νερό (water adsorption).

(Κ. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Η.1.7 Εφαρμογές

α) στην Ελλάδα

Με δεδομένη την πρόσφατη ανάπτυξη σύγχρονων μονάδων αναερόβιας αποδόμησης οργανικών ουσιών (αποβλήτων), η εμπειρία εφαρμογής συστημάτων ανάκτησης και αξιοποίησης βιοαερίου στην Ελλάδα κρίνεται σχετικά περιορισμένη. Ως τα τέλη του 1997, έχουν χορηγηθεί 7 άδειες εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση βιοαερίου από το αρμόδιο το Υπουργείο Ανάπτυξης. Από αυτές, οι δύο τέθηκαν σε λειτουργία εντός του 1998 : (Κ. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Φορέας	Θέση	Ισχύς (kW _e)	Πηγή	Κατάσταση
Σ.Ο.Τ.Α.Μ.Θ.	Ταγαράδες	240	ΧΥΤΑ	Λειτουργεί
ΔΕΥΑ Ηρακλείου	Φοινικιά Ηρ.	193	Ιλύς	Λειτουργεί
ΔΕΥΑ Χανίων	Κουρπελή	166	Ιλύς	Εγκεκριμένο
ΕΥΔΑΠ	Μεταμόρφωση	1000	Ιλύς	Εγκεκριμένο
ΔΕΥΑ Μείζονος Βόλου	Μπουρμπουλί	353	Ιλύς	Εγκεκριμένο
Δήμος Α. Λιοσίων	Α. Λιόσια	13000	ΧΥΤΑ	Εγκεκριμένο

Πίνακας Η.4. Εγκεκριμένες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο

(Κ. ΣΤΑΜΕΛΟΣ *et al.*)

Εγκαταστάσεις συλλογής και απλής θερμικής αξιοποίησης σημειώνονται στις Κ.Ε.Λ. Ψυτάλλειας και Μεταμόρφωσης στην Ε.Ε.Λ. Λάρισας κ.λπ. (θέρμανση χωνευτών, η περίσσεια

αερίου καίγεται σε πυρσό). Εγκαταστάσεις συλλογής και καύσης σε πυρσό λειτουργούν επίσης στον ΧΥΤΑ Πάτρας, ενώ κατασκευάζονται στον ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων (τμήμα παλαιών αποθέσεων, υπό αποκατάσταση). Προβλέπονται εξάλλου σειρά επενδύσεων σε Ε.Ε.Λ. και ΧΥΤΑ, τόσο για την εξαρχής κατασκευή συστημάτων όσο και για την αναβάθμιση υφισταμένων στην κατεύθυνση της ενεργειακής αξιοποίησης του συλλεγόμενου αερίου.

(Κ. ΣΤΑΜΕΛΙΟΣ et al.)

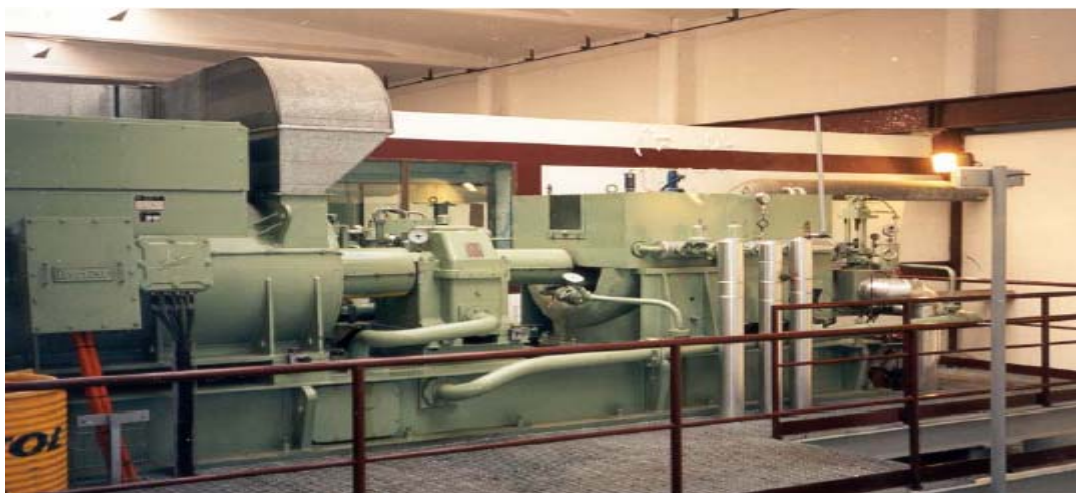
β) στην Ισπανία

Στόχος μιας ‘αποδοτικής’ μονάδας επεξεργασίας υγρών αποβλήτων είναι η βελτιστοποίηση επεξεργασίας της ιλύος, με ταυτόχρονη παραγωγή ενέργειας και μετατροπή της τελικά σε ηλεκτρική. Οι Εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά όταν περιλαμβάνεται, στη διαδικασία επεξεργασίας, η μέθοδος της νιτροποίησης - απονιτροποίησης. Κατά συνέπεια είναι μια ελκυστική επιλογή για τέτοιες εγκαταστάσεις η βελτιστοποίηση της επεξεργασίας της λάσπης μέσω ανάκτησης ενέργειας που ‘περιέχεται’ στη λάσπη που παράγουν. Γνωρίζοντας αυτήν την δυνατότητα, ο Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia έχει αναπτύξει και έχει οργανώσει ένα σύστημα επεξεργασίας λάσπης και παράλληλα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Bilbao της Ισπανίας.

(Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia et al.)



Εικόνα Η.2. Γενική άποψη των εγκαταστάσεων αποτεφρωτήρων λάσπης στο Bilbao



Εικόνα Η.3 Ο στρόβιλος ατμού.



Εικόνα Η.4 Εγκαταστάσεις ανάκτησης ενέργειας στο Bilbao της Ισπανίας.

Όσον αφορά την απόδοση του συγκεκριμένου συστήματος υπάρχει καταγεγραμμένο στην βιβλιογραφία ότι η ετήσια αποτέφρωση φτάνει τους 10.750 τόνους (ξηρής λάσπης)/έτος. Με άλλα λόγια, τα στερεά που παράγονται από 13-14 κατοίκους παράγουν 1 kWh. Ενώ όσον αφορά την οικονομική απόδοση του συστήματος το πρόγραμμα Galindo είναι 38% φτηνότερο από το κλασικό σύστημα αναερόβιας χώνευσης που αποτελείται από την ξήρανση, τη μηχανική απομάκρυνση νερού και την αποτέφρωση. Αναφέρεται στη βιβλιογραφία ότι τα αποτελέσματα από απλούς υπολογισμούς δείχνουν πως η απόσβεση του συστήματος πραγματοποιείται σε 3,92 έτη. (*Consortio de Aguas Bilbao-Bizkaia et al.*)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Θ

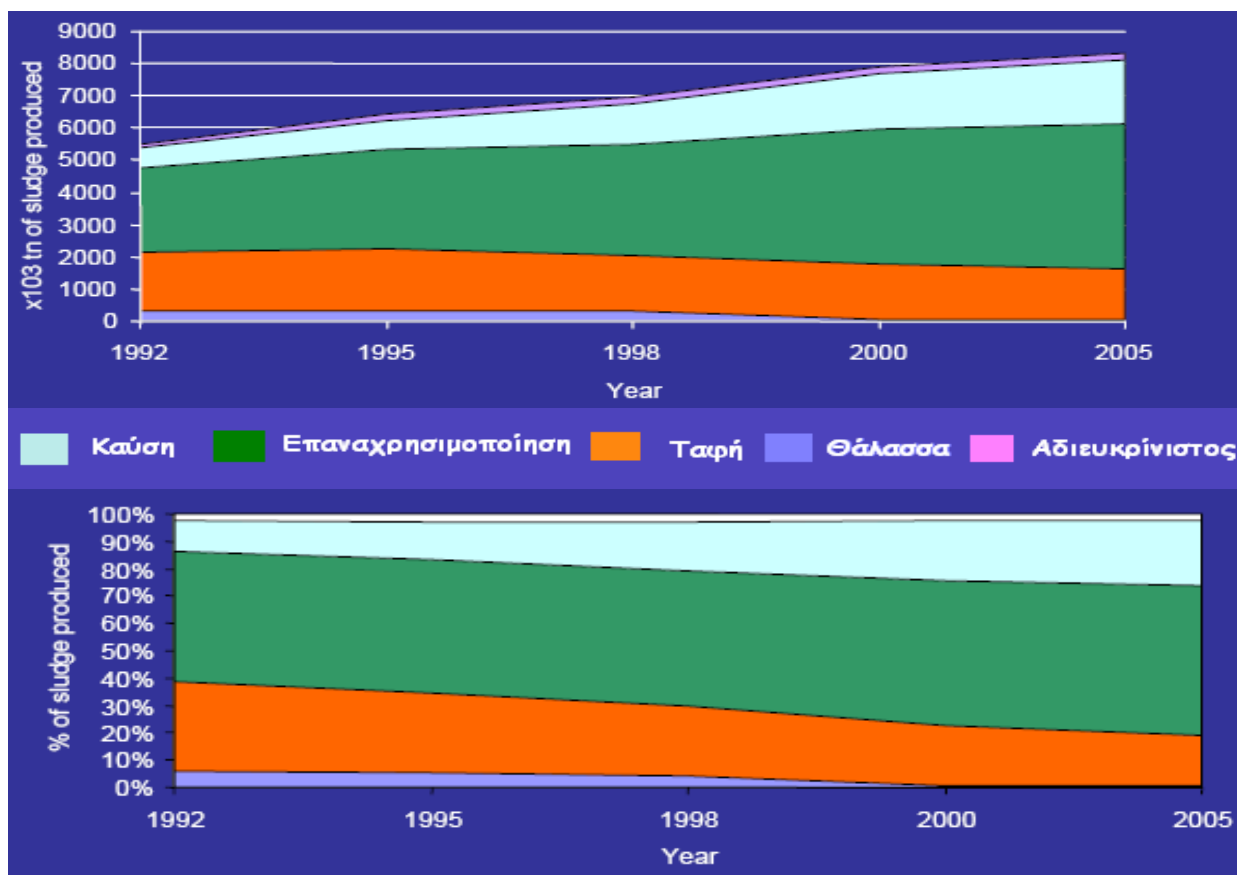
ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ ΒΙΟΣΤΕΡΕΩΝ

Θ.1 Εισαγωγικά

Οι προοπτικές στην Ελλάδα για επαναχρησιμοποίηση της λάσπης, που παράγεται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών απόβλητων, εστιάζουν στο υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο, στο προσδιορισμό των ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών της παραχθείσας λάσπης, στην εξέταση των πιθανών μεθόδων επεξεργασίας της λάσπης και στην αξιολόγηση αυτών καθώς και στις δυνατότητες της λάσπης κατά την επαναχρησιμοποίηση βάσει των ανωτέρω εκτιμήσεων.

Η επιχωμάτωση είναι ουσιαστικά ο μοναδικός τρόπος τελικής διάθεσης της λάσπης στην Ελλάδα. Εντούτοις, λαμβάνοντας υπόψη τους προσδοκώμενους μελλοντικούς περιορισμούς για την διάθεση σε ΧΥΤΑ, εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αυτή η μέθοδος είναι σαφώς η βραχυπρόθεσμη λύση και οι εναλλακτικές επιλογές, συμπεριλαμβανομένης της γεωργικής επαναχρησιμοποίησης, είναι οι μακροπρόθεσμες. Στο σχήμα παρακάτω παρουσιάζονται οι εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης στην ΕΕ.

(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)



Σχήμα Θ.1. Εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης της ιλύος στη ΕΕ. (Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Αναλυτικότερα, κατά την επεξεργασία υγρών αποβλήτων παράγονται μεγάλες ποσότητες βιοστερεών με μεγάλο ρυπαντικό φορτίο οι οποίες απαιτούν περιβαλλοντικά ασφαλείς μεθόδους διάθεσης ή χρησιμοποίησης των βιοστερεών. Με την εφαρμογή της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής νομοθεσίας και συγκεκριμένα της οδηγίας περί επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων, αναμένεται μεγάλη αύξηση των παραγόμενων ποσοτήτων.

Βιοστερεά σταθεροποιημένα (αναερόβια ή αερόβια) και αφυδατωμένα αποτελούν στις περισσότερες περιπτώσεις το τυπικό παραπροϊόν των εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Τα βιοστερεά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γεωργικές ή δασικές εκτάσεις και σε διαμόρφωση τοπίων αλλά με περιορισμούς σε συνδυασμό με τις κατάλληλες λειτουργικές επεξεργασίες. Η αποτέφρωση, συχνά με ανάκτηση ενέργειας, αποτελεί μια εναλλακτική επιλογή, παρόλα αυτά δαπανηρή και όχι ιδιαίτερα δημοφιλής, εξαιτίας των προβληματισμών, που σχετίζονται με την πιθανότητα ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η εξάλειψη των παθογόνων με υποβολή της ιλύος σε πρόσθετη επεξεργασία, όπως κομποστοποίηση, επεξεργασία με ασβέστη, ξήρανση, η άλλες κατάλληλες επεξεργασίες εξυγιαίνει την ιλύ, η οποία μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί ευρέως χωρίς περιορισμούς. Η ξήρανση της ιλύος προσφέρει μια επιπλέον εναλλακτική χρήση της ιλύος ως καύσιμου σε τσιμεντοβιομηχανίες ή σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Η διάθεση στη θάλασσα δεν αποτελεί πλέον επιτρεπτή μέθοδο.

Σύμφωνα με την πολιτική διαχείρισης αποβλήτων της Ε.Ε. συνιστάται η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση. Στην περίπτωση της παραγόμενης ιλύος σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων η κύρια μέθοδος ανακύκλωσης είναι η γεωργική χρήση της ιλύος ως εδαφοβελτιωτικό. Όπως προαναφέρεται, περισσότερο από το 1/3 της συνολικής παραγόμενης ιλύος (37%) χρησιμοποιείται στη γεωργία.

Η χρήση της ιλύος έχει σημαντικό όφελος ιδιαίτερα για τους παραγωγούς της, καθώς αποτελεί μία οικονομική αντιμετώπιση του προβλήματος διάθεσης της ιλύος και για τους γεωργούς που προμηθεύονται ένα υλικό με υψηλή περιεκτικότητα στα περισσότερα θρεπτικά, που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών. Επίσης, εξαιτίας της περιεκτικότητας της ιλύος σε οργανική ύλη και θρεπτικά, η αγρονομική αξία της ιλύος είναι σημαντική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μερικό υποκατάστατο των χημικών λιπασμάτων και φυσικά ως εδαφοβελτιωτικό (βλ.τον πίνακα παρακάτω). Η προσθήκη ιλύος στο έδαφος αυξάνει την διαπερατότητα και ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί υγρασία, καθώς και την ευστάθεια του. Έτσι, με την προϋπόθεση μιας εξασφαλισμένης αγοράς η εφαρμογή στο έδαφος εμφανίζεται ως μια εναλλακτική διάθεση της ιλύος. (Α.Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Είδη	Ολικά στερεά (%)	Πτητικά (% ολικών στερεών)	NPK (%ολικών στερεών)		
Αφυδατωμένη ιλύς	25	55	2,5	2	0,2
Κομπόστ	60	33	0,8	0,5	0,2
Κοπριά	27	60	2,2	0,8	1,5
Χημικά λιπάσματα	-	-	5	10	10

Πίνακας Θ.1. Ενδεικτική σύνθεση χημικών λιπασμάτων, κομπόστ, κοπριάς και ιλύος
(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Από την άλλη πλευρά όμως, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενες παραγραφους, η ιλύς είναι ένα εξαιρετικά βεβαρημένο υλικό, από άποψη ρυπαντών. Η ανεπεξέργαστη ιλύς περιέχει το μεγαλύτερο μέρος του οργανικού φορτίου των υγρών αποβλήτων και του φορτίου βαρέων μετάλλων και άλλων τοξικών και επίσης δυννητικά μεγάλες συγκεντρώσεις παθογόνων μικροοργανισμών.

Τα βιοστερεά λοιπόν θα πρέπει είτε να διατίθεται ή να επαναχρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότερες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης είναι:

- (α) η εφαρμογή στο έδαφος και
- (β) εφαρμογή άλλων τεχνολογιών.

Ενώ οι σπουδαιότερες κατηγορίες διάθεσης είναι:

- (α) η εδαφική διάθεση,
- (β) η θαλάσσια διάθεση και
- (γ) η αποτέφρωση.

Μία από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της υλοποίησης της τελικής διάθεσης ή της επιλογής της επαναχρησιμοποίησης, είναι η δημόσια αποδοχή. Η απροθυμία του κόσμου για τα ενδεχόμενα αυτά προέρχεται από τις θέσεις και απόψεις για οσμές και άλλες οχλήσεις και πιθανές επιπτώσεις στη δημόσια υγεία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης. (Α.Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Χώρα	Γεωργική Διάθεση %		Υγειονομική ταφή %		Καύση %		Θαλάσσια διάθεση %	
	1984	1992	1984	1992	1984	1992	1984	1992
Αγγλία (15)	53	44	16	8	7	7	24	30
Βέλγιο (0,8)	28	29	51	55	21	15	0	
Γερμανία (36,3)	32	27	59	154	9	14	0	
Δανία (2,3)	44	54	30	20	26	24	0	
Γαλλία (12)	28	58	52	27	20	15	0	
Ελλάδα (0,6)	0	10	100	190	0	0	0	
Ιταλία (11)	34	33	55	55	11	2	0	
Ιρλανδία (0,5)	30	12	17	45	0	10	52	35
Ισπανία (4,7)	62	50	10	35	28	5	0	10
Σουηδία (2,7)	60	40	40	60	0	0	0	
Ολλανδία (4,5)	64	26	28	51	3	3	5	
Σταθμισμένος μέσος όρος ανάλογα με την παραγωγή ιλύος ανά χώρα	37	36,4	44	41,4	9	10,2	7	5,7

Πίνακας Θ.2 Κυριότερες μέθοδοι τελικής διάθεσης ιλύος σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης (Α. Ανδρεαδάκης)

Θ.2.1 Διάθεση βιοστερεών στο έδαφος

Σκοπός της διάθεσης των βιοστερεών στο έδαφος είναι η ασφαλής επιστροφή και ενσωμάτωση τους στο φυσικό περιβάλλον. Είναι μία πολύ συνηθισμένη πρακτική στην Ευρώπη, όπου σημαντικό τμήμα της συνολικής αλλά και της ιλύος από μικρές εγκαταστάσεις διατίθεται στο έδαφος. Αυτή θεωρείται αποδοτική, τόσο από άποψη κόστους, όσο και προστασίας του περιβάλλοντος.

Η διάθεση της ιλύος στο έδαφος μπορεί να αποσκοπεί είτε στην αξιοποίηση της, είτε στην απλή διάθεση της. Με βάση τη διάκριση αυτή η διάθεση μπορεί να γίνεται είτε σε καλλιεργούμενες και δασικές περιοχές, είτε σε περιοχές αποκλειστικής διάθεσης ιλύος και χωματερές, αντίστοιχα. Ανεξάρτητα από τη μέθοδο διάθεσης υπάρχει μία σειρά παραγόντων που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε συγκεκριμένες περιπτώσεις διάθεσης στο έδαφος. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να χωρισθούν σε δύο γενικές κατηγορίες, τα χαρακτηριστικά των βιοστερεών και τα χαρακτηριστικά της περιοχής διάθεσης.

Όσον αφορά τα διάφορα χαρακτηριστικά της ιλύος, που είναι ιδιαίτερα σημαντικά από άποψη διάθεσης στο έδαφος, είναι τα παρακάτω:

- (α) Φυσικά χαρακτηριστικά: Βασικότερο από αυτά είναι η περιεκτικότητα της ιλύος σε στερεά, που επηρεάζει τον τρόπο μεταφοράς, καθώς και τον τρόπο και εξοπλισμό εφαρμογής της στο έδαφος.
- (β) Χημικά χαρακτηριστικά: Βασική στην κατηγορία αυτή είναι η περιεκτικότητα της ιλύος σε θρεπτικά (κυρίως άζωτο, φωσφόρος και κάλιο), βαρέα μέταλλα και επικίνδυνες οργανικές ενώσεις (όπως είναι οργανοχλωριούχες και φαινολικές). Τα χαρακτηριστικά αυτά καθορίζουν την καταλληλότητα της ιλύος για διάθεση στο έδαφος, καθώς και τις ποσότητες και τρόπο εφαρμογής. Οι τιμές των χαρακτηριστικών αυτών είναι συνάρτηση διαφόρων παραγόντων και κυρίως των χαρακτηριστικών των παραγόμενων αποβλήτων και των μεθόδων επεξεργασίας τους, και ορισμένες από αυτές δίνονται ενδεικτικά στον Πίνακα παρακάτω.
- (γ) Μικροβιολογικά χαρακτηριστικά: Η παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στην ιλύ είναι ιδιαίτερα σημαντική από άποψη προστασίας της δημόσιας υγείας (εργαζόμενοι σε περιοχές διάθεσης, κατανάλωση προϊόντων καλλιεργειών από περιοχές όπου χρησιμοποιείται ιλύς) και επηρεάζει τον απαιτούμενο βαθμό επεξεργασίας της και την απαιτούμενη καταστροφή μικροοργανισμών πριν τη διάθεση της.
- (δ) Ποσότητες προς διάθεση: Επίσης, οι ποσότητες είναι σημαντικές γιατί επηρεάζουν τον τρόπο και το κόστος μεταφοράς καθώς και τις απαιτούμενες εκτάσεις διάθεσης.

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Συστατικό	Ανώτατες	Μέσες
Ολικό N, %	12,5	4.6
NH ₄ -K %	6,8	0,65
NO ₃ -N.%	0,5	0.05
Ολικοί P. %	9.8	1.5
K,%	3.1	0.4
Pb, mg/kg στερεών	16430	400
Zn, mg/kg στερεών	23010	2000
Cd, mg/kg στερεών	1770	10
Cu, mg/kg στερεών	12515	800
Ni, mg/kg στερεών	930	70

Πίνακας Θ.3. Συγκεντρώσεις συστατικών ιλύος στην ΕΕ

(Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Θ.2.2 Χρήση λάσπης αστικών αποβλήτων για γεωργικούς σκοπούς.



(Τμήμα Γεωργίας, 2004)

Η εφαρμογή και χρήση της ιλύος στη γεωργία, σε διάφορες χώρες της Ευρώπης, είναι από τις πιο συνηθισμένες μεθόδους διάθεσης στο έδαφος. Η ιλύς χρησιμοποιείται κυρίως ως εδαφοβελτιωτικό καθώς και για τη μείωση των απαιτούμενων λιπασμάτων. Βασικά πλεονεκτήματα της διάθεσης της ιλύος σε καλλιεργούμενες περιοχές είναι το χαμηλό κόστος, σε σχέση με άλλες μεθόδους διάθεσης, η σχετική ωφέλεια από την εξοικονόμηση λιπασμάτων, το ότι δεν απαιτεί εξεύρεση και αγορά γης, η απουσία οχλήσεων (αποτελεί μέρος των συνηθισμένων γεωργικών δραστηριοτήτων) και το ότι δεν επιδρά αρνητικά στο περιβάλλον όταν σχεδιάζεται και εφαρμόζεται ορθά.

Ο σχεδιασμός ενός συστήματος διάθεσης απαιτεί ποικιλία πληροφοριών καθώς στην ουσία η διάθεση της ιλύος είναι μία εφαρμογή ενός εδαφοβελτιωτικού και θρεπτικών στοιχείων. Τέτοιες πληροφορίες είναι το είδος των καλλιεργειών, η χρήση τους, το ύψος παραγωγής, οι ποσότητες και ο τρόπος εφαρμογής λιπασμάτων, οι τρόποι προετοιμασίας του εδάφους (όπως είναι η άροση), το είδος άρδευσης, διάφορα εδαφολογικά στοιχεία και οι ισχύοντες σχετικοί κανονισμοί. (Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Επιπλέον, το έδαφος είναι ένα πολύπλοκο μείγμα ανόργανων και οργανικών συστατικών σε αναλογίες εξαρτώμενες από την προέλευση του, το κλίμα, την τοπογραφική διαμόρφωση, τη βλάστηση και άλλους παράγοντες. Από τα ανόργανα συστατικά, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν τα αργιλώδη συστατικά, τα διάφορα οξείδια και οι ανθρακικές ενώσεις. Τα οργανικά συστατικά είναι σημαντικά γιατί επηρεάζουν το pH του εδάφους, εξαιτίας της παρουσίας

οργανικών οξέων και παρουσιάζουν δυνατότητα ανταλλαγής κατιόντων, δια του αρνητικού φορτίου τους.

(*A. Αγγελάκης et al., 2004*)

Με βάση τα παραπάνω γίνεται η επιλογή των βασικών στοιχείων του σχεδιασμού, δηλαδή της κατάλληλης καλλιέργειας ή καλλιεργειών και των απαιτήσεων τους σε θρεπτικά. Η επιλογή αυτή, με βάση τις ποσότητες και τα χαρακτηριστικά της ιλύος, καθορίζει τις ποσότητες, τρόπο και χρονοδιάγραμμα εφαρμογής, τις απαιτούμενες επιφάνειες εφαρμογής, τα απαιτούμενα επιπλέον λιπάσματα καθώς και το συνολικό χρόνο ζωής της περιοχής διάθεσης. Η προστασία ανθρώπων, ζώων, καλλιεργειών και περιβάλλοντος (κυρίως εδάφους, επιφανειακών και υπόγειων υδατικών πόρων), όπως προκύπτουν από κανονισμούς και τοπικές ιδιαιτερότητες, αποτελούν τις βασικές προτεραιότητες του σχεδιασμού.

Οι ποσότητες εφαρμογής είναι δυνατόν να υπολογισθούν με βάση τις απαιτήσεις σε θρεπτικά για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια, δηλαδή με βάση την κάλυψη των αναγκών είτε σε **N**, είτε σε **P**. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων εφαρμογής μπορεί να επιτευχθεί και με βάση τα ανώτατα επιτρεπτά όρια συγκεντρώσεων μετάλλων στο έδαφος. Ανεξάρτητα από τον τρόπο υπολογισμού πρέπει να γίνεται έλεγχος των υπολοίπων στοιχείων, ώστε να μην υπερβαίνουν ανεπιθύμητα όρια. καθώς και ο υπολογισμός των απαιτούμενων πρόσθετων θρεπτικών στοιχείων.

(*A. Ανδρεαδάκης et al.*)

Το **N** προστίθεται με την ιλύ στο έδαφος σε ανόργανη και οργανική μορφή. Η πρόσθεση αυτή προκαλεί μια σειρά φυσικοχημικών και βιολογικών μετατροπών (κύκλος του **N**). Το οργανικό **N** μετατρέπεται στο έδαφος σε ανόργανο NH_4 (δηλαδή σε μορφή διαθέσιμη σε φυτά), με βιολογικές διαδικασίες. Το ανόργανο **N** προστίθεται στο έδαφος ως NH_4^+ και NO_3^- και οι μορφές αυτές είναι άμεσα διαθέσιμες στα φυτά. Το NH_4^+ , είτε κατακρατείται στο έδαφος, είτε εξαερώνεται στην ατμόσφαιρα, είτε μετατρέπεται βιολογικά σε NO_3^- (νιτροποίηση).

Οι δύο τελευταίες διαδικασίες είναι οι πλέον ενδιαφέρουσες από άποψη διάθεσης ιλύος. Όσον αφορά την εξαέρωση του NH_4^+ στην ατμόσφαιρα ως NH_3 , αυτή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το κλίμα και σχετίζεται με τον τρόπο διάθεσης της ιλύος (επιφανειακή εναπόθεση ή υπεδάφια εφαρμογή της). Η βιολογική μετατροπή του NH_4^+ σε NO_3^- είναι η πιο σημαντική από άποψη προστασίας του περιβάλλοντος, γιατί το NO_3^- που προκύπτει είναι διαλυτό στο νερό και μπορεί να παρασυρθεί στον υδροφόρο ορίζοντα

ή να καταλήξει σε επιφανειακούς φορείς (η παρουσία του σε πόσιμο νερό είναι ανεπιθύμητη, καθώς συμβάλλει και στη δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού). Έτσι, η εφαρμογή της ιλύος πρέπει να διενεργείται σε ποσότητες τέτοιες, ώστε τα NO_3^- να μη δημιουργούν προβλήματα. Τα NO_3^- επίσης, είναι δυνατό να μετατραπούν βιολογικά σε N_2O και ελεύθερο N_2 (απονιτροποίηση), που μπορεί να διαφύγουν στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας έτσι στην απώλεια N. Η διαδικασία αυτή απαιτεί αναερόβιες συνθήκες στο έδαφος, που προκαλούνται κυρίως όταν το έδαφος είναι κορεσμένο σε υγρασία, που θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική στην εφαρμογή υγρής ιλύος.

Ενώ, ο P προστίθεται στο έδαφος με ιλύ σε ανόργανη κυρίως μορφή (70-90% του ολικού). Ο διαλυμένος P κατακρατείται στα ανώτατα στρώματα του εδάφους με προσρόφηση σε ιόντα του εδάφους ή με μετατροπή του δια μέσου χημικών αντιδράσεων σε στερεά μορφή (ίζημα). Ο διαλυμένος P που καταναλώνεται από φυτά αναπληρώνεται από το διαθέσιμο στο έδαφος με ρυθμούς εξαρτώμενους από τις συγκεντρώσεις του P και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του εδάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχει ισορροπία μεταξύ των δύο παραπάνω μορφών στο έδαφος.

Επειδή ο P κατακρατείται στο έδαφος δε δημιουργεί συνήθως προβλήματα στο περιβάλλον, εκτός των περιπτώσεων διάβρωσης του εδάφους, οπότε μπορεί να μεταφερθεί και να καταλήξει σε επιφανειακούς υδατικούς υδροφορείς και να δημιουργήσει προβλήματα ως καθοριστικός παράγοντας του ευτροφισμού. Επίσης, μεγάλες ποσότητες P στο έδαφος έχουν βρεθεί να επηρεάζουν έμμεσα καλλιέργειες με τη δημιουργία προβλημάτων στη λήψη και κατανάλωση χρήσιμων ιχνοστοιχείων όπως ο Zn. (A. Αγγελάκης *et al.*, 2004)

Βασικά στοιχεία ενός συστήματος διάθεσης ιλύος σε καλλιεργούμενες περιοχές είναι η μεταφορά της ιλύος στον τόπο διάθεσης, η αποθήκευση της και η εφαρμογή της στο έδαφος. Ο πιο συνηθισμένος τρόπος μεταφοράς της ιλύος είναι με βυτιοφόρο (υγρή ιλύς) ή φορτηγά (αφυδατωμένη), που είναι απλούστερος και χαμηλότερου κόστους. Σημειώνεται ότι, η αφυδάτωση της ιλύος έχει μεγάλη επίδραση στο κόστος μεταφοράς της στις περιοχές διάθεσης. Η εφαρμογή της ιλύος σε καλλιεργούμενες περιοχές γίνεται σε υγρή ή αφυδατωμένη μορφή, ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες. Η υγρή ιλύς εφαρμόζεται επιφανειακά ή υπεδάφια. Στην πρώτη περίπτωση η εφαρμογή γίνεται από βυτιοφόρο (ή βυτία συρόμενα από γεωργικούς ελκυστήρες) εξοπλισμένα με κατάλληλο εξοπλισμό εκκένωσης. Μετά τη διανομή η ιλύς αφήνεται να ξηρανθεί και ακολουθεί ανάμειξη της με το χώμα κατά την άρωση πριν τη σπορά. Όταν η εφαρμογή γίνεται κατά την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών, είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται συστήματα επιφανειακής άρδευσης, ενώ διατάξεις καταιονισμού πρέπει να αποφεύγονται, παρόλο που μπορούν να χρησιμοποιούνται σε άλλες περιό-

δους. Στην περίπτωση της υπεδάφιας εφαρμογής, η ιλύς διανέμεται με ειδικές διατάξεις αρότρων και αγωγών διανομής. Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από στόμια που εκκενώνουν την ιλύ στο έδαφος και ακολουθούνται από υνιά που αναμειγνύουν το χώμα και καλύπτουν την ιλύ ή από στόμια έγχυσης της ιλύος σε αυλάκια που διανοίγονται από ειδικές λεπίδες. Η υπεδάφια εφαρμογή παρουσιάζει το πλεονέκτημα της ελαχιστοποίησης των οσμών και της εξαέρωσης του $\text{NH}_4\text{-N}$, αλλά απαιτεί σχετικά υψηλότερο κόστος και μπορεί να πραγματοποιείται μόνο πριν τη σπορά ή μετά τη συγκομιδή.

Η αφυδατωμένη ιλύς εφαρμόζεται επιφανειακά με διατάξεις όμοιες αυτών για την εφαρμογή στερεών λιπασμάτων, ζωικών αποβλήτων και άλλων υλικών και αναμειγνύεται με το έδαφος πριν τη σπορά. Η εφαρμογή αφυδατωμένης ιλύος παρουσιάζει, εκτός του μειωμένου κόστους μεταφοράς, το βασικό πλεονέκτημα της δυνατότητας εφαρμογής μεγαλύτερων ποσοτήτων ανά χρήση οχημάτων, αλλά και το μειονέκτημα της πιθανής απαίτησης μετατροπών του συνηθισμένου εξοπλισμού εφαρμογής λιπασμάτων.

Η αποθήκευση πρέπει να προβλέπεται στις περιπτώσεις, που για κάποιο λόγο δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της (είδος καλλιεργειών, κακές καιρικές συνθήκες, βλάβη εξοπλισμού). Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις απαιτήσεις αποθήκευσης είναι οι ποσότητες της ιλύος, το είδος των καλλιεργειών και οι κλιματικές συνθήκες. Γενικά, η αποθήκευση της ιλύος ενός έτους, θεωρείται ιδιαίτερα συντηρητική και συνήθως γίνεται αποθήκευση της ιλύος από 30 ημέρες για θερμά και ξηρά κλίματα έως 200 ημέρες για ψυχρά και υγρά.

Η αποθήκευση της ιλύος μπορεί να γίνεται στις MEYA σε κατάλληλα διαστασιολογημένες μονάδες επεξεργασίας και ειδικές μονάδες αποθήκευσης ή στην περιοχή διάθεσης της. Η πρώτη περίπτωση πλεονεκτεί, γιατί οι MEYA είναι καλύτερα εξοπλισμένες, τόσο από άποψη εξοπλισμού, όσο και προσωπικού και δεν προκαλούνται οχλήσεις στο περιβάλλον και έτσι, η δυνατότητα αποθήκευσης της ιλύος σε αυτές πρέπει να εξαντλείται πριν την εξέταση της δυνατότητας αποθήκευσης στον τόπο διάθεσης. Η αποθήκευση υγρής ιλύος εκτός MEYA, διενεργείται συνήθως σε λίμνες και δεξαμενές και η αποθήκευση αφυδατωμένης ιλύος σε λίμνες ξήρανσης, σιλό ή υπαίθριους σωρούς.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004)

Στην ανάλυση που ακολουθεί υποτίθεται ότι η ιλύς έχει σταθεροποιηθεί με αναερόβια μεσοφιλική χώνευση και ότι έχει απολυμανθεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Υποτίθεται επίσης ότι η εφαρμογή της στο έδαφος γίνεται με την απαιτούμενη προσοχή σε συνδυασμό με την εφαρμογή χημικών λιπασμάτων ώστε να μην προκύπτουν αξιόλογες ποσότητες

αχρησιμοποίητων θρεπτικών που θα μπορούσαν να ρυπάνουν τα επιφανειακά και υπόγεια ύδατα.

Με τις παραπάνω προϋποθέσεις η έγνοια για τις υγειονομολογικές-περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εξεταζόμενης χρήσιμης διάθεσης των ιλύων στο έδαφος περιορίζεται στην δυνητική τοξικότητα μιας σειράς ανόργανων υλών, κυρίως βαρέων μετάλλων και πληθώρας συνθετικών οργανικών υλών που παρασκευάζει ο σύγχρονος άνθρωπος. Οι τοξικές ύλες μπορούν να βλάψουν τα φυτά, ζώα και άνθρωπο με την απόληψη τους από τα φυτά και την άνοδό τους στις τροφικές αλυσίδες, με την άμεση πρόσληψη από τα ζώα κατά την βοσκή και με την ρύπανση επιφανειακών και υπογείων υδάτινων σωμάτων. Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιασθούν συνοπτικά οι υγειονομικοί-περιβαλλοντικοί κίνδυνοι από την γεωργική διάθεση της ιλύος. (Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

■ Βαρέα Μέταλλα

Η ιλύς περιέχει συχνά σημαντικές ποσότητες βαρέων μετάλλων όπως κάδμιο, χρώμιο, ψευδάργυρο, χαλκό, υδράργυρο, νικέλιο και μόλυβδο που αποτελούν δυνητικές τοξικές ουσίες για τα φυτά και τους ζωντανούς οργανισμούς. Ανάλογα με την τοξικότητά τους τα βαρέα μέταλλα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- α) αυτά όπως ο χαλκός, ψευδάργυρος, νικέλιο και χρώμιο που είναι τοξικά για τα φυτά και μπορούν να προκαλέσουν σημαντική μείωση στην γεωργική παραγωγή και
- β) αυτά όπως ο μόλυβδος, κάδμιο και υδράργυρος που υπό κανονικές συνθήκες δεν αναχαιτίζουν την ανάπτυξη των φυτών αλλά μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές οργανικές βλάβες στους ανθρώπους και τα ζώα που καταναλώνουν τα φυτά ή άμεσα τα μέταλλα αυτά.

Η διαθεσιμότητα των ανόργανων χημικών για κατανάλωσή τους από τα φυτά (και συνεπώς και η κυκλοφορία τους μέσα στις τροφικές αλυσίδες) καθώς και η ρύπανση των υπογείων υδάτων εξαρτάται από αντιδράσεις δημιουργίας συμπλοκών με οργανική ύλη, προσρόφησης και χημικής κατακρήμνισης. Οι αντιδράσεις χημικής κατακρήμνισης περιλαμβάνουν την δέσμευση των βαρέων μετάλλων σε αδιάλυτα θειούχα, φωσφορούχα ή ανθρακικά άλατα και σε οξείδια ή υδροξείδια με πολύ μικρή διαλυτότητα. Η βιοδιαθεσιμότητα των ιχνοστοιχείων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους και το pH. Τα περισσότερα μέταλλα είναι λιγότερο διαλυτά και συνεπώς λιγότερο διαθέσιμα στα φυτά σε ουδέτερο ή αλκαλικό pH. Για παράδειγμα όπως αναφέρεται από τον Hansen *et al* (1982) αύξηση της τιμής του pH κατά 0.5 μονάδες προκαλεί ελάττωση της προσλαμβανόμενης ποσότητας Cd κατά 20-40%.

Από τα ανωτέρω βαρέα μέταλλα ο μόλυβδος, το χρώμιο και ο υδράργυρος χαρακτηρίζονται από πολύ μικρή κινητικότητα στο έδαφος και δεν προκαλούν φαινόμενα φυτοτοξικότητας ακόμη και για συγκεντρώσεις στο έδαφος που πλησιάζουν τα 1000 mg/Kg DS (Witter, 1989). Το **χρώμιο** στην τρισθενή μορφή του Cr^{+3} πρακτικά δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά καθώς προσροφάται από το έδαφος. Σημαντικά προβλήματα τοξικότητας οφείλονται στην εξασθενή μορφή του χρωμίου Cr^{+6} που είναι ιδιαίτερα τοξική για τους ανθρώπους και τα ζώα. Συνήθως όμως κάτω από τις οξειδοαναγωγικές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος το Cr^{+6} δεν είναι σταθερό και ανάγεται σε Cr^{+3} ή απορροφάται από την εδαφική οργανική ύλη (Barlett and Kimble, 1976).

Αντίστοιχα με το χρώμιο, ο **μόλυβδος** παρουσιάζει πολύ μικρή κινητικότητα στο έδαφος καθώς απορροφάται από την οργανική ύλη του εδάφους (Sauerbeck and Styberek, 1986). Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, όπως αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία, προσθήκη ιλύος σε αγροτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει μείωση της περιεκτικότητας των φυτών σε μόλυβδο καθώς αυξάνεται η δημιουργία συμπλοκών ενώσεων μολύβδου και οργανικών ενώσεων που περιέχονται στην ιλύ (Anderson and Nilsson, 1976). Σύμφωνα με πειράματα πεδίου οι Carlton και Smith ανέφεραν ότι δεν παρατηρείται κανένα τοξικό αποτέλεσμα στα φυτά (μαρούλια) για συγκεντρώσεις μολύβδου στο έδαφος περίπου ίσες με 330 mg/Kg DS. Παρόμοια και ο **υδράργυρος** αν και εξαιρετικά τοξικός για τα ζώα δεν προκαλεί συνήθως τοξικά προβλήματα μέσω της τροφικής αλυσίδας σε ζωντανούς οργανισμούς λόγω της υψηλής προσρόφησής του από το έδαφος και της μηδενικής απορρόφησης του από τα φυτά.

Ο **χαλκός**, ο **ψευδάργυρος** και το **νικέλιο** ανήκουν στα βαρέα μέταλλα που παρουσιάζουν κάποια διαλυτότητα στο έδαφος και σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις μπορούν να συσσωρευτούν στην φυτική μάζα και να προκαλέσουν σημαντική αναχαίτιση στην ανάπτυξη των φυτών. Η τοξικότητα στα φυτά εμφανίζεται σε συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων μικρότερες από το επίπεδο που δημιουργούν κίνδυνο για την δημόσια υγεία με αποτέλεσμα να προστατεύεται ικανοποιητικά η τροφική αλυσίδα (Davis, 1984, National Research Council, 1996).

Σε σχέση με τα υπόλοιπα βαρέα μέταλλα το **κάδμιο** εμφανίζει σημαντικά μικρότερη προσροφητικότητα από το εδαφικό υλικό και δεν δημιουργεί αδιάλυτες ανόργανες ενώσεις στην δισθενή μορφή του με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η συσσώρευση στη φυτική μάζα και η είσοδος του στην τροφική αλυσίδα. Το κάδμιο αποτελεί ιδιαίτερα τοξικό ιχνοστοιχείο για τον ανθρώπινο οργανισμό καθώς συσσωρεύεται στα νεφρά και στο ήπαρ με αποτέλεσμα να προκαλεί διάφορες οργανικές βλάβες. Όπως αναφέρεται στην βιβλιογραφία (Ryan et al, 1982) το επίπεδο του Cd στα φυτά είναι απευθείας ανάλογο της συγκέντρωσής του στο έ-

δαφος. Η σχέση αυτή μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εδάφους και των καλλιεργειών. Ενδιαφέρον έχει η σύγκριση των φορτίων Cd που μπορεί να συνεπάγεται η χρήση ιλύων με τα φορτία καδμίου που συνήθως περιέχονται στα χημικά φωσφορούχα λιπάσματα. Για περιεκτικότητα ιλύος σε φώσφορο 2% (βλ. πιν.) και περιεκτικότητα σε Cd ίση με το όριο της Ε.Ε. 40 mg Cd/kg (d.s.), το φορτίο Cd θα είναι 2000 mg/kg P, δηλαδή μεγάλο πολλαπλάσιο των φορτίων που κατά κανόνα συνεπάγεται η χρήση χημικών λιπασμάτων. Στοιχεία σχετικά με την συγκέντρωση καδμίου σε φωσφορούχα λιπάσματα ανάλογα με την χώρα προέλευσης δίδονται στον Πίνακα παρακάτω. (Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Χώρα Προέλευσης	Συγκέντρωση mg Cd /Kg P
USA (Idaho)	250-2000
Βόρεια Αφρική	40-350
Ρωσία	0.5-6
Δανία	110-165

Πίνακας Θ.4. Συγκέντρωση καδμίου σε χημικά φωσφορούχα λιπάσματα.
(Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Τα ελληνικά λιπάσματα παρασκευάζονται από κοιτάσματα που συνήθως προέρχονται από την Βόρεια Αφρική και συνεπώς εκτιμάται ότι περιέχουν περίπου 40-350 mgCd/Kg P. Τα παραπάνω είναι ίσως ένας από τους λόγους για τους οποίους μερικές Ευρωπαϊκές χώρες μείωσαν δραματικά τα όρια του Cd σε σύγκριση με αυτά της Οδηγίας 86/278 της Ε.Ε. (πιν. παρακάτω).

Άλλος σημαντικός τρόπος εισόδου των βαρέων μετάλλων στην τροφική αλυσίδα αποτελεί η απευθείας απόληψη εδαφικού υλικού, όπως κατά την βοσκή ζώων σε περιοχές εφαρμογής ιλύων, ιδιαίτερα κατά την βοσκή γαλακτοπαραγωγών αγελάδων. Χαρακτηριστικό είναι επίσης (Dean and Suess, 1985) ότι παιδιά που παίζουν σε εδάφη με συγκεντρώσεις μολύβδου μεταξύ 500-1000 mg/Kg DS εμφανίζουν αυξημένες συγκεντρώσεις μολύβδου στο αίμα. Παρά την σημαντική διαθέσιμη γνώση σχετικά με την μεταφορά τοξικών ανόργανων ουσιών στην τροφική αλυσίδα τα στοιχεία δεν είναι επαρκή για την στήριξη ενός Κανονισμού διάθεσης ιλύων στο έδαφος με πειστικότητα. Χαρακτηριστικό της διαπίστωσης αυτής είναι οι μεγάλες διαφορές μεταξύ των ορίων συγκεντρώσεων που συνιστούν ή επιβάλλουν οι Κανονισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κατευθυντήρια Οδηγία 86/278 της ΕΕ) των ΗΠΑ (EPA) για ιλύ άριστης ποιότητας (ποιότητα Α), της Γερμανίας, της Σουηδίας, της Ολλανδίας και της Δανίας. Τα όρια φαίνονται στον Πίνακα. (Α. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Στοιχείο	ΕΕ	Γερμανία	Σουηδία	Ολλανδία	Δανία	ΗΠΑ
Cd	20-40	5-10	4*	1,25	0,8	39
Cu	1000-1750	800	1200*	75	1000	1500
Ni	300-400	200	50	38	30	420
Pb	750-1200	1000	200*	225	120	300
Zn	2500-4000	2000	800	300	4,000	2800
Hg	16-25	6-10	5*	0,75	0,8	17
Cr	-	900	100	75	100	1200

*από το 1997 οι συγκεντρώσεις των ορίων θα μειωθούν κατά το ήμισυ (Balmer 1996)

Πίνακας Θ.5. Μέγιστες συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων (mg/kg dry wt) για γεωργική διάθεση της ιλύος (A. Ανδρεαδάκης *et al.*)

Σημειώνεται, ότι τα μέταλλα είναι απαραίτητα σε πολύ μικρές ποσότητες (ιχνοστοιχεία) για την ανάπτυξη των φυτών και έτσι, η πρόσθεση τους με την ιλύ στο έδαφος μπορεί να είναι ευεργετική και να αντιμετωπίζει πιθανές ελλείψεις τους. Σε συγκεντρώσεις όμως, άνω από ορισμένα όρια, τα μέταλλα είναι τοξικά και προκαλούν προβλήματα σε καλλιέργειες (όπως είναι η μείωση παραγωγής) ή μπορούν να καταλήξουν στην τροφική αλυσίδα και να καταστούν επικίνδυνα για ζώα και τον άνθρωπο. Έτσι, η διάθεση της ιλύος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή ως προς τη συσσώρευση **μετάλλων στο έδαφος, όπως του καδμίου, μολύβδου, χαλκού, νικελίου, ψευδαργύρου αλλά και του χρωμίου, αρσενικού, κοβαλτίου, βορίου, αργιλίου, μολυβδαινίου, υδραργύρου και αντιμονίου.** (A. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

■ Μικροοργανικά

Το πλήθος των μικροοργανικών με δυνητική τοξικότητα είναι πολύ μεγάλο αλλά πολύ λίγα είναι γνωστά από ποσοτική άποψη για τις διαδρομές τους στο περιβάλλον και για τις σχέσεις δόσεων-συνεπειών (Lester, 1982; Brindle and Webber, 1982; Glegg and Horsman 1990). Έχουν επισημανθεί ακόμη και αδυναμίες για βάσιμη ποσοτική ανάλυση (Brindle and Webber, 1982; O'Connor *et al.*, 1991). Από τα πιο συνήθη μικροοργανικά είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs), χλωριωμένα και οργανοφωσφορικά φυτοφάρμακα κλπ. Τα περισσότερα οργανικά χημικά που περιέχονται στην ιλύ είναι μη πολικά με ιδιαίτερα χαμηλή διαλυτότητα στο νερό. Λόγω των ισχυρών υδροφοβικών χαρακτηριστικών των μικροοργανικών τα περισσότερα προσροφούνται από το εδαφικό υλικό (Hermes *et al.*, 1982). Όπως αναφέρεται σε πολλές

μελέτες (Lindsay, 1982; Kampe et al., 1988) τα λιγότερο βιοδιασπάσιμα μικροοργανικά όπως χλωριωμένα φυτοφάρμακα, PCBs και PAHs απορροφούνται πλήρως από τα χουμικά οξέα του εδάφους. Για τους λόγους αυτούς φαίνεται ότι δεν πραγματοποιείται σοβαρή απόληψη τους από τα χερσαία φυτά αλλά ανοικτό παραμένει το θέμα των άλλων δρόμων κυκλοφορίας και τοξικής επίδρασης. Έχει επίσης αναφερθεί (Harms and Sauerbeck, 1982) ότι τα PCBs όπως άλλες λιποφιλικές ουσίες απολαμβάνονται από τα άλγη με βιολογική μεγέθυνση περίπου 1000 και με δυσμενείς συνέπειες στην ανάπτυξή τους. Σε ασπόνδυλα παρατηρήθηκαν μεγεθύνσεις 10000 ως προς το νερό. Έγνοια εκφράζουν για τα μικροοργανικά και οι Metcalf & Eddy (1991) κυρίως από την άποψη της απόληψης τους από τα ζώα που βόσκουν σε περιοχές εφαρμογής ιλύων, ιδιαίτερα από γαλακτοπαραγωγές αγελάδες. Ενόψει των παραπάνω δεν είναι περίεργο ότι η ΕΕ δεν έχει θέσει όρια συγκεντρώσεων των τοξικών μικροοργανικών στην ιλύ. Αντίστοιχα η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (US EPA) δεν συμπεριέλαβε κανένα οργανικό χημικό στους Κανονισμούς γεωργικής χρήσης της ιλύος καθώς όλα τα οργανικά χημικά που εξετάστηκαν πληρούν τουλάχιστον έναν από τους κάτωθι όρους:

- το οργανικό χημικό δεν εμφανίζεται συχνά σε δείγματα ιλύος (συχνότητα εμφάνισης < 5%)
- η παρασκευή και χρήση του χημικού έχει απαγορευθεί
- η συγκέντρωση του οργανικού χημικού στην ιλύ στο 99% των δειγμάτων που εξετάστηκαν ήταν αρκετά χαμηλή ώστε η γεωργική χρήση της ιλύος να μην αποτελεί κίνδυνο για την δημόσια υγεία. Μόνο ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν θεσπίσει κάποια όρια συγκεντρώσεων για γεωργική χρήση των ιλύων που όμως δεν συμφωνούν μεταξύ τους ως προς το είδος των χημικών και τα όρια των συγκεντρώσεων (Πίνακας 5). Για παράδειγμα οι Γερμανικοί Κανονισμοί είχαν ορίσει για βοσκότοπους το όριο των 0,2 mg/Kg DS wt για κάθε μια ένωση PCB ενώ αντίστοιχα οι σουηδικοί καθορίζουν το όριο για το σύνολο των PCBs να μην ξεπερνά τα 0,4 mg/Kg DS. Επίσης κάποιες γενικές οδηγίες περιέχονται και στους Ολλανδικούς κανονισμούς για τον διαχωρισμό των εδαφών σε τρεις κατηγορίες: καθαρά εδάφη που χρησιμοποιούνται ως βάση αναφοράς, χρήζοντα παρακολούθησης και σε αυτά που απαιτείται να παρθούν μέτρα καθαρισμού. (Α. Ανδρεαδάκης et al.)

Στοιχείο	ΕΕ	Γερμανία	Σουηδία	Δανία
PCB's	-	0,2	0,4	
PAH's	-	-	3	6
Dioxins/ Furan	-	100 ng TE*		-
Toluene	-	-	5	
AOX	-	500		
LAS	-	-		2600
Nonylphenyl	-	-	100	50
DEHP	-	-		100
	-	-		

*TE=toxicity equivalent: ισοδύναμη τοξικότητα

Πίνακας Θ.6. Μέγιστες συγκεντρώσεις μικροοργανικών (mg/kg dry wt) για γεωργική χρήση της ιλύος (VKI, 1996).

(Α. Ανδρεαδάκης et al.)

Κατηγορία Εδάφους	A	B	C
Πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs) – Ολικά	1	20	200
Χλωριωμένοι Υδρογονάνθρακες (CH) - Ολικά	0.05	7	70
Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCBs) - Ολικά	0.05	1	10
Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες			
Βενζόλιο	0.01	0.5	5
Φαινόλες	0.02	1	10
Αρωματικοί – ολικοί	0.1	7	70
Φυτοφάρμακα -Ολικά	0.1	2	20
Άλλες οργανικές ενώσεις			
Κυκλοεξάνιο	0.1	6	60
Βενζίνη	20	100	800
Pyridine	0.1	4	40

A=μη ρυπασμένα εδάφη, B=χρήζοντα παρακολούθησης, C=χρήζοντα καθαρισμού

Πίνακας Θ.7. Οδηγίες για τον προσδιορισμό της εδαφικής ρύπανσης από μικροοργανικά (mg/kg dry matter).

(Α. Ανδρεαδάκης et al.)

Κύριος στόχος των γεωργοκτηνοτροφικών δραστηριοτήτων πρέπει να είναι η αποτροπή της ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών από τη συσσώρευση διάφορων αλάτων, κυρίως από τη διήθηση ή την επιφανειακή απορροή νιτρικών τα οποία προέρχονται από τα αζωτούχα λιπάσματα καθώς και από άλλες πηγές, όπως κοπριά, λάσπη, οργανική ουσία εδάφους, τα οποία, επειδή διαλύονται εύκολα στο νερό και είναι ευκίνητα μέσα στο έδαφος,

συμπαράσύρονται προς τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και τελικά καταλήγουν στα υπόγεια νερά όπου και συσσωρεύονται. Ο στόχος πρέπει να επιδιώκεται σε όλες τις περιπτώσεις και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που το έδαφος είναι επικλινές με μικρή διηθητικότητα, συνθήκες που επιτρέπουν στα νιτρικά να παρασύρονται από τα νερά της επιφανειακής απορροής και να μεταφέρονται και συσσωρεύονται στους υδάτινους αποδέκτες προκαλώντας, μαζί με άλλους παράγοντες, ευτροφισμό και υποβάθμιση των νερών.

(Τμήμα Γεωργίας, 2004)

Επιπλέον, για τη λάσπη που χρησιμοποιείται στη γεωργία πρέπει:

- η ίδια να προέρχεται από αδειοδοτημένες εγκαταστάσεις επεξεργασίας της λάσπης με άδεια ή άδειες που έχουν εκδοθεί με βάση το Νόμο, και λειτουργούν συνεχώς σε ικανοποιητικό επίπεδο με βάση τους όρους της άδειας και επιβλέπονται και διατηρούνται σε ικανοποιητικό επίπεδο λειτουργίας από κατάλληλα ειδικευμένο προσωπικό.
- Ο χώρος και ο τρόπος αποθήκευσης της επεξεργασμένης λάσπης από το πρόσωπο που θα χρησιμοποιήσει, πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μη δημιουργεί κινδύνους για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον, περιλαμβανομένων των κινδύνων ρύπανσης των υπόγειων και επιφανειακών νερών.
- Ο ρυθμός και οι ποσότητες εναπόθεσης λάσπης στο έδαφος για γεωργικούς σκοπούς εξαρτώνται από την ποιότητα της λάσπης, το είδος εδάφους και των καλλιεργειών και τη χρονική περίοδο εφαρμογής.

Γενικά, η ποσότητα της λάσπης που εναποτίθεται, πρέπει να είναι ανάλογη του ποσοστού υγρασίας που περιέχει.

Ενώ πρέπει να αποφεύγεται η χρήση λάσπης στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- (α) Σε περιοχές όπου είναι δυνατό να επηρεαστεί ή υποβαθμιστεί η ποιότητα των επιφανειακών νερών, όπως υδατοφράκτες, πηγές νερού, ποταμοί, λίμνες, κ.λ.π..
- (β) σε περιοχές όπου είναι δυνατό να επηρεαστεί ή υποβαθμιστεί η ποιότητα υπόγειων υδροφορέων, όπως φρεάτια, υδροφορείς, καρστικοί υδροφορείς, κ.λ.π..
- (γ) σε λιβάδια όπου γίνεται βόσκηση ζώων ή σε καλλιεργειες κτηνοτροφικών φυτών τα οποία θα συλλεγούν εντός τριών εβδομάδων από την τοποθέτηση της λάσπης.
- (δ) σε εδάφη όπου βρίσκονται σε εξέλιξη καλλιεργειες φρούτων και λαχανικών, με εξαίρεση τα καρποφόρα δέντρα.

(ε) σε εδάφη όπου υπάρχει πρόθεση να καλλιεργηθούν φρούτα και λαχανικά τα οποία έρχονται σε άμεση επαφή με το έδαφος και συνήθως τρώγονται ωμά, εκτός αν η λάσπη εφαρμοστεί τουλάχιστο 12 μήνες πριν τη συγκομιδή των καλλιεργειών και

(στ) σε γρασίδι, εκτός αν η λάσπη εφαρμοστεί τουλάχιστον 12 μήνες πριν τη χρήση του.

(Τμήμα Γεωργίας, 2004)

Θ.3 Διάθεση για αστική χρήση

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται βιοστερεά για τη διαμόρφωση πάρκων, δημόσιων κήπων, χώρων και τοπίων βιομηχανικής, εμπορικής ή οικιστικής ανάπτυξης, αθλητικών χώρων, περιοχών αναψυχής και άλλων θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε, να προστατεύεται η δημόσια υγεία. Τα βιοστερεά στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να είναι υγειονομικά ασφαλή, να μη δημιουργούν οσμές και να διαθέτουν σύσταση παρόμοια με αυτήν του εδάφους. Οι ιδιότητες αυτές αντιστοιχούν σε βιοστερεά υψηλού βαθμού σταθεροποίησης. *(Α. Αγγελάκης et al., 2004).*

Θ.4 Διάθεση σε δασικές περιοχές

Η διάθεση της ιλύος σε δασικές περιοχές αποτελεί μια εναλλακτική αντιμετώπιση της διάθεσης σε καλλιέργειες, με σκοπό την παροχή χρήσιμων θρεπτικών και τη βελτίωση του εδάφους, για αναδάσωση περιοχών μετά από πυρκαγιές, κατολισθήσεις και άλλες φυσικές καταστροφές. Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι συμβάλλει σημαντικά σε υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης των δένδρων και ιδιαίτερα σε περιοχές με προβληματικά εδάφη. Γενικά τα εδάφη δασικών περιοχών παρουσιάζουν μεγάλους ρυθμούς διήθησης, υψηλές συγκεντρώσεις οργανικών συστατικών και μόνιμη παρουσία συστήματος ριζών, που επιτρέπουν αντίστοιχα μειωμένη απορροή, καλή κατακράτηση μετάλλων και παρέχουν τη δυνατότητα εφαρμογή ιλύος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Βασικά πλεονεκτήματα του τρόπου αυτού διάθεσης, είναι το ότι δεν δημιουργεί προβλήματα δημόσιας υγείας από κατάληξη ρυπαντών στην τροφική αλυσίδα, το ότι τα δένδρα είναι πιο ανθεκτικά από τις γεωργικές καλλιέργειες στη συσσώρευση μετάλλων, η μη απαίτηση εξεύρεσης ή αγοράς γης, η μεγάλη ευελιξία από άποψη ποσοτήτων και χρονοδιαγραμμάτων εφαρμογής, η μη απαίτηση εκτεταμένου ελέγχου ρυπαντών καθώς επίσης, η σχετική οικονομία στη πιθανή χρήση λιπασμάτων. Μειονεκτήματα της είναι το ότι δεν υπάρχουν πολλές σχετικές πληροφορίες εξαιτίας μη εκτεταμένης εφαρμογής, η πιθανή απαίτηση ειδικού εξοπλισμού εφαρμογής της ιλύος, εξαιτίας δυσκολίας πρόσβασης και η πιθανή απαίτηση ελέγχου πρόσβασης του κοινού σε περιοχές αναψυχής.

Γενικά, η διάθεση σε γεωργικές και δασικές εκτάσεις, προσομοιάζουν και γι' αυτό στη συνέχεια αποδίδεται έμφαση σε ορισμένες διαφορές. Από άποψη σχεδιασμού απαιτείται και σε αυτή τη περίπτωση συλλογή πληροφοριών, όπως είδη και ηλικία δένδρων, πρόσβαση, χρήση δάσους (αναψυχή, εμπορική και άλλες), τυχόν εφαρμογή λιπασμάτων και άλλων υλικών, ώστε να γίνεται η κατάλληλη επιλογή δένδρων και να καθορίζονται οι ποσότητες σε θρεπτικά. Η επιλογή αυτή εξαρτάται από τοπικούς παράγοντες, αλλά ανάλογα με την ηλικία των δένδρων και μπορεί να αφορά:

(α) Εφαρμογή σε ακάλυπτες περιοχές πριν τη δενδροφύτευση, που παρουσιάζει το πλεονέκτημα της εύκολης πρόσβασης και ευελιξίας εφαρμογής, αλλά και το μειονέκτημα της μικρής ανθεκτικότητας και απαιτήσεων των δενδρυλλίων σε θρεπτικά,

(β) Εφαρμογή σε περιοχές με δένδρα ηλικίας από 2 έως 5 ετών, με πλεονέκτημα τη σχετικά εύκολη πρόσβαση και μειονέκτημα τη μικρή κατανάλωση θρεπτικών (μεγαλύτερη από τη προηγούμενη περίπτωση, αλλά μικρότερη από αυτήν των πλήρως ανεπτυγμένων δασών).

(γ) Εφαρμογή σε υπάρχοντα δάση, ηλικίας μεγαλύτερης των 10 ετών, με πλεονέκτημα τη μεγάλη κατανάλωση N, την ευεργετική επίδραση των θρεπτικών στην ανάπτυξη των δένδρων και τη μικρή απορροή και μειονέκτημα τη δυσκολία πρόσβασης για διάθεση και τον κίνδυνο πρόσβασης του κοινού.

Από άποψη εφαρμογής της ιλύος, σήμερα δεν υπάρχουν διαθέσιμες αρκετές πληροφορίες. Η εφαρμογή μπορεί να γίνεται με βυτία κατάλληλα εξοπλισμένα για τις τοπικές συνθήκες εδάφους και βλάστησης ή με συστήματα άρδευσης (κυρίως ψεκασμού από κινητά συστήματα εκτοξευτήρων). Το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής εξαρτάται από το είδος των δένδρων και τις καιρικές συνθήκες και γενικά είναι πιο ευέλικτο από αυτό για γεωργικές περιοχές, καθώς δεν υπάρχει κύκλος σποράς και συγκομιδής και έχει μικρότερες απαιτήσεις αποθήκευσης. Η εφαρμογή μπορεί να είναι απλή ή συνεχής σε τακτικά χρονικά διαστήματα και απαιτεί μικρότερο έλεγχο λειτουργίας από τις γεωργικές περιοχές, ανάλογα με τις τοπικές ανάγκες.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004).

Θ.5 Διάθεση σε περιοχές για αναβάθμιση

Πολλά από τα προβλήματα των υποβαθμισμένων περιοχών σχετίζονται με την καταστροφή της δομής, που έχει προκαλέσει η απογύμνωση, η χρήση και/ή αντικατάσταση του χώματος με αποτέλεσμα τη δημιουργία συμπαγών, αφυδατωμένων και φτωχών σε θρεπτικά εδαφών. Σε πολλά επιτυχή προγράμματα αναβάθμισης εκτάσεων εφαρμόστηκε με επι-

τυχία η χρήση βιοστερεών. Πολλά από αυτά έλαβαν χώρα σε εκτάσεις που είχαν απογυμνωθεί εξαιτίας εξόρυξης. Τα βιοστερεά διαθέτουν διάφορα χαρακτηριστικά, τα οποία τα καθιστούν κατάλληλα για ανάπτυξη και βελτίωση τέτοιου είδους εδαφών.

Οι διαταραγμένες περιοχές, ειδικότερα τα παλιά ορυχεία, έχουν συνήθως ανώμαλα και πολύ διαβρωμένα εδάφη. Γι' αυτό απαιτείται εκτενής ισοπέδωση και ίσως και άλλες διεργασίες προκειμένου να προετοιμαστεί το έδαφος για την εφαρμογή της ιλύος. Επίσης, οι διαταραγμένες περιοχές συχνά παρουσιάζουν ανώμαλα χαρακτηριστικά του εδάφους. Αυτό μπορεί να δημιουργεί δυσκολίες στην εφαρμογή της ιλύος, την αναδάσωση και την περαιτέρω παρακολούθηση της περιοχής.

Τα είδη φυτών που θα χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση των εκτάσεων θα πρέπει να επιλεγούν με ιδιαίτερη προσοχή, ανάλογα με την ανεκτικότητα τους απέναντι στα συστατικά της ιλύος, την καταλληλότητα του εδάφους της περιοχής και τις κλιματικές συνθήκες. Εάν πρόκειται να καλλιεργηθούν είδη που προορίζονται για ανθρώπινη κατανάλωση ή ζωοτροφές, ισχύουν οι ίδιοι περιορισμοί, που εφαρμόζονται στην περίπτωση της χρησιμοποίησης ιλύος σε γεωργικά εδάφη.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004).

Θ.6 Διάθεση σε περιοχές που αποκλειστικά διατίθεται ιλύς

Η περίπτωση αυτή αφορά περιοχές που επιλέγονται ειδικά για μακροχρόνια διάθεση ιλύος, με πρωταρχικό σκοπό τη διάθεση της (τυχόν ωφέλειες είναι δευτερεύουσας σημασίας). Βασικό πλεονέκτημα του τρόπου αυτού διάθεσης είναι η δυνατότητα εφαρμογής ποσοτήτων ιλύος πολύ μεγαλύτερων από τους άλλους τρόπους διάθεσης και κατά συνέπεια οι μικρότερες απαιτήσεις γης, καθώς επίσης η ευελιξία στις ποσότητες εφαρμογής και στην ανεύρεση κατάλληλης περιοχής. Βασικό μειονέκτημα αυτής είναι η παρουσία αυξημένων ποσοτήτων ρυπαντών, εξαιτίας μεγάλων ποσοτήτων εφαρμογής, που μπορεί να απαιτήσει μεγάλο κόστος κατασκευής έργων προστασίας του περιβάλλοντος και να καταστήσει το έδαφος άχρηστο για μελλοντικές χρήσεις (όπως είναι οι γεωργικές εξαιτίας συσσώρευσης μετάλλων).

Βασικός σκοπός του σχεδιασμού των περιοχών αυτών είναι η προστασία του περιβάλλοντος από τις δραστηριότητες διάθεσης και κυρίως από τη μεταφορά ρυπαντών δια της επιφανειακής ή υπόγειας απορροής. Αυτή, επιτυγχάνεται με διαφόρους συνδυασμούς έργων, που μπορεί να περιλαμβάνουν από πλήρη περιορισμό της απορροής της περιοχής διάθεσης έως τη συλλογή και επεξεργασία της.

Οι ποσότητες εφαρμογής δεν περιορίζονται από όρια αλλά εξαρτώνται από παράγοντες όπως η διατήρηση αερόβιων συνθηκών στο έδαφος, το κλίμα (βροχόπτωση και εξάτμιση) και άλλους παράγοντες. Για συντηρητικό υπολογισμό της ποσότητας εφαρμογής μπορεί να εξισώνεται η υγρασία της εφαρμοζόμενης ιλύος (μηνιαία) με την εξάτμιση, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος απορροής, ή εναλλακτικά μπορεί να συνυπολογίζεται και ένα ποσοστό διήθησης στο έδαφος.

Η εφαρμογή της ιλύος μπορεί να γίνεται με τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν, ενώ εκτός από την απαιτούμενη για διάθεση περιοχή, απαιτούνται πρόσθετες εκτάσεις για αποθήκευση της ιλύος και συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία της απορροής. Οι περιοχές αποκλειστικής διάθεσης είναι δυνατόν να καλλιεργούνται, με το πλεονέκτημα της πρόσθετης απομάκρυνσης υγρασίας και ρυπαντών από τα φυτά, αλλά και το μειονέκτημα της προσαρμογής του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας στις απαιτήσεις των καλλιεργειών.

(Α. Αγγελάκης et al., 2004).

Θ.7 Διάθεση σε ΧΥΤΑ

Ο τρόπος αυτός διάθεσης έχει σχετικά ευρεία εφαρμογή και αφορά την υγειονομική ταφή της ιλύος, δηλαδή την εναπόθεση της στο έδαφος και την κάλυψη της με χώμα. Η ταφή μπορεί να γίνεται σε συνδυασμό με στερεά απόβλητα ή σε χωματερές αποκλειστικά για ιλύες.

Η διάθεση της ιλύος σε ΧΥΤΑ γίνεται με την ανάμειξη της με στερεά απόβλητα ή χώμα. Στην πρώτη περίπτωση, η ιλύς, που πρέπει να έχει συγκέντρωση στερεών τουλάχιστον 3% και μπορεί να είναι σταθεροποιημένη ή μη, αναμειγνύεται με απορρίμματα σε αναλογία 4-7:1 στερεά απόβλητα:ιλύ και στη συνέχεια εφαρμόζεται και καλύπτεται με ενδιάμεσα στρώματα εδάφους, πάχους 0,3 m, και τελική κάλυψη με έδαφος, πάχους 0,3m. Οι συνήθεις ποσότητες εφαρμογής για την περίπτωση αυτή είναι 9500-80000 m³ ιλύ/στρ. Εάν η περιεκτικότητα της ιλύος σε στερεά είναι πάνω από 30% είναι δυνατόν να μην απαιτείται ανάμειξη της με στερεά απόβλητα πριν την ταφή. Στη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή της ανάμειξης της ιλύος με έδαφος, η ιλύς, που πρέπει να έχει συγκέντρωση στερεών τουλάχιστον 20% και να είναι σταθεροποιημένη, αναμειγνύεται με έδαφος σε αναλογία όγκων 1:1 και το μείγμα χρησιμοποιείται για την κάλυψη στερεών αποβλήτων. Στην περίπτωση αυτή, η κάλυψη γίνεται με ενδιάμεσα στρώματα πάχους 0,3 m και τελικό 0,6 m, και οι συνηθισμένες ποσότητες εφαρμογής είναι 30000 m³ ιλύ/στρ. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το μειονέκτημα της πιθανής δημιουργίας οσμών, επειδή μέρος της ιλύος μένει ακάλυπτο.

Γενικά οι αφυδατωμένες ιλύες, σταθεροποιημένες ή μη, είναι οι πλέον κατάλληλες για διάθεση σε ΧΥΤΑ, ενώ οι υγρές σταθεροποιημένες μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα λειτουργίας στον ΧΥΤΑ και οι υγρές μη σταθεροποιημένες προβλήματα οσμών. Η διάθεση ιλύος σε ΧΥΤΑ έχει τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ήδη υπαρχουσών εγκαταστάσεων και άλλου εξοπλισμού, της ελάχιστης πρόσθετης επιβάρυνσης του περιβάλλοντος και ότι αποτελεί μια βραχυπρόθεσμη αντιμετώπιση της τελικής διάθεσης της. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.8 Θαλάσσια διάθεση

Είναι απαγορευμένη στην Ε.Ε., αν και σε ορισμένες χώρες αποτελούσε παραδοσιακή αντιμετώπιση της τελικής διάθεσης ιλύος. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.9 Παραγωγή τροφής ζώων.

Η πιθανότητα χορήγησης ξηραμένων στερεών βιοστερεών σε ζωντανούς οργανισμούς είναι υπό έρευνα. Τα βιοστερεά, μετά από διαλογή των χαμηλότερων σε συγκεντρώσεις μετάνων, ακτινοβολούνται με ακτίνες-γ για να καταστραφούν τα παράσιτα και τα παθογόνα. Έπειτα, αναμειγνύονται με άλλες βρώσιμες ουσίες, όπως άχυρο ή φλοιούς βαμβακόσπορου και χορηγούνται σε πρόβατα και βοοειδή. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.10 Παραγωγή βιοδομικών υλικών.

Τα βιοστερεά αστικών υγρών αποβλήτων μπορεί να είναι υποκατάστατο άλλων οργανικών ουσιών, όπως τριονίδια, που συνήθως χρησιμοποιούνται στην παραγωγή δομικών υλικών. Η υψηλή θερμοκρασία στην οποία εκτίθενται οι πλίνθοι στην κάμινο καταστρέφει όλα τα οργανικά τους, συμπεριλαμβανομένων και των παθογόνων. Οι πλίνθοι που παράγονται με τον τρόπο αυτό είναι παρόμοιοι των συνηθισμένων, σύμφωνα με όλες τις μετρήσιμες προδιαγραφές τους και καλούνται βιοδομικοί πλίνθοι. (Α. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.11 Παραγωγή τσιμέντου.

Η ενεργός ιλύς που συσσωματώνεται (κροκιδώνεται) με διαδοχικές προσθήκες διοξειδίου άνθρακα και διοξειδίου ασβεστίου, φιλτράρεται και διοχετεύεται σε τσιμεντοκάμινο. Το προϊόν ενισχύεται με γύψο (σε σκόνη) προς παραγωγή τσιμέντου, το οποίο κατατάσσεται στην περιοχή σύνθεσης του τσιμέντου τύπου "Πόρτλαντ". (6) Επεξεργασία με γαιοσκώληκες. Είναι μια διεργασία σταθεροποίησης . με την οποία ποικιλίες σκωλήκων καταναλώνουν το οργανικό υλικό των βιοστερεών από τα αστικά υγρά απόβλητα. Το τελικό προϊόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ρυθμιστικό /βελτιωτικό εδάφους, ενώ οι σκώληκες ως τροφή ζώων. Πριν τη χρήση του, πρέπει να διαχωριστεί από τους σκώληκες με εσχαρισμό. Συνήθως, η διεργασία επιτυγχάνεται κύρια με αφυδατωμένη, χωνευμένη ιλύ. Σημειώνεται ότι οι σκώληκες απαιτούν θερμές συνθήκες για να επιβιώσουν. (A. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.12 Καύσιμο από βιοστερεά.

Υπάρχουν αρκετά ερευνητικά προγράμματα που αναπτύσσουν αντιδραστήρες ασυνεχούς λειτουργίας ικανοί να μετατρέψουν τα βιοστερεά σε υγρό και στερεό καύσιμο. Συνήθως, τα βιοστερεά θερμαίνονται στους 300-425 °C, απουσία οξυγόνου. Ως αποτέλεσμα της διεργασίας υπάρχει μια κερδοφόρος παραγωγή ενέργειας. Θεωρητικές αποδόσεις μπορούν να προσφέρουν δυο βαρέλια καυσίμου πετρελαίου ανά τόνο ξηρών βιοστερεών. (ζ) Παραγωγή αδρανών υλικών. Η στάχτη από τα αποτεφρωμένα βιοστερεά και τα αστικά στερεά απόβλητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός σκληρού και μεγάλης πυκνότητας πετρώματος.. Η διεργασία, αρχικά, αποτεφρώνει τα αφυδατωμένα βιοστερεά και τα αστικά στερεά απόβλητα σε μία κάμινο. Η στάχτη που παράγεται συντήκεται σε κλίβανο στους 1092°C δημιουργώντας ένα πέτρωμα κατάλληλο για χρήση, ως αδρανές δομικό υλικό σε δρόμους. (A. Αγγελάκης *et al.*, 2004).

Θ.13 Εμπορία ιλύος.

Όταν επιχειρείται η αξιοποίηση της επαναχρησιμοποιημένης ιλύος, θα πρέπει να συσχετίζονται ορισμένα κοινωνικο-οικονομικά στοιχεία. Η κοινωνική αποδοχή, η πολιτική τιμών, ο ανταγωνισμός με άλλα είδη οργανικού υλικού και χημικών λιπασμάτων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Ένα ορθό σύστημα διανομής και προώθησης τυγχάνει απαραίτητο. Εάν επι-

χειρείται περαιτέρω μετασχηματισμός της ιλύος, τότε είναι χρήσιμο το παραγόμενο προϊόν να έχει εμπορική ονομασία (trademark). Η αλλαγή της ονομασίας από "ιλύς" σε "βιοστερεά" (σταθεροποιημένη ιλύς) υπήρξε ένα μεγάλο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή. Γενικά, πολλές αποτυχίες οφείλονται στο μη ορθό μάρκετινγκ, ή στη πλήρη απουσία του. Σε κάποιες περιπτώσεις, το τελικό προϊόν (βιοστερεά) πωλείται σε εταιρείες, που ειδικεύονται στην εμπορευματοποίηση των οργανικών υλικών. (Α. Αγγελάκης et al., 2004).

Θ.14 Αξιοποίηση της βιολογικής λάσπης με τη μέθοδο της σβολοποίησης

Η αξιοποίηση της λάσπης, μέσω της σβολοποίησης μπορεί να πραγματοποιηθεί με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας (όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο), η οποία βοηθάει στην αύξηση της συνοχής της λάσπης, στη σταθεροποίηση της και στην επιταχύνση της κομποστοποίησης. Η σβολοποίηση της ιλύς με προσθήκη ιπτάμενης τέφρας θεωρείται αρκετά οικονομική μέθοδος, συγκριτικά με άλλες, αφού η τέφρα είναι ένα φθηνό αλλά και ανεπιθύμητο παραπροϊόν παράλληλα. (Ηλίας Σταμπολιάδης)

Σύγκρινοντας τη μέθοδο της σβολοποίησης της λάσπης με χρήση ιπτάμενης τέφρας και με προσθήκη ασβέστου εξάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα που παρουσιάζονται επιγραμματικά στο πίνακα. (Ηλίας Σταμπολιάδης)

Σύγκριση Ασβέστου και Τέφρας	
Ασβέστος	Τέφρα
1. αυξάνει το pH και προκαλεί αποστείρωση	1. αυξάνει το pH και προκαλεί αποστείρωση
2. δίδει πλαστικότητα στη λάσπη	2. αυξάνει τη συνοχή της λάσπης
3. στερεοποιείται μόνο σε επαφή με αέρα	3. στερεοποιείται ακόμη και χωρίς επαφή με αέρα
4. δεν δίδει διαπερατότητα, καθυστερεί την κομποστοποίηση	4. η κοκκώδης μορφή αυξάνει την διαπερατότητα, επιταχύνει τη κομποστοποίηση
5. είναι ακριβό	5. είναι φθηνό

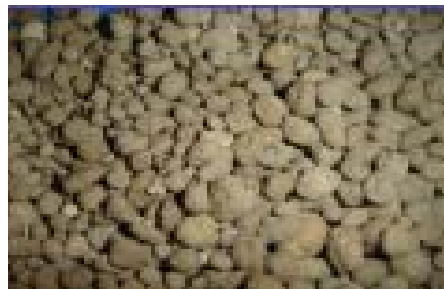
Πίνακας Θ.8. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της σβολοποίησης με προσθήκη ασβέστου και με ιπτάμενη τέφρα (Ηλίας Σταμπολιάδης)

Πλεονεκτήματα της Σβολοποίησης

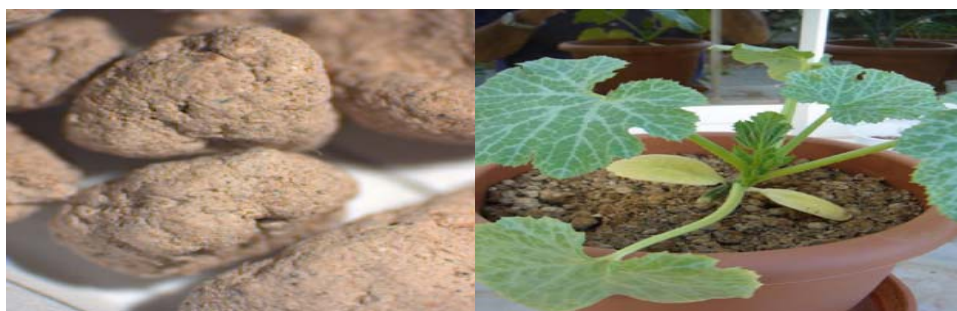
- Η άμορφη λάσπη μετατρέπεται σε κοκκώδες υλικό
- Άμεση μείωση της οσμής

- Διευκόλυνση της κομποστοποίησης
- Διαθεσιμότητα της τέφρας σε μεγάλες ποσότητες
- Επίλυση ενός διπλού περιβαλλοντικού προβλήματος
- Δεν χρειάζεται ενεργοβόρα ξήρανση
- Δεν εκπέμπει πτητικές οργανικές ουσίες
- Μικρή επένδυση (0,5 έως 1,0 εκ. €)
- Μικρό λειτουργικό κόστος (20 -30 €/τόνο)
- Παράγεται χρήσιμο βελτιωτικό του εδάφους.
- Αποδέσμευση από την αύξηση της τιμής των λιπασμάτων και του πετρελαίου
- Η κοκκώδης μορφή προδιαθέτει θετικά τον τελικό χρήστη.

(Ηλίας Σταμπολιάδης)



Εικόνες Θ.5. Μακροσκοπική μορφή σβόλων (Ηλίας Σταμπολιάδης)



Εικόνες Θ.6. α) Μορφή σβόλων στο μικροσκόπιο β) Καλλιέργεια κολοκυθιάς

(Ηλίας Σταμπολιάδης)

Θ.15 Εναλλάκτικές χρήσεις μίγματος ιλύς με τσιμέντο και ζαροσίτη

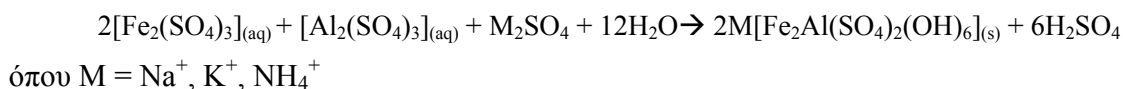
Σε αυτή τη περίπτωση αναφερόμαστε σε μία εναλλακτική χρήση για τελική απόρριψη λάσπης, από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων με την χρήση μίγματος λάσπης – τσιμέντου και ιζήματος ζαροσίτη / αλουνίτη (Z/A) για την δημιουργία νέων κατασκευαστικών υλικών. Το ίζημα του Z/A είναι απόρριμα υδρομεταλλουργικής κατεργασίας

Για να διερευνηθεί η μέθοδος αυτή παρασκευάστηκαν, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, μίγματα λάσπης – τσιμέντου και Z/A και εφαρμόστηκε η διεργασία της σταθεροποίησης / στερεοποίησης. Ο έλεγχος της πορείας ενυδάτωσης έγινε με χημικές αναλύσεις, ορυκτολογικές αναλύσεις, μετρήσεις θερμικής ανάλυσης και με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM). Τα δείγματα υποβλήθηκαν σε δοκιμές αντοχής σε θλίψη στις 28 ημέρες. Επιπλέον, για να μελετηθεί η περιβαλλοντική συμβατότητα αυτών των νέων υλικών, έγιναν δοκιμές εκχύλισης βαρέων μετάλλων με την πρότυπη μέθοδο TCLP. (Κατσιώτη M. *et al.*)

Η Σταθεροποίηση/Στερεοποίηση (Σ/Σ) είναι η διεργασία επεξεργασίας επικίνδυνων αποβλήτων, πριν την απόρριψή τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Ο κύριος λόγος που κάνει τη Σ/Σ τόσο ευρέως διαδεδομένη είναι το γεγονός ότι ακινητοποιεί και εγκλωβίζει επικίνδυνες ουσίες όπως είναι τα βαρέα μέταλλα, που περιέχονται στα απόβλητα. Η διεργασία Σ/Σ περιλαμβάνει προσθήκη συνδετικών ή αδρανών τα οποία βοηθούν ώστε τα επικίνδυνα συστατικά του απόβλητου να παραμένουν στη λιγότερο κινητική ή τοξική τους μορφή, ελαττώνοντας δηλαδή την εκχυλιστικότητα των επικίνδυνων ουσιών. Τα συνδετικά υλικά διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οργανικά και ανόργανα, με το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο ανόργανο υλικό το τσιμέντο Portland [1].

Ο Z/A παράγεται ως προϊόν μιας ολοκληρωμένης μεθόδου υδρομεταλλουργικής κατεργασίας ελληνικών νικελιούχων λατεριτών η οποία έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Μεταλλουργίας του Ε.Μ.Π. και συνίσταται στην εκχύλιση σε σωρούς (heap leaching), με θειικό οξύ, λατεριτών με χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο (<1%) σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και στην, εν συνέχεια, κατεργασία του προκύπτοντος μεταλλοφόρου διαλύματος. Από το μεταλλοφόρο αυτό διάλυμα εκχύλισης ανακτώνται νικέλιο και κοβάλτιο με οργανικούς διαλύτες και μετά ακολουθεί ηλεκτρόλυση των αντίστοιχων υδατικών διαλυμάτων. Πριν την ανάκτηση και το διαχωρισμό του νικελίου και κοβαλτίου με τους οργανικούς διαλύτες πρέπει από το μεταλλοφόρο διάλυμα να απομακρυνθούν ο σίδηρος και το αργίλιο. Αυτό γίνεται με την υδρολυτική κατα-

βύθισή τους με τη μορφή ζαροσίτη το πρώτο και αλουνίτη το δεύτερο. Έτσι προκύπτει ένα μίγμα ζαροσίτη/αλουνίτη και η εξίσωση της αντίδρασης είναι [2]:



Η λάσπη αναμιγνύεται σε διάφορες αναλογίες με το Z/A το τσιμέντο και την άμμο. Οι παράμετροι κλειδιά της έρευνας αυτής είναι η εκχυλιστικότητα των βαρέων μετάλλων από τα επεξεργασμένα απόβλητα και η αντοχή σε θλίψη των επεξεργασμένων δειγμάτων λάσπης.

Τα κριτήρια για την επίτευξη του στόχου είναι τα παρακάτω [3, 4]:

- ♦ Η αντοχή σε θλίψη των σταθεροποιημένων / στερεοποιημένων παραγώγων να υπερβαίνει την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή των 350 kPa όπως αυτή καθορίζεται από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α (US.E.P.A.).
- ♦ Το pH του εκχυλίσματος των επεξεργασμένων σταθεροποιημένων / στερεοποιημένων παραγώγων να κυμαίνεται στην περιοχή χαμηλής διαλυτότητας των οξειδίων των μετάλλων (pH =7-9).
- ♦ Η συγκέντρωση των βαρέων μετάλλων των σταθεροποιημένων / στερεοποιημένων παραγώγων να μην υπερβαίνει τα όρια της επικινδυνότητας για την ασφαλή απόρριψη αυτών στο περιβάλλον. (Κατσιώτη *M. et al.*)

Συμπεράσματα

Τα κύρια συμπεράσματα είναι τα εξής:

1. Υπάρχει η δυνατότητα Στερεοποίησης/Σταθεροποίησης λάσπης από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων με τη χρήση τσιμέντου CEMII, καθώς και μίγματος τσιμέντου CEMII με ίζημα ζαροσίτη/αλουνίτη.
2. Η διαφοροποίηση μεταξύ των δειγμάτων στα οποία χρησιμοποιήθηκε μόνο τσιμέντο σε σχέση με αυτά στα οποία χρησιμοποιήθηκε μίγμα τσιμέντου ζαροσίτη/αλουνίτη, είναι στα προϊόντα ενυδάτωσης των φάσεων του τσιμέντου. Τα επιπλέον θεϊκά που προσφέρει ο ζαροσίτης/αλουνίτης οδηγούν στο σχηματισμό ετρινγκίτη που συμβάλλει στην ανάπτυξη αντοχών. Αντίθετα, στα δείγματα που περιείχαν μόνο τσιμέντο το κύριο προϊόν των αντιδράσεων ενυδάτωσης ήταν το υδροξείδιο του ασβεστίου. Το υδροξείδιο του ασβεστίου και ο ετρινγκίτης, που εμφανίζονται σαν τα κύρια προϊόντα της ενυδάτωσης του τσιμέντου, είναι χαρακτηριστικά των

πρώιμων ηλικιών. Αυτό, σημαίνει ότι το οργανικό φορτίο της ιλύος δεν παρεμποδίζει την ενυδάτωση, την πήξη και την ανάπτυξη των αντοχών του τσιμέντου.

3. Επιτεύχθηκε η Στερεοποίηση/Σταθεροποίηση των βαρέων μετάλλων της λάσπης με την κάτωθι σύνθεση κονιάματος: 50% υγρή λάσπη, 20% Ζ/Α, 30% τσιμέντο CEMII. Για την σύνθεση αυτή οι δοκιμές εκχύλισης TCLP έδειξαν ότι επήλθε μείωση στην διαλυτότητα των βαρέων μετάλλων για το κονίαμα MYZT_{II} κατά 97% για τον Cu, 98% για τον Fe, 94% για τον Zn, 51% για το Ni, 79% για το Cr, και 63% για το Pb.

Η προτεινόμενη μέθοδος της Σταθεροποίησης/Στερεοποίησης οδηγεί σε πολύ καλά αποτελέσματα όσον αφορά την εφαρμογή της για την παραγωγή φτηνών και περιβαλλοντικά φιλικών υλικών. Αυτή η ανάμειξη με τη λάσπη στην υγρή μορφή με το τσιμέντο μπορεί να δώσει ένα υλικό με σχετικά υψηλή αντοχή και χημική σταθερότητα, που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν βάσεις και υποστρώματα για δρόμους, αεροδρόμια, περιοχές στάθμευσης κ.λ.π. (*Κατσιώτη Μ. et al.*)

Βιβλιογραφία

1. Α. Ν. ΑΓΓΕΛΑΚΗΣ, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ», ΛΑΡΙΣΑ 2004
2. Δέσπω Φάττα «Διαχείριση Στερεών και Υγρών Αποβλήτων», Λευκωσία, 2006
3. Ν. Κάρτσωνας, «Διαχείριση Υγρών Αποβλήτων με Αποκεντρωμένα Συστήματα Επεξεργασίας», Καρδίτσα, 2005
4. EU LEONARDO DA VINCI PROGRAMME PROJECT No. GR/96/2/0077/PI/II.1.1.C/FPC, «MANAGEMENT OF WASTEWATER SLUDGE NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH FOUNDATION» M. Salgot and A. Torenns, Iraklio, Crete, Greece, January 2001
5. Α. Κατσίρη, "Λιπασματοποίηση απορριμμάτων", Διαχείριση Στερεών Απορριμμάτων και ιλύος, ΕΜΠ-ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ, ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ ΣΤΗΝ "ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ", Α΄ Τετράμηνο 2003-2004
6. Α. Ανδρεαδάκης, Δ. Μαμάης, Γ. Ντινοπούλου και Α. Τζίμας "ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΩΝ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ", Ιεργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 2004
7. Α. Ανδρεαδάκης, Δ. Μαμάης, Γ. Ντινοπούλου και Α. Τζίμας, «ΑΣΒΕΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΩΝ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ», 1ο Πανελλήνιο συνέδριο - Πορταριά Πηλίου 8-9 Απριλίου 2005
8. Steen Nielsen, "REDUCTION OF PATHOGENIC MICRO-ORGANISMS IN SLUDGE REEDBED SYSTEMS"
9. Thammarat Koottatep, Chongrak Polprasert, and Nguyen Thi Kim Oanh «DESIGN CONSIDERATIONS OF CONSTRUCTED WETLANDS FOR SEPTAGE TREATMENT AT THE AIT PILOT PLANT»
10. Α. Ανδρεαδάκης, ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ, ΞΗΡΑΝΣΗ ΙΛΥΟΣ»
11. Σκιτζί Κ., Γούλα Μ., Πολυχρονοπούλου Ελ., Χαλαράκης Ελ. «ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΛΥΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΠΙΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ», Τμήμα Τεχνολογιών Αντιρρύπανσης, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας.
12. GEO ACTIONS, «Η ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ & ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕ-

- ΘΟΔΟ ΤΩΝ ΓΑΙΟΣΑΚΩΝ», Δοκιμές: α) αφρολάσπη - ΚΕΛΨ , Ιούλιος 2005 β) λυματολάσπη-ΚΕΛΜ, Δεκέμβριος 2005
13. Hans Huber AG –Sludge Treatment Systems «Screening – Thickening Disintegration – Dewatering –Drying – Reuse From One Source», 2005
 14. ΚΥΡ. ΣΤΑΜΕΛΟΣ - ΒΑΣ. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΔΟΥ - Β.С.С. – HASKONING, «Εξέταση των τεχνολογιών πρόληψης και περιορισμού της ρύπανσης δραστηριοτήτων του κλάδου διαχείρισης αποβλήτων», (Οδηγία 96/61/EC, Παράρτημα Ι, εδάφιο 5.) - υποβολή προτάσεων για εφαρμογή των βέλτιστων διαθέσιμων τεχνικών
 15. Tchobanoglous et al. "Integrated Solid Waste Management" 1993
 16. Α.Δ. Andreadakis, D. Mamais, E. Gavalaki, S. Kampylafka, «SLUDGE UTILISATION IN AGRICULTURE: POSSIBILITIES AND PROSPECTS IN GREECE».
 17. Consorcio de Aguas Bilbao-Bizkaia, «Optimisation of Energy Recovery from Sludge Generated by a Waste Water Treatment Plant», Spain
 18. ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΑΣ, «ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΡΘΗΣ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΠΡΑΚΤΙΚΗΣ», ΚΥΠΡΙΑΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΛΗΡΩΜΩΝ, , ΛΕΥΚΩΣΙΑ, ΜΑΙΟΣ 2004
 19. Α. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, «ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΙΛΥΟΣ», ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΙ ΙΛΥΟΣ.
 20. Ηλίας Σταμπολιάδης, «Αξιοποίηση της βιολογικής λάσπης με τη μέθοδο της σβολοποίησης», Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων – Εργαστήριο Εμπλουτισμού Μεταλλευμάτων.
 21. Κατσιώτη Μ., Λιότση Ε., Μπούρα Π., Κατσίρη Α «ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΛΑΣΠΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΚΑΙ ΖΑΡΟΣΙΤΗ.», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
 22. Ecotec, ΤΕΧΝΟΕΚΔΟΤΙΚΗ ΑΕΒΕ, Απρίλιος 2007.

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

23. www.news.in.gr
24. www.europa.eu.gr
25. www.hydro.ntua.gr
26. www.eng.ucy.ac.cy/GAIA/GR/181/Lecture
27. www.hydro.ntua.gr/labs/sanitary/udergrad/PERTECHST