

Κομποστοποίηση (λιπασματοποίηση) ιλύος

Πρόκειται για μια σχετικά πολύπλοκη αποικοδόμηση της οργανικής ύλης που περιέχεται στις ιλύες, προς χουμικά οξέα, με αποτέλεσμα την δημιουργία σταθεροποιημένου προϊόντος, κατάλληλου να χρησιμοποιηθεί ως εδαφοβελτιωτικό. Κατά την διεργασία, περίπου 20-30% του οργανικού φορτίου μετατρέπεται σε CO_2 και H_2O , ενώ παράλληλα καταστρέφεται σημαντικό μέρος των παθογόνων μικροοργανισμών.

Για να λάβει χώρα η κομποστοποίηση, πρέπει η υγρασία της πρώτης ύλης να κυμαίνεται στο 60%. Για να επιτευχθεί αυτό, αναμειγνύεται η αφυδατωμένη ιλύς με σχετικά ξηρά αδρανή υλικά (π.χ.: ροκανίδι, άχυρα, τεμαχισμένα κλαδιά), τα οποία ονομάζονται κλαδοκάθαρα.

Η διεργασία της κομποστοποίησης περιλαμβάνει τρεις φάσης. Κατά την πρώτη φάση η θερμοκρασία ανέρχεται στους 40°C , ενώ κατά την δεύτερη φάση μπορεί να φτάσει έως τους 70°C , λόγω των εξώθερμων βιολογικών δράσεων. Με το πέρας των βιολογικών διεργασιών το κομποστοποιημένο υλικό επανέρχεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

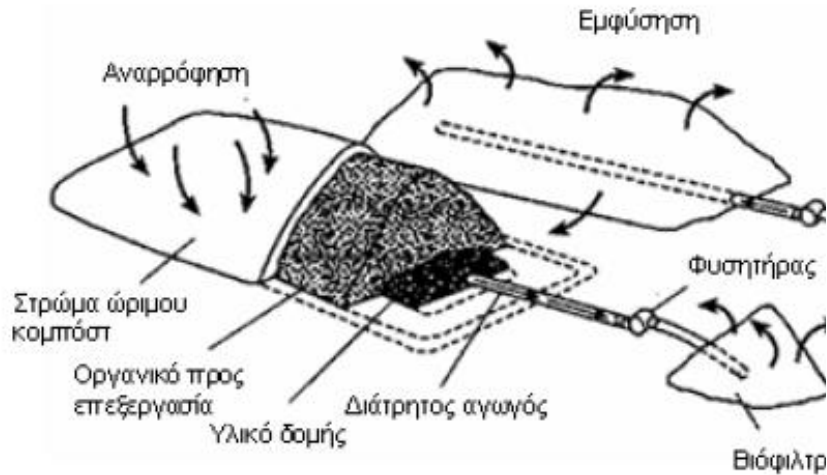
Κομποστοποίηση ιλύος

Η διεργασία της κομποστοποίησης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις βασικές μεθόδους:

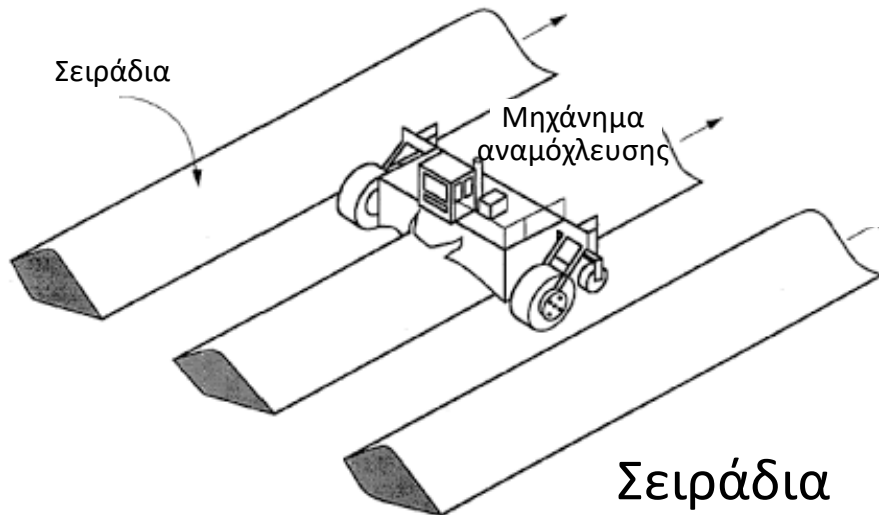
- **Τεχνητά αεριζόμενοι σωροί:**
Το μείγμα αφυδατωμένης ιλύος και αδρανών υλικών απλώνεται πάνω από σύστημα σωληνώσεων στους οποίους παροχετεύεται αέρας. Η διεργασία διαρκεί 3-4 εβδομάδες. Τυπικό ύψος σωρών: 2,0-2,5 m.
- **Φυσικά αεριζόμενοι σωροί:**
Το μείγμα αφυδατωμένης ιλύος και αδρανών υλικών στρώνεται σε σωρούς ύψους 1-2 m, και πλάτους βάσης 2-5 m. Κατά την διάρκεια των 3-4 εβδομάδων που διαρκεί η διεργασία οι σωροί αναμοχλεύονται ισχυρά τουλάχιστο 5 φορές.
- **Μηχανικά συστήματα κομποστοποίησης:**
Η κομποστοποίηση λαμβάνει χώρα σε αντιδραστήρα, είτε εμβολικής ροής είτε πλήρους ανάμειξης. Η διεργασία διαρκεί περίπου 2 εβδομάδες.

Σε όλες τις περιπτώσεις ακολουθεί περίοδος ωρίμασης περίπου ενός μήνα. Αμέσως μετά το υλικό κοσκινίζεται για την ανάκτηση των αδρανών υλικών.

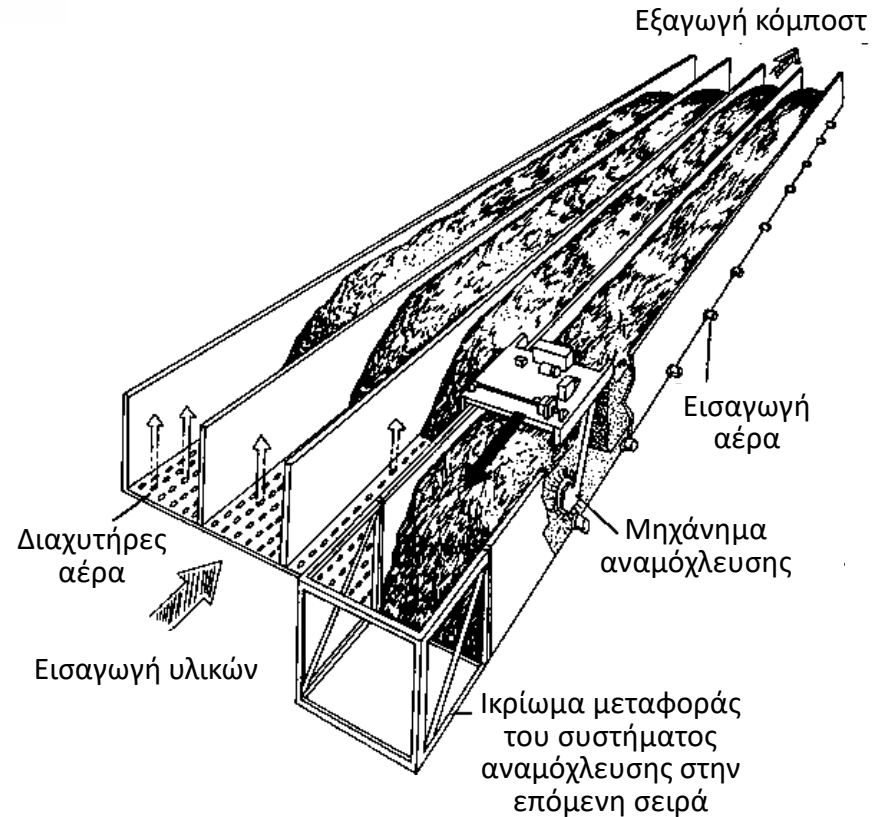
Τεχνολογίες κομποστοποίησης ιλύος



Αεριζόμενοι σωροί

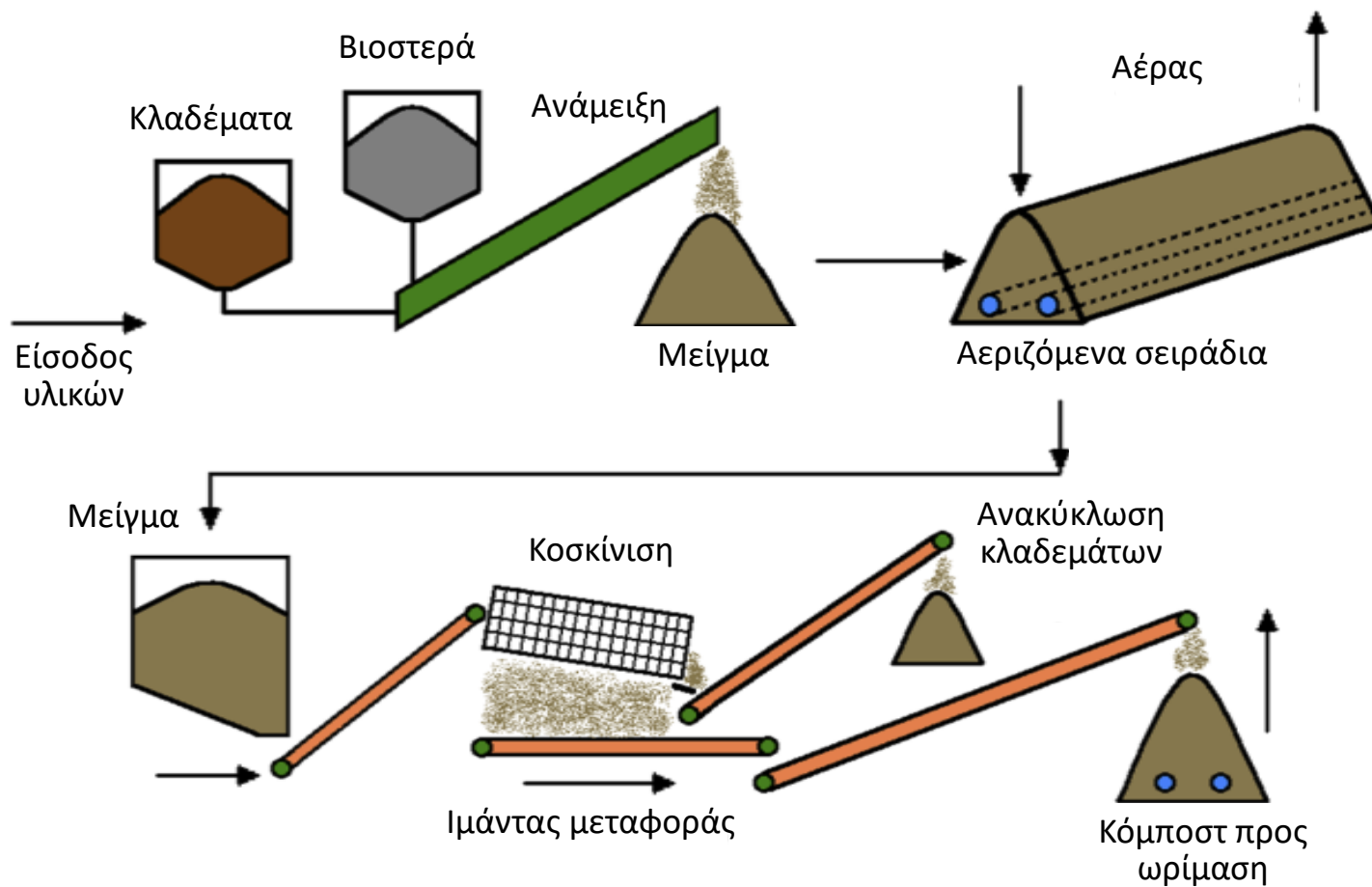


Σειράδια



“In vessel” κομποστοποίηση
σε σειράδια

Διεργασία κομποστοποίησης ιλύος



Τυπική εγκατάσταση κομποστοποίησης

MIXING BAYS

ORCHARD
COMPOST

OVERS

SCREEN

STAGE TWO
COMPOST
CURING

FINISHED
COMPOST

RETAIL AREA

LEACHATE POND

YARD DEBRIS

GROUND YARD
DEBRIS

STAGE ONE
AERATION PAD

FRESH
WATER



Dallesport, WA, USA

Εγκατάσταση κομποστοποίησης



Maple Valley, WA, USA



Αναμόχλευση κόμποστ σε ανοικτό σύστημα

Αναμόχλευση κόμποστ με φορτωτή





Αναμόχλευση κόμποστ σε κλειστό σύστημα

Κομποστοποίηση “in vessel”



- α. Προεντεταμένης μεμβράνης
- β. Περιστρεφόμενου τυμπάνου
- γ. Στατικό σύστημα με μηχανική αναμόχλευση



Κομποστοποίηση ιλύος

- α. Διαβροχή σωρού
- β. Αναμόχλευση με ειδικό
μηχάνημα
- γ. Μηχάνημα αναμόχλευσης
σειραδίων



α



β



γ

Κομποστοποίηση ιλύος

- α. Τεχνητά αεριζόμενοι σωροί
- β. Κλειστό σύστημα κομποστοποίησης
- γ,δ. Κομποστοποιημένη ιλύς έτοιμη προς χρήση ως εδαφοβελτιωτικό



Διεργασίες Κομποστοποίησης

- α. Φυσικά αεριζόμενοι σωροί ιλύος προς κομποστοποίηση
- β. Διεργασία ωρίμασης
- γ. Κυλινδρικός αντιδραστήρας κομποστοποίησης
- δ. Κόσκινο trommel



α



β



γ



δ

Συστήματα μεταφοράς κόμποστ

- α. Αναβατόριο με καλάθια
- β. Κοχλίας μεταφοράς
- γ. Κυλιόμενος ιμάντας (ταινιόδρομος)



Θραυστήρες κλαδεμάτων

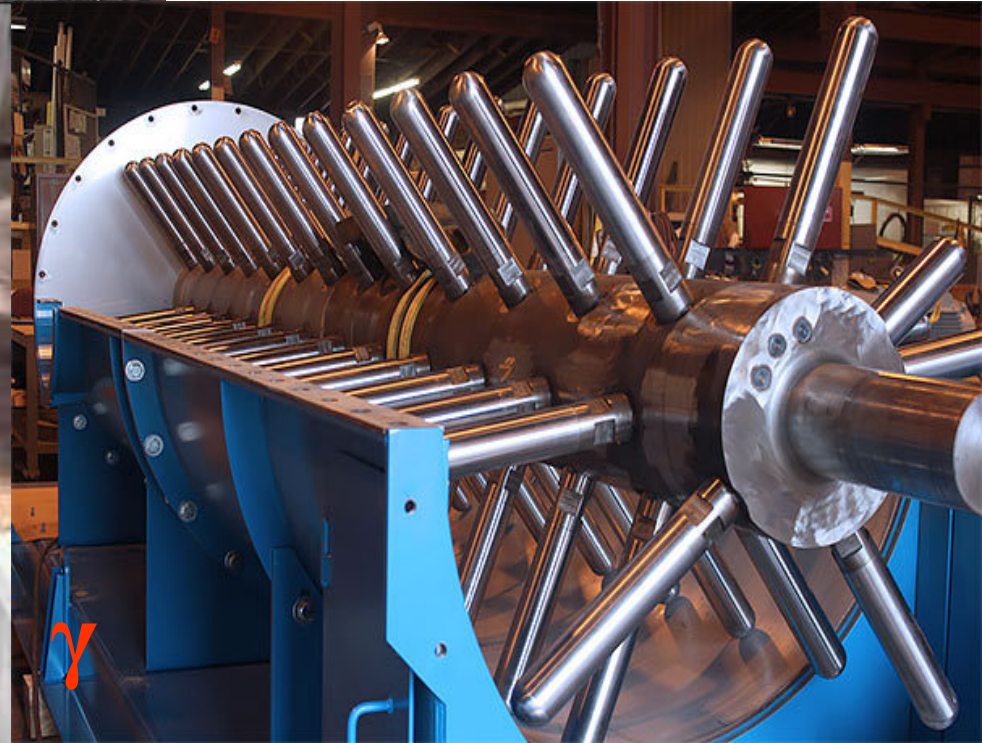


Ανάμειξη

α. Με φορτηγό & ταινιόδρομο

β. Με κοχλίες μείξης

γ. Μείξη με περιστρεφόμενες ακίδες



Κοσκίνιση ώριμου κόμποστ & λιμνοδεξαμενή στραγγιδίων



Κοσκίνιση ώριμου κόμποστ



Διαχωρισμός με δονούμενα κόσκινα

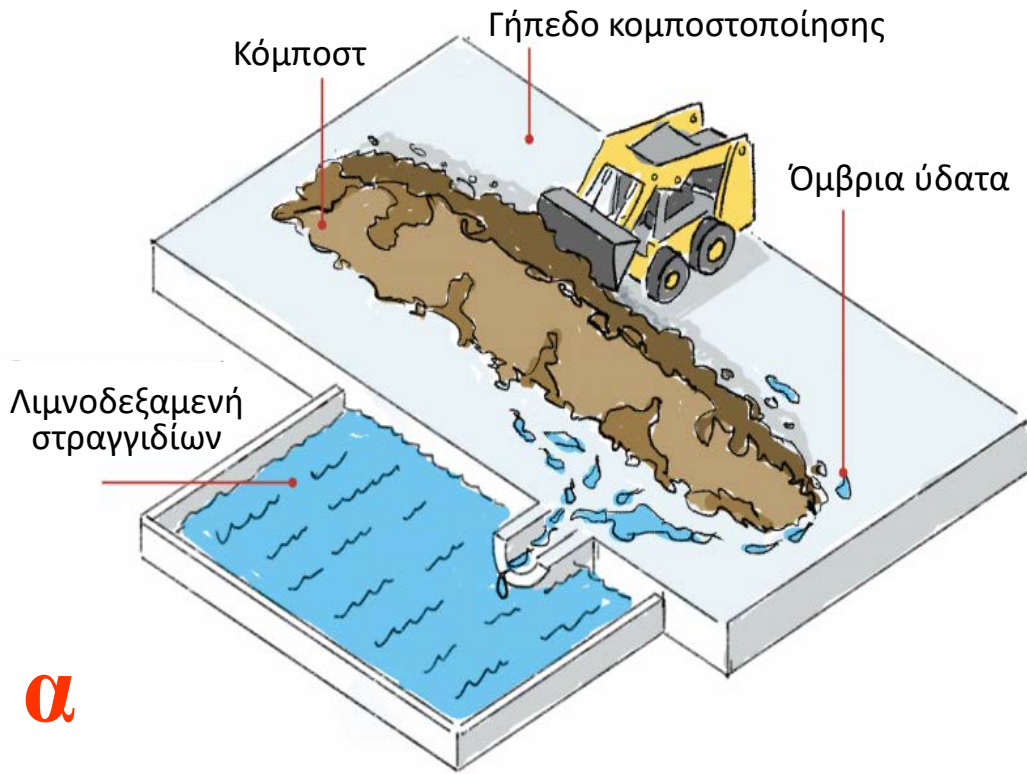


Διαχωρισμός με κόσκινα trommel



Διαχείριση στραγγιδίων κομποστοποίησης

- α. Σχηματικό διάγραμμα
- β,γ. Αεροφωτογραφίες εγκαταστάσεων κομποστοποίησης με εμφανείς τις λιμνοδεξαμενές διαχείρισης στραγγιδίων



Σχεδιασμός κομποστοποίησης σε σειράδια

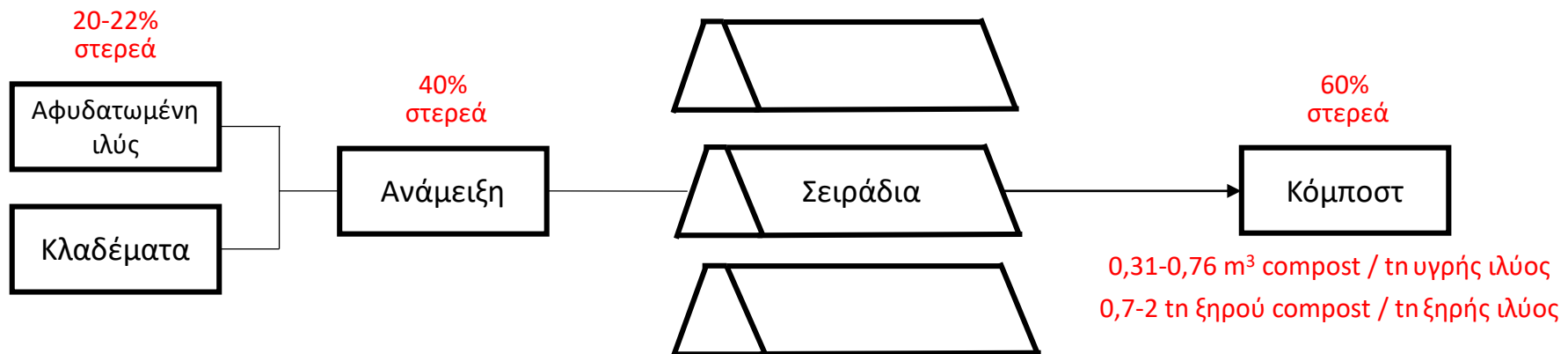
Η αφυδατωμένη ιλύς αναμιγνύεται συνήθως με ροκανίδια ξύλου ή τεμαχισμένα κλαδιά (κλαδέματα ή κλαδοκάθαρα) προκειμένου να αυξηθεί το πορώδες, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερος αερισμός. Μετά την ανάμειξη, η ιλύς θα πρέπει να έχει περιεκτικότητα σε στερεά >40%. Το μείγμα ιλύος-κλαδοκάθαρων διαμορφώνεται σε σειράδια (διατάξεις που έχουν πρισματοειδή μορφή, με εγκάρσια τομή σε σχήμα τραπεζίου). Τα σειράδια αναμοχλεύονται σε τακτική βάση, ώστε να εξασφαλιστούν αερόβιες συνθήκες. Με την ολοκλήρωση της αερόβιας επεξεργασία, το τελικό προϊόν (compost) έχει περιεκτικότητα σε στερεά περίπου 60%.



Σχεδιασμός κομποστοποίησης σε σειράδια

Τα χαρακτηριστικά των σειραδίων είναι:

- Ύψος: 2-2,5 m
- Πλάτος κορυφής: 1-2 m
- Πλάτος βάσης: 2-4,5 m
- Έκταση κομποστοποίησης (περιλαμβάνει και τα βοηθητικά έργα): $320-570 \text{ m}^2 \text{ tn}_{\text{ιλύος}}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (υγρή βάση)
- Χρόνος πλήρους κομποστοποίησης: 60 d (30 d αερόβιας επεξεργασίας & 30 d σταθεροποίησης)
- Θερμοκρασία: 55 - 70 °C, βέλτιστη 55°C
- Ανάμειξη Ιλύος – Κλαδεμάτων: $2,6-3,4 \text{ m}^3 \text{ κλαδεμάτων} / 1 \text{ tn}_{\text{ιλύος}}$ (υγρή βάση) (εξαρτάται από πολλούς παράγοντες)
- Πυκνότητα κλαδεμάτων: $180-320 \text{ kg m}^{-3}$ (εξαρτάται από το είδος: άχυρα, ροκανίδι, κλαριά, φύλα)
- Υγρασία κλαδεμάτων: 30-40 % (εξαρτάται από το είδος και τις συνθήκες αποθήκευσης)
- Όγκος τελικού προϊόντος: $0,31-0,76 \text{ m}_{\text{compost}}^3 \text{ tn}_{\text{ιλύος}}^{-1}$ (υγρή βάση) ή $0,7-2 \text{ tn}_{\text{compost}} \text{ tn}_{\text{ιλύος}}^{-1}$ (ξηρή βάση)



Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (1/6)

Να σχεδιάσετε τη διεργασία της κομποστοποίησης για παροχή αφυδατωμένης ιλύος με ρυθμό παραγωγής $Q_{\text{ιλύος}} = 8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, με συγκέντρωση στερεών 20% και πυκνότητα $1,07 \text{ tn m}^{-3}$. Υπολογίστε τον απαιτούμενο όγκο κλαδεμάτων, τον αριθμό σειραδίων και την απαιτούμενη έκταση. Επίσης, να διαστασιολογήσετε τη λιμνοδεξαμενή συλλογής στραγγισμάτων.

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός της ημερήσιας ποσότητας των κλαδεμάτων ($Q_{\text{κλαδ.}}$) που απαιτείται για την ανάμειξη τους με την αφυδατωμένη ιλύ. Θεωρούμε ότι τα κλαδέματα έχουν ειδικό βάρος ($\rho_{\text{κλαδ.}}$) $0,22 \text{ tn m}^{-3}$ και υγρασία 30%.

Η μαζική παροχή της ιλύος ($M_{\text{ιλύος}}$) είναι: $M_{\text{ιλύος}} = Q_{\text{ιλύος}} \cdot \rho_{\text{ιλύος}} = 8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} \cdot 1,07 \text{ tn d}^{-1} = 8,56 \text{ tn d}^{-1}$

Για να παραχθεί από την ανάμειξη υλικό με συγκέντρωση σε στερεά 40%, τότε:

$$0,2 \cdot M_{\text{ιλύος}} + 0,7 \cdot M_{\text{κλαδ.}} = 0,4 (M_{\text{ιλύος}} + M_{\text{κλαδ.}}) \Rightarrow M_{\text{κλαδ.}} = 0,667 \cdot M_{\text{ιλύος}} = 0,667 \cdot 8,56 \text{ tn d}^{-1} = 5,71 \text{ tn d}^{-1}$$

Οπότε η ογκομετρική παροχή των κλαδεμάτων προκύπτει ως: $Q_{\text{κλαδ.}} = \frac{M_{\text{κλαδ.}}}{\rho_{\text{κλαδ.}}} = \frac{5,71 \text{ tn d}^{-1}}{0,22 \text{ tn m}^{-3}} = 25,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$

Επομένως, η συνολική παροχή ιλύος μετά την ανάμειξη είναι:

$$Q_{\text{μειγμ.}} = Q_{\text{ιλύος}} + Q_{\text{κλαδ.}} \Rightarrow Q_{\text{μειγμ.}} = 8 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} + 25,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1} = 33,9 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$$

Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (2/6)

Η νέα πυκνότητα του μείγματος, υπολογίζεται ως:

$$Q_{\text{ιλύος}} \cdot \rho_{\text{ιλύος}} + Q_{\text{κλαδ.}} \cdot \rho_{\text{κλαδ.}} = Q_{\text{μειγμ.}} \cdot \rho_{\text{μειγμ.}} \Rightarrow 8 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot 1,07 \text{ tn m}^{-3} + 25,9 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot 0,22 \text{ tn m}^{-3} \\ = 33,9 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot \rho_{\text{μειγμ.}} \Rightarrow \rho_{\text{μειγμ.}} = 0,42 \text{ tn m}^{-3}$$

Η μαζική παροχή του μείγματος Ιλύς – Κλαδέματα είναι:

$$M_{\text{μειγμ.}} = Q_{\text{μειγμ.}} \cdot \rho_{\text{μειγμ.}} = 33,9 \text{ m}^3 \text{d}^{-1} \cdot 0,42 \text{ tn m}^{-3} = 14,2 \text{ tn d}^{-1}$$

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η ποσότητα του παραγόμενου κόμποστ κυμαίνεται μεταξύ 0,7-2 $\text{tn}_{\text{compost}} \text{tn}_{\text{ιλύος}}^{-1}$ (ξηρή βάση), ανάλογα μα το βαθμό ωρίμασης, την υγρασία του τελικού προϊόντος και το βαθμό ανάκτησης των κλαδεμάτων. Δηλαδή:

$$M_{\text{κόμποστ}}^{\text{min}} = \frac{0,7 \text{ tn (κόμποστ)} \cdot M_{\text{ιλύος}} \cdot 0,2}{1 \text{ tn (ξηρής ιλύος)}} = \frac{0,7 \text{ tn (κόμποστ)} \cdot 8,56 \text{ tn d}^{-1} \cdot 0,2}{1 \text{ tn (ξηρής ιλύος)}} = 1,2 \text{ tn d}^{-1}$$

$$M_{\text{κόμποστ}}^{\text{max}} = \frac{2 \text{ tn (κόμποστ)} \cdot M_{\text{ιλύος}} \cdot 0,2}{1 \text{ tn (ξηρής ιλύος)}} = \frac{2 \text{ tn (κόμποστ)} \cdot 8,56 \text{ tn d}^{-1} \cdot 0,2}{1 \text{ tn (ξηρής ιλύος)}} = 3,4 \text{ tn d}^{-1}$$

Οπότε η αναμενόμενη παραγωγή κόμποστ θα κυμαίνεται μεταξύ 1,2-3,4 tn d^{-1}

Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (3/6)

Για την πλήρη σταθεροποίηση της ιλύος, απαιτούνται 60 d. Επομένως, το συνολικό μείγμα που παράγεται κατά των διάστημα των 60 d είναι $V_{\text{σειραδ.}} = 2034 \text{ m}^3$.

Στη συνέχεια, επιλέγονται τυπικές τιμές διαστάσεων των σειραδίων.

- Ύψος: $H = 2 \text{ m}$
- Πλάτος κορυφής: $W_{\kappa} = 1,5 \text{ m}$
- Πλάτος βάσης: $W_{\beta} = 3 \text{ m}$

Σύμφωνα με τις παραπάνω διαστάσεις υπολογίζεται το εμβαδό τραπεζίου κάθε σειραδίου.

$$E_{\text{σειραδ.}} = \frac{W_{\kappa} + W_{\beta}}{2} \cdot H = \frac{1,5 \text{ m} + 3 \text{ m}}{2} \cdot 2 \text{ m} = 4,5 \text{ m}^2$$

Οπότε, το συνολικό μήκος των σειραδίων υπολογίζεται ως: $L_{\text{σειραδ.ολικό}} = \frac{V_{\text{σειραδ.}}}{E_{\text{σειραδ.}}} = \frac{2034 \text{ m}^3}{4,5 \text{ m}^2} = 452 \text{ m}$

Εάν θέσουμε μήκος κάθε σειραδίου ($L_{\text{σειραδ.}}$) ίσο με 50 m, τότε προκύπτουν 9 σειράδια = $\frac{L_{\text{σειραδ.ολικό}}}{L_{\text{σειραδ.}}}$

Επιλέγουμε τη δέσμευση χώρου για ανάπτυξη 10 σειραδίων = $N_{\text{σειραδ.}}$

Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (4/6)

Το απαιτούμενο πλάτος του γηπέδου, λαμβάνοντας υπόψη τους διαδρόμους πλάτους ($W_{\text{διαδρ.}}$) 3 m (ενδιάμεσα και περιμετρικά των σειραδίων) $\rightarrow$ δηλαδή 11 διάδρομοι, προκύπτει ως:

$$W_{\text{γηπεδ.}} = N_{\text{σειραδ.}} \cdot W_{\beta} + (N_{\text{σειραδ.}} + 1) \cdot W_{\text{διαδρ.}} = 10 \cdot 3 \text{ m} + 11 \cdot 3 \text{ m} = 63 \text{ m}$$

Συνεπώς, η συνολική επιφάνεια του γηπέδου (υπολογίζοντας και διάδρομο πλάτους 3 m περιμετρικά των σειραδίων είναι:

$$A_{\text{σειραδ}} = [L_{\text{σειραδ.}} + (2 \cdot W_{\text{διαδρ.}})] \cdot W_{\text{γηπεδ.}} = 3528 \text{ m}^2$$

Επιπλέον του γηπέδου ανάπτυξης των σειραδίων, απαιτείται έκταση για τις βοηθητικές εγκαταστάσεις (χώρος κοσκίνισης, στέγασης μηχανημάτων, λιμνοδεξαμενές διαχείρισης ομβρίων, κλπ. Θεωρούμε ότι η συνολική έκταση για τη διεργασία της κομποστοποίησης ($A_{\text{ολικό}}$) θα είναι μιάμιση φορά η έκταση που καταλαμβάνει το γήπεδο των σειραδίων. Επομένως, η έκταση του χώρου κομποστοποίησης προκύπτει ως:

$$A_{\text{ολικό}} = 1,5 \cdot A_{\text{σειραδ.}} = 1,5 \cdot 3528 \text{ m}^2 = 5292 \text{ m}^2$$

Η πιο πάνω έκταση είναι λίγο πάνω από τα βιβλιογραφικά όρια, καθότι υπολογίσαμε ένα σειράδι επιπλέον, καθώς και αρκετό χώρο για την ανάπτυξη βοηθητικών εγκαταστάσεων.

Με δεδομένο το πλάτος του γηπέδου για την ανάπτυξη των σειραδίων (63 m), το μήκος της αιτούμενης έκτασης υπολογίζεται στα 84 m.

Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (5/6)

Τα στραγγίσματα κομποστοποίησης, λόγω βροχοπτώσεων και της περιεχόμενης υγρασίας, συλλέγονται σε λιμνοδεξαμενές. Οι λιμνοδεξαμενές σχεδιάζονται βάσει της βροχόπτωσης αιχμής 24ώρου των δύο τελευταίων δεκαετιών, για την τοποθεσία της ΕΕΛ.

Με βάση τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής, η βροχόπτωση αιχμής 24ώρου των τελευταίων ετών είναι $h = 180 \text{ mm}$.

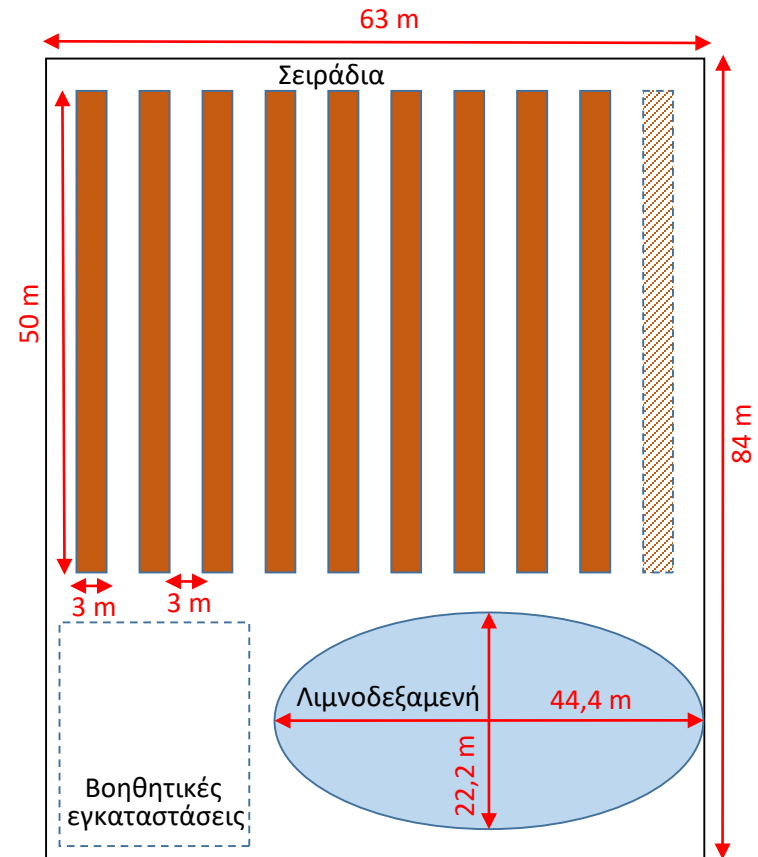
Θεωρώντας βάθος λιμνοδεξαμενής $d = 1 \text{ m}$, υπολογίζεται η έκταση της λιμνοδεξαμενής ως:

$$\begin{aligned} A_{\text{σειρ.}} \cdot h + A_{\text{λιμνοδ.}} \cdot h &= A_{\text{λιμνοδ.}} \cdot d \\ \Rightarrow 3520 \text{ m}^2 \cdot 0,18 \text{ m} + A_{\text{λιμνοδ.}} \cdot 0,18 \text{ m} &= A_{\text{λιμνοδ.}} \cdot 1 \text{ m} \\ \Rightarrow A_{\text{λιμνοδ.}} &\simeq 774 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Θεωρούμε ότι η λιμνοδεξαμενή έχει ελλειπτικό σχήμα, με μήκος μικρού άξονα διπλάσιο αυτό του μεγάλου άξονα. Εάν α και β είναι τα μήκη των ημιαξόνων, τότε $\beta = 2\alpha$. Το μήκος του κάθε ημιάξονα της έλλειψης προκύπτει ως εξής:

$$\begin{aligned} A_{\text{λιμνοδ.}} &= \pi \cdot \alpha \cdot \beta = 2 \cdot \pi \cdot \alpha^2 \Rightarrow 774 = 2 \cdot 3,14 \cdot \alpha^2 \Rightarrow \\ \alpha &= 11,1 \text{ m}, \beta = 22,2 \text{ m} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\begin{cases} \text{Μήκος μικρού άξονα έλλειψης} = 22,2 \text{ m} \\ \text{Μήκος μεγάλου άξονα έλλειψης} = 44,4 \text{ m} \end{cases}$$



Παράδειγμα Σχεδιασμού Κομποστοποίησης (6/6)

Χαρακτηριστικά Κομποστοποίησης	
Παράμετρος	Τύπος
Ημερήσια παραγωγή κόμποστ	1,2-3,4 tn d ⁻¹
Ημερήσια απαίτηση κλαδεμάτων	25,9 m ³ d ⁻¹
Μήκος σειραδίου	50 m
Ύψος σειραδίου	2 m
Πλάτος κορυφής σειραδίου	1,5 m
Πλάτος βάσης σειραδίου	3 m
Πλάτος διαχωριστικών διαδρόμων	3 m
Αριθμός σειραδίων	9 + 1
Συνολική έκταση	
Μήκος	84 m
Πλάτος	63 m
Επιφάνεια	5292 m ²
Χαρακτηριστικά λιμνοδεξαμενής	
Ελλειψοειδής επιφάνεια	774 m ²
Βάθος	1 m
Μήκος μικρού άξονα	22,2 m
Μήκος μεγάλου άξονα	44,4 m